HAL
archives-ouvertes.fr

Etude du "bichique" à La Réunion : du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système

Carole Thomas

To cite this version:

Carole Thomas. Etude du "bichique" à La Réunion : du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système. Biologie animale. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2017. Français. <NNT : 2017PA066303>. <tel-01799224>

HAL Id: tel-01799224

https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01799224

Submitted on 24 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Pierre et Marie CURIE

Ecole Doctorale Sciences de la Nature et de l'Homme – ED 227
UMR BOREA - Muséum National d'Histoire Naturelle

Année 2017 **N°attribué par la bibliothèque**

|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

Spécialité : Biologie des organismes

Présentée et soutenue publiquement par

Carole THOMAS

Le 12 décembre 2017

Etude du "bichique" à La Réunion: du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système

---

Sous la direction de **: Céline ELLIEN, Maître de Conférences**
Et la co-direction de : **Thierry SIMON, Maître de Conférences HDR**

Composition du jury :

M. Patrice FRANCOUR	Professeur, Université Nice Sophia Antipolis, Nice	Rapporteur
M. Gilbert DAVID	Directeur de recherches, IRD, Montpellier	Rapporteur
M. Julien GASPARINI	Professeur, Université Pierre et Marie Curie, Paris	Examinateur
Mme Midori IIDA	Assistant Professor, Niigata University, Japon	Examinatrice
M. Igor BABOU	Professeur, Université Paris Diderot, Paris	Examinateur
Mme Céline ELLIEN	Maître de conférences, Université Pierre et Marie Curie, Paris	Directrice de thèse
M. Thierry SIMON	Maître de conférences, Université de La Réunion, La Réunion	Co-directeur de thèse

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de cette thèse.

En premier lieu, je remercie Mme Céline Ellien, Maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie. En tant que Directrice de thèse, elle m'a offert l'opportunité de concourir au programme doctoral « Interface Pour le Vivant » et de travailler sur un sujet de recherche passionnant, en totale adéquation avec ma personne et mes projets.

Je remercie aussi M. Thierry Simon, Maître de conférences (HDR) à l'Université de La Réunion. En tant que co-directeur, il m'a accueilli dans ses locaux, m'a laissé la liberté d'y installer un mini-laboratoire pour y traiter mes échantillons en écologie. Il m'a également permis de rencontrer la chaleureuse équipe du CREGUR.

J'adresse également mes remerciements aux membres du comité de thèse, Gilbert David, Eric Feunteun, Sophie Berland, Laure Bonnaud, Bernard Hugueny et Stéphane Pous. Merci pour vos conseils.

Je remercie aussi les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit.

Je souhaite remercier l'école doctorale du Muséum, l'ED 227, et les personnes qui m'ont proposé leur aide en relisant en partie ou intégralement ma thèse. Merci à Emilie Mariat-Roy (anthropologue), Nathalie Machon (écologue), Tony Robinet (écologue), et Jacqueline Crozet pour toutes vos remarques constructives.

A La Réunion, je remercie particulièrement Béatrice Moppert pour sa bienveillance et son soutien ainsi qu'Emmanuel Marcadé pour son aide en cartographie. Bien sûr, je remercie tous les membres du CREGUR, au sein duquel je me suis vite intégrée.

Je remercie également les collègues de l'UMR Borea sur Paris, entre autres, Fabien Tredez mon adorable co-bureau, François Meunier, Claude Ferrara, Sophie Berland, Gilles Luquet et tous les autres Gaël, Patrice, Valentin, Guy, Alexis, Marc, les deux Philippe, Fabienne, Nicolas, Corinne … ainsi que tous ceux avec qui j'ai sympathisé aux journées scientifiques de l'UMR Borea.

Je remercie mes collègues doctorant, post-doctorant, stagiaire, contractuel ou amis, en particulier Salomé, Adrien, Jean-Philippe, Enora, Perrine, Franck, Pierrick, Anaïs, Michèle, Agathe, Silvia, Noémie (et ceux que j'oublie probablement), qui ont déjà pour la plupart quitté le Muséum et que je m'apprête à suivre. Merci pour votre bonne humeur et gentillesse.

Je n'oublie pas l'essentiel, mes proches, qui m'ont toujours soutenu. J'adresse également ma reconnaissance à Josselin, qui était là dans les bons moments comme les plus difficiles. Merci à vous tous.

Enfin, il me reste à remercier tous les acteurs réunionnais, des pêcheurs de bichiques aux services de l'Etat, qui ont participé sincèrement à mon enquête et qui m'ont appris énormément de choses dans leurs fonctions respectives.

Merci à tous !

SOMMAIRE

AVANT PROPOS **1**

ACRONYMES **3**

INTRODUCTION GENERALE **5**

I. L'émergence d'un sujet de recherche **6**

1. L'amphidromie : une stratégie de vie développée en milieu insulaire 6

2. La sous-famille des Gobies Sicydiinae, des amphidromes largement distribués et diversifiés dans l'Indo-Pacifique 9

3. Ce que l'on appelle les « Goby-fry-fisheries » : des pêcheries larvaires en région tropicale et intertropicale 12

II. Contexte de la thèse **18**

1. L'importance socio-économique de la pêche des bichiques à La Réunion face aux enjeux écologiques 18

2. Objectifs de recherche et organisation de la thèse 22

MATERIEL ET METHODE GENERAL **25**

I. Le site d'étude : l'île de La Réunion **26**

II. Ecologie de *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas, 1770) **29**

III. La pêche des bichiques, une activité de saison **32**

CHAPITRE 1. VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE DES POST-LARVES DE SICYOPTERUS LAGOCEPHALUS AU RECRUTEMENT **33**

I. Introduction **34**

II. Stratégie d'échantillonnage et méthode **37**

1. Echantillonnage 37

1.1 La collecte d'échantillons 37

1. 2 Les sites et périodes d'échantillonnage 37

2. Traitement des échantillons 38

2.1 Etude de la taille et du poids 38

2.2 Etude de l'âge 40

3. Structure du jeu de données 46

4. Analyses des données 48

III. Résultats **50**

1. Exploration du jeu de données 50

2. Analyses de la variabilité spatiale du recrutement 58

2.1 Variabilité spatiale du recrutement en février 2015 59
2.2 Variabilité spatiale du recrutement en novembre 2015 61
3. Analyses de la variabilité temporelle du recrutement 63
3.1 Analyse temporelle du recrutement sur l'ensemble du jeu de données 64
3.2 Analyse de l'effet débit à l'échelle d'une saison 67
4. Analyses de la variabilité spatio-temporelle du recrutement 68
IV. Discussion 72
1. L'effet de la saison sur la variabilité des traits de vie des post-larves au recrutement 72
2. L'impact de l'épisode climatique El Niño 2015 sur la variabilité inter-annuelle des traits de vie des post-larves au recrutement 74
3. L'influence du site de recrutement sur l'île et de la situation géographique de l'engin de pêche en rivière, sur la taille et le poids des post-larves en fin de phase larvaire 75

CHAPITRE 2. LES PECHERIES DE « BICHIQUES » : CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE ET TECHNIQUE 83
I. Introduction 84
II. Stratégie d'échantillonnage et méthode 86
1. Les acteurs ciblés par l'enquête 86
2. Lieux et périodes de l'enquête 86
3. Conduite des entretiens 90
4. Approche diachronique dans la cartographie des espaces de pêche 91
5. Les articles de presse, recueil d'informations historiques 92
6. Analyses 93
1. Retranscription des entretiens et analyse de contenu avec l'outil NVivo11 93
2. L'analyse des relations linéaires entre le prix et les quantités pêchées au cours du temps 93
3. L'analyse du discours des acteurs 94
III. Résultats & Discussion 95
1. Les bichiques : de l'eau à la bouche… 95
1.1 Un héritage culturel 95
1.2 Qui sont les pêcheurs ? 96
1.3 Où pêche-t-on sur l'île ? 99
1.4 Les bichiques 100
1.5 Des pratiques et savoirs en mutation 107
1.6 La pêche des bichiques, une filière informelle 139
2. La pêche vue du ciel 145
2.1 Appropriation de la rivière : Des installations de pêche éphémères pour des territoires historiques 145

2.2 La pêche des bichiques à l'embouchure des rivières: un exemple de co-évolution nature-société 149
3. Collapse socio-écologique 157
3.1. Suivi des captures d'octobre 2014 à février 2016 157
3.2 Reconstruction historique des captures 159
3.3 Le prix au kilo, un proxy pour estimer les quantités pêchées ? 167
3.4 Recensement et occurrence des problèmes soulevés par les pêcheurs de bichiques 170
4. « Mise en conformité de l'activité de pêche », un pas vers la résilience ? 178
4.1 Vers une intégration des pêcheurs à la gestion 178
4.2 Le ressenti des acteurs sur la pêche des bichiques 186
4.3 Discussion sur la démarche de mise en conformité des pêcheries de bichiques 210
IV. Conclusion 214

CHAPITRE 3. LE SOCIO-ECOSYSTEME 217
I. L'embouchure, un écosystème de transition sous haute pression 218
1. Confluence des pressions anthropiques à l'embouchure 218
2. La tragédie des biens communs 219
3. Répercussions sur les autres espèces et la qualité de l'eau 221
II. Et si les pêcheurs traditionnels disparaissaient avant le poisson ? 222
III. Modélisation du socio-écosystème : un outil de réflexion et de sensibilisation 224
IV. La gestion de la pêche aux embouchures : une action en faveur de la résilience du socio-écosystème 230

SYNTHESE ET CONCLUSIONS GENERALES 235

BIBLIOGRAPHIE 243
ANNEXE 253
RESUME 276

AVANT PROPOS

Cette thèse de doctorat a été financée par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, à travers **le programme doctoral "Interface pour le Vivant" (IPV) de l'Université Pierre et Marie Curie**. Ce programme mis en place en 2014, a pour ambition de générer des recherches innovantes aux interfaces avec les sciences du vivant. Ainsi, ce projet de thèse est interdisciplinaire, il associe les sciences naturelles aux sciences humaines et sociales. Il s'agit d'une collaboration entre l'UMR BOREA (Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques), du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris et le CREGUR (Centre de Recherches et d'Etudes en Géographie) de la Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de La Réunion.

Les travaux menés dans cette thèse sont en cours de valorisation (une publication soumise actuellement, en annexe) et ont fait l'objet de nombreuses présentations orales en France et à l'international. J'ai également réalisé un court-métrage de vulgarisation scientifique, intitulé « Horizon », dans le cadre de l'édition 2016 du festival « les chercheurs font leur cinéma », organisé par l'Association DOC'UP (Association des doctorants de Sorbonne Universités).

Publication

Carole Thomas, Enora Becheler, Anne-Marie Trinh and Céline Ellien (sous presse). Spatial variability in post-larval traits of *Sicyopterus lagocephalus* Pallas 1770 around Reunion Island. Environmental Biology of Fishes

Communications

THOMAS Carole, SIMON Thierry & ELLIEN Céline. Etude du "bichique" à La Réunion: du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système. 4ème Rencontre Tuniso-Française d'Ichtyologie. **1er prix des communications orales**, Tunis, 2017

THOMAS Carole, SIMON Thierry & ELLIEN Céline. Etude du "bichique" à La Réunion: du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système. Rencontres Naturalistes. Communication orale, Elbeuf, 2017

THOMAS Carole, SIMON Thierry & ELLIEN Céline. What if fishermen disappeared before the fish ? The 4th Natural History scientists Meeting, Poster presentation, Paris, 2017

THOMAS Carole, SIMON Thierry & ELLIEN Céline. Cooperation of actors willing to manage the traditional goby fry fishery in Reunion Island. YOUMARES, Oral communication, Hamburg, 2016

THOMAS Carole. Variabilité spatiale du recrutement larvaire de *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas 1770) sur l'île de La Réunion. Journées scientifiques de l'UMR BOREA, Communication orale, Caen, juillet 2016

THOMAS Carole, Journée scientifique du programme doctoral "Interfaces Pour le Vivant", Communication orale, Paris, 2016

THOMAS Carole. Etude du "bichique" à La Réunion: du recrutement d'une espèce amphidrome à l'éco-socio-système. Journées scientifiques de l'UMR BOREA, Communication orale, Caen, juillet 2015

THOMAS Carole, Journée scientifique du programme doctoral "Interfaces Pour le Vivant", Poster, Paris, mars 2015

THOMAS Carole, SIMON Thierry & ELLIEN Céline. Une pêche à l'origine traditionnelle. Les 6eme Rencontres de l'Ichtyologie en France, Poster, Paris, 24-27 mars 2015

Médiation scientifique

Carole Thomas & William Watkins, HORIZON, festival « les chercheurs font leur cinéma », Courts métrages 2016 (https://www.youtube.com/watch?v=uwm4EOgkOYI)

ACRONYMES

APBR : Association de Pêcheurs de Bichiques de la Rivière

ARDA : Association Réunionnaise pour le Développement de l'Aquaculture

BNOI : Brigade Nature Océan Indien

CRPMEM : Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DMSOI : Direction de la Mer Sud Océan Indien

DPL : Durée de Phase Larvaire

FDAAPPMA : Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

LS : Longueur Standard

ODE : Office De l'Eau

SREPEN : Société Réunionnaise pour l'Etude et la Protection de l'Environnement

INTRODUCTION GENERALE

I. L'émergence d'un sujet de recherche

1. L'amphidromie : une stratégie de vie développée en milieu insulaire

La diadromie caractérise des organismes, crustacés, mollusques ou poissons, qui doivent migrer entre l'eau douce et la mer, d'une manière régulière et prévisible, à des stades de leur cycle de vie (McDowall 1992 ; Myers 1949). Trois catégories de diadromie sont définies, en fonction de l'emplacement des zones de frai et de croissance, et suivant la direction de la migration. Si la migration est liée à un événement de frai, il est question d'anadromie : les organismes migrent vers la rivière pour se reproduire (ex : saumon), soit de catadromie : les organismes migrent vers la mer pour se reproduire (ex : anguille). Si la migration entre l'eau douce et l'eau de mer n'est pas liée aux événements de frai, c'est l'amphidromie (ex : gobies) (McDowall 1992) (fig. 1).

L'amphidromie est la stratégie de vie diadromique la plus répandue (environ 273 espèces sur 435 espèces diadromes) (Augspurger et al., 2017) tant chez les poissons que chez les crustacés et se scinde en deux sous-catégories : l'amphidromie d'eau douce où le poisson rejoint l'océan à l'état de larve mais retourne en rivière pour grandir et se reproduire ; l'amphidromie marine où le poisson rejoint l'océan à l'état de larve, revient en rivière quelques temps, puis retourne dans l'océan pour grandir et se reproduire. L'amphidromie est répandue dans les régions insulaires tropicales (Abdou et al., 2015 ; Keith 2003 ; Teichert et al., 2012), mais se retrouve également en milieu tempéré, de la Nouvelle-Zélande au Japon (Iida et al., 2015 ; Jarvis et Closs 2015 ; McDowall 2007).

Dans les milieux insulaires tropicaux, en particulier dans les îles des Caraïbes et de l'Indo-Pacifique, les milieux dulçaquicoles sont généralement composés de jeunes rivières oligotrophes, subissant de fortes variations hydrologiques saisonnières (Keith et al., 2009). Ces rivières sont influencées par l'alternance des saisons sèche et humide qui se traduisent respectivement par des crues et des sécheresses. En conséquence de ces variations hydrologiques, les rivières insulaires sont souvent soumises à des extinctions locales de leur faune (McDowall 2003 ; Keith 2003). Les organismes amphidromes, étant capables de recoloniser ces milieux fragmentés après une phase de dispersion marine, possèdent donc une stratégie de vie particulièrement bien adaptée à la colonisation de milieux émergents et à la recolonisation de milieux perturbés. En effet, à leur émergence, les îles volcaniques ne possèdent pas de rivières et la faune dulçaquicole est donc inexistante. Les organismes qui réussissent à coloniser ces milieux insulaires ultérieurement, possèdent le plus souvent un cycle de vie diadrome (Banarescu 1990). La durée de la phase larvaire des amphidromes est d'ailleurs l'une des plus longues qui existent (environ 50 à 300 jours) en comparaison avec les espèces marines démersales (souvent inférieure à 60 jours) (Brothers et al., 1983 ; Hoareau et al., 2007b ; Teichert et al., 2012), ce qui leur permet de disperser sur de très

grandes distances, parfois à une échelle transocéanique. Le phénomène de retour des larves en rivière, correspond en écologie et chez les organismes amphidromes, à la phase de recrutement larvaire (Keith et al., 2008), c'est-à-dire à la fin de la dispersion océanique des larves et à leur retour en rivière à l'état de post-larve, pour devenir, dans le cas des amphidromes d'eau douce, des juvéniles puis des adultes en milieu dulçaquicole.

Dans les cours d'eau insulaires de l'Indo-Pacifique, la diversité des communautés de poissons repose essentiellement sur les gobies amphidromes (Taillebois et al., 2012 ; Keith 2003 ; Keith et al., 2005). L'intérêt majeur de ces espèces, en plus de contribuer fortement à la biodiversité faunistique des rivières, consiste en leur très grande valeur économique et patrimoniale. Les gobies constituent une ressource alimentaire importante pour les populations locales, mais une ressource au bord de l'extinction dans certaines régions, en raison des multiples pressions qui s'exercent sur leurs populations (pêche, barrage, pollution) et qui conduisent à la fragmentation de leurs habitats. Il est donc nécessaire d'élaborer des programmes de gestion pour ces espèces au cycle de vie complexe, ce qui implique de connaître leur biologie (i.e cycle de vie) et leur écologie (i.e les traits de vie, la structure et dynamique des populations, leurs exigences écologiques…). Ainsi, pour aborder ces questions, nous utilisons le modèle « Gobie » à La Réunion, car les gobies amphidromes contribuent fortement à la diversité faunistique des rivières réunionnaises, en plus d'être la cible d'une pêcherie traditionnelle qui revêt une grande importance économique et sociale, localement.

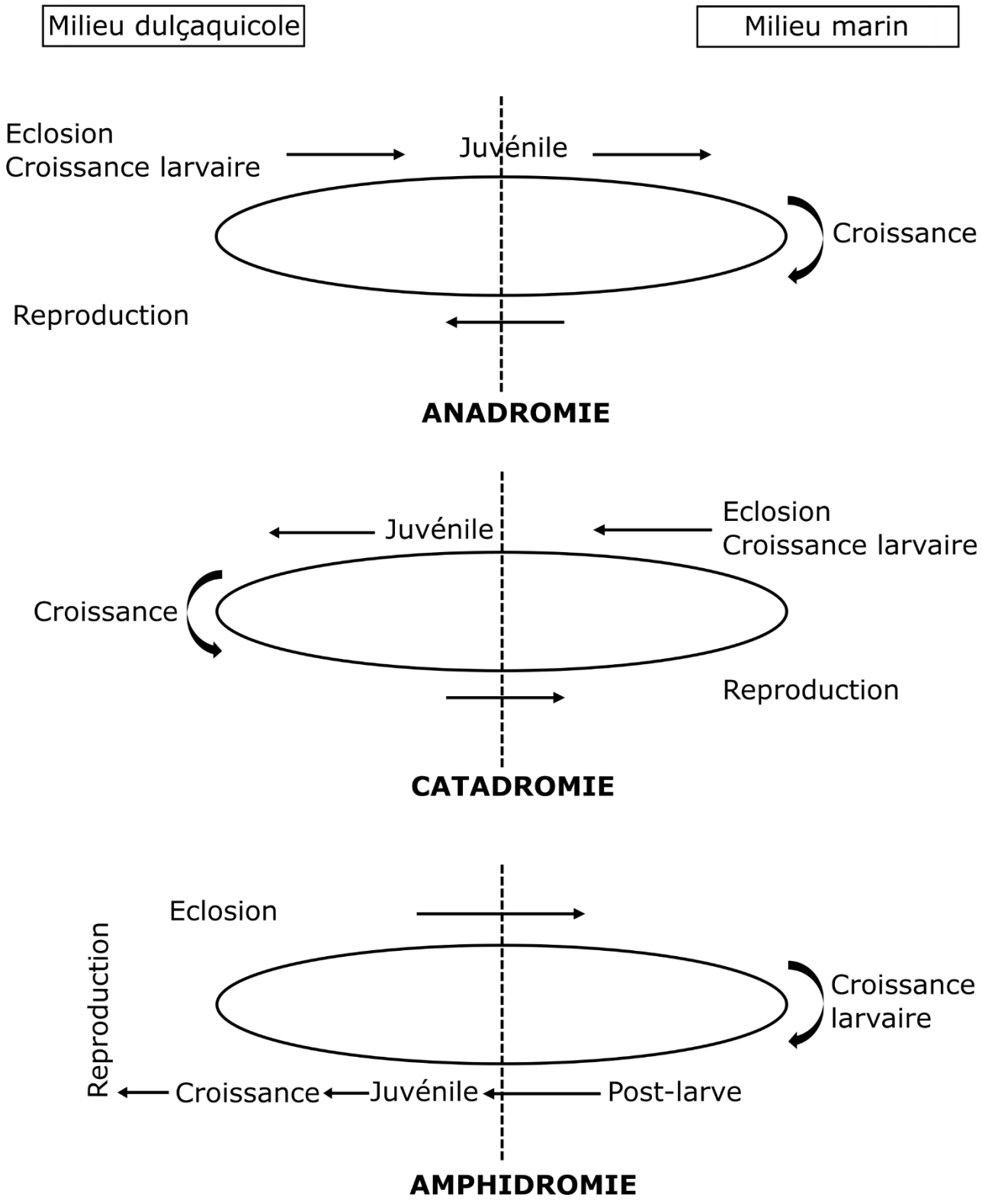


Figure 1. Représentation schématique des stratégies de vies diadromes

2. La sous-famille des Gobies Sicydiinae, des amphidromes largement distribués et diversifiés dans l'Indo-Pacifique

La famille des Gobiidae forme l'une des plus grandes familles de poissons. En milieu tropical, elle comprend la plupart des espèces de poissons amphidromes avec la famille des Eleotridae, toutes deux appartenant au sous-ordre des Gobioidei. La plupart des espèces de Gobies sont marines mais la sous-famille des Sicydiinae au sein des Gobiidae, est uniquement composée d'espèces migratrices amphidromes (Keith et al., 2011). Elle est largement distribuée dans les régions de l'Indo-Pacifique. Ainsi, les espèces de Gobies Sicydiinae contribuent significativement à la diversité faunistique des rivières en milieu tropical insulaire et ont le plus fort taux d'endémisme dans ces habitats (Lejeune et al., 2016 ; Radtke et Kinzie, 1996). Plus précisément, c'est le genre Sicyopterus qui est le plus diversifié chez les Sicydiinae, avec 25 espèces décrites à ce jour (Lord et al., 2011). L'espèce *Sicyopterus lagocephalus* est la plus largement distribuée, habitant les rivières des îles de l'océan Indien à l'océan Pacifique (fig. 2 et 3). Elle possède notamment la plus longue phase de dispersion larvaire océanique qui dure entre 4 et 9 mois (Teichert 2012). Une particularité morphologique caractérise ces gobies (Gobiidae : Sicydiinae) : les nageoires pelviennes ont fusionné en une puissante ventouse ventrale, qu'ils utilisent pour remonter les cours d'eau et franchir des obstacles naturels (cascade) (fig. 4 et 5) (Keith et al., 2008). Ces espèces constituent dans certains archipels, une ressource alimentaire importante, à l'état larvaire essentiellement, lorsque les post-larves entament leur recrutement dans les rivières.

.

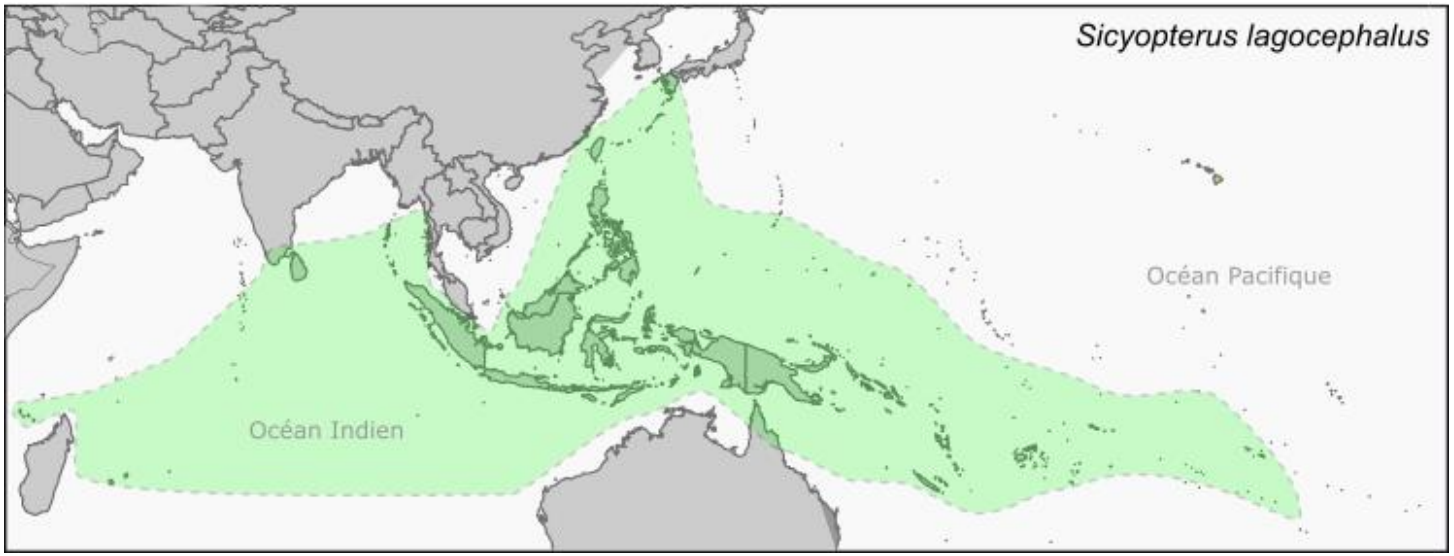


Figure 2. Distribution de l'espèce *Sicyopterus lagocephalus* dans l'Indo-Pacifique

Figure 3. *Sicyopetrus lagocephalus*, © Jeffrey T. Williams, Division of Fishes, Smithsonian Institution, United States National Museum

Figure 4. Ventouse d'un Sicydiinae, *Sicyopterus rapa*, © E. Vigneux

Figure 5. Cascade que les Gobies Sicydiinae franchissent, rivière de Langevin, La Réunion, © C. Thomas

3. Ce que l'on appelle les « Goby-fry-fisheries » : des pêcheries larvaires en région tropicale et intertropicale

En milieux tropical et intertropical, des pêcheries traditionnelles se sont développées autour de ces remontées périodiques et massives de post-larves dans les rivières (phase de recrutement en écologie). Ces pêcheries spécialisées dans les gobiidés d'eau douce amphidromes existent depuis des siècles et sont présentes dans diverses régions du monde. On les appelle des « Goby-fry-fisheries » (Bell 1999). Elle sont référencées à La Réunion (Augier de Moussac 1983 ; Cuvier et Valenciennes, 1837 ; Delacroix 1987 ; Vaillant 1890), dans la grande île voisine à Madagascar (Kiener 1963 ; Pellegrin 1933), en Indonésie, aux Philippines (Blanco 1956 ; Manacop 1954 ; Montilla 1931 ; Vedra et Ocampo, 2014), à Java (Koumans 1953), à Hawaï (Bell et al., 2009), en Polynésie (Keith et al., 2002 ; Plessis 1973), en Colombie (Castellanos-Galindo et al., 2011), aux Antilles, en Jamaïque (Townsend 1895), à Porto Rico (Erdman 1961), en Guadeloupe (Lejeune et al., 2016), en Dominique (Bell 1999) et en Afrique de l'ouest dans les îles du Golfe de Guinée, au Cameroun et en Côte d'Ivoire (Bell et al., 2009 ; Risch et Van Den Audenaerde, 1979). Les différentes « Goby- fry-fisheries » référencées sont géolocalisées dans la figure 6.

Plus précisément, c'est le genre Sicyopterus qui est le plus exploité, notamment en Indonésie et à La Réunion (Manacop 1954 ; Delacroix 1987 ; Bell 1999). Au sein de ce genre, l'espèce *Sicyopterus lagocephalus* est la plus répandue et donc la plus communément exploitée. Manacop estime en 1953, que 20 000 tonnes de post-larves sont pêchées par an, sur l'île de Luçon aux Philippines (ce qui comprend *S. lagocephalus* et *S. lacrymosus*[1]). Cet approvisionnement larvaire, historiquement massif et régulier, constitue depuis toujours une source d'alimentation considérable pour les populations humaines insulaires. On peut notamment citer le zoologiste Louis Vaillant, témoin en 1890 d'une pêche prodigieuse à La Réunion : « **L'abondance du poisson est si grande dans certains cas que les embouchures en sont littéralement encombrées, et l'eau en contient une quantité si prodigieuse que les pêcheurs, faisant allusion à la forme des vagues, disent que les bichiques montent en rouleau** ».

Les pêcheries larvaires dans le monde ne concernent pas seulement des gobies amphidromes en milieu tropical. On peut citer la célèbre pêche des civelles, aussi appelée « pibales » (*Anguilla anguilla*, cycle catadrome), qui se pratique en Europe depuis des décennies, et qui est aujourd'hui professionnalisée et réglementée[2]. Une autre pêcherie larvaire reconnue en région tempérée (au moins depuis le XVIIe siècle), est désormais très réglementée dans l'Union

[1] http://www.fishbase.de/Country/CountrySpeciesSummary.php?c_code=608&id=27686
[2] http://www.federation-peche-vendee.fr/La-reglementation/La-Peche-de-l-Anguille-en-2017

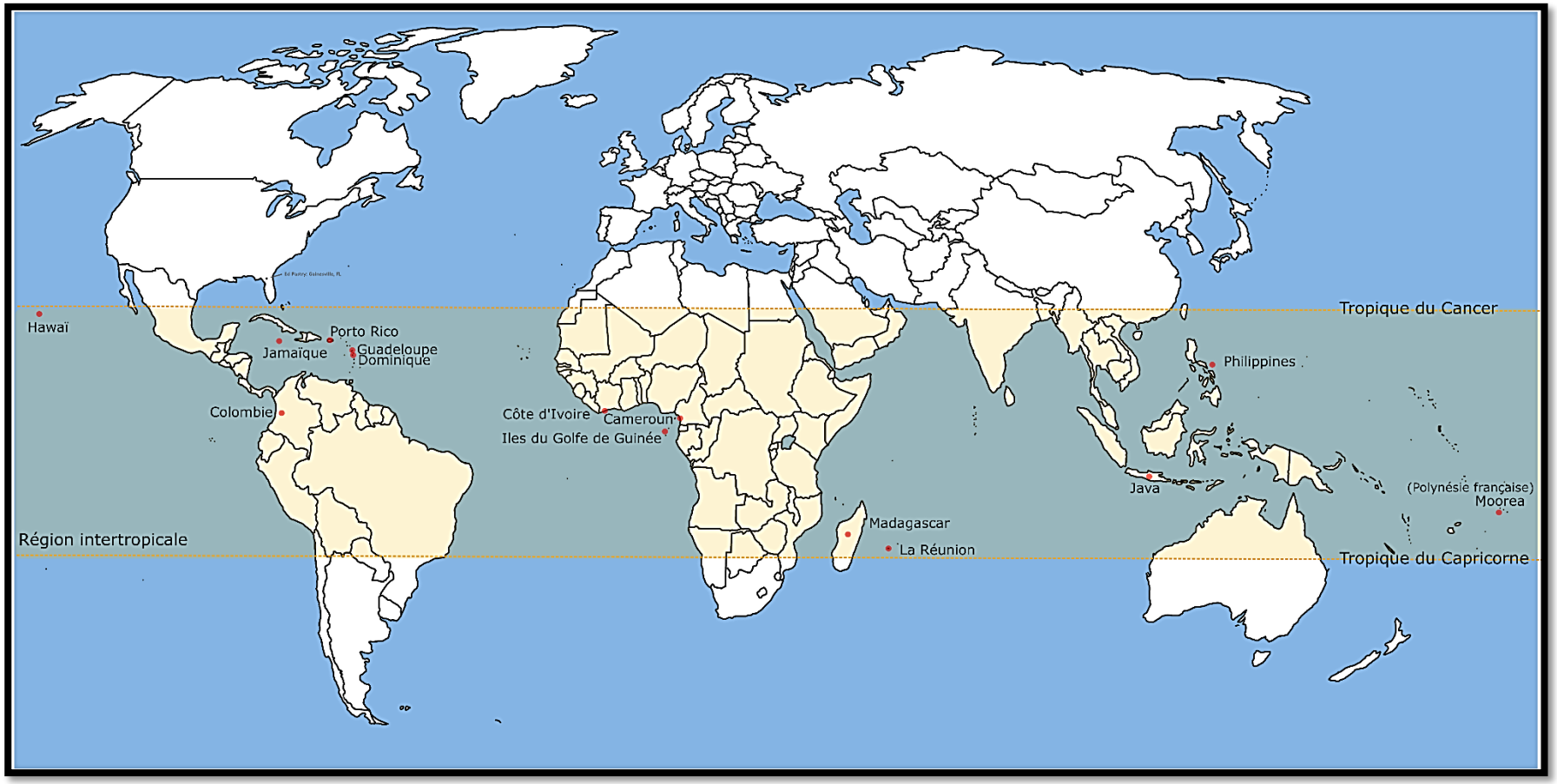


Figure 6. Localisation des pêcheries larvaires de Gobiidae migrateurs référencées en région intertropicale. La région intertropicale se situe entre les tropiques du Cancer et du Capricorne (zone orange), © C. Thomas

européenne, il s'agit de la pêche à la poutine (du niçois « poutina ») ou au nonnat (qui signifie « non né »). Elle se pratique en Méditerranée (La Mesa 1999) et concernent des larves de gobie transparent, d'anchois et de sardines (*Aphya minuta, Engraulidae encrasicolus* et *Sardina pilchardus*). La figure 7 montre un aperçu des différentes espèces de post-larves, consommées culturellement à travers le monde. Dans les différentes régions, un nom vernaculaire est attribué aux post-larves (Bell 1999 ; Delacroix 1987). Ainsi, l'espèce *S. lagocephalus* s'appelle « bichique » à La Réunion et « ipon » en Indonésie.

Les stocks de civelles et de poutine ont drastiquement chuté au cours du XXe siècle (Feunteun 2002), de même que les stocks de gobies amphidromes ont manifestement chuté en régions tropicales (Bell et al., 2009). Manacop écrivait déjà en 1953, « **qu'un déclin continu est observé** » faisant référence à la pêche des « ipon » aux Philippines. Le déclin est aussi rapporté en Polynésie française à Tahiti (Keith et al., 2002) et dans l'océan Indien à La Réunion (Delacroix 1987 ; Hoareau 2005). Certaines pêcheries proches de l'extinction seraient aujourd'hui interdites comme la pêche des « hinana » à Hawaï (Division of aquatic resources 2016). En conséquence, le prix de vente des post-larves a considérablement augmenté. On parle désormais de « caviar » lorsque l'on fait référence aux bichiques, aux civelles et à la poutine. L'importance économique des post-larves à La Réunion est souvent comparée à celle des civelles en Europe, bien que le prix de ces dernières soit nettement supérieur (en moyenne 500 euros le kg) (Duheca et al., 2009). La Réunion est notamment l'une des régions tropicales où la pêche des post-larves de gobies revêt une très grande importance économique (Schübel 1998), en moyenne 35 euros le kilo, au maximum 80 euros (observation en 2016).

Il existe peu de règlementation étatique pour les pêches traditionnelles de gobies en milieu tropical, car les données sur la plupart des espèces cibles sont insuffisantes. Pour celles qui possèdent un statut de conservation IUCN[3], l'absence de données sur les captures de pêche, limite toute tentative de gestion des stocks. Sur les 51 espèces de Sicydiinae évaluées par l'IUCN, 30 se sont vues attribuer un statut de conservation mais les 21 autres sont « déficientes en données ». Il est donc difficile d'évaluer pour ces dernières, l'état de leur population. Aussi, les nombreux scientifiques et pêcheurs qui s'accordent pour dire que le recrutement des post-larves en rivière a fortement diminué dans les différentes régions concernées, attribuent ce déclin à diverses menaces, pas seulement à la pêche. Nous citons les cinq premières menaces classées par ordre d'importance (Keith et al., 2015). Tout d'abord, les obstacles en rivières tels que les barrages constituent des barrières physiques à la migration des diadromes. Deuxièmement, les captages d'eau pour les besoins de la population humaine et de l'agriculture, réduisent le débit en rivière et altèrent la

[3] www.iucnredlist.ord

continuité écologique. Troisièmement, les habitats en rivières sont dégradés par l'extraction de matériaux (minerai en Nouvelle-Calédonie) ou le retrait de la végétation riparienne, essentielle à la filtration et à l'oxygénation des cours d'eau mais aussi à la régulation du climat local. Quatrièmement, la qualité des cours d'eau est altérée, par les pollutions chimiques et sédimentaires qui induisent le colmatage des pontes. Enfin, la surpêche des post-larves et des adultes en rivières réduit directement les effectifs de gobies dans le milieu.

On peut donc constater d'une part que les menaces diffèrent d'une région à l'autre ; d'autre part que le déclin d'une espèce est souvent le résultat d'une synergie de facteurs, qui doivent être portés à la connaissance des gestionnaires, pour envisager un plan de gestion adéquat.

La Réunion (Océan Indien),
Pêche des « bichiques », © C. Thomas

Madagascar (Océan Indien), Pêcheuses de « bichiques », © Anne Affortit

Polynésie française (Océan Pacifique), Pêche des « inaa », © www.peche.pf

Indonésie (Océan Pacifique), Philippines, Pêche des « ipon », © ilocandiatreasures.com

Civelle la monté

Branle-bas de combat lundi dans l'estuaire de la Loire. 240 professionnels et de nombreux amateurs vont traquer les « bichiques pays», les civelles. Ces alevins d'anguilles très recherchés se négocient autour de 150 euros le kilo. De quoi apprécier le coût « modique » du cari bichiques réunionnais...

© Le Courrier du Pays de Retz

Pêche des civelles en France métropilitaine, © Journal Le Quotidien de La Réunion, « Civelle la monté » fait référence à la célèbre expression réunionnaise employée pour annoncer l'arrivée des bichiques « bichique la monté ! ».

Figure 7. Quelques exemples de pêcheries larvaires en régions tropicale et intertropicale

II. Contexte de la thèse

1. L'importance socio-économique de la pêche des bichiques à La Réunion face aux enjeux écologiques

La pêche des « bichiques » à La Réunion (océan Indien) est l'une des « Goby-fry-fisheries » les plus importantes en région tropicale, en raison de son importance socio-économique (Schübel 1998) et de ses remontées de post-larves historiquement très abondantes, après celles des « ipon » aux Philippines (Aboussouan 1969 ; Delacroix 1987). La pêche des « bichiques » est traditionnelle et emblématique sur l'île, historiquement source de revenus, de nourriture et d'échanges festifs. « **Il y a des jours où cette pêche fournit la charge de plusieurs chevaux** » rapportaient Cuvier et Valenciennes, en 1837. Mais les remontées autrefois massives et régulières sont décrites comme très sporadiques aujourd'hui ce qui menace l'activité, la ressource alimentaire, la culture et l'économie, auquel s'ajoute un conflit entre groupes de pêcheurs en mer et en rivière. L'affaiblissement manifeste du recrutement larvaire menace donc les enjeux socio-économique de la pêche et suggère que l'activité n'est pas durable et en partie responsable de ce déclin. En effet, Delacroix (1987), Aboussouan (1969) et des études plus récentes (Hoareau 2005 ; Teichert et al., 2014 ; Lagarde et al., 2015) rapportent un déclin des captures et accusent la surpêche et la dégradation des habitats naturels.

L'activité de pêche, comme elle se pratique actuellement aux embouchures des rivières, semble également s'opposer au respect des enjeux écologiques qui gravitent autour des espèces cibles. La pêche concerne en effet deux espèces de Gobies Sicydiinae, *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas 1770) et *Cotylopus acutipinnis* (Guichenot 1863), toutes les deux appelées localement « bichiques » à l'état de post-larve mais respectivement « Cabot bouche ronde » et « Cabot des rivières » à l'âge adulte. Ces gobies amphidromes colonisent tout le cours d'eau et leur densité remarquable à l'échelle de l'île constitue l'un des trois indicateurs biologiques, employés à La Réunion dans le cadre de l'application des objectifs de la Directive Européenne Cadre sur Eau (DCE, 2000), qui vise à évaluer et atteindre le « bon état » des cours d'eau (Richarson 2012). Un des objectifs de la DCE est de restaurer la continuité écologique entre les habitats. Et la pêche des bichiques à l'embouchure des rivières a notamment été identifiée comme l'un des obstacles à cette continuité (DEAL et al., 2011). Dans ce contexte, les gobies peuvent être vus comme des « espèces parapluies », c'est-à-dire que la restauration de leur habitat à travers une régulation de la pêche, bénéficierait à de nombreuses autres espèces dans le milieu, qui ont besoin de migrer entre l'eau douce et l'océan et accomplir leur cycle de vie. Cet enjeu de restaurer la continuité écologique des

cours d'eau est donc essentielle pour ces gobies et pourrait profiter à toutes les autres espèces diadromes ou non.

L'étude des phénomènes qui structurent les populations de poissons sont aussi des éléments clés à prendre en compte dans la gestion et la conservation des espèces (Lord 2009). Il est notamment important d'identifier les zones « sources et puits » qui structurent les populations à l'échelle d'une île ou d'une région. Des « zones puits » sont des zones peu propices à la colonisation c'est-à-dire que des larves attirées dans cette zone auront peu de chance de survivre. La reproduction y est insuffisante pour contrebalancer un taux de mortalité élevé. C'est notamment le cas dans des milieux fortement anthropisés où par exemple la continuité écologique est fortement altérée (barrage, pêche, captage d'eau) (MCRae 2007). Des populations persistent dans ces zones « puit » grâce à l'immigration continu d'individus en provenance de « zones sources » (Pulliam 1988). Les zones « sources » sont au contraires des zones où le taux de naissance et plus élevé que la mortalité. Qu'en est-il de la structure des populations de gobies que nous étudions ?

L'espèce *C. acutipinnis* est endémique de l'archipel des Mascareignes, présente uniquement à La Réunion et à l'île Maurice et l'espèce *S. lagocephalus* est largement répandue dans l'Indo-Pacifique, des îles australes (Polynésie française) dans l'océan Pacifique, jusqu'aux îles comoriennes dans l'océan Indien (Keith et al., 2005). Dans la région du sud-ouest de l'océan Indien, elle est présente dans l'archipel des Mascareignes (La Réunion et Maurice) et dans l'archipel des Comores (Anjouan, Mayotte, etc.). Deux clades ont cependant été identifiés au sein de cette espèce ubiquiste, un regroupant la plupart des haplotypes de la Polynésie française et l'autre clade regroupant la plupart des haplotypes des Mascareignes et des Comores. La population de *S. lagocephalus* dans la région du sud-ouest de l'océan Indien serait donc relativement isolée de celle du Pacifique, suggérant l'existence de barrières physiques à la dispersion marine (Lord et al., 2012). Les larves qui alimentent les différentes îles du sud-ouest de l'océan Indien seraient donc majoritairement d'origine régionale. Dans l'océan Indien, le courant de surface sud-équatorial s'oriente vers l'ouest ou le sud-ouest et traverse les Mascareignes. Dans ce courant, l'île de La Réunion se place en aval de l'île Maurice et en amont de Madagascar et des Comores (fig. 8). Les larves pourraient donc relier ces différentes îles comme le suggère Berrebi et al., (2005). Les populations des îles seraient interconnectées pour former une métapopulation à l'échelle de la région, ce qui est le cas chez de nombreuses espèces de poissons coralliens (Lecchini et Galzin, 2003). Dans ce modèle de métapopulation, il peut y avoir des déséquilibres dans l'intensité et le sens des échanges de gènes (Levins 1969) et donc dans l'approvisionnement larvaire. Il est ainsi peu probable, si les populations de gobies venaient à disparaitre à Maurice et à La Réunion, que les Comores soient en mesure de réapprovisionner les îles placées en aval, dans le courant sud-équatorial. Par contre, étant donné

que les populations adultes des deux espèces sont abondamment représentées dans les différents cours d'eau de La Réunion (Teichert 2012), il est probable que l'île reçoivent une partie des larves en provenance de Maurice et soit aussi une source de larves pour les autres secteurs dans la région du sud-ouest de l'océan Indien et/ou qu'elle contribue fortement au renouvellement de ses populations locales par autorecrutement (Berrebi et al., 2005 ; Hoareau et al., 2007a). Pour *S. lagocephalus*, des études basées sur le polymorphisme enzymatique démontrent un grand flux de gènes entre les populations de La Réunion et de Maurice (Hoareau 2005), deux îles voisines. L'espèce *S. lagocephalus* n'est cependant pas répertoriée à Madagascar ce qui suggère que la dispersion d'est en ouest n'est pas seulement dépendante du courant de surface et que d'autres phénomènes interviennent dans la structuration des populations. Par exemple, la dispersion des larves pourrait ne pas être passive (Berrebi et al., 2005) et dépendre de facteurs biologiques. Nous ne savons pas dans quelle mesure le comportement influence la dispersion mais les capacités natatoires des larves sont reconnues comme non négligeables (Leis et McCormick, 2002). **Ainsi, nous voyons que la conservation des populations de gobies à La Réunion pourrait revêtir une grande importance écologique pour le maintien des populations de gobies à l'échelle régionale et locale, mais aussi revêtir une grande importance pour la conservation des milieux dulçaquicoles réunionnais.**

Les enjeux écologiques ne sont cependant pas indifférents à la durabilité de cette activité traditionnelle, ni indissociables de la préservation des enjeux socio-économiques. La conservation des stocks de Gobies à La Réunion serait profitable à l'activité qui dépend du recrutement larvaire. De plus, il n'est pas envisagé d'interdire l'activité qui revêt une trop grande importance économique et patrimoniale et dans la mesure où elle ne constitue pas la seule menace qui pèsent sur les populations de gobies à La Réunion. De nombreux obstacles à la continuité écologique, sur les différents cours d'eau pérennes de l'île, ont notamment été identifiés dans le SDAGE 2016-2021 (le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux). Les services de l'Etat ont donc engagés une procédure de mise en régulation de l'activité de pêche des bichiques aux embouchures dès 2012, en complément d'actions de restauration du milieu. Les questions qui se posent alors et que nous étudierons sont les suivantes :

Peut-on espérer que les mesures de gestion, engagées à l'échelle des bassins versants, qui comprennent la régulation de la pêche, seront efficaces pour stopper le déclin manifeste du recrutement ? Est-il possible de concilier activités humaines et protection de l'environnement ? **Dans quelle mesure la préservation des enjeux socio-économiques peut-elle s'associer à la préservation des enjeux de conservation des espèces ?**

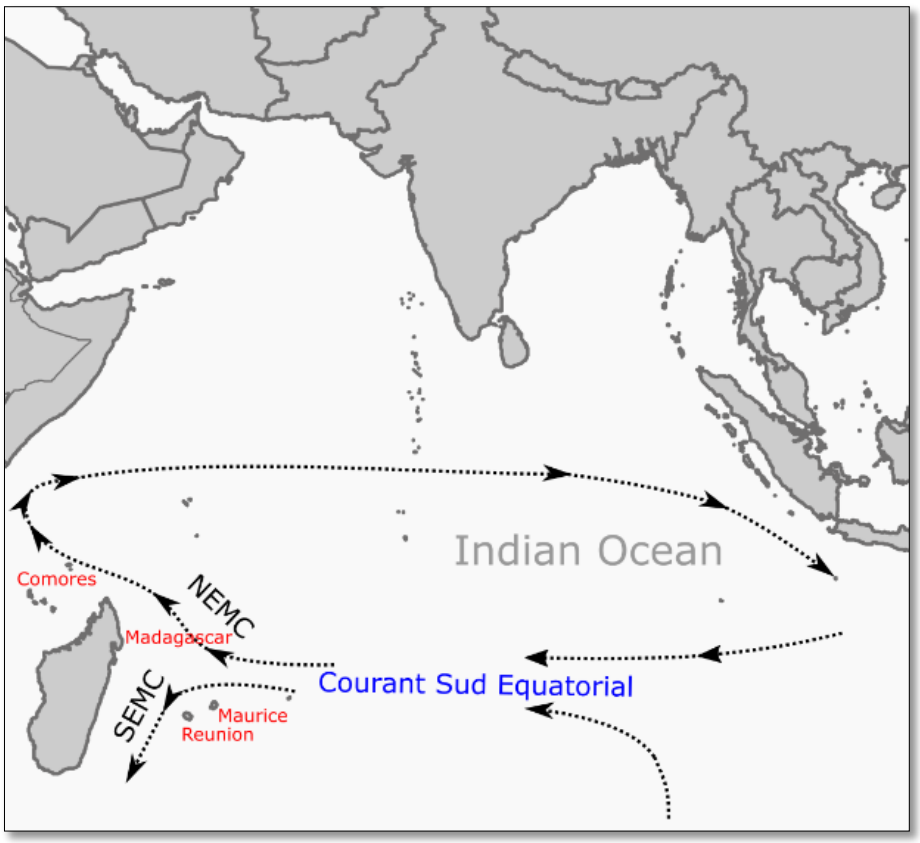


Figure 8. Courants de surface principaux dans le Sud-Ouest de l'océan Indien durant l'été austral (à partir de Schott and McCreary 2001). Le courant sud équatorial se divise en deux branches à proximité de Madagascar, les courants Nord et Sud équatoriaux de Madagascar (NEMC and SEMC)

2. Objectifs de recherche et organisation de la thèse

La recherche fondamentale pour améliorer notre compréhension sur l'écologie de vie des espèces amphidromes, en particulier sur les processus qui entraînent une variabilité du recrutement larvaire, nécessite de tenir compte du contexte global, des pressions naturelles aux pressions anthropiques. Cela est d'autant plus important pour des espèces amphidromes qui dépendent des milieux océaniques et continentaux. De même, une gestion efficace des populations de gobies est indissociable de la prise en compte de l'environnement anthropique dans lequel elles circulent et des enjeux socio-économique. De nombreuses sociétés humaines se sont en effet développées au détriment de la nature, mais il ne faut pas croire que la conservation de la nature s'envisage au détriment de l'homme. Une majorité de scientifiques pensent désormais que l'homme fait partie intégrante de l'environnement et qu'il nous faut comprendre les rétroactions qui s'établissent entre la nature et la société, au sein de ce système dynamique qu'ils appellent le socio-écosystème.

Ainsi, le travail de thèse se veut interdisciplinaire avec un volet d'étude en écologie sur les gobies et un volet d'étude en sciences humaines et sociales sur le contexte socio-économique et technique de la pêche, qui inclut les mesures de gestion. L'union de ces travaux menés en parallèle permet de se représenter le socio-écosystème dans lequel migrent les gobies amphidromes et les enjeux qui gravitent autour de ces espèces. Dans cette démarche scientifique, la problématique est appréhendée dans sa globalité pour améliorer notre compréhension des phénomènes et envisager des solutions originales. Dans notre cas d'étude, nous souhaitons apporter des éléments de connaissance et de réflexion en soutien à la gestion et à la conservation des gobies amphidromes à La Réunion.

La thèse comprend trois chapitres pour répondre aux objectifs suivants :

1- D'étudier la variabilité spatio-temporelle des traits de vie (âge, taille, poids, condition) des post-larves de *Sicyopetrus lagocephalus* au recrutement à La Réunion, afin d'enrichir nos connaissances sur le cycle de vie de l'espèce, de la phase de dispersion larvaire océanique jusqu'au recrutement des post-larves en rivières.

2- D'étudier l'importance culturelle, sociale et économique des bichiques à La Réunion, les pratiques de pêche, les problèmes que rencontrent les pêcheurs aux embouchures et les relations qu'ils entretiennent avec les acteurs publics, en particulier les services de l'Etat, afin d'évaluer la part de responsabilité de la pêche dans l'affaiblissement du recrutement larvaire et rétroactivement, évaluer l'impact de cet affaiblissement sur le socio-système, des pratiques de pêche aux mesures de gestion des cours d'eau engagées par l'Etat.

3- *In fine*, modéliser de façon théorique le socio-écosystème dans lequel s'insère « le bichique » afin de synthétiser les enjeux locaux qui gravitent autour de cette ressource, décrire l'équilibre dynamique du système et envisager l'évolution de ce dernier au vu des actions engagées par l'Etat au sein du SDAGE, en particulier pour règlementer l'activité de pêche en rivière.

MATERIEL ET METHODE GENERAL

Présentation du site d'étude et de l'écologie de vie du gobie *S. lagocephalus*

I. Le site d'étude : l'île de La Réunion

La Réunion est une île localisée dans le sud-ouest de l'océan Indien, à 700 km de la côte est de Madagascar. L'île appartient à l'archipel des Mascareignes qui se compose de trois îles, La Réunion, Maurice et Rodrigues (fig. 1). La Réunion s'étend sur une surface de 2512 km², ce qui fait d'elle la plus grande des îles. Elle forme une ellipse de 71 km de long sur 51 km de large, orientée dans un axe nord-ouest. La Réunion est une île jeune d'origine volcanique, âgée de 3 millions d'années. Elle est formée de deux volcans : le piton des Neiges (le plus âgé, en dormance) qui culmine à 3069 m d'altitude et le piton de la Fournaise (le plus récent, en activité) qui culmine à 2613 m. Le piton de la Fournaise est un volcan de point chaud parmi les plus actifs de la planète. La fréquence des éruptions effusives qui produisent des coulées de laves (une fois par an environ), modèle la topographie de l'île de forme conique.

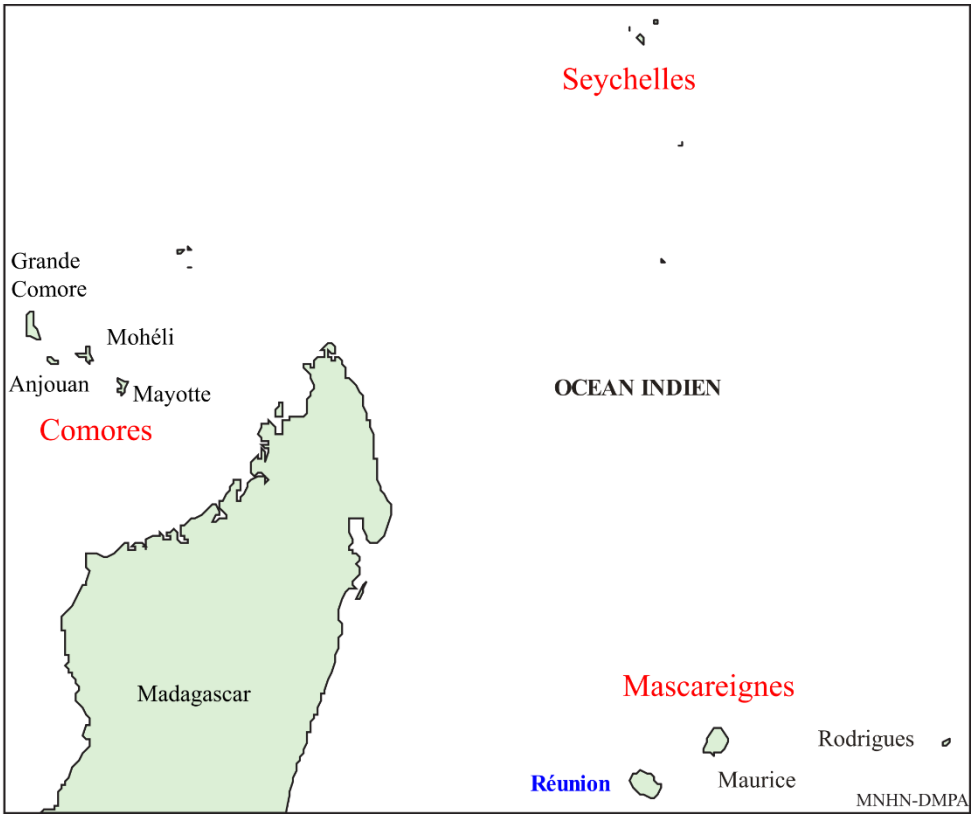


Figure 1. Localisation de La Réunion dans l'archipel des Mascareignes

Le climat de l'île est de type tropical et humide. Seulement deux saisons s'y distinguent, l'été austral et l'hiver austral, inversées dans l'hémisphère sud (austral signifie « qui se situe près du pôle Sud »). L'été austral est une saison chaude et humide qui s'étale de novembre à avril et l'hiver austral est une saison fraîche et sèche qui s'étend de mai à octobre. La saison de pluies est définie de janvier à mars et la saison sèche de mai à novembre. La saison cyclonique s'étend de novembre à avril, avec un pic d'intensité de janvier à mars. L'île est exposée aux alizés, un vent des régions intertropicales, soufflant d'est en ouest de façon régulière. Dans l'hémisphère sud, il souffle du sud-est vers le nord-ouest. Ce régime de vent est soumis aux perturbations tropicales et polaires, à certaines périodes de l'année (Robert 2001). Les hauts reliefs de l'île imposent une dichotomie entre la côte est (exposée, dite « au vent ») et la côte ouest (protégée, dite « sous le vent »). Les alizés qui viennent du sud-est sont bloqués par les montagnes. Il en résulte des précipitations plus abondantes sur la côte est (en moyenne 2-12 m/an), alors que la côte ouest est beaucoup plus sèche (1-2 m/an) (Soler 1997 ; Pfeiffer et al., 2004). On distingue ainsi deux régions climatiques définies par la hauteur des précipitations. La médiane de 2m/an délimite les deux régions (fig. 2). Bien que la répartition des précipitations sur l'île montre une grande variabilité spatio-temporelle, les dépressions tropicales et les cyclones associés aux précipitations affectent régulièrement l'ensemble de l'île, de janvier à mars (saison cyclonique). Le bilan précipitation-évaporation saisonnière (P-E) varie de - 50 à -100 mm/mois entre juin et octobre, à + 100 mm/mois entre janvier et mars (Oberhuber 1988).

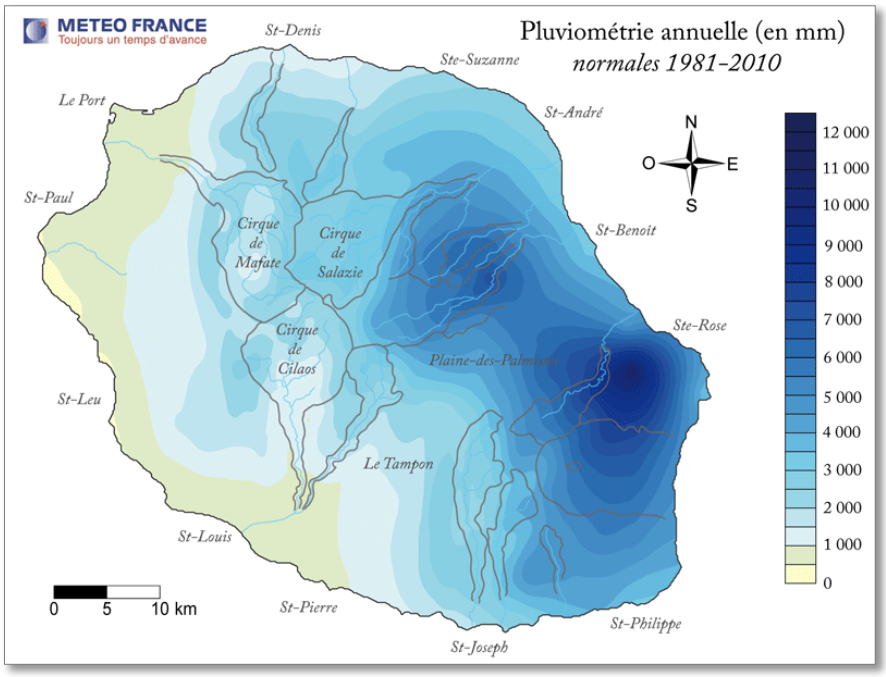


Figure 2. Carte de la pluviométrie annuelle en mm sur l'île de La Réunion. La médiane de 2000 mm/an délimite deux régions climatiques

En raison du relief pentu de l'île, les cours d'eau sont de type torrentiel. On recense 750 ravines et rivières, parmi lesquelles seulement 13 sont pérennes (fig. 3). Les pluies qui se forment en altitude, ont fortement érodé l'île pour former le réseau hydrographique dense de La Réunion et contrasté entre les versants ouest et est de l'île. Les régimes hydrographiques y sont très différents. A l'étiage, l'est bénéficie d'un apport d'eau régulier alimenté par des pluies d'alizés et irrégulièrement par les pluies des cyclones tropicaux, alors que sur la côte ouest, de nombreuses rivières s'assèchent temporairement pendant plusieurs mois. Ainsi, les rivières pérennes sont plus nombreuses à l'est. Il faut souligner que l'île de la Réunion détient plusieurs records mondiaux pour les précipitations. En conséquences et au vu du faciès de l'île, les débits de crues sont parmi les plus importants au monde (www.meteofrance.re).

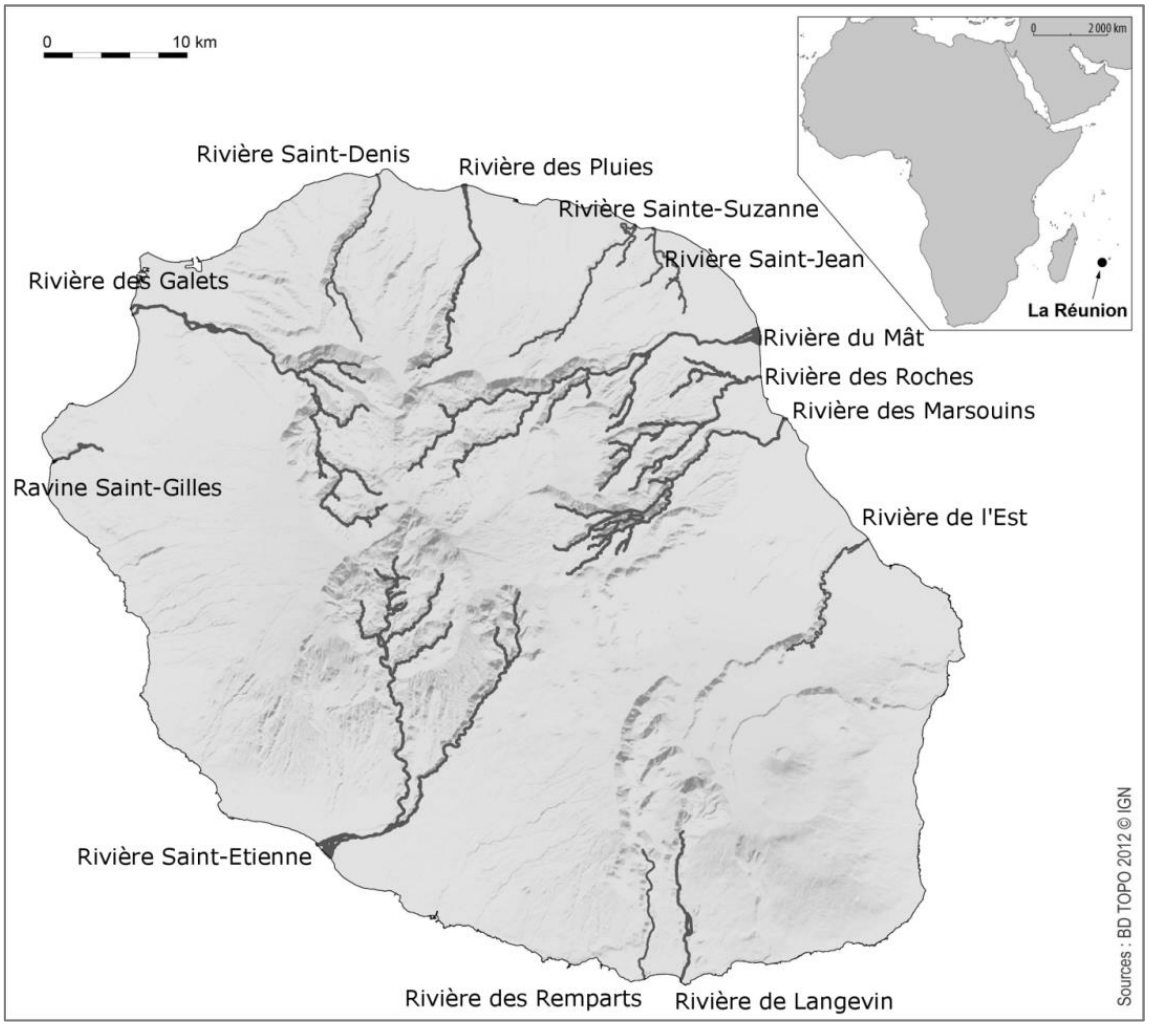


Figure 3. Localisation des rivières pérennes à La Réunion

II. Ecologie de *Sicyopterus lagocephalus* (Pallas, 1770)

Notre travail dans le volet écologie de cette thèse concerne l'espèce *Sicyopterus lagocephalus* (*Sicyopterus* qui signifie « à tête de lièvre »). Les populations adultes de cette espèce sont plus importantes en termes d'abondance sur l'île, ce qui influence directement l'intensité du recrutement, pour en faire l'espèce la plus pêchée au sein des « bichiques ».

S. lagocephalus (Pallas 1770) (Teleostei: Gobiidae: Sicydiinae) qui appartient à la sous-famille Sicydiinae, est une espèce au cycle de vie amphidrome (fig. 4). L'adulte est réophile, il vit en rivière dans des zones où le courant est fort à modéré (Keith et al., 2003). On le retrouve dans les eaux claires, oxygénées, agrippé sur les fonds de galets et de rochers, lorsqu'il ne nage pas. La différence de couleur entre le mâle et la femelle est marquée en saison de reproduction. Les mâles ont une couleur bleu-vert et la queue rouge tandis que les femelles sont de couleur plus terne. Leur corps est brun, strié de bandelettes (fig. 5). Les adultes mesurent entre 4,5 et 13 cm.

La reproduction a lieu essentiellement entre janvier et juin. Les individus peuvent se reproduire toute l'année, excepté en altitude, où la période de reproduction est limitée aux mois les plus chauds (Teichert et al., 2014). La femelle pond entre 5000 et 120 000 petits œufs (Delacroix et Champeau 1992), en moyenne 30 000 œufs (Teichert et al., 2013). Les femelles pondent leurs œufs sous la face inférieure des rochers dans une matrice cohésive (fig. 6). Le mâle protège la ponte qu'il a fertilisée (Keith 2003) et assure son oxygénation pour limiter les attaques bactériennes. Les œufs fécondés éclosent en 48 heures. Les embryons libres (c'est-à-dire les pro-larves) doivent dévaler la rivière et atteindre la mer en un maximum de 96 heures, sinon ils meurent (Ellien et al., 2016). À La Réunion, des études antérieures soulignent qu'en l'absence d'obstacles, compte tenu de la vitesse d'écoulement des rivières, les pro-larves atteignent la mer en moins de 24 h (Valade et al., 2009).

La phase larvaire marine dure entre 4 et 9 mois (Hoareau et al., 2007b). Après cette phase de dispersion, les post-larves retournent en rivière poursuivre leur cycle de vie. À La Réunion, la période de recrutement s'étale principalement de septembre à février, ce qui coïncide avec la saison chaude et humide (Delacroix et Champeau, 1992). Le débit des rivières en saison des pluies (janvier-mars) peut être 600 fois supérieur au plus faible débit en saison sèche (www.meteofrance.re). On suppose que cet apport d'eau douce est un signal qui oriente les post-larves compétentes vers les rivières (Keith 2003). Aussi, le recrutement larvaire est plus intense entre le dernier quartier de lune à la nouvelle lune (Delacroix et Champeau, 1992).

L'entrée en rivière correspond à la phase de recrutement larvaire au cours de laquelle, les post-larves vont se métamorphoser en juvéniles (fig. 7) (Shen et Tzeng, 2002; Keith 2003). Cette

métamorphose se fait sous le contrôle des hormones thyroïdiennes. Elle se caractérise chez les Sicydiinae, par la formation d'une ventouse puissante qui résulte de la fusion des nageoires pelviennes (Taillebois et al., 2011) (fig. 8). Cette ventouse leur permet de remonter les cours d'eau et de franchir des cascades abruptes (Keith 2003). La pigmentation et les écailles apparaissent progressivement. La nageoire caudale, fourchue dans l'océan, s'arrondit en rivière. La bouche en position terminale chez les larves planctonotrophiques migre en position sub-inférieure chez le juvénile, qui adopte dans la rivière, un régime herbivore benthique (Keith et al., 2008, Taillebois et al., 2011). Avec leur dentition, ils broutent le périphyton (mélange d'algues, de cyanobactéries, de champignons, de microbes hétérotrophes et de détritus). Ils utilisent aussi leur bouche pour évoluer sur le substrat et remonter les chutes d'eau, en complément de leur ventouse.

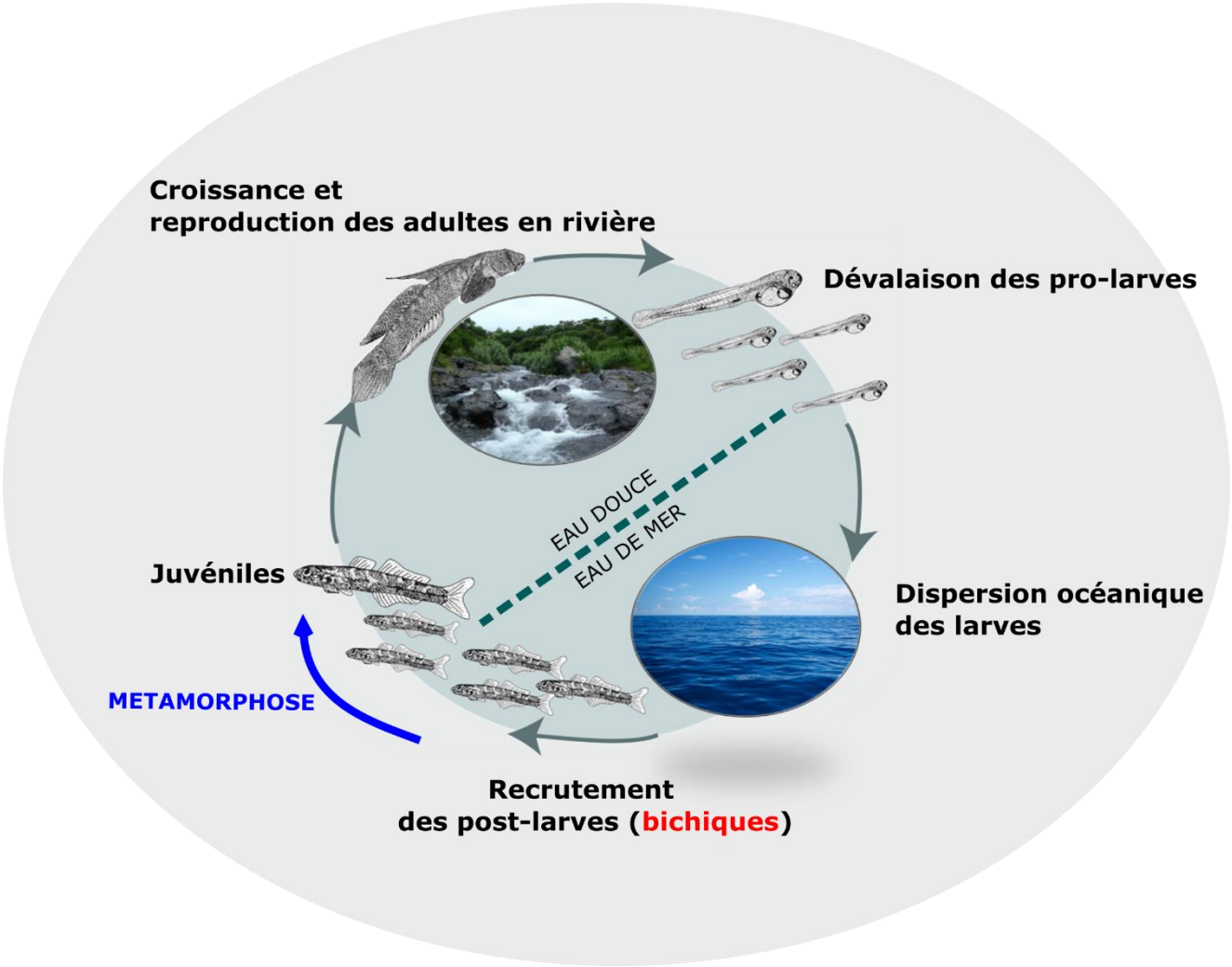


Figure 4. Le cycle de vie amphidrome de *S.lagocephalus* (modifié d'après Lord, 2009)

Figure 5. Une femelle (à gauche) et un mâle de *S. lagocephalus*, © M. Masson

Figure 6. Ponte de *S. lagocephalus* collée sous un rocher, © E. Becheler

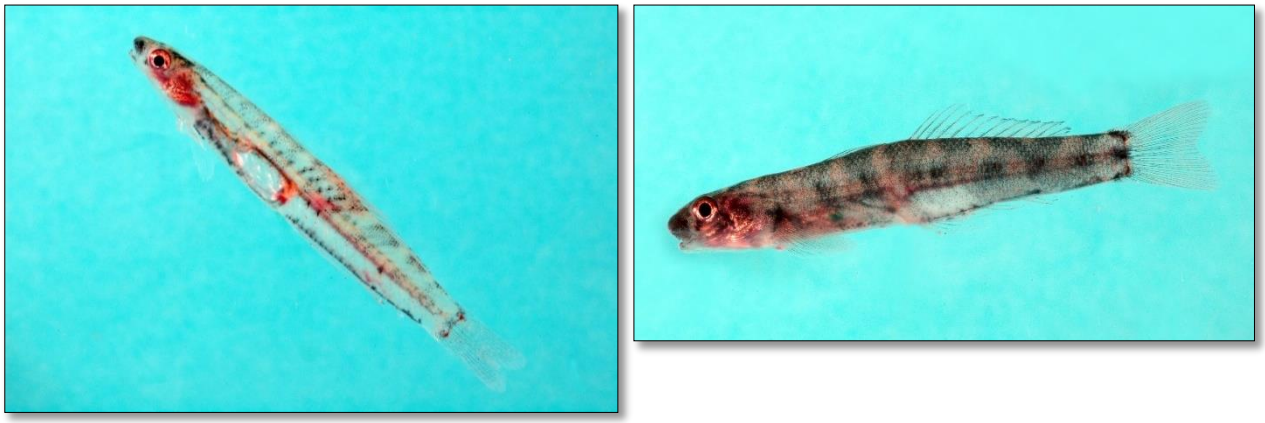


Figure 7. Post-larve (à gauche) et juvénile (à droite) de *S. lagocephalus*, © P. Keith

Figure 8. Ventouse d'une post-larve de *S. lagocephalus*
(Spécimen conservé dans l'alcool, vue ventrale), © C. Thomas

III. La pêche des bichiques, une activité de saison

La pêche se pratique traditionnellement dans les embouchures des rivières, où l'on capture avec des nasses les post-larves des gobies en phase de recrutement, et ce jusqu'à 600 m en amont des embouchures. Les pêcheurs capturent également les post-larves en mer, avec un filet moustiquaire à proximité des côtes. Bien que le recrutement des bichiques soit continu à l'année, l'activité de pêche se déroule principalement d'octobre à février durant l'été austral, lorsqu'il est de plus forte intensité. Les périodes de recrutement de l'espèce *C. acutipinnis*, se chevauche avec celle de *S. lagocephalus*. Le recrutement de C. *acutipinnis* est plus intense entre février et juin et entre septembre et octobre (Teichert et al., 2012). Ainsi, la pêche en saison estivale prélève essentiellement l'espèce *S. lagocephalus,* sur laquelle se concentre notre premier chapitre en écologie. Le second chapitre sur l'importance économique et sociale de la pêche, ainsi que le troisième sur la modélisation du socio-écosystème, concernent les deux espèces qui constituent ensemble, la ressource en « bichique » autour de laquelle gravitent de nombreux enjeux.

Cette thèse repose sur un travail de terrain important de 10 mois, au cours duquel nous avons collecté des échantillons de post-larves dans 7 rivières pérennes et réalisé une enquête anthropologique auprès des pêcheurs et divers acteurs publics. En écologie, nous avons fait appel à la technique de l'otolithométrie, pour mesurer les traits d'histoire de vie des post-larves collectées et nous avons réalisé diverses analyses statistiques univariées et multivariées pour étudier la variabilité spatio-temporelle de ces traits autour de l'île. En sciences humaines et sociales, nous avons réalisé une analyse de contenu sur les entretiens semi-directifs, préalablement retranscrits. Nous détaillons ces méthodes dans les deux premiers chapitres correspondant aux deux volets d'étude (Ecologie/Sciences humaines). Le troisième chapitre ayant pour vocation de lier ces deux parties dans une démarche interdisciplinaire.

CHAPITRE 1.

Variabilité spatio-temporelle des traits d'histoire de vie des post-larves de *Sicyopterus lagocephalus* au recrutement

I. Introduction

Les poissons marins traversent plusieurs périodes critiques durant leur cycle de vie (Hjort 1914), de leur naissance à leur recrutement, qui est défini par les écologues comme l'arrivée de nouveaux individus dans une population adulte (Sale 1980 ; Shapiro 1987 ; Vigliola et Harmelin-Vivien, 2001). La variabilité du recrutement, chez la plupart des stocks de poissons marins, a été démontrée comme importante dans l'espace et le temps et constitue une question centrale compte tenu de son influence potentielle sur la démographie des populations adultes (Hjort 1914 ; Hughes 1990 ; Doherty et Fowler, 1994 ; McDowall 2007 ; Houde 2008). En effet, l'abondance des communautés de poissons n'est pas uniquement déterminée par le nombre d'œufs produits initialement. La variabilité de l'approvisionnement des larves sur les zones de recrutement est en partie liée aux processus environnementaux et écologiques qui agissent à plusieurs échelles temporelles et spatiales et tout au long de l'histoire de vie des poissons avant leur recrutement (Houde 2008 ; Santos et al., 2011 ; Smart et al., 2012 ; Stige et al., 2013). Le cycle de vie de la plupart des organismes marins démersaux est divisé en une phase larvaire pélagique et une phase adulte benthique, où seulement un faible pourcentage d'individus éclos (0.001 % à 10 %) survivront jusqu'à la fin de la phase larvaire (Bailey et Houde, 1989). Ce qui signifie qu'à production d'œufs équivalente, l'intensité du recrutement dépend du taux de survie au terme de la phase larvaire. Ainsi, la production larvaire mais aussi la condition des larves, leur comportement et la prédation qu'elles subissent, couplés aux conditions environnementales et aux processus océanographiques que rencontrent les larves durant leur phase de dispersion océanique, sont des sources majeures de variation du recrutement (Allen et Cover, 2006).

Pour de nombreux organismes marins démersaux, il a été démontré que la mortalité était sélective au stade larvaire et juvénile, ce qui indique que certains traits de vie sont favorables à la survie des individus et à leur performance aux stades suivants (Darwin et Beer, 1951 ; Sponaugle et Pinkard, 2004). La variabilité du recrutement larvaire et son succès s'appréhendent donc à travers l'étude des abondances post-larvaires mais aussi à travers l'étude de la variabilité des traits d'histoire de vie des post-larves au recrutement (la durée de phase larvaire, la taille, le poids, la condition ou la croissance larvaire) qui nous renseignent sur les conditions environnementales que les larves ont rencontrées et sur l'état de santé des individus en fin de phase larvaire. A travers l'étude de la variation des traits de vie des post-larves au recrutement, on peut définir la plasticité phénotypique d'une espèce qui correspond à la capacité d'un génotype d'exprimer différents phénotypes dans différents environnements (Bradshaw 1965), décrire l'histoire de vie d'un individu depuis sa naissance (par exemple dater des évènements marquants dans la vie de l'individu : naissance,

métamorphose), décrire la gamme des conditions environnementales qu'il a rencontré (température, salinité, disponibilité en nourriture) et décrire sa condition (rapport taille/poids) en fin de phase larvaire. Et la condition d'un individu détermine en partie son succès à recruter dans la population adulte et à accomplir son cycle de vie. Comme le soulignent Munro et Williams (1985) ainsi que Lecchini et Galzin (2003), il est impératif de distinguer l'influence de l'environnement régional (qui concerne la larve dans l'océan) de l'influence de l'environnement local (qui concerne la post-larve au recrutement), sur la variabilité des traits de vie observée sur des post-larves au recrutement, c'est à dire de distinguer l'influence des facteurs pélagiques (température de l'océan, disponibilité en proie, prédation, courants océaniques dispersif ou tourbillonnaire) de celle des facteurs benthiques (prédation accrue, disponibilité en proies, courants côtiers, signaux chimiques d'attraction des lieux d'installations, etc.) sur la variabilité spatio-temporelle du recrutement.

À La Réunion, le gobie amphidrome *Sicyopterus lagocephalus* contribue fortement à la diversité faunique des rivières. Il est la cible, au stade post-larvaire dit « bichique », d'une pêcherie traditionnelle à l'effort de pêche intense. Son cycle de vie amphidrome, nécessitant des transitions entre l'eau douce et l'eau de mer, lui confère un avantage dans les habitats d'eau douce, très fragmentés par l'isolement géographique ainsi que par les perturbations naturelles (par ex : sècheresse, crues) et anthropiques (par ex : obstacles à la continuité écologique en rivière, pêche traditionnelle aux embouchures des rivières). Les extinctions saisonnières potentielles des populations sont ainsi compensées par des évènements de recolonisation des larves (McDowall 2007). Ceci est possible car le stade larvaire en milieu marin est délocalisé par rapport aux stades juvéniles et adultes en eau douce. De plus, les larves marines peuvent disperser sur de grandes distances, et assurent la connectivité des populations (Cowen et Sponaugle, 2009) entre les rivières et les îles éloignées (Keith 2003). L'inconvénient d'une longue phase de dispersion marine réside dans le risque accru de mortalité cumulée, par la famine, la prédation pélagique et l'imprévisibilité des conditions environnementales (Murphy et Cowan, 2007).

À La Réunion, des signes « apparents » de déclin du recrutement des gobies amphidromes en rivière sont une préoccupation majeure, en raison de leur grande valeur économique et patrimoniale, en plus de leur importance écologique. En effet, bien que largement distribuée dans l'Indo-Pacifique, l'espèce *Sicyopetrus lagocephalus* formerait une population isolée dans le sud-ouest de l'océan Indien (Lord et al., 2012). Quant à la deuxième espèce appartenant aux bichiques, *Cotylopus acutipinnis*, elle est endémique des Mascareignes, présente uniquement à La Réunion et à Maurice (Keith 2003). L'acquisition de connaissance sur la biologie et l'écologie de ces espèces pourrait ainsi contribuer à l'élaboration de nouvelles mesures de gestion et de conservation appropriées, en plus d'enrichir nos connaissances fondamentales sur ces organismes au cycle de vie

complexe. L'étude des traits d'histoire de vie des post-larves au recrutement représente une source d'informations pour comprendre l'histoire de vie précoce de ces espèces et les patrons spatiaux et temporels de leur recrutement. Dans ce chapitre, nous étudions la variabilité spatio-temporelle du recrutement de *S. lagocephalus* sur l'île de La Réunion, entre octobre 2014 et février 2016, à travers la comparaison des traits de vie des post-larves au recrutement entre différents rivières de l'île. Les traits de vie étudiés sont la durée de phase larvaire, la longueur standard, la masse corporelle et l'indice de condition.

Les objectifs sont :

1. de caractériser la distribution spatiale des traits de vie post-larvaires, à l'échelle de l'île de La Réunion, pour détecter l'influence de l'environnement local (géographie, débit des rivières) sur la variabilité des traits et ainsi identifier les secteurs les plus favorables au recrutement.
2. de caractériser la distribution temporelle des traits de vie post-larvaires, à l'échelle d'une année et entre deux années, pour détecter l'influence de l'environnement régional (océanique), et tenter également de détecter l'impact supposé de l'évènement climatique El Niño 2015.

II. Stratégie d'échantillonnage et méthode

1. Echantillonnage

1.1 La collecte d'échantillons

Les échantillons de post-larves ont été collectés auprès des pêcheurs de bichiques dans les embouchures des rivières de La Réunion. Il n'était pas envisageable de collecter des individus en amont des installations de pêche, car les post-larves se métamorphosent en juvéniles après 10 jours de résidence en rivière (Taillebois et al., 2011). Les installations des pêcheurs sont situées en aval de la rivière, à proximité de l'océan, dans les premiers 100 m à partir de l'embouchure. Certaines installations de pêche sont situées plus en amont de la rivière. Ainsi, nos échantillons ont été collectés dans la portion la plus avale de l'embouchure, excepté sur la rivière des Marsouins où nous avons été contraints de collecter nos échantillons auprès de pêcheurs positionnés à 600 m de l'embouchure. Nous avons également collecté un échantillon avec l'aide de l'ARDA qui réalisait une pêche électrique sur la rivière St Etienne, le 12/11/2015, à 150 m de l'embouchure. Le succès de notre échantillonnage repose sur la coopération des pêcheurs et sur un effort de suivi conséquent, réalisé à deux (aidée par une technicienne sur le terrain) pour appréhender la variabilité spatio-temporelle du recrutement larvaire sur l'île. Les échantillons nous ont été offerts, excepté une seule fois où nous avons dû acheter le kilo de post-larves.

1. 2 Les sites et périodes d'échantillonnage

Initialement, nous avons prospecté un maximum de rivières pérennes autour de l'île (soient 13 rivières), pour évaluer notre succès de collecte par secteur, qui dépendait de la présence de pêcheurs, de leurs succès de capture et de leur volonté de coopération. Finalement, nous avons concentré l'effort d'échantillonnage sur 7 rivières pérennes, en gardant un plan d'échantillonnage équilibré, représentatif des différents secteurs de l'île (fig. 1). Ainsi, quatre rivières échantillonnées dont trois à l'est (Mât, Roches, Marsouins) et une dans le Nord (Pluies), se situent sur la côte dite « au vent », et trois rivières dont deux à l'ouest (St Etienne et Galets) et une dans le sud (Langevin), se situent sur la côte dite « sous le vent ».

Nous avons effectué un suivi du recrutement d'octobre 2014 à février 2016. De mars (mois au cours duquel la pêche est interdite) à août 2015, nous avons réduit l'effort d'échantillonnage à deux rivières (Langevin et Mât), car l'activité de pêche est réduite en saison hivernale. L'effort de suivi était d'une dizaine de jours par mois, et se synchronisait à l'activité de pêche qui se pratique principalement entre le dernier quart de lune et la nouvelle lune (Delacroix et Champeau, 1992), de 9 à 12 jours par mois.

2. Traitement des échantillons

Chaque échantillon recueilli dans une rivière donnée à une date donnée comptait environ 200 individus, prélevés au hasard dans la nasse du pêcheur. Ainsi, entre octobre 2014 et février 2016, 28 échantillons ont été collectés, soit environ 5600 post-larves. Après leur capture, les post-larves ont été conservées dans une glacière et ultérieurement fixées dans 250 ml d'éthanol à 90 %. Pour réaliser les analyses, nous avons sélectionné au hasard 50 post-larves par échantillon. Nous avons mesuré la taille, le poids et l'âge des post-larves au recrutement sur l'ensemble des échantillons soit sur 1400 post-larves pour 28 échantillons.

2.1 Etude de la taille et du poids

La longueur standard (LS) et la longueur totale (LT) de chaque post-larve ont été mesurées au dixième de millimètre, en utilisant un étrier numérique Mitutoyo. La LS correspond à la distance entre le museau et la base de la nageoire caudale (fig. 2). Nous avons choisi de conserver cette unique mesure dans notre étude car la nageoire caudale était quelquefois endommagée.

La masse corporelle des post-larves (POIDS) a été mesurée avec une balance de précision au dixième de gramme (Balance Precisa 410), juste avant l'extraction des otolithes. Selon une étude réalisée par Smith et Walker (2003) sur des larves et des juvéniles de carpe (*Cyprinus carpio L.),* la préservation des organismes dans l'éthanol conduit à un rétrécissement des tissus biologiques, particulièrement visible sur le poids. Ce rétrécissement s'achève après quelques jours de conservation. Dans notre étude, les post-larves de *S. lagocephalus* ont des caractéristiques similaires de longueur standard et de masse corporelle que celles mesurées sur les larves de *C. carpio*. Ainsi, nous supposons qu'au moment de nos mesures, toutes les post-larves de *S. lagocephalus* avaient atteint le même niveau maximal de déshydratation dans l'éthanol. Par conséquent, il est possible de comparer le POIDS de nos individus entre différents échantillons. Smith et Walker (2003) ont montré que dans le même contexte, la perte de longueur était négligeable.

La condition des post-larves a été calculée à partir des mesures de POIDS transformées en milligrammes (mg) et de LS. Il s'agit de l'indice de condition de Fulton (K) (Heincke 1908) qui exprime la relation entre la masse d'un poisson et sa longueur. Ce facteur décrit la condition ou l'état de santé d'un individu (Nash et al. 2006). Il se calcule ainsi : $K = (POIDS / LS^3)*100$.

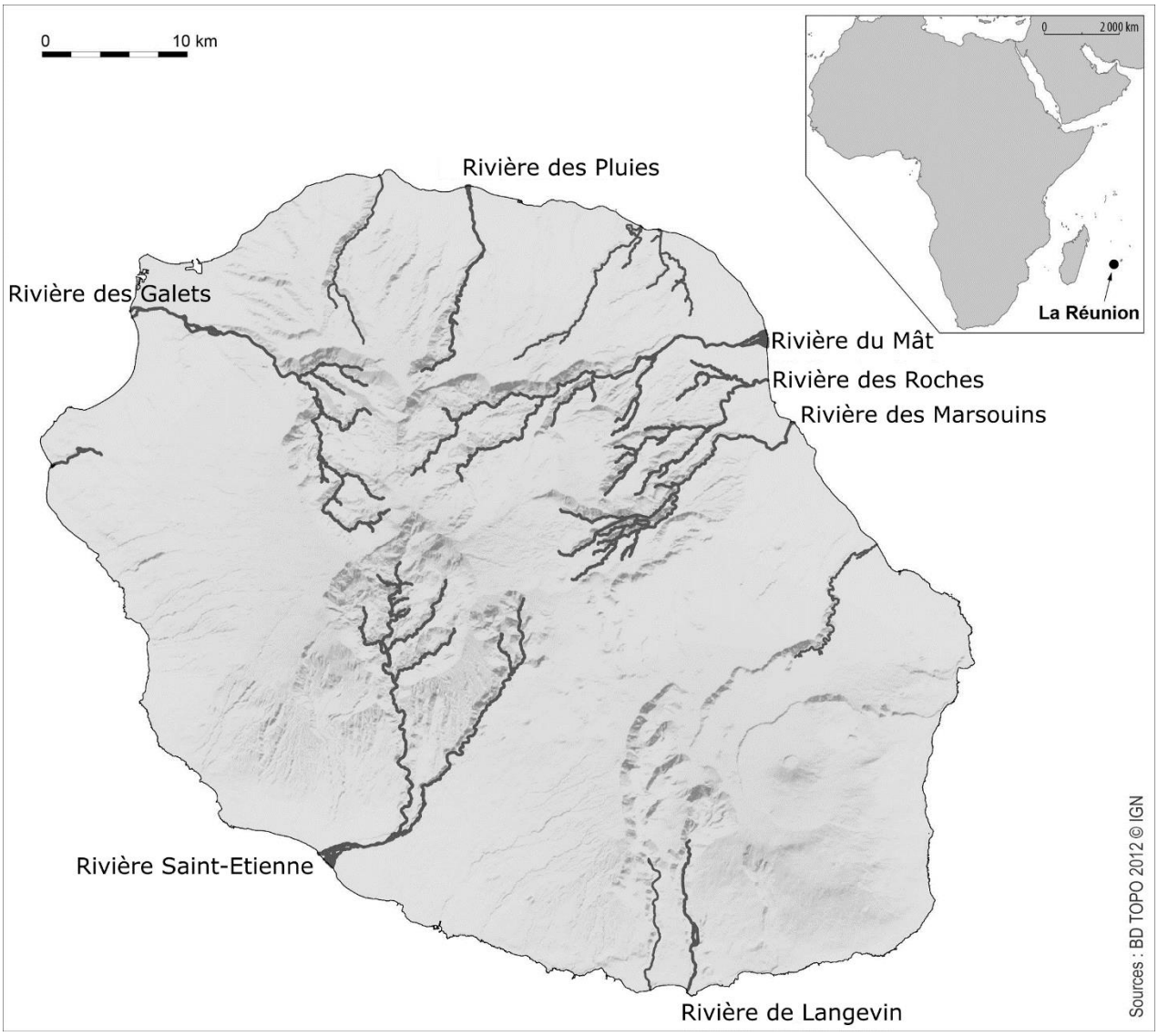


Figure 1. Localisation des 7 rivières échantillonnées à La Réunion entre octobre 2014 et février 2016

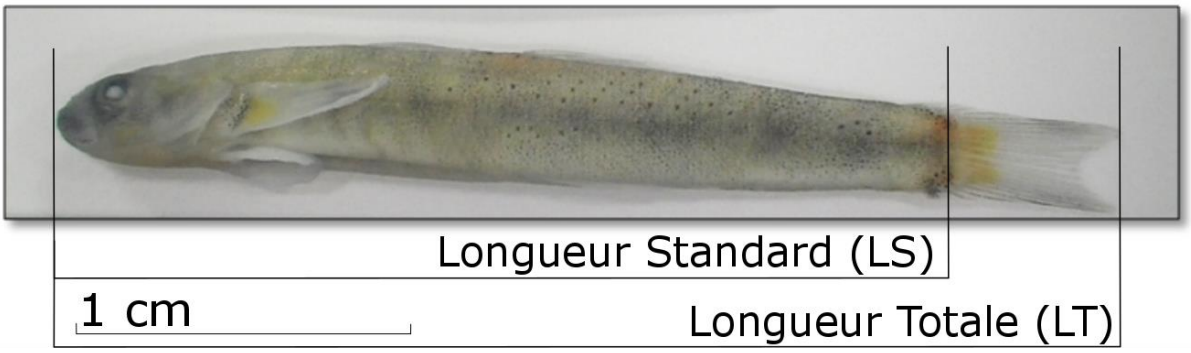


Figure 2. Mesures de la longueur standard (LS) et de la longueur totale (LT) sur une post-larve de *S. lagocephalus*

2.2 Etude de l'âge

2.2.1 L'otolithe, la boîte noire des téléostéens

La sclérochronologie (du grec ; *sklêros* : dur ; *khronos* : temps ; *logos* : étude) est l'étude des pièces calcifiées des êtres vivants (coquillages, coraux, poissons, etc.). Cette science vise à reconstruire l'histoire de vie d'un individu via l'observation et l'analyse des pièces calcifiées. Ces éléments enregistrent les événements marquant de l'histoire de vie de l'organisme au sein même de leur structure et permettent d'estimer l'âge, la période et la durée d'évènements marquants dans la vie de l'individu. Les principales pièces calcifiées étudiées chez les poissons téléostéens sont les écailles (scalimétrie), les otolithes (otolitométrie), les vertèbres et les rayons de nageoires (squelettochronologie) (Baglinière et al., 1992 ; Panfili et al., 2002). Comparé aux autres pièces calcifiées, les otolithes sont des structures métaboliquement inertes, peu sensibles aux processus de résorption (Simkiss, 1974), intervenant lors de profonds stress physiologiques tels que les migrations ou les reproductions.

L'otolithométrie (étude des otolithes) s'est développée à partir des travaux de Reibisch (1889) et s'emploie aujourd'hui dans des disciplines variées : paléontologie, ethnoarchéologie, biologie, dynamique des populations, halieutique et aquaculture (Panfili et Troadec, 1993). De nombreux champs d'investigation se sont ouverts depuis la découverte de Pannella (1971) sur les accroissements journaliers[4]. A l'origine utilisés pour déterminer des cycles annuels et saisonniers de croissance, les otolithes permettent désormais de déterminer l'âge en jours. On a ensuite découvert qu'ils renfermaient des éléments chimiques caractéristiques de l'environnement dans lequel ils étaient bio-minéralisés. Et chez les poissons diadromes, l'analyse de ces composants permet de décrire leurs migrations et de valider la spécificité de leur cycle de vie : anadrome, catadrome ou amphidrome.

a. Fonction et position anatomique

Les otolithes (du grec » oto » : l'oreille et « lithos » : la pierre) sont des concrétions de carbonate de calcium ($CaCO_3$) présentes dans l'oreille interne des vertébrés dont les poissons téléostéens. Il existe trois paires d'otolithes (Sagitta, Astericus, Lapillus) qui se répartissent symétriquement de part et d'autre de l'encéphale. La Sagitta est la plus grosse des trois paires. Chez les vertébrés non mammaliens, des canaux semi-circulaires dans l'oreille interne sont terminés par un organe dit otolithique où se logent les otolithes : respectivement, le saccule, l'utricule et la lagena (fig. 3). Chaque organe otolithique possède un épithélium sensoriel appelé « macula ». Une matrice extracellulaire met en contact la macula avec l'otolithe. De par sa plus forte densité,

[4] Accroissement journalier : marque de croissance formée sur une période de 24h.

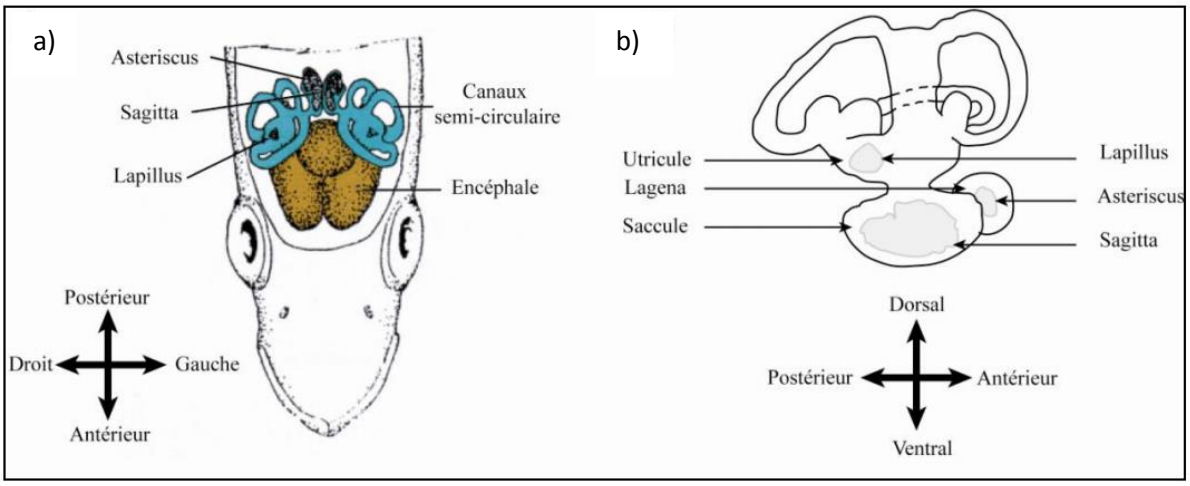


Figure 3. a) Position des otolithes dans l'oreille interne des poissons téléostéens. b) Position des otolithes dans les organes otolithiques. Schéma **modifié d'après Secor et al. (1992)**

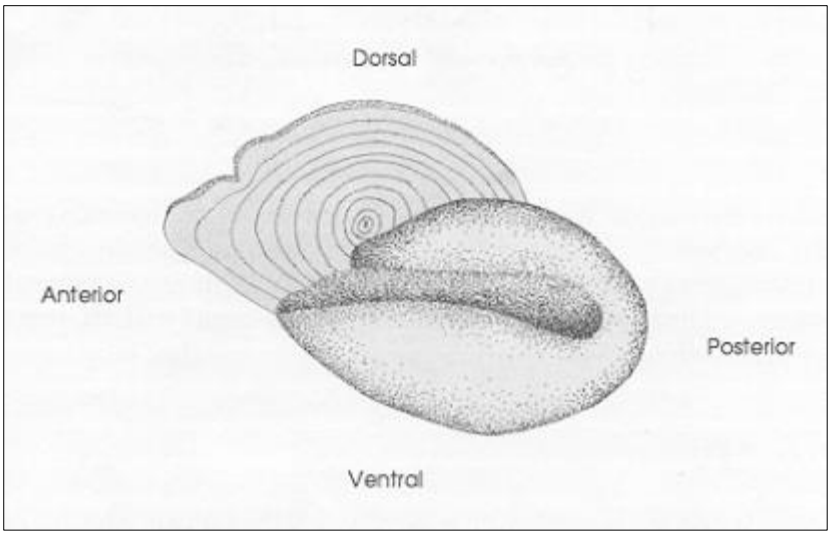


Figure 4. Coupe sagittale d'un otolithe. D'après Secor et al. (1992).

l'otolithe ne bouge pas à la même vitesse que le reste du corps ce qui génère un influx nerveux. Ces concrétions interviennent dans la réception de signaux acoustiques et dans l'équilibration de l'organisme et sont sensibles à la pesanteur, à l'accélération ou au ralentissement de l'individu (Baglinière et al., 1992 ; Lecomte-Finiger 1999).

Les otolithes présentent une face externe convexe et une face interne concave (Lecomte-Finiger 1999) et les différents plans de coupe d'une sagitta (la plus grande des trois paires couramment utilisée) sont la coupe frontale, transversale et sagittale. L'étude des otolithes d'adultes se fait par coupe transversale mais pour des post-larves, nous étudions le plan sagittal (fig. 4).

b. Composition et croissance

Les otolithes, formés durant l'embryogénèse, sont présents dès l'éclosion des larves. Le $CaCO_3$ est fixé sur une matrice protéique composée d'otoline. Il s'agit du nucléus à partir duquel la croissance s'opère par accumulations de couches concentriques de carbonate de calcium et de protéines (Degens et al., 1969). On distingue à forts grossissements, l'alternance des couches déposées tout au long de la vie des poissons. Les zones riches en minéral (Zones L) sont claires tandis que les zones riches en protéines (Zones D) sont sombres (Kalish et al., 1995). L'épaisseur des couches varie et dépend de la vitesse de développement. L'épaisseur des zones claires riches en minéral est limitée par la concentration plasmatique en calcium (Panfili et al., 1993). Chez les espèces amphidromes, le passage de la vie marine à la vie en eau douce, est marqué sur l'otolithe par un resserrement des stries. Le dénombrement des stries entre le nucléus et cette marque de recrutement permet d'estimer la Durée de la Phase Larvaire marine (DPL) (fig. 5).

2.2.2 Procédure d'analyse des otolithes pour estimer l'âge des post-larves

a. Extraction des otolithes

La Sagitta est la plus grande des paires d'otolithes, utilisée pour déterminer l'âge du poisson. Les Sagitta droits et gauches ont été extraits de la tête des poissons, sous loupe binoculaire (fig. 6), ce qui représente 2800 otolithes extraits. Chaque otolithe a été nettoyé avec de l'eau distillée puis conservé dans un tube eppendorff. Sachant que le nombre d'incréments est identique au sein de la paire, seul l'otolithe droit a été analysé. Au total, 1050 otolithes ont été analysés car tous les otolithes extraits (1400 otolithes droits parmi les 2800 otolithes totaux) n'ont pas pu être analysés par manque de temps et malgré l'aide de trois stagiaires. Ainsi, nous avons analysé la LS et le POIDS des post-larves pour les 28 échantillons (où chaque échantillon est caractérisé par une date et un site) et nous avons analysé l'âge des post-larves pour 21 échantillons.

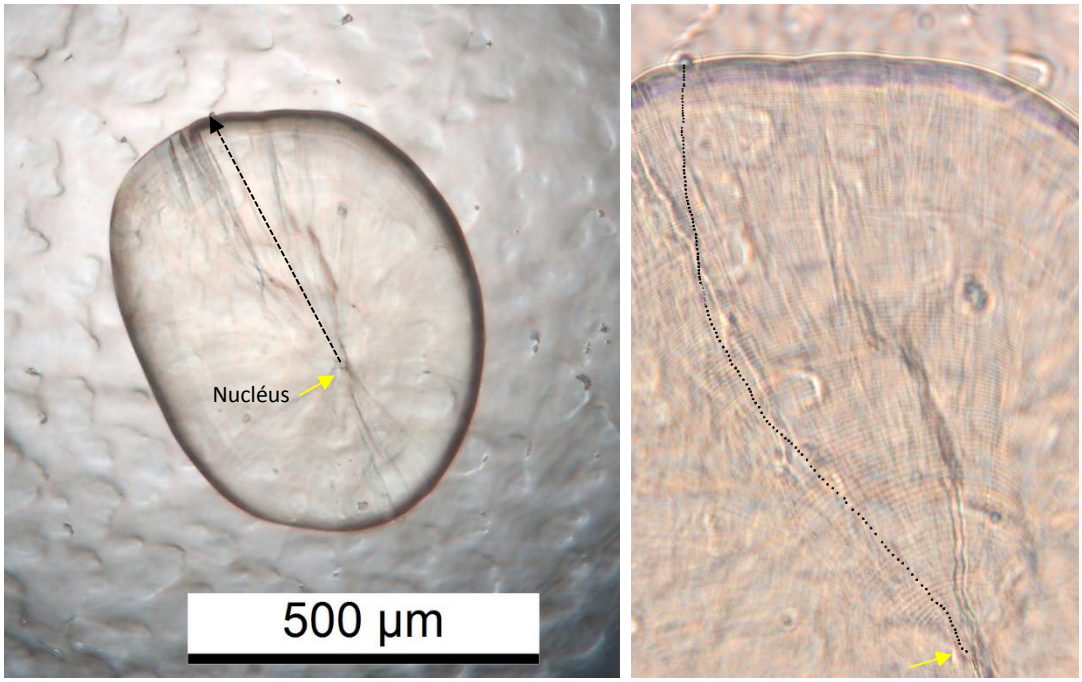


Figure 5. Otolithe d'une post-larve de *Sicyopterus lagocephalus*. Dénombrement des stries du nucléus au bord de l'otolithe. Marque de recrutement partiellement visible sur une post-larve en cours de métamorphose (Resserrement des stries au bord de l'otolithe).

Figure 6. Extraction de l'otolithe droit (sagittae), logé dans l'encéphale de la post-larve de *Sicyopterus lagocephalus*

b. Inclusion et ponçage

Les otolithes posés sur leur face concave, ont été inclus individuellement dans une résine époxyde (Araldite 2020A, Escil, Chassieu, France) (fig. 7a). Les otolithes des post-larves sont transparents et ne requièrent aucune coupe. Après 48h, la résine séchée qui forme une demi-sphère autour de l'otolithe est fixée sur des lames minces, avec une colle thermoplastique (Cristal-Bond 509) (fig. 7b). Les préparations sont ensuite polies à l'aide d'une ponceuse MetaServ 3000 (Buehler), munie de disques abrasifs de granulométrie décroissante (800, 1200, 2400). Ce travail peut se faire manuellement pour ajuster la force du ponçage. En finition, on utilise un disque de feutre et une poudre d'alumine de 0,3 µm. L'état d'avancement du ponçage est vérifié au microscope Olympus BX51 jusqu'à obtenir une préparation où l'intégralité des stries est visible (fig. 7c).

c. Lecture de l'âge (Durée de Phase Larvaire chez la post-larve, DPL)

Les préparations sur lames minces sont ensuite photographiées avec une caméra (Olympus DP21) connectée à un microscope (fig. 7d). Au moins deux photographies, à différentes longueurs focales, sont nécessaires pour visualiser les stries du nucléus jusqu'au bord, en raison de la taille de l'otolithe et de sa forme concave. Le nombre d'incréments, du nucléus jusqu'au bord, sont dénombrés avec l'aide du logiciel GIMP 2.8.4, lequel permet manuellement de marquer un point sur chaque strie sombre ou claire (au choix) (fig. 7e). Chez *S. lagocephalus*, les incréments sont déposés quotidiennement à partir du nucléus. Ce dépôt journalier a été observé sur les otolithes de jeunes recrues, avec un marqueur chimique de type fluorochrome (Hoareau et al., 2007b). Sachant que le nucléus apparaît à l'éclosion (Hoareau et al., 2007b) et qu'à La Réunion, la pro-larve dévale dans les 24h maximum la rivière pour arriver en mer (Valade et al., 2009 ; Ellien et al., 2016), le nombre d'incréments comptés sur les otolithes des post-larves capturées en phase de recrutement indiquent la Durée de Phase Larvaire des individus (DPL).

Deux lectures sont effectuées indépendamment par deux compteurs afin d'éviter les erreurs et de déterminer avec le plus de précision la durée de phase larvaire. Il s'agit de vérifier que les PLD estimées par les deux lecteurs ne sont pas statistiquement différentes en moyennes. Par rétro-calculs sur la date du recrutement, on estime la date d'éclosion des larves.

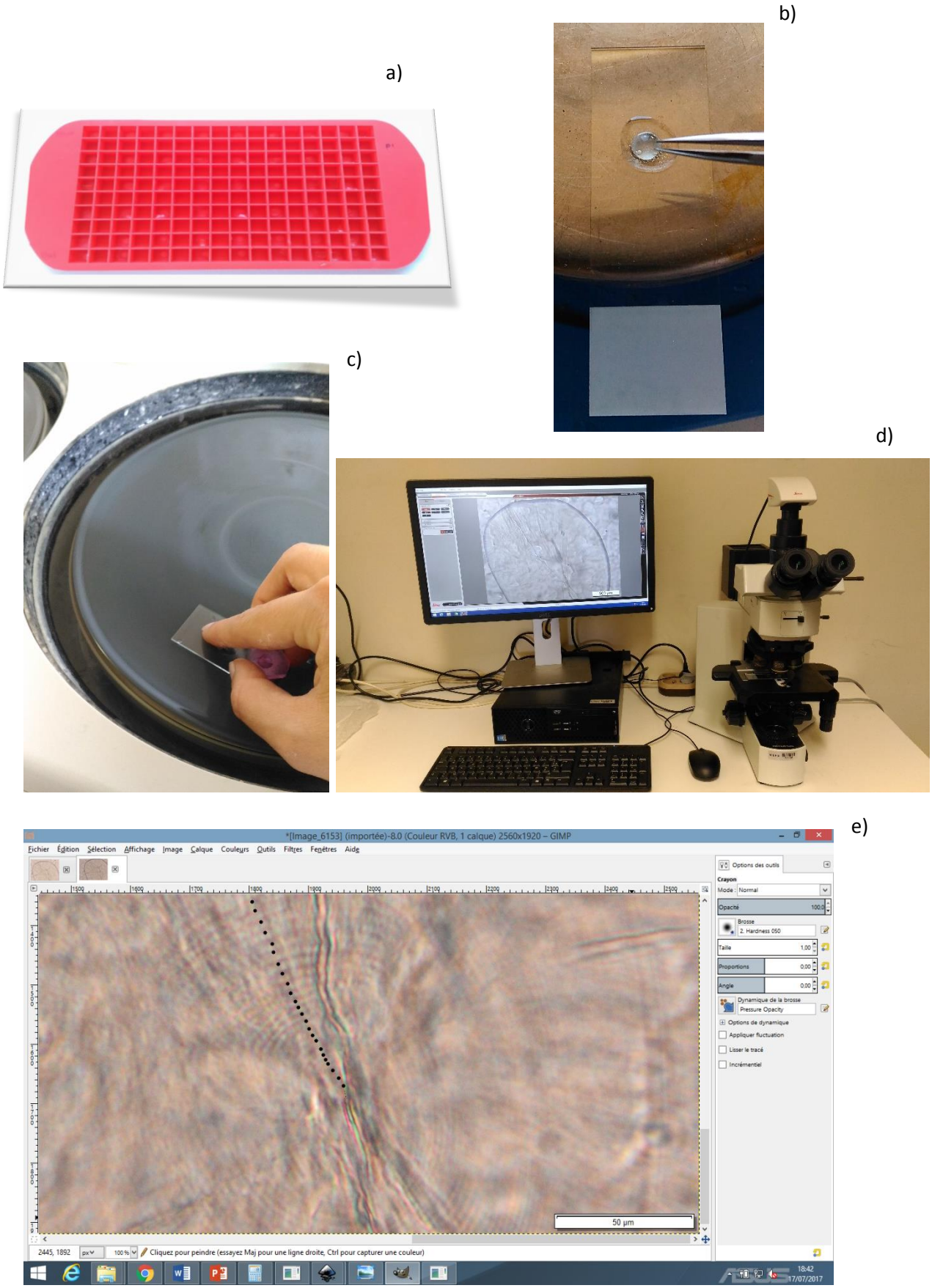


Figure 7. a) Inclusion des otolithes dans une résine b) Fixation des otolithes inclus dans la résine sur lame mince c) Ponçage des lames d) Photographies au microscope e) Comptage des stries sur photo avec le logiciel Gimp

3. Structure du jeu de données

Le jeu de données (tableau 1) est issu des 28 échantillons. Chaque échantillon est caractérisé par une date et un site. L'échantillon est identifié par un acronyme qui intègre les deux informations. Le jeu de données compte 1360 individus après le nettoyage des données pour les mesures de LS et de POIDS (1400 individus à l'origine mais retrait d'individus aux valeurs extrêmes (des individus du genre Cotylopus identifiés ultérieurement) et un échantillon où nous ne disposions que de 30 post-larves au lieu de 50).

Les **variables explicatives** qualitatives sont le facteur **SITE** (7 sites), le facteur **ANNEE** (3 années), le facteur **MOIS** (12 mois) et la **DATE**. La variable explicative quantitative est le **DEBIT** moyen par jour des rivières en L/s. Les valeurs de débits sont issues de la banque de données gratuite de l'Office de l'eau de La Réunion[5]. Les données de débit pour le site de la rivière des Galets ne sont pas renseignées ainsi que pour la rivière du Mât à la date du 8 novembre 2015.

Les **4 variables à expliquer** (variables dépendantes) sont les traits de vies des post-larves soit le **POIDS** (le poids en grammes), la **LS** (la longueur standard ou taille en mm), **DPL** (la durée de phase larvaire ou âge en jours) et la **CONDITION** (indice).

[5] http://www.reunion.eaufrance.fr/banquededonnees/bdd/

Tableau 1. Structure du jeu de données. Un échantillon est caractérisé par une date et un site et identifié par un acronyme qui résume ces informations. La lettre (N) représente le nombre d'individus et l'abréviation (NA) indique qu'il n'y a pas de données pour la variable considérée : le POIDS (en g), la longueur standard LS (en mm), la durée de phase larvaire DPL (en jours) ou le débit moyen par jour d'une rivière (en L/s). Le débit est moyenné sur 15 jours précédant la date d'échantillonnage

SITE	ANNEE	MOIS	DATE	ACRONYME	POIDS	LS	DPL	DEBIT
MAT	2014	déc-14	27/12/2014	MA271214	N=50	N=50	N=37	2371.3
MAT	2015	janv-15	05/01/2015	MA50115	N=49	N=49	N=44	2804
MAT	2015	janv-15	17/01/2015	MA170115	N=50	N=50	N=41	6899.3
LANGEVIN	2015	janv-15	19/01/2015	LA190115	N=50	N=50	N=45	1416.6
LANGEVIN	2015	janv-15	22/01/2015	LA220115	N=50	N=50	N=44	1538
ROCHES	2015	févr-15	13/02/2015	RO130215	N=46	N=46	N=46	12296.6
PLUIES	2015	févr-15	13/02/2015	PL130215	N=46	N=46	N=45	1193.3
MARSOINS	2015	févr-15	14/02/2015	MAR140215	N=46	N=46	N=45	23187.3
MAT	2015	févr-15	14/02/2015	MA140215	N=45	N=45	N=45	8583.3
ST ETIENNE	2015	févr-15	15/02/2015	SE150215	N=49	N=49	N=48	948.6
GALETS	2015	févr-15	14/02/2015	GA140215	N=43	N=43	N=42	NA
MAT	2015	mai-15	02/05/2015	MA20515	N=28	N=28	N=26	5900
MAT	2015	juil-15	15/07/2015	MA150715	N=50	N=50	N=49	3844
MAT	2015	août-15	13/08/2015	MA130815	N=49	N=49	N=39	3793.3
PLUIES	2015	oct-15	09/10/2015	PL91015	N=50	N=50	NA	355.3
GALETS	2015	oct-15	08/10/2015	GA81015	N=50	N=50	NA	NA
MAT	2015	nov-15	08/11/2015	MA81115	N=50	N=50	N=46	NA
ST ETIENNE	2015	nov-15	12/11/2015	SE121115	N=50	N=50	N=47	765.3
PLUIES	2015	nov-15	13/11/2015	PL131115	N=32	N=32	N=28	440.7
GALETS	2015	nov-15	10/11/2015	GA101115	N=50	N=50	N=47	NA
GALETS	2015	déc-15	10/12/2015	GA101215	N=50	N=50	NA	NA
MAT	2015	déc-15	10/12/2015	MA101215	N=50	N=50	NA	4970.6
PLUIES	2016	janv-16	02/01/2016	PL20116	N=50	N=50	NA	381
GALETS	2016	janv-16	04/01/2016	GA40116	N=50	N=50	NA	NA
MAT	2016	janv-16	03/01/2016	MA30116	N=50	N=50	NA	21720
PLUIES	2016	févr-16	03/02/2016	PL30216	N=50	N=50	N=45	349.4
GALETS	2016	févr-16	04/02/2016	GA40216	N=49	N=49	N=48	NA
MARSOUINS	2016	févr-16	15/02/2016	MAR150216	N=50	N=50	N=43	34238.6

4. Analyses des données

Le niveau de significativité statistique de nos analyses a été fixé à 0,05. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel open source R (R Development Core 2010).

Un test de Wilcoxon pour échantillons appariés (Wilcoxon 1945) a été utilisé pour comparer les DPL obtenues pour chaque échantillon entre les deux opérateurs. Ces doubles lectures n'étant significativement pas différentes selon le test de Wilcoxon (V = 35680, p-value = 0.5565), nous avons donc conservé l'estimation d'un seul compteur pour les analyses.

La première partie de nos analyses est de nature exploratoire. Des tests de Shapiro et de Bartlett (Shapiro et Wilk, 1965 ; Bartlett 1937) ont été effectués sur les données pour vérifier respectivement la normalité et l'homoscédasticité des variables d'intérêts (PLD, LS, POIDS). Nous avons réalisé des boîtes à moustaches aussi appelées « boxplot » par trait de vie, pour résumer graphiquement les caractéristiques de position et de dispersion des variables étudiées pour les différents échantillons. Les relations linéaires entre les variables quantitatives (DPL/LS, DPL/POIDS et LS/POIDS) ont été étudiées à l'aide de tests de corrélation de Bravais-Pearson (Artusi et al., 2002). Lorsque la corrélation linéaire entre deux traits était significative, nous avons réalisé une régression linéaire et calculé le coefficient de détermination (R^2) (Galton 1886).
Trois analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées avec différents facteurs de regroupement suivant les ACP: un regroupement par échantillon (SITE+DATE) , un regroupement par SITE, et un regroupement par MOIS. Un facteur de regroupement signifie que les individus sont colorés suivant leur groupe d'appartenance. Par exemple, pour le facteur de regroupement MOIS, nous pourrons facilement visualiser si le nuage d'individus pour le mois de janvier se superpose ou non, à ceux des autres mois.

La seconde partie de nos analyses traite de la variabilité spatiale du recrutement à l'échelle de l'île de La Réunion. Nous avons comparé les traits de vie (POIDS/LS/DPL) entre différents sites pour deux évènements de recrutement. La première analyse spatiale concerne l'évènement de recrutement de février 2015 où nous avons comparé les traits de vie entre 6 sites (les rivières : Galets, St Etienne, Pluies, Mât, Roches, Marsouins). La seconde analyse spatiale concerne l'évènement de recrutement de novembre 2015 où nous avons comparé les traits de vie entre 4 sites (les rivières : St Etienne, Galets, Mât, Pluies). Nous avons réalisé des analyses de variance à un facteur (SITE). Une ANOVA paramétrique a été effectuée lorsque les données étaient normales et de variance homogène (Maxwell et Delaney, 2004). Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué si une des conditions pour réaliser l'ANOVA n'était pas respectée (Kruskal et Wallis, 1952). Des tests post-hoc de comparaison multiple de Tukey (paramétrique) ou de Dunn (non paramétrique) ont permis de préciser les différences entre sites (Tukey 1949 ; Dunn 1964).

La troisième partie de nos analyses traite de la variabilité temporelle du recrutement à l'échelle d'une année et entre deux années. Pour évaluer si une cyclicité saisonnière peut expliquer la variation des traits de vie, nous avons réalisé des régressions périodiques. Ces analyses sont utilisées en biologie (et climatologie) pour modéliser des phénomènes prévisibles cycliques (Bell, Pepin et Brown, 1995 ; Bliss 1958 ; Teichert et al., 2016). Le débit (moyen par jour) a été représenté par rivière pour la période comprise entre octobre 2014 et février 2016. Nous avons ensuite réalisé une régression multiple pour tester l'influence du débit moyen et de la date sur les traits de vie des post-larves au recrutement, sur le site du Mât, pour lequel nous disposons d'un plus grand nombre d'échantillons. Pour cette analyse, nous avons moyenné les valeurs de débit sur la quinzaine de jours précédant la date d'échantillonnage afin de prendre en compte une valeur de débit représentative des conditions locales rencontrées par les larves avant leur recrutement.

La quatrième partie de nos analyses traite de la variabilité spatio-temporelle du recrutement entre deux années. Nous avons réalisé des analyses de variance par permutations à deux facteurs hiérarchisés, le SITE dans la DATE (analyse non paramétrique) (Anderson, 2001). Des tests post-hoc de comparaison non paramétriques de Dunn ont permis de préciser les différences entre échantillons.

III. Résultats

1. Exploration du jeu de données

Les moyennes et écart-types des traits de vie par échantillon sont indiqués dans le tableau 2. En moyenne, la durée de phase larvaire, calculée à partir des 1050 otolithes, est de 189 jours (± 34) et varie de 91 jours à 269 jours.

La moyenne des DPL des post-larves en été austral 2014/2015 (entre décembre 2014 et février 2015) est de 204 ± 22 jours avec des extrêmes compris entre 126 et 269 jours. La moyenne des DPL en hiver austral 2015 (entre mai 2015 et août 2015) est de 139 ± 21 jours avec des extrêmes compris entre 98 et 183 jours. La moyenne des DPL en été austral 2015/2016 (entre novembre 2015 et février 2016) est de 170 ± 36 avec des extrêmes compris entre 91 et 262 jours. Les post-larves au recrutement en hiver sont donc plus jeunes que les post-larves au recrutement en été. Aussi, la moyenne des âges est plus élevée en été 2014/2015 comparé à l'été 2015/2016 (tableau 3). Les post-larves au recrutement dans les rivières réunionnaises au cours de l'été austral 2014/2015 (204 ± 22 jours) ont passé entre 4 et 9 mois dans l'océan (en moyenne 7 mois). Les post-larves au recrutement au cours de l'été austral 2015/2016 (170 ± 36) ont passé entre 3 et 9 mois dans l'océan (en moyenne 6 mois). Par rétro-calcul, les post-larves au recrutement en été, ont éclos pour la plupart au cours de l'hiver précédent. La plus grande des moyennes de DPL est mesurée le 13 février 2015 (212 ± 19), ce qui indique par rétro-calcul que ces post-larves plus âgées ont éclos au début du mois de juillet 2014. Celles qui ont recruté en hiver austral 2015 (139 ± 21) ont passé entre 3 et 6 mois dans l'océan (en moyenne 5 mois). Par rétro-calcul, les post-larves au recrutement en hiver, ont éclos pour la plupart au cours de l'été précédent. La plus basse des moyennes est mesurée le 2 mai 2015 (119 ± 12), ce qui indique par rétro-calcul que ces plus jeunes post-larves ont éclos au début du mois de février 2015. Cependant, il est intéressant de noter que la plus petite valeur d'âge au recrutement est observée sur un individu collecté en été austral 2015/2016 (le 15/02/2016 sur Marsouins).

La longueur standard (LS) moyenne calculée à partir de l'ensemble des échantillons prélevés entre décembre 2014 et février 2016 est de 27.1 ± 1.2 mm, avec des valeurs extrêmes comprises entre 21.7 et 30.5 mm. La moyenne des tailles entre décembre 2014 et février 2015 est de 27.3 ± 0.7 mm (été austral 2014/2015). La moyenne des tailles entre mai 2015 et octobre 2015 est de 25.9 ± 1.2 mm (hiver austral 2015). La moyenne des tailles entre novembre 2015 et février 2016 est de 27.5 ± 1.4 mm (été austral 2015/2016). Les post-larves au recrutement en hiver sont donc plus petites que les post-larves au recrutement en été (tableau 3).

Tableau 2. Moyenne $\bar{x}$ et écart-types σ des traits de vie par échantillon. DPL (durée de phase larvaire en jours), LS (longueur standard en mm), POIDS (poids en g) et K (indice de condition)

ECHANTILLON	$\bar{x}$ ***DPL***	σ ***DPL***	$\bar{x}$ ***LS***	σ ***LS***	$\bar{x}$ ***POIDS***	σ ***POIDS***	$\bar{x}$ ***k***	σ ***k***
GA101115	167,7	17,5	27,6	1,0	0,21	0,03	0,99	0,10
GA101215	NA	NA	28,0	0,8	0,17	0,03	0,76	0,13
GA140215	203,3	31,6	27,9	0,7	0,19	0,02	0,86	0,08
GA40116	NA	NA	27,3	0,8	0,24	0,02	1,19	0,10
GA40216	179,2	40,8	26,7	1,4	0,16	0,03	0,85	0,10
GA81015	NA	NA	27,5	1,1	0,16	0,02	0,78	0,10
LA190115	193,4	19,8	27,4	0,8	0,17	0,01	0,85	0,07
LA220115	193,0	18,5	27,3	0,8	0,18	0,02	0,91	0,09
MA101215	NA	NA	28,4	0,8	0,26	0,02	1,12	0,08
MA130815	152,1	13,9	25,5	1,2	0,12	0,01	0,75	0,08
MA140215	203,6	19,2	27,2	0,8	0,20	0,02	0,97	0,11
MA150715	134,4	11,6	25,0	1,2	0,12	0,01	0,74	0,07
MA20515	119,8	12,3	25,4	1,2	0,16	0,03	0,96	0,06
MA30116	NA	NA	27,0	0,9	0,24	0,03	1,20	0,14
MA81115	177,3	12,9	27,2	0,7	0,14	0,02	0,70	0,06
MAR140215	203,5	22,1	27,2	0,8	0,19	0,02	0,92	0,09
MAR150216	156,9	55,2	26,0	2,3	0,18	0,05	1,01	0,09
MA170115	206,0	22,0	26,9	0,7	0,20	0,02	1,00	0,10
MA271214	201,1	15,3	27,5	0,7	0,18	0,02	0,89	0,09
MA50115	203,0	24,3	26,9	0,9	0,20	0,03	1,03	0,11
PL130215	212,2	20,0	27,4	0,7	0,20	0,02	0,98	0,09
PL131115	166,5	13,8	27,5	0,7	0,17	0,02	0,81	0,08
PL20116	NA	NA	27,8	1,0	0,18	0,02	0,85	0,09
PL30216	186,0	34,5	28,6	1,1	0,24	0,03	1,01	0,09
PL91015	NA	NA	26,7	1,0	0,16	0,02	0,84	0,07
RO130215	212,2	19,6	27,6	0,7	0,21	0,02	0,99	0,09
SE121115	171,4	16,1	27,2	0,7	0,14	0,01	0,72	0,05
SE150215	212,6	26,9	27,7	0,8	0,19	0,02	0,87	0,11

Tableau 3. Comparaison des traits de vie entre saisons. Les traits de vie : DPL (durée de phase larvaire en jours), LS (longueur standard en mm), POIDS (poids en g). Les saisons : ETE 1 (2014/2015), HIVER (2015), ETE 2 (2015/2016). Les moyenne $\bar{x}$ et écart-types σ des traits de vie sont renseignés par saison. Les résultats des tests de Kruskal-Wallis et des post-hoc de Dunn sont renseignés par trait de vie

$\bar{x}$ DPL ± σ	ETE 1 = 204 ± 22 jours (n= 482)	HIVER = 139 ± 21 jours (n= 114)	ETE 2 = 170 ± 36 jours (n= 304)
Test de Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis chi-squared = 385, df = 2, p-value < 0.001		
Test post-hoc de Dunn	ETE 1-ETE 2 (p-value < 0.05)	ETE 1-HIVER (p-value < 0.001)	ETE 2-HIVER (p-value < 0.001)
$\bar{x}$ LS ± σ	ETE 1 = 27.3 ± 0.7 mm (n= 524)	HIVER = 25.9 ± 1.2 mm (n= 227)	ETE 2 = 27.5 ± 1.4 mm (n= 581)
Test de Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis chi-squared = 171.31, df = 2, p-value < 0.001		
Test post-hoc de Dunn	ETE 1-ETE 2 (p-value < 0.05)	ETE 1-HIVER (p-value < 0.001)	ETE 2-HIVER (p-value < 0.001)
$\bar{x}$ POIDS ± σ	ETE 1 = 0.19 ± 0.02 g (n= 524)	HIVER = 0.14 ± 0.02 g (n= 227)	ETE 2 = 0.2 ± 0.04 g (n= 581)
Test de Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis chi-squared = 289.11, df = 2, p-value < 0.001		
Test post-hoc de Dunn	ETE 1-ETE 2 (p-value < 0.05)	ETE 1-HIVER (p-value < 0.001)	ETE 2-HIVER (p-value < 0.001)

Le poids moyen (POIDS) est de 0.18 g ± 0.03 g, avec des valeurs extrêmes comprises entre 0.091 et 0.3. La moyenne des poids entre décembre 2014 et février 2015 est de 0.19 ± 0.02 g (été austral 2014/2015). La moyenne des poids entre mai 2015 et octobre 2015 est de 0.14 ± 0.02 g (hiver austral 2015). La moyenne des poids entre novembre 2015 et février 2016 est de 0.2 ± 0.04 g (été austral 2015/2016). Les post-larves au recrutement en hiver sont donc plus légères que les post-larves au recrutement en été (tableau 3). Les moyennes de POIDS et de LS sont un peu plus élevées en été 2015/2016 avec un écart-type plus grand comparé à l'été 2014/2015. Ainsi, l'amplitude des variations pour DPL est plus forte entre l'été 2014/215 et l'hiver 2015, en moyenne de 73 jours (environ deux mois), alors que les amplitudes de variation de LS et du POIDS sont à l'inverse plus élevées entre l'hiver 2015 et l'été 2015/2016 (respectivement 1.6 mm et 0.06 g). L'indice de condition moyen est de 0.9 ± 0.1, avec des valeurs extrêmes comprises entre 0.4 et 1.5.

Les tests de Shapiro confirment que la distribution des données n'est pas normale pour DPL (W = 0.974, p-value = 6.2e-11), LS (W = 0.951, p-value = 4.078e-16) et le POIDS (W = 0.995, p-value = 0.01). Les distributions sont représentées sous la forme d'histogrammes (fig. 8). La décomposition de la distribution par échantillon révèle que trois échantillons présentent une distribution bimodale pour l'âge (DPL) (fig. 9) : il s'agit de Marsouins, Galets et Pluies en février 2016. L'échantillon de Marsouins en février 2016 (MARS150216) présente aussi une distribution bimodale pour LS et le POIDS.

Les tests de Bartlett confirment que les variances ne sont pas homogènes entre les échantillons pour DPL (Bartlett's K-squared = 273.56, df = 19, p-value < 0.001), LS (Bartlett's K-squared = 206.12, df = 19, p-value < 0.001) et le POIDS (Bartlett's K-squared = 194.81, df = 19, p-value < 0.001). La décomposition du jeu de données par échantillon, représentée sous la forme de boîtes à moustaches (« boxplot ») (fig. 10), montre que les caractéristiques de position et de dispersion de DPL, LS et du POID sont bien différentes pour l'échantillon MARS150216 et dans une moindre mesure, pour l'échantillon GAL40216, concernant DPL et LS.

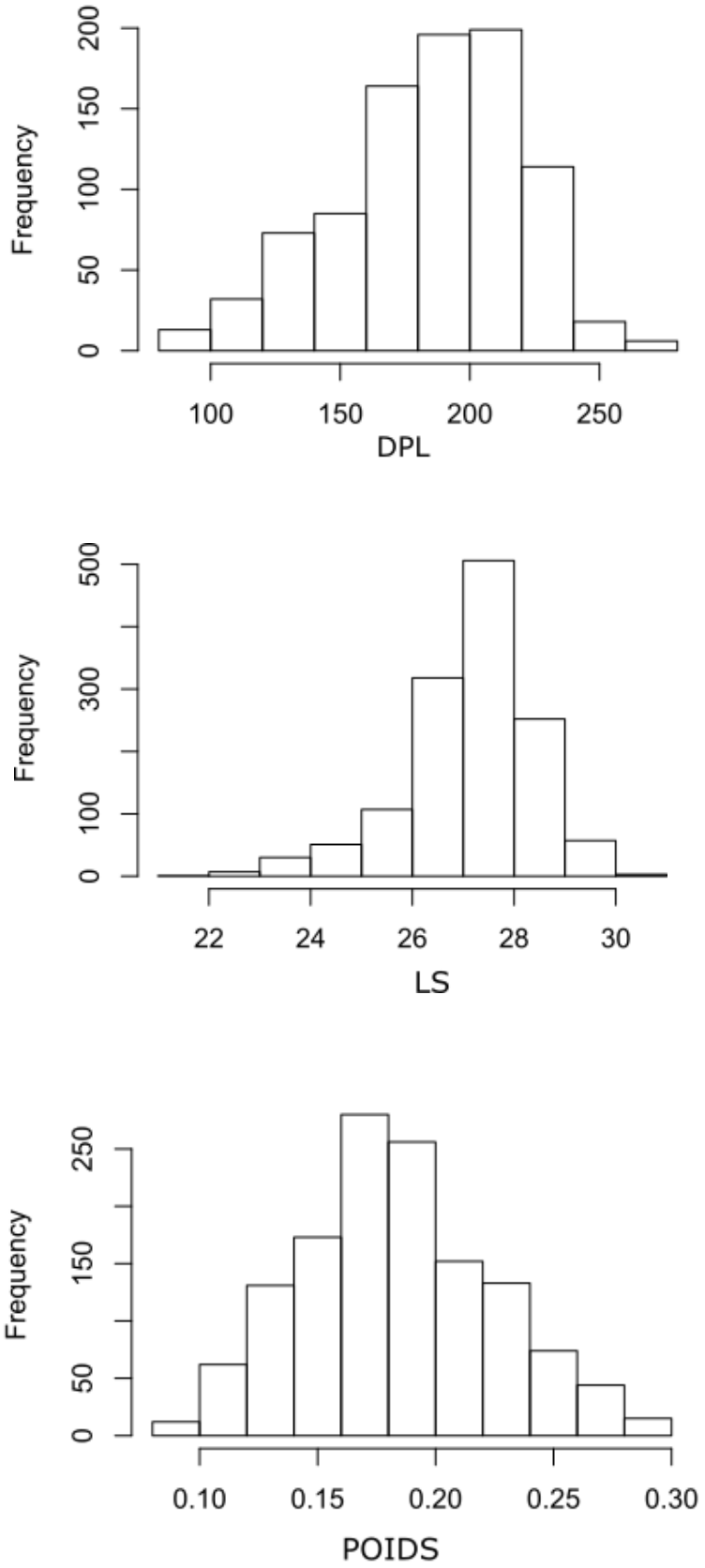


Figure 8. Histogrammes de la distribution des traits de vie DPL (jours), LS (mm) et POIDS (g) sur l'ensemble des échantillons

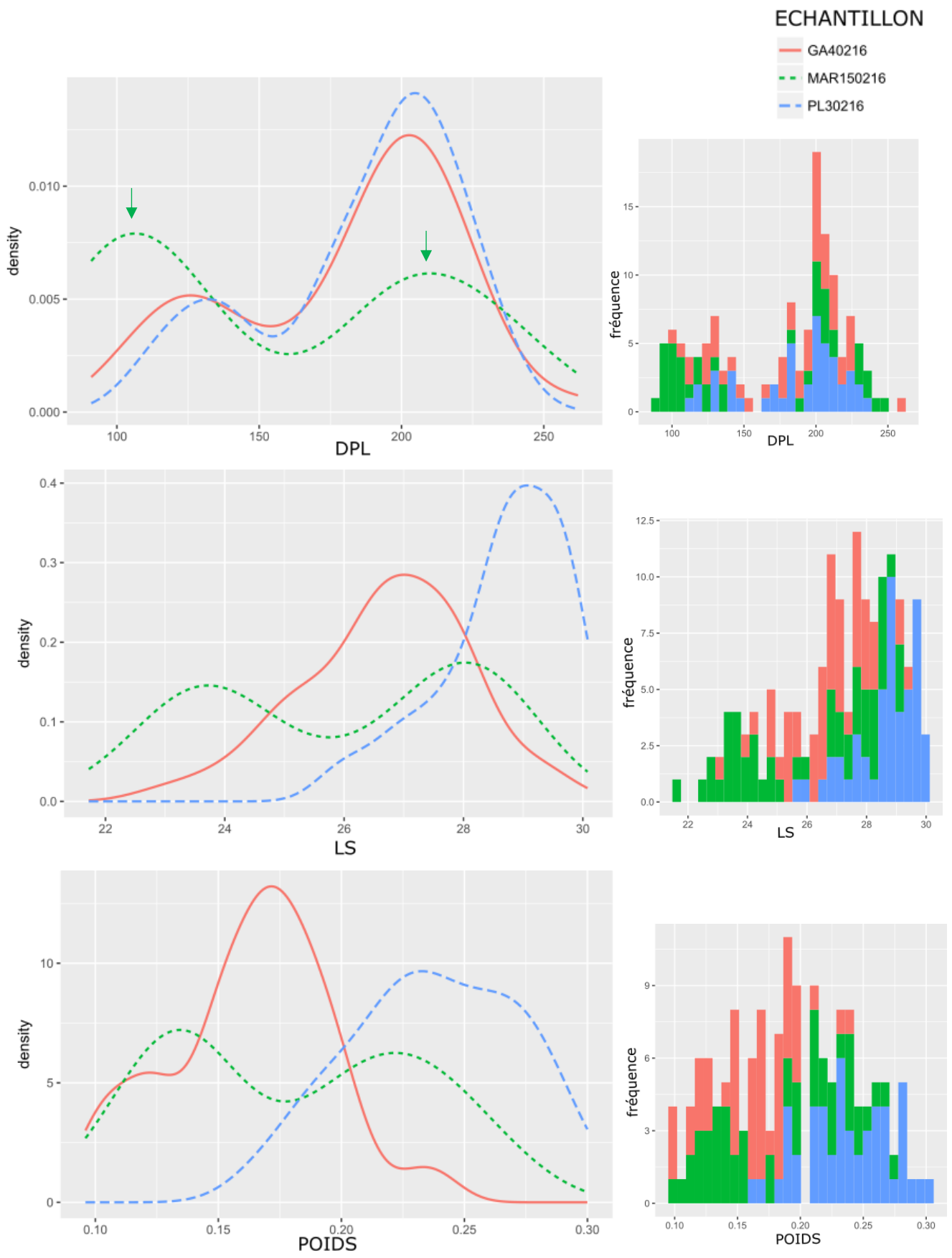


Figure 9. Distributions bimodales de DPL pour les trois échantillons indiqués en légende. Bi-modalité marquée pour l'échantillon MAR150216 (en vert). Distribution bimodale de LS et du POIDS seulement pour l'échantillon MAR150216. Les données brutes sont représentées sous la forme d'histogrammes

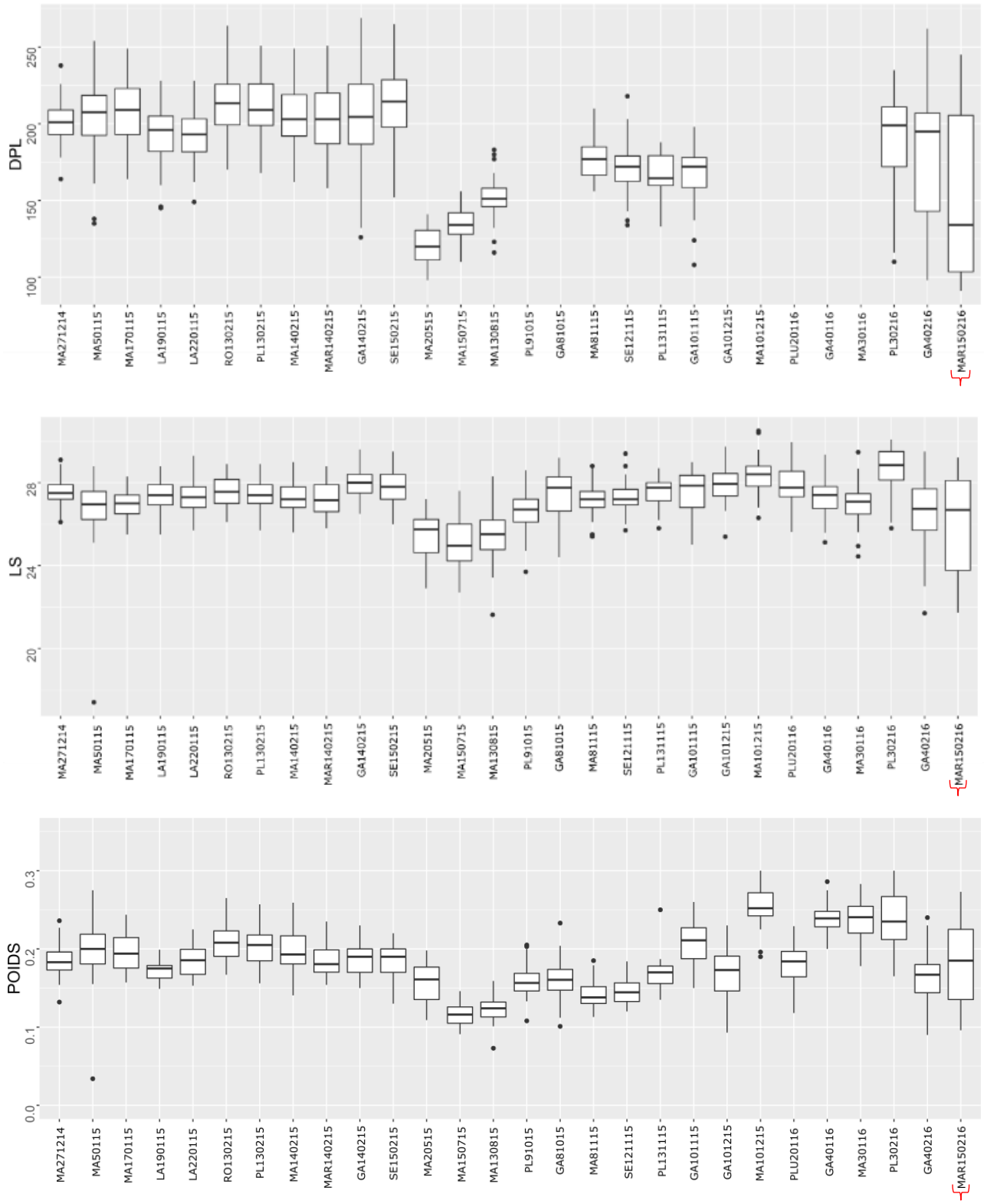


Figure 10. Boîtes à moustaches des échantillons en fonction des variables : l'âge en jours (DPL), la longueur standard en mm (LS) et le poids en g (POIDS). Les échantillons sont ordonnés dans le temps suivant leurs dates d'échantillonnage. L'échantillon MARS150216 présente une grande variance des valeurs (localisé par une accolade rouge) pour les trois traits étudiés

Les tests de corrélation de Pearson indiquent que les corrélations linéaires sont positives et significatives, bien que faibles, entre DPL et LS (r = 0,597, p-value < 2.2e-16), DPL et POIDS (r = 0,578, p-value < 2.2e-16) et POIDS et LS (r = 0,618, p-value < 2.2e-16) (fig. 11). Les coefficients de détermination (R^2) des régressions linéaires sont faibles. La variation du POIDS explique 38,2 % de la variation de LS (R^2 = 0.382). La variation du POIDS explique 33,4 % de la variation de DPL (R^2 = 0.334). La variation de LS explique 35,6 % de la variation de DPL (R^2 = 0.356).

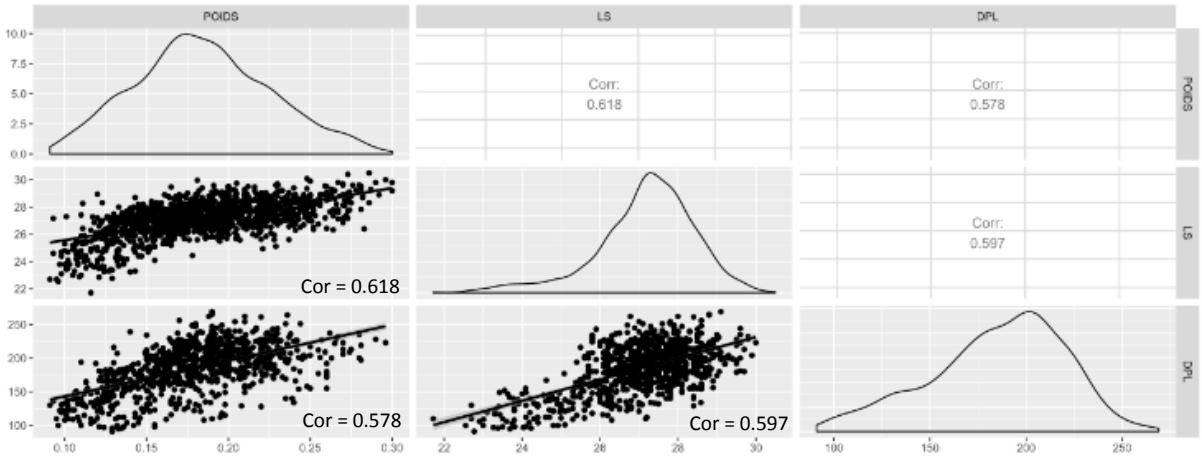


Figure 11. Matrice des corrélations linéaires entre l'âge en jours (DPL), la longueur standard en mm (LS) et le poids en g (POIDS). La figure présente les distributions des variables en diagonale, les coefficients de corrélations de Pearson et les droites de régressions linéaires

2. Analyses de la variabilité spatiale du recrutement

Les échantillons ciblés pour les analyses de la variabilité spatiale du recrutement sont indiqués en vert (tableau 4).

Tableau 4.

SITE	ANNEE	MOIS	DATE	ACRONYME	POIDS	LS	DPL	
MAT	2014	déc-14	27/12/2014	MA271214				
MAT	2015	janv-15	05/01/2015	MA50115				
MAT	2015	janv-15	17/01/2015	MA170115				
LANGEVIN	2015	janv-15	19/01/2015	LA190115				
LANGEVIN	2015	janv-15	22/01/2015	LA220115				
ROCHES	2015	févr-15	13/02/2015	RO130215	N=46	N=46	N=46	
PLUIES	2015	févr-15	13/02/2015	PL130215	N=46	N=46	N=45	
MARSOINS	2015	févr-15	14/02/2015	MAR140215	N=46	N=46	N=45	Analyse spatiale 1
MAT	2015	févr-15	14/02/2015	MA140215	N=45	N=45	N=45	
SAINT ETIENNE	2015	févr-15	15/02/2015	SE150215	N=49	N=49	N=48	
GALETS	2015	févr-15	14/02/2015	GA140215	N=43	N=43	N=42	
MAT	2015	mai-15	02/05/2015	MA20515				
MAT	2015	juil-15	15/07/2015	MA150715				
MAT	2015	août-15	13/08/2015	MA130815				
PLUIES	2015	oct-15	09/10/2015	PL91015				
GALETS	2015	oct-15	08/10/2015	GA81015				
MAT	2015	nov-15	08/11/2015	MA81115	N=50	N=50	N=46	
SAINT ETIENNE	2015	nov-15	12/11/2015	SE121115	N=50	N=50	N=47	Analyse spatiale 2
PLUIES	2015	nov-15	13/11/2015	PL131115	N=32	N=32	N=28	
GALETS	2015	nov-15	10/11/2015	GA101115	N=50	N=50	N=47	
GALETS	2015	déc-15	10/12/2015	GA101215				
MAT	2015	déc-15	10/12/2015	MA101215				
PLUIES	2016	janv-16	02/01/2016	PL20116				
GALETS	2016	janv-16	04/01/2016	GA40116				
MAT	2016	janv-16	03/01/2016	MA30116				
PLUIES	2016	févr-16	03/02/2016	PL30216				
GALETS	2016	févr-16	04/02/2016	GA40216				
MARSOUINS	2016	févr-16	15/02/2016	MAR150216				

2.1 Variabilité spatiale du recrutement en février 2015

La première étude sur la variabilité spatiale du recrutement concerne l'évènement de recrutement de février 2015, où nous comparons les traits de vie des post-larves entre six localités : les rivières des Galets et de St Etienne (« côte sous le vent ») et les rivières du Mât, des Marsouins, des Roches et des Pluies (« côte au vent »). L'échantillon sur la rivière des Marsouins a été collecté 600 m en amont de l'embouchure.

La DPL moyenne, calculée à partir de tous les échantillons prélevés en février 2015 (soit 300 otolithes), est d'environ sept mois (moyenne ± écart-type : 208 ± 24 jours, avec des valeurs extrêmes comprises entre 126 à 269 jours). Compte tenu des dates d'échantillonnage (13, 14 et 15 février 2015) et de la DPL moyenne, les dates d'éclosion rétro-calculées révèlent que les post-larves échantillonnées en février 2015 sont nées en rivière entre mai et octobre 2014, avec un mode à la mi-juillet 2014[6]. Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il n'y a pas de différences significatives de DPL entre les sites (Kruskal-Wallis chi-carré = 9.647, df = 5, p-value = 0.085) (fig. 12.1).

Sur les 300 post-larves mesurées pour cette analyse (50 post-larves par rivière), la longueur standard (LS) moyenne (± écart-type) est de 27,5 mm (± 0,7), avec des valeurs extrêmes comprises entre 25,6 et 29,6 mm. Le POIDS moyen (± écart-type) est de 0,19 g (± 0,02) avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,13 à 0,26 g. Le facteur de condition est de 0,9 (± 0,1) avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,6 et 1,2.

Des différences significatives de LS (ANOVA, F = 6,713, p-value < 0,001), du POIDS (ANOVA, F = 7,664, p-value < 0,001) et de l'indice de condition K (ANOVA, F = 16,17, p-value < 0,001) sont observées entre les sites (fig. 12). Les tests post-hoc de comparaisons multiples de Tukey révèlent que la longueur standard (LS) des post-larves sur les rivières des Marsouins et du Mât, est significativement plus petite, que celle sur les rivières de St Etienne et des Galets. Cependant, ces deux groupes ne sont pas différents du groupe intermédiaire composé des rivières des Pluies et des Roches (fig. 12.2). Le poids (POIDS) des post-larves sur les rivières de St Etienne, de Marsouins et des Galets est significativement plus léger que celui des post-larves sur les rivières des Pluies et des Roches. Le poids des post-larves sur la rivière du Mât n'est pas différent des deux groupes (fig. 12.3). Le facteur de condition des post-larves des rivières des Galets et de St Etienne est significativement plus petit que celui des rivières des Marsouins, du Mât, des Pluies et des Roches (fig. 12.4). Un facteur de condition plus petit indique que les post-larves ont un poids plus léger par rapport à leur longueur.

[6] Le « mode » en statistique est la valeur la plus fréquente dans un échantillon.

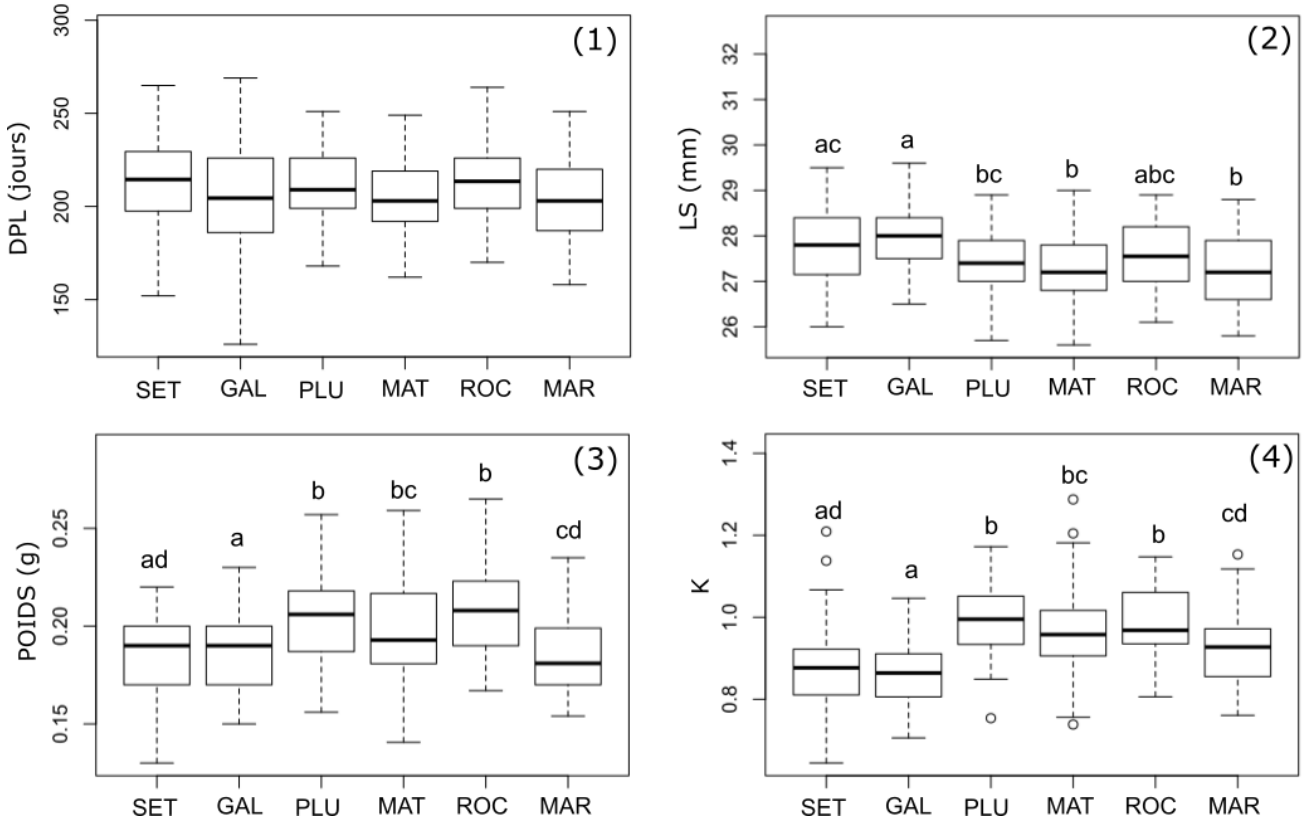


Figure 12. Boîtes à moustache qui représentent les résultats du test de Kruskal Wallis pour la Durée de Phase Larvaire (1) et des ANOVA pour la Longueur Standard (2), le Poids (3) et le facteur de condition (4) des post-larves par site. Les sites qui partagent la même lettre ne sont pas significativement différents d'après les tests post-hoc de Tukey HSD

2.2 Variabilité spatiale du recrutement en novembre 2015

La seconde étude sur la variabilité spatiale du recrutement concerne l'évènement de recrutement de novembre 2015, où nous comparons les traits de vie des post-larves entre quatre localités : les rivières des Galets et de St Etienne (côte « sous le vent ») et les rivières du Mât et des Pluies (côte « au vent »). L'échantillon sur la rivière St Etienne a été collecté 150 m en amont de l'embouchure.

La DPL moyenne, calculée à partir de tous les échantillons prélevés en novembre 2015 (soit 200 otolithes), est d'environ six mois (171 ± 15 jours), avec des valeurs extrêmes comprises entre 108 à 218 jours. Compte tenu des dates d'échantillonnage (8, 10, 12 et 13 novembre 2015) et de la DPL moyenne, les dates d'éclosion rétro-calculées révèlent que les post-larves échantillonnées en novembre 2015 sont nées en rivière entre début avril et fin juillet 2015, avec un mode fin mai 2015.

Sur les 200 post-larves mesurées pour cette analyse (50 post-larves par rivière), la LS moyenne est de 27,3 mm (± 0,8), avec des valeurs extrêmes comprises entre 25 et 29,4 mm. Le POIDS moyen est de 0,16 g (± 0,03) avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,11 à 0,26 g. Le facteur de condition est de 0,8 (± 0,1) avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,5 et 1,2.

Des différences significatives de LS (Kruskal-Wallis chi-squared = 10.17, df = 3, p-value = 0.017), du POIDS (Kruskal-Wallis chi-squared = 102.95, df = 3, p-value < 0.001), de l'indice de condition K (Kruskal-Wallis chi-squared = 114.06, df = 3, p-value < 0.001) et de DPL (ANOVA, F = 4.165, p-value = 0,007) sont observées entre les sites (fig. 13). Le test post-hoc de comparaisons multiples de Tukey pour DPL et les tests de Dunn (non paramétriques) pour les autres traits, révèlent que la durée de phase larvaire (DPL) sur les rivières des Pluies et des Galets est significativement plus petite que celle sur la rivière du Mât. Ces deux groupes ne sont pas différents du groupe intermédiaire composé de la rivière St Etienne (fig. 13.1). La longueur standard (LS) sur la rivière de St Etienne est significativement plus petite que celle sur la rivière des Galets. Ces deux groupes ne sont pas différents du groupe intermédiaire composé des rivières du Mât et des Pluies (fig. 13.2). Le poids (POIDS) des post-larves sur les rivières du Mât et de St Etienne est significativement plus léger que celui des post-larves sur les rivières des Pluies et des Galets. Aussi, le poids des post-larves est significativement plus léger sur la rivière des Pluies comparé à la rivière des Galets (fig. 13.3). Les différences concernant le facteur de condition des post-larves sont semblables à celles décrites pour le poids (fig. 13.4).

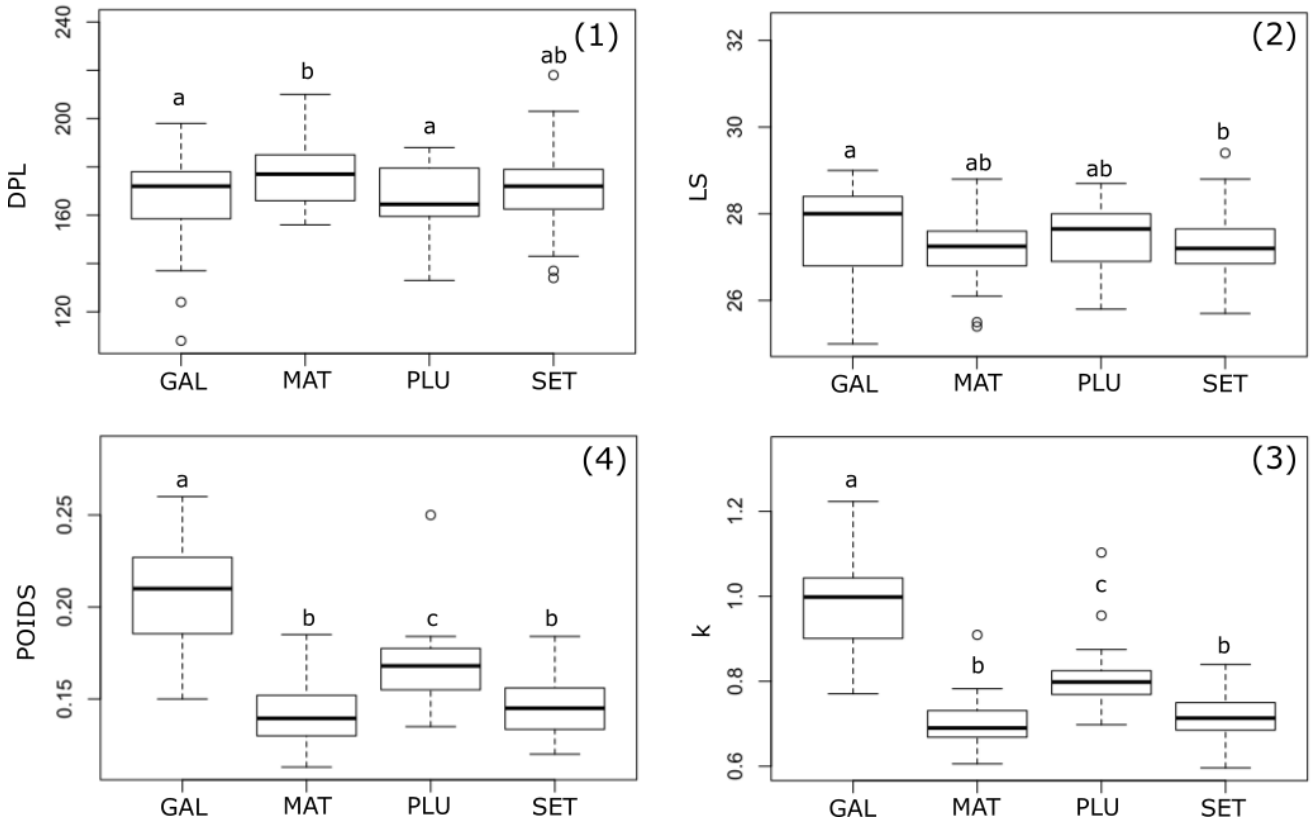


Figure 13. Boîtes à moustache du test de l'ANOVA pour la Durée de Phase Larvaire (1) et des Kruskal-Wallis pour la Longueur Standard (2), le Poids (3) et le facteur de condition (4) des post-larves par site en novembre 2015. Les sites qui partagent la même lettre ne sont pas significativement différents d'après les tests post-hoc de Tukey HSD et de Dunn

3. Analyses de la variabilité temporelle du recrutement

Les échantillons ciblés pour les analyses de la variabilité temporelle du recrutement sont indiqués en vert (tableau 5).

Tableau 5.

SITE	ANNEE	MOIS	DATE	ACRONYME	POIDS	LS	DPL	DEBIT
MAT	**2014**	déc-14	27/12/2014	MA271214	N=50	N=50	N=37	2371.3
MAT	**2015**	janv-15	05/01/2015	MA50115	N=49	N=49	N=44	2804
MAT	**2015**	janv-15	17/01/2015	MA170115	N=50	N=50	N=41	6899.3
LANGEVIN	**2015**	janv-15	19/01/2015	LA190115	N=50	N=50	N=45	1416.6
LANGEVIN	**2015**	janv-15	22/01/2015	LA220115	N=50	N=50	N=44	1538
ROCHES	**2015**	févr-15	13/02/2015	RO130215	N=46	N=46	N=46	12296.6
PLUIES	**2015**	févr-15	13/02/2015	PL130215	N=46	N=46	N=45	1193.3
MARSOINS	**2015**	févr-15	14/02/2015	MAR140215	N=46	N=46	N=45	23187.3
MAT	**2015**	févr-15	14/02/2015	MA140215	N=45	N=45	N=45	8583.3
SAINT ETIENNE	**2015**	févr-15	15/02/2015	SE150215	N=49	N=49	N=48	948.6
GALETS	**2015**	févr-15	14/02/2015	GA140215	N=43	N=43	N=42	NA
MAT	**2015**	mai-15	02/05/2015	MA20515	N=28	N=28	N=26	5900
MAT	**2015**	juil-15	15/07/2015	MA150715	N=50	N=50	N=49	3844
MAT	**2015**	août-15	13/08/2015	MA130815	N=49	N=49	N=39	3793.3
PLUIES	**2015**	oct-15	09/10/2015	PL91015	N=50	N=50	NA	355.3
GALETS	**2015**	oct-15	08/10/2015	GA81015	N=50	N=50	NA	NA
MAT	**2015**	nov-15	08/11/2015	MA81115	N=50	N=50	N=46	NA
SAINT ETIENNE	**2015**	nov-15	12/11/2015	SE121115	N=50	N=50	N=47	765.3
PLUIES	**2015**	nov-15	13/11/2015	PL131115	N=32	N=32	N=28	440.7
GALETS	**2015**	nov-15	10/11/2015	GA101115	N=50	N=50	N=47	NA
GALETS	**2015**	déc-15	10/12/2015	GA101215	N=50	N=50	NA	NA
MAT	**2015**	déc-15	10/12/2015	MA101215	N=50	N=50	NA	4970.6
PLUIES	**2016**	janv-16	02/01/2016	PL20116	N=50	N=50	NA	381
GALETS	**2016**	janv-16	04/01/2016	GA40116	N=50	N=50	NA	NA
MAT	**2016**	janv-16	03/01/2016	MA30116	N=50	N=50	NA	21720
PLUIES	**2016**	févr-16	03/02/2016	PL30216	N=50	N=50	N=45	349.4
GALETS	**2016**	févr-16	04/02/2016	GA40216	N=49	N=49	N=48	NA
MARSOUINS	**2016**	févr-16	15/02/2016	MAR150216	N=50	N=50	N=43	34238.6

1. Analyse temporelle des variables, sur l'ensemble du jeu de données

2. Analyse de l'effet débit à l'échelle d'une saison

3.1 Analyse temporelle du recrutement sur l'ensemble du jeu de données

L'exploration du jeu de données suggère que la relation entre les variables DPL, LS, POIDS et le temps n'est pas linéaire mais cyclique. Pour mettre en évidence ces fluctuations, nous avons réalisé des régressions périodiques en suivant l'approche recommandée par Bell, Pepin et Brown (1995) et Teichert et al. (2016). Le modèle de régression périodique ajusté aux traits est le suivant :
$Y = \beta 0 + \beta 1 \sin(Rjour) + \beta 2 \cos(Rjour) + \beta 3$ Index.
La variable dépendante Y est DPL, LS ou POIDS. La variable indépendante est une représentation angulaire du temps : Rjour, le jour de l'année (0-365) transformé en mesure radian (jour x $2\pi/365$) et Index, le numéro de jour en continu depuis le 01/12/2014. $\beta 1$, $\beta 2$, $\beta 3$ sont les coefficients et $\beta 0$, l'intercepte du modèle.

Les régressions périodiques expliquent 40 % de la variation de l'âge, 23.4 % de la variation de la taille et 32.7 % de la variation du poids (p-value < 2.22e-16). Les représentations graphiques des régressions périodiques pour les 3 variables (DPL, LS et POIDS) indiquent que l'âge, la taille et le poids des post-larves diminuent en milieu d'année 2015, ce qui correspond à l'hiver austral (fig. 14).

Les débits en L/s des différentes rivières s'affaiblissent en hiver austral ce qui correspond à la saison sèche qui s'étale de mai à novembre. L'évolution des débits montrent une hausse des valeurs en été austral plus particulièrement entre janvier et mars, ce qui correspond à la saison des pluies. Les débits sont plus élevés sur les rivières de l'est en particulier sur les rivières des Marsouins, du Mât et des Roches (fig. 15).

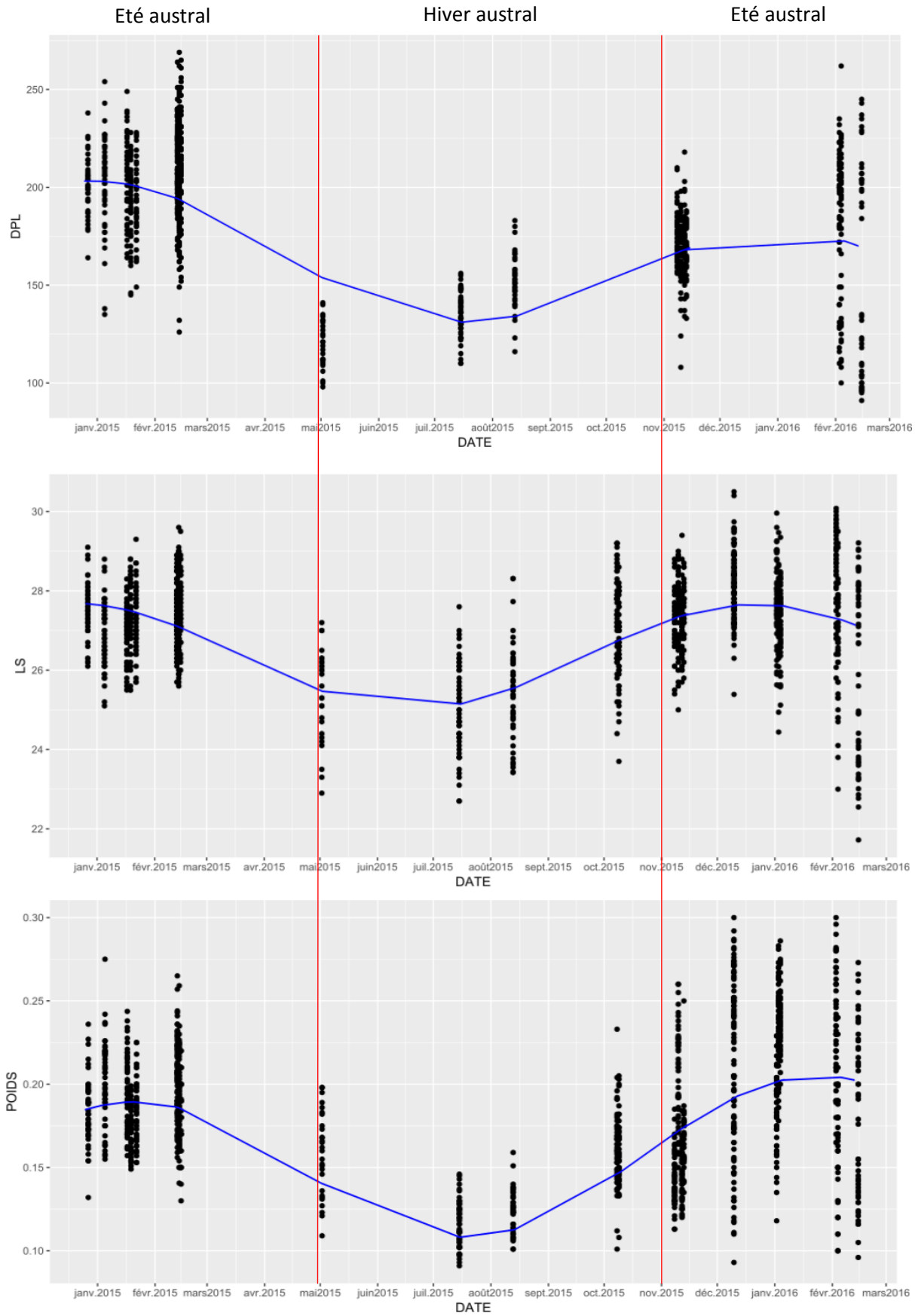


Figure 14. Régressions périodiques de DPL, LS et POIDS en fonction du temps. Les courbes de régressions s'incurvent en hiver austral (mai à novembre) et indiquent que l'âge, la longueur standard et le poids des post-larves sont plus petits à cette période de l'année

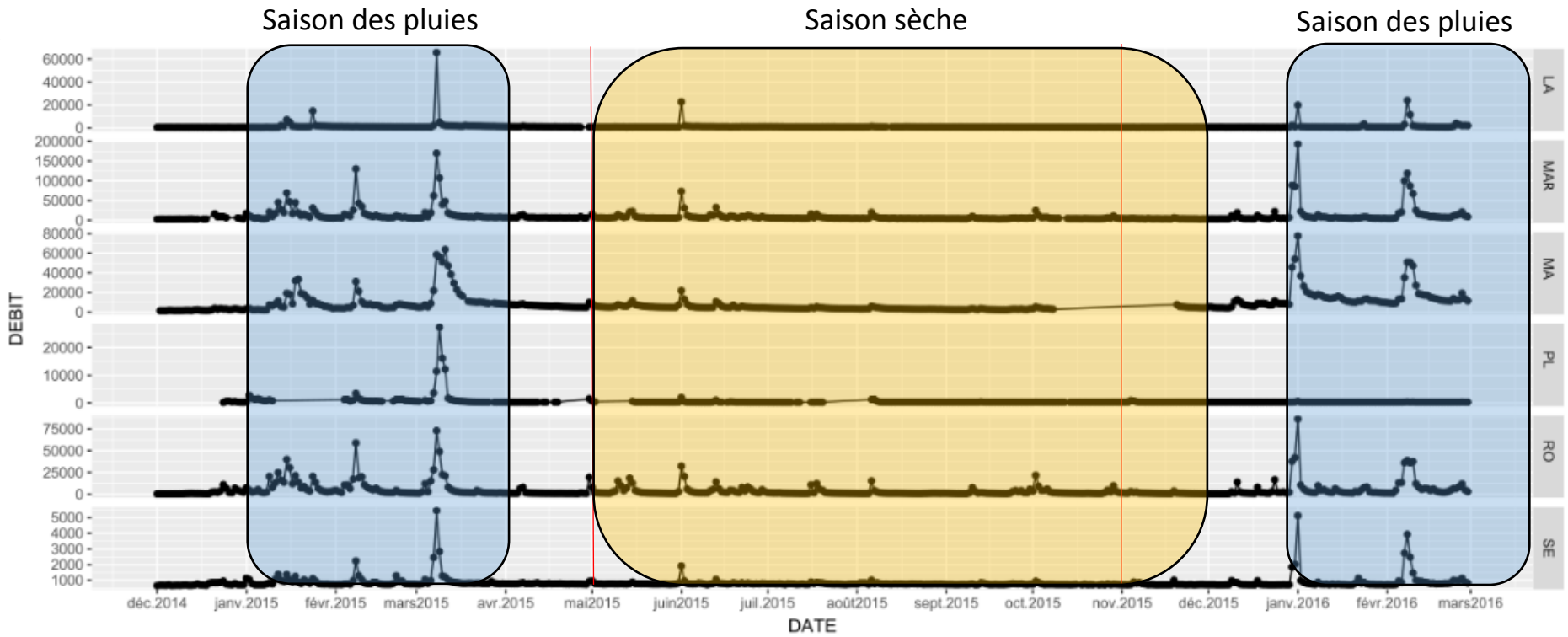


Figure 15. Evolution du débit par rivière en L/s entre décembre 2014 et février 2016. La saison des pluies est de janvier à mars. La saison sèche plus longue s'étend de mai à novembre. Les mois d'avril et de décembre sont des mois d'intersaison parfois très pluvieux ou très secs. L'échelle du débit est différente en fonction des rivières. Les rivières des Marsouins, du Mât et des Roches ont les plus forts débits. Le site de Galets n'est pas représenté car les données sont indisponibles dans la banque de l'office de l'eau de La Réunion

3.2 Analyse de l'effet débit à l'échelle d'une saison

L'analyse temporelle des traits de vie suggère qu'il y a un effet de la saison et un éventuel effet du débit des rivières sur la variabilité des traits de vie. L'exploration du jeu de données nous montre que le débit, sur l'ensemble des rivières, varie grandement au cours de l'année entre la saison sèche et la saison humide, et que sa tendance d'évolution est proche de celle des traits de vie lesquels varient grandement au cours de l'année entre l'été austral et l'hiver austral. Ainsi, nous pensons qu'il est plus pertinent d'évaluer son influence à l'échelle d'une saison, pour soustraire l'effet saisonnier été/hiver que nous détectons sur les traits. En l'occurrence, l'étude de l'influence du débit à l'échelle de la saison estivale 2014/2015 est la plus appropriée car nous avons échantillonné un grand nombre de sites différents, aux gammes de débits spécifiques. Nous suggérons en effet que le débit des rivières est une variable environnementale à l'influence locale (influence sur un site et/ou sur un secteur de l'île). Notre analyse à l'échelle de la saison concerne ici les échantillons collectés entre décembre 2014 et février 2015 (11 échantillons, 6 sites). Nous avons retiré l'échantillon sur Galets pour lequel nous n'avons pas de données.

La régression linéaire à l'échelle de la saison a un faible coefficient de détermination pour le POIDS (R^2 = 7.1%) et il est quasi nul pour DPL et LS. L'influence du débit à cette échelle plus fine du saisonnier s'avère très faible, mais significative et positive pour le POIDS. Cette étude à l'échelle d'une saison estivale (qui correspond à la saison des pluies) où le débit des rivières est fort et variable entre les secteurs, permet de mettre en évidence une légère influence positive du débit sur le poids seulement.

4. Analyses de la variabilité spatio-temporelle du recrutement

Les échantillons ciblés pour les analyses de la variabilité spatio-temporelle du recrutement sont indiqués en vert (tableau 6).

Tableau 6.

SITE	ANNEE	MOIS	DATE	ACRONYME	POIDS	LS	DPL
MAT	2014	déc-14	27/12/2014	MA271214			
MAT	2015	janv-15	05/01/2015	MA50115			
MAT	2015	janv-15	17/01/2015	MA170115			
LANGEVIN	2015	janv-15	19/01/2015	LA190115			
LANGEVIN	2015	janv-15	22/01/2015	LA220115			
ROCHES	2015	févr-15	13/02/2015	RO130215			
PLUIES	2015	**févr-15**	13/02/2015	PL130215	N=46	N=46	N=45
MARSOINS	2015	**févr-15**	14/02/2015	MAR140215	N=46	N=46	N=45
MAT	2015	févr-15	14/02/2015	MA140215			
SAINT ETIENNE	2015	févr-15	15/02/2015	SE150215			
GALETS	2015	**févr-15**	14/02/2015	GA140215	N=43	N=43	N=42
MAT	2015	mai-15	02/05/2015	MA20515			
MAT	2015	juil-15	15/07/2015	MA150715			
MAT	2015	août-15	13/08/2015	MA130815			
PLUIES	2015	oct-15	09/10/2015	PL91015			
GALETS	2015	oct-15	08/10/2015	GA81015			
MAT	2015	nov-15	08/11/2015	MA81115			
SAINT ETIENNE	2015	nov-15	12/11/2015	SE121115			
PLUIES	2015	nov-15	13/11/2015	PL131115			
GALETS	2015	nov-15	10/11/2015	GA101115			
GALETS	2015	déc-15	10/12/2015	GA101215			
MAT	2015	déc-15	10/12/2015	MA101215			
PLUIES	2016	janv-16	02/01/2016	PL20116			
GALETS	2016	janv-16	04/01/2016	GA40116			
MAT	2016	janv-16	03/01/2016	MA30116			
PLUIES	2016	**févr-16**	03/02/2016	PL30216	N=50	N=50	N=45
GALETS	2016	**févr-16**	04/02/2016	GA40216	N=49	N=49	N=48
MARSOUINS	2016	**févr-16**	15/02/2016	MAR150216	N=50	N=50	N=43

Evènement de recrutement de février 2015

Evènement de recrutement de février 2016

Cette dernière analyse vise à étudier la variabilité des traits de vie entre deux évènements de recrutement, ceux de février 2015 et février 2016, afin de mettre en évidence la variabilité interannuelle des traits de vie (fig. 16). Nous avons sélectionné trois sites sur lesquels nous avons de la donnée en février 2015 et 2016. Il s'agit des rivières des Galets, des Pluies et des Marsouins. Puis nous avons réalisé une ANOVA hiérarchisée par permutation à deux facteurs (le site dans l'année) afin de prendre en compte l'influence supposée du site dans l'année. Cette analyse est non paramétrique et autorise l'hétéroscédasticité et la non normalité de nos données à l'échelle de cette analyse.

Pour le POIDS, l'ANOVA hiérarchisée indique un effet très significatif du « site » dans « l'année » ($F = 34.5$, p-value = 0.001) mais l'effet du facteur « année » isolé n'est pas significatif. Pour LS, l'ANOVA hiérarchique indique un effet très significatif du site dans l'année ($F = 26.1$, p-value = 0.001) et un effet significatif moyen du facteur année isolé ($F = 8.21$, p-value = 0.007). Pour DPL, l'ANOVA hiérarchique indique un effet significatif faible du site dans l'année ($F = 3.4$, p-value = 0.014) et un effet très significatif du facteur année isolé ($F = 53.3$, p-value = 0.001).

Les tests post-hoc non paramétriques de Dunn (fig. 17) révèlent que pour DPL, les échantillons collectés sur différents sites ne sont pas significativement différents au sein d'une année (2015 et 2016) mais le sont entre les années. Les post-larves sont plus jeunes en 2016. Plus précisément, les post-larves sur les rivières des Galets et des Marsouins en 2015 sont significativement plus âgées que celles sur la rivière des Marsouins 2016. Les post-larves sur Pluies en 2015 sont significativement plus âgées comparé à tous les sites en 2016. Globalement, les boîtes à moustache montrent une plus grande variance de l'âge en 2016. Pour LS et le POIDS, on détecte cette variance au sein des échantillons de 2016 mais pas de tendance à la baisse des valeurs. Les post-larves sur le site des Pluies en 2016 affichent notamment une taille et un poids significativement plus élevés que tous les autres échantillons, excepté Galets 2015.

Ainsi, l'âge des post-larves serait fortement influencé par l'environnement régional mais pas par l'environnement local. La longueur standard et le poids des larves seraient fortement influencés par l'environnement régional mais aussi par les conditions environnementales locales sachant que l'effet site dans date est marqué.

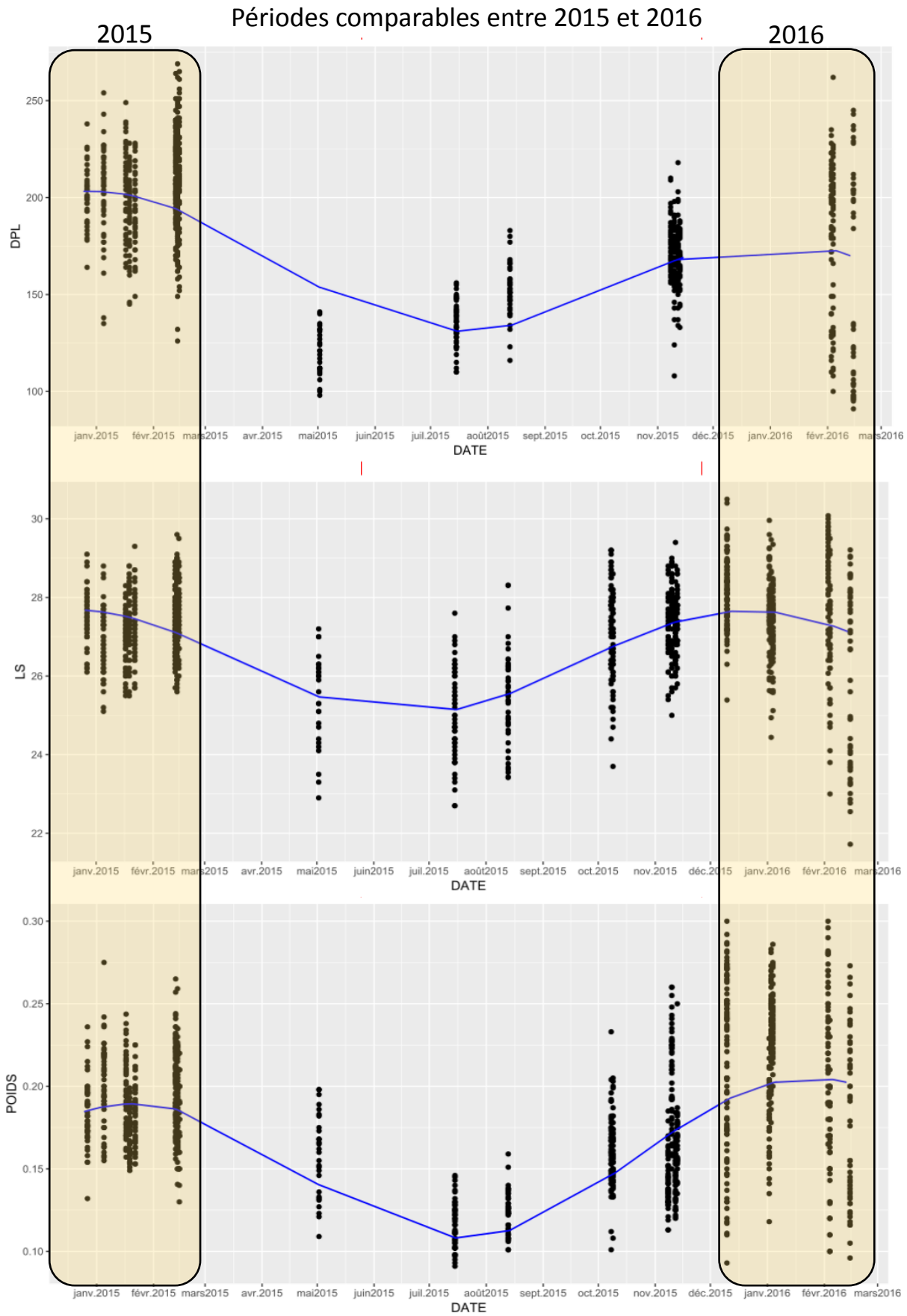


Figure 16. Variabilité interannuelle des traits de vie entre 2015 et 2016

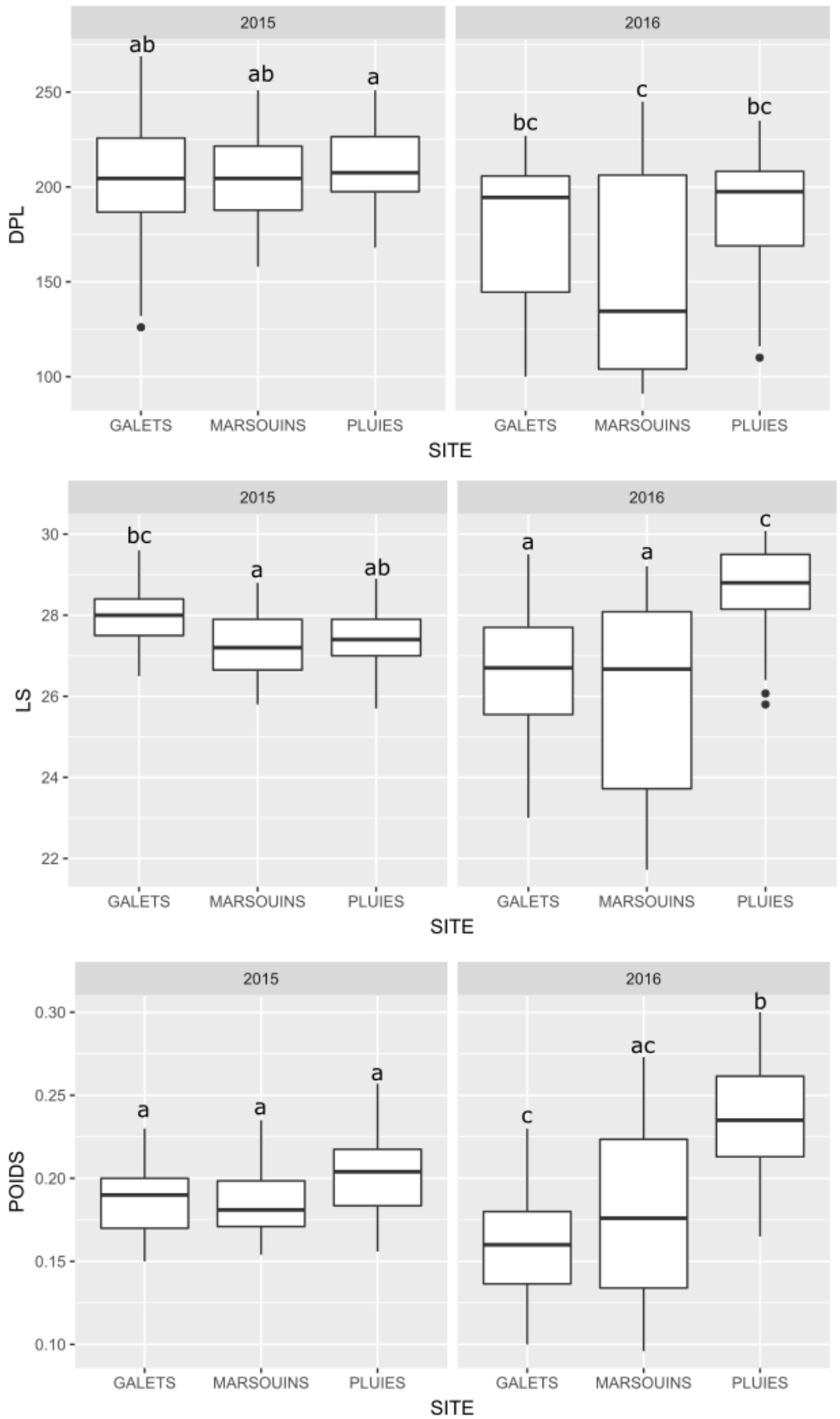


Figure 17. Boîtes à moustache qui représentent les résultats des ANOVA hiérarchisées (site dans année) pour la Durée de Phase Larvaire (DPL), la Longueur Standard (LS) et le Poids (POIDS). Pour chaque variable, les échantillons qui partagent la même lettre ne sont pas significativement différents d'après les tests post-hoc de Dunn

IV. Discussion

1. L'effet de la saison sur la variabilité des traits de vie des post-larves au recrutement

L'analyse de la variabilité des traits d'histoire de vie sur 1360 post-larves au recrutement, collectées entre décembre 2014 et février 2016, sur 7 rivières pérennes de l'île, révèle que la durée de phase larvaire, la longueur standard et le poids varient entre les saisons australes. Les régressions périodiques sur l'ensemble des échantillons (28 échantillons) indiquent que les valeurs des trois traits de vie sont plus basses sur les individus collectés en hiver austral 2015 (mai-octobre), nés l'été précédent (2014/2015) et plus élevées sur les individus collectés en été austral (novembre-avril), nés les hivers précédents (2014 et 2015 suivant les saisons estivales considérées).

La thèse de Teichert (2012) a mis en évidence une fluctuation saisonnière de l'âge, de la longueur totale et de la croissance des larves de *S. lagocephalus* sur trois années (2006-2008) à l'échelle d'un site (St Etienne). Notre étude confirme que cette fluctuation saisonnière des traits de vie est générale à l'échelle de l'île, quelque soit le site échantillonné. Cela renforce l'hypothèse que les processus écologiques qui influencent les traits de vie à cette échelle de temps seraient liées à des variations environnementales de nature régionale, ou du moins œuvrant à une échelle géographique supérieure aux dimensions de l'île. De nombreuses études ont démontré que la température de l'océan jouait un rôle prépondérant dans la variabilité des traits de vie au recrutement (Barbee et al., 2011 ; Sponaugle et Grorud-Covert, 2006). Les organismes marins au stade larvaire seraient très sensibles aux variations de température de leur naissance à leur recrutement, comme cela a été démontré chez une espèce de poisson diadrome largement distribué *Galaxias maculatus* (Barbee et al., 2011). De nombreuses études révèlent notamment que l'augmentation de la température de l'océan réduit généralement la taille et la durée de la phase larvaire des organismes (poissons, invertébrés) mais augmente leur croissance. D'autres études démontrent qu'une plus faible salinité associée à une plus faible température de l'océan entraînent un allongement de la DPL et de la taille et une diminution de la croissance et de la condition (Sponaugle et Pinkard, 2004). Sous ces conditions environnementales, la disponibilité en proies serait réduite affectant la condition larvaire de nombreux organismes, leur succès à se métamorphoser ainsi que la croissance des juvéniles (Pechenik, Estrella et Hammer, 1996 ; Phillips 2002). D'autres études soutiennent que l'augmentation des radiations solaires et des pluies ainsi que le renforcement des vents le long des côtes entraînent un ralentissement de la croissance et un allongement de la durée de phase larvaire (Bergenius et al., 2005). L'augmentation de la température n'a cependant pas les mêmes effets suivant les taxons (Nilsson et al., 2009 ; Stobutzki, 1998) et les zones géographiques (Gardiner,

Munday et Nilsson, 2010). La relation entre la température et les traits de vie s'inverse lorsque l'optimum thermique de certaines espèces est dépassé (Kucharczyk et al., 1997), ce qui est le cas dans certaines régions du globe et problématique dans un contexte de réchauffement climatique. Une étude a notamment démontré la variation saisonnière mais aussi spatiale des traits de vie des poissons coralliens à l'échelle de la grande barrière de corail et mis en évidence la sensibilité des larves de poissons au réchauffement climatique, lequel est plus marqué à certaines latitudes (Takahashi et al., 2012). Aussi, nous ne pouvons pas affirmer que l'augmentation des radiations solaires et le renforcement des vents comme démontré sur d'autres espèces à l'écologie de vie différentes sont des facteurs influents dans notre cas d'étude car nous n'avons pas pu le tester sur notre espèce.

Cependant, concernant *S. lagocephalus*, des études récentes ont mis en évidence le lien entre la température de surface de l'océan et les variations des traits de vie au recrutement à La Réunion. Teichert et al. (2012, 2016) observent que les larves qui naissent en été et dispersent dans un océan plus chaud, ont une croissance plus rapide, une durée de phase larvaire plus courte et une taille totale plus petite au recrutement que celles qui naissent en hiver et qui dispersent dans un océan moins chaud. Ainsi, nous pouvons supposer que la variabilité des traits de vie des post-larves au recrutement de *S. lagocephalus* est au moins en partie dû à la variation des températures de surface de l'océan, qui comme cela a été démontré sur diverses espèces et la nôtre, réduit la taille, le poids et l'âge au recrutement et augmente la croissance larvaire. Il a notamment été démontré chez le poisson corallien *Amphiprion melanopusles* que la température avait une influence directe sur la croissance somatique des larves, du stade embryonnaire à celui de juvénile (Green et Fisher, 2004). Et il est reconnu que la température est l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui affecte l'incubation des embryons de poissons et la survie et croissance des larves (Carvalho et al., 2017 ; Green et Fisher, 2004 ; Kucharczyk et al., 1997).

De plus, nous trouvons dans notre étude que la phase larvaire de *S. lagocephalus* dure en moyenne 189 jours (± 34) et varie de 91 jours à 269 jours, ce qui correspond à la plasticité répertoriée pour cette espèce largement distribuée en milieu tropical (Teichert et al., 2016). Dans le Pacifique, Lord et al. (2010) montrent que la DPL de cette espèce est réduite à environ 131 jours (± 3.4) et suggèrent que l'âge ne varie pas à l'année, au centre de l'archipel du Vanuatu et en Nouvelle-Calédonie, autant qu'à La Réunion. Les variations climatiques sont pourtant relativement similaires à celles de La Réunion avec deux grandes saisons (sèche et humide) mais l'écart des températures entre les saisons est plus réduit (5°c à La Réunion, 1 à 5°c en fonction des localités au Vanuatu), ce qui explique probablement la plus faible amplitude de l'âge entre les saisons.

Nous savons que d'autres facteurs interagissent avec la température et peuvent masquer son effet, comme la concentration en oxygène, la disponibilité en proie, les conditions pour se nourrir ainsi que la photopériode (Kucharczyk et al., 1997). Donc bien que l'on suppose que la température de surface de l'océan joue un rôle prépondérant pour expliquer la variabilité des traits de vie au recrutement, nous pouvons imaginer que d'autres processus à l'œuvre interviennent ou interagissent. L'influence de la temporalité ne préfigure pas nécessairement ou seulement une influence directe du climat. Par exemple, ce pourrait être la disponibilité trophique océanique aux différentes dates qui est responsable des différences de traits entre dates. Nous trouvons dans notre étude que les corrélations entre DPL et LS (0.597) et DPL et le poids (0.578) sont significatives mais faibles. Nous pouvons donc supposer que la variation de la taille résulte en partie de la variation de l'âge (plus le poisson reste dans l'océan, plus il grandit) mais que la variation des traits de taille et de poids résulte aussi de la variation du taux de croissance des larves qui est conditionné par d'autres facteurs tels que la disponibilité en nourriture, comme le suggèrent Lord et al. (2010). D'ailleurs nous trouvons que bien que l'âge au recrutement soit manifestement plus petit en été 2015/2016 (170 ± 36) comparé à l'été 2014/2015 (204 ± 22 jours), la longueur standard et le poids affichent des moyennes subtilement supérieures avec des écarts-types plus grands en 2015/2016. Les ANOVA hiérarchisées indiquent notamment un effet très significatif du site dans l'année pour le poids et la longueur standard alors que l'effet du site dans l'année est faible pour DPL. Aussi, l'effet du facteur année isolé n'est pas significatif pour le poids et faible pour la taille, alors qu'il est très fort pour l'âge. Cela démontre que la taille et le poids sont des traits de vie qui varient saisonnièrement mais aussi entre les années, et qui suggère que la variabilité des conditions environnementales à proximité des côtes, telles que la disponibilité en nourriture, la salinité, la pluviométrie, les courants et les vents, influencent fortement la taille et le poids des post-larves en fin de phase larvaire.

2. L'impact de l'épisode climatique El Niño 2015 sur la variabilité inter-annuelle des traits de vie des post-larves au recrutement

El Niño représente la phase chaude du phénomène climatique ENSO (El Niño-Southern Oscillation) qui influence la climatologie globale en affectant le régime des vents, la température des océans et les précipitations. Le phénomène El Niño se caractérise par une augmentation de la température de surface de l'océan Pacifique qui se répercute sur les régions tropicales du globe dont le sud-ouest de l'océan Indien[7]. L'évènement climatique El Niño de 2015, qualifié de très forte

[7] http://www.meteofrance.fr

intensité, figure parmi les plus puissants observés depuis 1950. L'année 2015 à La Réunion figure parmi les plus chaudes avec la moyenne des températures qui s'est élevée à + 0.9°c pour les maximales et + 0.5°c pour les minimales, par rapport à la normale[8]. Les températures étaient largement supérieures à la moyenne au cours des trois derniers trimestres (avril à décembre), ce qui indique que les larves nées en hiver 2015 (mai à octobre) ont dispersé dans un océan plus chaud que la normale. Météofrance Réunion confirme que les températures ressenties sur l'île sont fortement corrélées à l'augmentation de la température océanique lors d'un évènement El Niño. Cette élévation de la température explique probablement et en en partie, la plus courte phase larvaire de *S. lagocephalus* observée au recrutement en été 2015/2016. Nous observons notamment une bimodalité des âges en février 2016 au sein des cohortes de recrutement avec des larves de petits âges (91 jours soit 3 mois) et des larves de grands âges (262 jours soit 9 mois). Sachant que le phénomène a atteint son intensité maximale en fin d'année (d'où il tire son nom « enfant Jésus »), il est probable que des larves de petits âges aient profité de la plus forte élévation des températures en fin d'année 2015 pour croître rapidement et recruter en février 2016. Nous observons aussi que la longueur standard et le poids au recrutement sont fortement corrélés à la durée de phase larvaire au sein de la cohorte où la bimodalité est parfaite en termes d'intensité (MAR150216). Cela soutient l'hypothèse que la variation de la taille mais aussi du poids résulte en partie de la variation de l'âge. Au sein des cohortes où la bimodalité est moins marquée (GA40216 et PL30216), on observe une plus faible similitude entre la tendance des âges et la longueur standard et pas de similitude entre la variation de l'âge et du poids, ce qui soutient l'hypothèse que la variation de la taille et surtout du poids résulte aussi de la variation du taux de croissance des larves, conditionné par d'autres facteurs. Nous suggérons notamment que la variabilité des conditions environnementales locales induit une croissance différenciée des larves en fin de phase larvaire.

3. L'influence du site de recrutement sur l'île et de la situation géographique de l'engin de pêche en rivière, sur la taille et le poids des post-larves en fin de phase larvaire

Les études sur la variabilité spatiale du recrutement en 2015 indiquent qu'à l'échelle d'un évènement de recrutement (février ou novembre 2015) la variabilité de la DPL est forte au sein d'un échantillon mais faible entre les échantillons (collectés sur différents sites à différentes dates au sein du mois). La variabilité des âges s'étale de 126 à 269 jours pour février 2015 et de 108 à 218

[8] Bulletin climatologique 2015 de La Réunion : http://www.meteofrance.re/climat/bca2015

jours pour novembre 2015. Nous trouvons que la variabilité des âges est homogène entre les sites pour l'évènement de recrutement de février 2015 mais différente entre les sites pour l'évènement de recrutement de novembre 2015, avec une significativité faible.

Ainsi, nous pensons que la grande variabilité intra-groupe (cohorte de recrutement) résulte du regroupement dans l'océan de cohortes larvaires d'origines différentes en termes de géographie et d'événements de ponte, lesquelles viennent ensuite alimenter les différentes rivières de La Réunion. D'ailleurs, une étude génétique sur les populations adultes de *S. lagocephalus* décrit une homogénéité génétique des populations entre les rivières de La Réunion (Berrebi et al., 2005), ce qui soutient cette hypothèse.

De plus, une étude plus récente a permis d'identifier que la population de *S. lagocephalus* dans le sud-ouest de l'océan Indien, regroupant la plupart des haplotypes des Mascareignes et des Comores, était isolée de la population du Pacifique (Lord et al., 2012). Cette étude montre que des échanges sont possibles au sein des Mascareignes (entre La Réunion et l'île Maurice) et entre La Réunion et les Comores. Mais il est peu probable que des post-larves nées aux Comores arrivent à La Réunion, avec le courant sud-équatorial qui s'oriente d'est en ouest. Au contraire, il est probable que les larves d'origine réunionnaise recrutent dans les rivières de l'archipel des Comores et conduisent à cette homogénéité génétique à l'échelle du sud-ouest de l'océan Indien. Ainsi, l'hypothèse d'un autorecrutement régional à l'échelle de l'archipel des Mascareignes est concevable, expliquant à la fois la faible variabilité des âges entre les rivières et sa grande variabilité au sein d'une rivière pour un évènement de recrutement.

De même, un nombre croissant d'études suggère que la rétention locale et régionale des larves près des côtes se produit fréquemment (Closs et al., 2013 ; Augspurger et al., 2017). Sachant que les deux îles (Réunion-Maurice) sont géographiquement proches (226 km) et que La Réunion est située au sud-ouest de Maurice dans la direction appropriée du courant sud équatorial, il est fort probable que les larves réunionnaises et mauriciennes se rassemblent pour former une ou plusieurs grandes cohortes à proximité des côtes réunionnaises avant d'alimenter les différentes rivières. Oshiro & Nishizima (1978) observent notamment que les post-larves de gobies du genre *Rhinogobius* forment une grande cohorte juste avant le recrutement et de façon anecdotique, les pêcheurs de bichiques interrogés dans la cadre de notre enquête anthropologique sur les savoirs des pêcheurs décrivent ce même phénomène. Toutefois, les genres *Galaxias* et *Rhinogobius* dont il est question dans ces études (Augspurger et al., 2017 ; Closs et al., 2013, Oshiro et Nishizima, 1978) concernent des poissons amphidromes tempérés, qui possèdent des caractéristiques d'histoire de vie différentes de celles des poissons tropicaux (Iida et al., 2017 ; Watanabe et al, 2014 ; Iida et al., 2009). Les œufs sont notamment de grandes tailles et les larves nouvellement écloses sont bien développées. Par

conséquent, leur mécanisme de rétention pourrait être différent de celui de *Sicyopterus lagocephalus*, une espèce amphidrome tropicale.

Concernant la variabilité de la longueur standard, nous trouvons des différences significatives entre les sites pour les deux évènements de recrutement (février et novembre 2015). En février 2015, nous observons que les post-larves échantillonnées à l'est de l'île (dans les rivières des Marsouins et du Mât), sont en moyenne de tailles inférieures à celles échantillonnées dans les rivières de l'ouest (les rivières de St Etienne et des Galets). Ainsi nous supposons que les post-larves collectées dans les rivières de l'est présentent un stade de métamorphose plus avancé que celles de l'ouest. Cette hypothèse est soutenue par deux études sur la caractérisation de la métamorphose de *S. lagocephalus*.

Tout d'abord, Keith et al. (2008) observent expérimentalement que la forme du crâne et l'angle du coin de la bouche de *S. lagocephalus* changent et déterminent la première étape de métamorphose de la post-larve en juvénile. Taillebois et al. (2011) montrent ensuite que ces modifications morphologiques induisent une diminution de la longueur standard de *S. lagocephalus* de 8,7 % à partir du jour 0 (défini comme l'arrivée des post-larves dans l'embouchure de la rivière) jusqu'au jour 37, avec une diminution rapide de LS au cours des 10 premiers jours. Après le jour 10, les post-larves ont atteint le stade juvénile. Dans notre étude, toutes les post-larves avaient une bouche terminale à leur capture, ce qui indique qu'elles en étaient encore aux premières étapes de leur métamorphose. La présence d'une ventouse fonctionnelle indique que la métamorphose avait commencé alors que les post-larves étaient encore dans l'océan, quel que soit le secteur de l'île où elles ont été échantillonnées. Comme l'ont expliqué Keith et al. (2008), les post-larves utilisent la ventouse pour coloniser les rivières ce qui suppose que celle-ci soit complètement formée avant que les post-larves atteignent les rivières.

De plus, les post-larves à l'est étaient légèrement plus pigmentées qu'à l'ouest (observation personnelle). Keith et al. (2008) montrent que la pigmentation progresse pendant la métamorphose. Ainsi, suivant Keith et al. (2008), nous supposons que les post-larves étudiées étaient au stade de post-larve 1 (PL1) (0-2 jours à partir de l'arrivée). Dans une étude sur le gobie amphidrome *Sicyopterus japonicus*, Iida et al. (2015) divisent le stade PL1 en deux étapes, PL1a et PL1b définies suivant l'intensité de la pigmentation. Ainsi, un niveau de pigmentation subtilement plus fort indiquerait un état de métamorphose plus avancé, ce que nous avons observons sur les post-larves échantillonnées dans les rivières des Marsouins et du Mât.

En outre, Briand et al. (2005) ont démontré sur les civelles d'anguilles que la salinité ralentissait la propagation de la pigmentation individuelle, alors que la température dans les rivières, généralement inférieure à celle de la mer, la stimulait. Et compte tenu de la proximité des trois

rivières étudiées à l'est (Mât, Roches et Marsouins), il est probable que leurs panaches associés aient formé une grande lentille d'eau dessalée dans laquelle les post-larves auraient pu séjourner, stimulant la métamorphose.

Concernant la variabilité du poids en février 2015, nous observons que les post-larves ont une masse corporelle moyenne plus élevée à l'est qu'à l'ouest, à l'exception de la rivière des Marsouins (est), pour laquelle le poids moyen n'est pas significativement différent de celui calculé sur les rivières de l'ouest. Ainsi, les post-larves échantillonnées dans la rivière des Marsouins montrent une taille nettement plus petite mais aussi un poids plus faible (mais pas significativement différent de ceux observés à l'ouest) que les post-larves des autres rivières, confirmant l'hypothèse d'une métamorphose plus avancée sur ce site, comparé aux autres sites. En effet, Taillebois et al. (2011) ont montré une perte de poids progressive et significative de 52,6 % entre les jours 2 et 37 et une diminution progressive du facteur de condition de 39,9 % entre les jours 2 et 37. Deux raisons expliquent cette perte de poids et cette diminution du facteur de condition: 1) les post-larves cessent de s'alimenter lorsqu'elles entrent en rivière jusqu'au jour 7 en raison de la transformation morphologique de la bouche qui assure la transition alimentaire (les larves planctotrophes dans l'océan deviennent des brouteurs herbivores en rivière), et 2) le processus de métamorphose et la migration à contre-courant nécessitent une grande quantité d'énergie, ce qui entraîne une diminution du poids et du facteur de condition (Taillebois et al., 2011). Sur le site des Marsouins, les post-larves ont été capturées plus en amont dans la rivière (à 600 m de l'embouchure) comparé aux autres sites (100 m maximum). Ainsi, les post-larves sur le site des Marsouins ont passé plus de temps dans la rivière avant leur capture, ce qui explique que leur stade de métamorphose soit plus avancé, caractérisé par une longueur standard plus petite en raison de la réorganisation du crâne et d'un poids plus petit en raison d'une période de famine inhérente au processus de métamorphose. Ainsi, notre étude met également en évidence l'influence de l'emplacement de l'engin de pêche dans la rivière, sur la variabilité des traits de vie observés. En effet, plus le piège est éloigné de l'embouchure (en amont), plus le niveau de métamorphose de *S. lagocephalus* est avancé. Les post-larves qui passent plus de temps dans l'eau douce évoluent vers un état de métamorphose plus avancé. L'étude de la variabilité du recrutement en novembre 2015 apporte une preuve supplémentaire sur l'influence de la position de l'engin de pêche. En effet, nous observons le même profil de plus petite taille et de plus petit poids, soit de métamorphose plus avancée, sur les post-larves collectées à St Etienne en novembre, comparé aux 3 autres sites échantillonnés à cette période. Et il s'avère que c'est l'un des échantillons collectés plus en amont de l'embouchure (avec ceux de Marsouins).

Sur les autres sites en février 2015, le poids et le facteur de condition étaient plus élevés à l'est qu'à l'ouest de l'île. Nous supposons que la perte de poids n'était pas encore visible pour les post-larves recueillies au jour 0 (lorsque les larves entrent dans la rivière, c'est-à-dire sur tous les sites d'échantillonnage, à l'exception de la rivière des Marsouins), puisqu'elle débute le jour 2 selon Taillebois et al. (2011). Ainsi, nous pensons que cette différence de masse corporelle et de facteur de condition entre la côte est et ouest de l'île est le résultat d'une meilleure croissance des larves à l'est. En effet, nous savons que le débit des rivières est plus intense et régulier sur ce secteur de l'île, en raison de plus fortes précipitations. L'apport en éléments nutritifs est supposé plus important sur ce secteur. Une étude isotopique réalisée par Sorensen et Hobson (2005) suggère que les larves d'espèces amphidromes à Hawaï s'alimentent principalement à partir de matière organique terrigène, transportée par les rivières. Ils démontrent notamment que les larves séjournent quelque temps dans le panache de la rivière avant de recruter dans l'embouchure, ce qui suggère qu'elles s'y alimentent. Ainsi, plus le débit de la rivière est fort, plus la quantité de matière terrigène qui arrive dans l'océan est grande. Et Jenkins et al. (2010) confirment que la matière terrigène constitue la base d'un réseau trophique, dont bénéficie l'ichthyoplancton, parmi lequel on retrouve les post-larves d'espèces amphidromes.

À La Réunion, la côte dite « au vent » est à l'est, ce qui rend probablement les eaux plus troubles et plus riches d'un point de vue trophique. En outre, une étude sur les larves de truites arc-en-ciel a démontré que les coûts énergétiques étaient plus faibles pour les larves qui s'alimentaient dans un environnement plus turbide (Sirois et Dodson, 2000). Une augmentation de la turbidité pourrait diminuer le stress des larves en réduisant le risque de prédation (Bruton 1985). Aussi, les concentrations de zooplancton seraient plus élevées au niveau des fronts de salinité dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, dans l'estuaire de la baie de Chesapeake et dans l'estuaire de Chikugo (Sirois et Dodson, 2000 ; Nord et Houde 2001, 2003). Nous pouvons donc imaginer que ce phénomène s'est produit sur la côte est de La Réunion et que la lentille d'eau dessalée en pénétrant dans l'océan a créé ce front de salinité favorable à l'alimentation des larves. D'ailleurs nous avons trouvé un effet significatif et positif, bien que faible, du débit des rivières sur le poids des post-larves, à l'échelle d'une saison estivale.

Au contraire, nous savons que les rivières pérennes sont moins nombreuses sur la côte ouest de La Réunion et que ce versant de l'île est plus sec et plus ensoleillé. Un récif corallien frangeant qui s'étend sur 25 km protège le littoral ouest de la houle, mais réduit le mélange de l'eau douce avec l'eau de mer. Par conséquent, nous pouvons imaginer que les post-larves passent moins de temps dans l'eau dessalée, comparé à la côte est. Il est probable que les panaches des rivières de l'ouest soient contraints et brisés par le récif, ce qui entraîne une forte variation spatiale des

concentrations de nutriments, comme cela a été démontré sur la Grande barrière de corail (Devlin et Brodie, 2005). Ainsi, cet environnement côtier s'avère moins favorable pour la rétention et le développement des post-larves, qui recrutent dans la rivière à un stade de métamorphose moins avancé.

Cependant, il faut préciser que cette variabilité environnementale entre l'est et l'ouest n'est pas aussi tranchée tout au long de l'année. Lors de la saison des pluies (janvier-mars), il pleut sur toute l'île mais d'avantage à l'est, ainsi les écarts de débit se creusent entre l'est et l'ouest. En novembre, un mois de transition, nous sommes à la fin de l'hiver et au début de l'été. Ce mois est souvent très pluvieux ou à l'inverse très sec. Et en novembre 2015, nous étions dans une période très sèche. Les cartes de Météofrance Réunion révèlent que ce mois était particulièrement sec mais surtout que la sècheresse était quasi équitable entre l'est et l'ouest, ce qui est rare. Les apports de matière organique dans l'océan, conséquents lors des crues, étaient donc quasi nuls en novembre. L'est n'était pas à priori plus favorable en termes de richesse planctonique ce qui pourrait expliquer que le poids des post-larves sur la rivière des galets ait pu être à cette occasion significativement différent et supérieur à celui mesuré sur les rivières des Pluies, du Mât (sans compter l'échantillon de St Etienne collecté plus en amont). Ainsi, la variabilité phénotypique qui s'observe entre l'est et l'ouest en saison des pluies lorsque la variabilité environnementale est forte, serait moins marquée en saison sèche lorsque la variabilité des pluies entre le versant est et ouest de l'île est réduite. Ces résultats soutiennent donc notre hypothèse selon laquelle la variabilité des pluies et indirectement des débits des rivières influencent la distribution de la taille et du poids. Cependant, la longueur standard était toujours plus grande à l'ouest, sur la rivière des galets. Et nous pensons que même si la quantité de matière organique entraînée dans l'océan était faible ou nulle à l'est comme à l'ouest en novembre, le signal d'eau douce perçu par les post-larves à l'est restait cependant plus fort que celui envoyé par les rivières de l'ouest. En effet, le nombre de rivières reste plus élevé à l'est en toute saison. Les larves ont donc plus de chance de détecter le signal d'eau douce à l'est où les rivières sont plus nombreuses et rapprochées, comparé à l'ouest où elles sont moins nombreuses et dispersées. Comme l'eau douce est supposée déclencher la métamorphose des post-larves en juvéniles, elles restent à l'ouest probablement plus longtemps à un certain seuil en dessous duquel la métamorphose ne peut se déclencher. Ainsi, la répartition non équitable des rivières pérennes sur l'île est supposée influencer directement le déclenchement de la métamorphose ce qui se traduit par une plus petite longueur standard au recrutement (en fonction de l'intensité du signal d'eau douce) et l'intensité du débit des rivières est supposé influencer la condition des larves au recrutement (un plus gros poids pour une même taille) et faciliter leur métamorphose (un signal d'eau douce plus fort, plus de nourriture, moins de prédateurs).

Enfin, la variabilité phénotypique des post-larves, en termes de taille, de poids et de condition, entre l'est et l'ouest de La Réunion, pourrait également s'expliquer par d'autres facteurs bio-physiques. Les larves suivant leur origine géographique et leur date de naissance ont probablement emprunté des voies de migration différentes et/ou rencontré des conditions environnementales différentes (par exemple, des différences de températures ou de disponibilité en nourriture). La corrélation de l'âge avec la taille et le poids est faible à l'échelle d'un évènement de recrutement, ce qui renforce notre conclusion selon laquelle la (ou les) cohortes de recrutement au cours d'un évènement proviennent de différentes cohortes larvaires, aux histoires de vie différentes, qui ont traversé des conditions océaniques plus ou moins favorables à leur développement.

Pour conclure, nos résultats suggèrent que la variabilité phénotypique que nous observons sur certains traits de vie (DPL, LS, POIDS et facteur de condition) entre les rivières de l'île de La Réunion, provient de la variabilité des conditions environnementales que rencontrent les post-larves au cours de leur phase larvaire dans l'océan mais aussi à proximité des côtes en fin de phase larvaire. Les conditions environnementales régionales telles que l'alternance des saisons estivale et hivernale influencent très nettement les différents traits de vie. Par contre, les conditions locales aux abords de l'île ne semblent pas influencer la durée de la phase larvaire mais semblent clairement influencer la longueur standard et le poids soit la condition des post-larves au recrutement. Sachant que la métamorphose est coûteuse en énergie, les post-larves qui affichent un indice de condition plus élevé sont plus susceptibles de survivre lors du recrutement en rivière et d'achever leur métamorphose (Bergenius et al., 2002 ; Hamilton 2008). Ainsi, cette étude suggère que le succès du recrutement est plus élevé dans l'est, car les post-larves ont des indices de condition plus élevés sur ce secteur de l'île. D'ailleurs, il est reconnu que le recrutement est aussi plus intense sur ce secteur de l'île comme en témoigne les rendements historiques de l'activité de pêche des bichiques (Aboussouan 1969 ; Delacroix 1987 ; Schübel, 1998), notamment sur les rivières du Mât, des Roches et des Marsouins (observations personelles). Les conditions environnementales seraient donc plus favorables à l'est, ce qui attirerait les post-larves. Cependant, la protection des rivières de l'est ne doit pas pour autant être renforcée au détriment des autres sites. En effet, bien que le succès du recrutement semble être plus fort dans l'est, l'Office de l'Eau de La Réunion a signalé en 2012 que la population adulte de *S. lagocephalus* était de bonne qualité en amont du bassin versant de la rivière des Galets, en rapport à leur indicateur (OCEA 2013). Plus généralement, cette espèce se retrouve sur tous les bassins hydrographiques de l'île (OCEA 2013). Étant donné que le cycle de l'espèce comprend une phase de dispersion larvaire océanique, toutes les rivières de l'île sont

potentiellement interconnectées entre elles et avec l'archipel des Comores ainsi que l'île Maurice. De même, nous ne savons pas dans quelle mesure les populations de *S. lagocephalus* des rivières de l'ouest contribuent à l'autorecrutement sur l'île, et à l'allorecrutement sur l'archipel des Comores et sur l'île Maurice. Dans ce contexte, il est nécessaire d'assurer la continuité écologique de tous les cours d'eau (passes à poisson fonctionnelles et règlementation de la pêche des bichiques) et de maintenir une bonne qualité des rivières, aussi responsable de la bonne survie des individus. Enfin, le réchauffement climatique et à plus petite échelle, le basculement des eaux d'est en ouest (Projet ILO) pour compenser la sécheresse sur ce secteur, pourraient à l'avenir changer la géographie des secteurs favorables au recrutement.

La contribution de cette étude à l'amélioration des connaissances sur le cycle de vie des gobies amphidromes à La Réunion :

- Les conditions environnementales locales aux abords de l'île de La Réunion, influencent la taille et le poids des post-larves en fin de dispersion larvaire, alors que la variabilité des âges au recrutement dépend davantage des conditions environnementales régionales.

- La variabilité des âges est faible entre les sites mais grande au sein d'un site, ce qui soutient l'hypothèse que les cohortes larvaires d'origines différentes, se regroupent dans l'océan avant d'alimenter les différentes rivières de La Réunion.

- La variabilité des traits de vie entre l'est et l'ouest de l'île, est moins marquée en saison sèche lorsque la variabilité des pluies entre le versant est et ouest de l'île est réduite.

- Le débit des rivières a une influence faible mais positive sur le poids des post-larves au recrutement en été.

- Les post-larves au recrutement dans les rivières de l'est présentent un stade de métamorphose plus avancé que celles de l'ouest.

- La répartition non équitable des pluies et rivières pérennes sur l'île influence la condition des larves au recrutement, ce qui est supposé conditionner leur succès de métamorphose en juvéniles.

- Les rivières de l'est semblent être des secteurs plus favorables au recrutement larvaire que l'ouest, mais constituent peut-être des pièges écologiques car les pressions anthropiques (comme la pêche par exemple) s'intensifient dans tous les cours d'eau.

CHAPITRE 2.

Les pêcheries de « bichiques » : contexte socio-économique et technique

I. Introduction

Parce que les gobies amphidromes revêtent une grande importance écologique à La Réunion, nous avons tout d'abord mené une première étude en écologie sur la variabilité spatio-temporelle du recrutement larvaire de *S. lagocephalus* à l'échelle de l'île. Notre objectif était d'améliorer notre compréhension sur leur cycle de vie original et leurs exigences écologiques, en particulier lors du recrutement en rivière, qui constitue une étape critique dans leur vie.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'importance économique et sociale de ces post-larves de gobies amphidromes. Ici, il n'est plus question uniquement de *S. lagocephalus* mais bien de l'ensemble des espèces appartenant aux « bichiques », c'est-à-dire les deux espèces de gobies *S. lagocephalus* et *C. acutipinnis,* qui sont toutes les deux ciblées, au cours de leur recrutement en rivière, par une pêche traditionnelle connue sous le nom de pêche des bichiques.

Les pêcheurs professionnels côtiers (qui ciblent plusieurs espèces) sont autorisés à prélever les bichiques dans l'océan avec un filet moustiquaire, comme cela existe pour la pêche des civelles en Europe. Mais l'activité de pêche des bichiques est avant tout informelle, car elle se pratique majoritairement et traditionnellement au sein des embouchures des rivières de La Réunion. Dans ces milieux d'interface, les pêcheurs occupent pour la plupart illégalement, les domaines publics fluvial et maritime. Mais l'activité de pêche a longtemps été tolérée par l'Etat, en raison de son caractère patrimonial. La pêche génère également une économie souterraine, à priori conséquente. Elle serait donc de nature récréative, de subsistance mais aussi très lucrative. Le prix moyen au kilo est de 35 euros mais s'est élevé à 80 € le kg en 2016. Dans ce contexte, il est difficile d'évaluer les captures et bénéfices que les pêcheurs en tirent, ce qui pose un premier problème en termes de gestion des stocks, lesquels seraient manifestement sous pression. En effet, le recrutement larvaire historiquement fort sur l'île de La Réunion, serait en déclin depuis un certain nombre d'années d'après les scientifiques et les pêcheurs. Les menaces qui pèsent sur les espèces doivent donc être étudiées afin de déterminer s'il est possible de contribuer à leur sauvegarde. Le résultat de ces études pourrait par ailleurs profiter à la pêche et à sa durabilité. En effet, l'activité de pêche traditionnelle semble traverser une crise consécutive à l'affaiblissement du recrutement, qui se manifeste par des conflits entre pêcheurs et avec l'Etat, que relayent régulièrement les médias.

Cependant, l'activité de pêche est en passe d'être règlementée et devrait donc évoluer dans les années à venir. Les services de l'Etat se mobilisent depuis 2012 pour mettre en conformité l'activité de pêche en rivière, sous la pression de l'Europe, en particulier de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000), qui a imposé aux Etats membres, d'atteindre le bon état écologique des cours

d'eau en 2015. En effet, les pêcheries localisées aux embouchures des rivières constituent un obstacle à la continuité écologique des cours d'eau.

Bien sûr, il n'est pas envisagé d'interdire la pêche en raison de son importance économique et sociale mais aussi parce que nous ne savons pas dans quelle mesure les prélèvements par pêche affectent le renouvellement des populations de gobies adultes à La Réunion, comparé aux autres pressions anthropiques tels que les barrages ou la pollution. Nous supposons évidemment que l'effort de pêche est intense et contribuent fortement à l'affaiblissement du recrutement larvaire, ce que nous avons cherché à quantifier.

Ainsi, dans ce chapitre, nous décrivons l'enquête anthropologique menée auprès des pêcheurs et de différents acteurs publics impliqués, dont les services de l'Etat. Il s'agissait, d'une part, de comprendre et décrire les techniques de pêche, l'évolution des pratiques au cours du temps, l'importance économique et sociale de la pêche, recueillir le savoir et les opinions des pêcheurs sur l'affaiblissement du recrutement larvaire, les problèmes humains qu'ils rencontrent aux embouchures et leurs revendications auprès de l'Etat. D'autre part, il nous fallait comprendre la démarche de régularisation des services de l'Etat, leur plan d'action, leur opinion sur la raréfaction des bichiques, et leur relation avec les pêcheurs. Ces éléments de réponse réunis nous ont permis de cerner la durabilité de la pêche et d'envisager son évolution, au vu des points forts et faibles du plan de gestion.

II. Stratégie d'échantillonnage et méthode

1. Les acteurs ciblés par l'enquête

La population initialement ciblée par l'enquête étant celle des pêcheurs de bichiques, nous avons tout d'abord sollicité des associations de pêcheurs pour organiser les premières rencontres avec eux. Ces premiers contacts constituent la base de notre réseau qui s'est élargi avec l'aide de chaque nouvel interlocuteur. Dans un second temps, il est apparu nécessaire d'augmenter la population étudiée pour y inclure l'ensemble des acteurs concernés par la problématique, en particulier les services de l'Etat.

La diversité des acteurs interviewés, le nombre d'entretiens et le type d'entretiens (programmé ou spontané) sont recensés dans les tableaux 1 et 2. Au total, 73 entretiens ont été réalisés sur l'île dont 25 entretiens semi-directifs (dit programmés) et 48 entretiens spontanés. Cinquante-sept entretiens ont été réalisés avec les pêcheurs et 16 avec les autres acteurs publics répertoriés dans le tableau 1 (services de l'Etat, office de l'eau, associations, comité des pêches, élus, scientifiques, etc.). Nous avons rencontré certains interlocuteurs à plusieurs reprises et certains entretiens ont été menés collectivement, ce qui nous amène à comptabiliser 74 individus interrogés. A ces entretiens formels s'ajoutent les discussions informelles avec la population qui ont renforcé notre compréhension du contexte local.

J'ai personnellement réalisé la totalité des entretiens semi-directifs avec les acteurs publics, et plus de la moitié des entretiens (programmés et spontanés) avec les pêcheurs (68.5 %). Les entretiens restants ont été menés par une technicienne qui m'aidait sur le terrain (31.5 %) (Enora Becheler).

2. Lieux et périodes de l'enquête

L'enquête de terrain s'est déroulée d'octobre 2014 à février 2016 à La Réunion. J'ai effectué trois missions durant cette période :

1. octobre à décembre 2014 (fin d'hiver austral – début d'été austral)
2. février 2015 (été austral)
3. septembre 2015 à février 2016 (hiver – été austral)

La pêche aux bichiques se déroule principalement au cours de l'été austral, d'octobre à février. Nous avons couvert deux saisons de pêche estivale, 2014/2015 et 2015/2016. L'effort d'enquête concernait tous les secteurs de l'île. Au cours de l'hiver austral 2015, en particulier entre mars et août 2015, un suivi sur les rivières a été organisé afin de vérifier si l'activité de pêche se pratiquait

et avec quelle intensité. Seules les rivières de Langevin et du Mât ont été prises en compte dans le cadre de ce suivi hivernal.

Initialement, les 13 cours d'eau pérennes de l'île ont été investigués. L'effort d'enquête s'est finalement concentré sur 9 rivières pérennes, où la présence de pêcherie est avérée dans le temps. Nous avons ainsi pu collecter de l'information qualitative et quantitative sur les rivières de Langevin, des Remparts, de Saint-Etienne, des Galets, des Pluies, du Mât, des Roches, des Marsouins et de l'Est. Les entretiens avec les acteurs publics se sont déroulés dans leurs structures professionnelles respectives et ont occasionné des déplacements sur différentes communes. L'effort d'enquête par secteur a été cartographié (tableau 3 et fig. 1). Il est représenté par un cercle dont la surface est proportionnelle au nombre d'entretiens.

Tableau 1. La grille de synthèse des entretiens

Catégories d'acteurs interrogés dans l'enquête	Nombre d'entretiens	Entretiens programmés	Entretiens spontanés	Nombre d'individus	Enquêteur
Mairie de Bras-Panon (Elu)	1	1		1	Carole
Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement : DEAL Réunion (Etat)	2	1	1	2	Carole
Direction de la Mer Sud Océan Indien: DMSOI Réunion (Etat)	1	1		1	Carole
Sous-préfecture de Saint Benoit (Etat)	1	1		1	Carole
Société Réunionnaise pour l'Etude et la Protection de l'Environnement : SREPEN (Association)	1	1		1	Carole
Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique : FDAAPPMA	2	2		2	Carole
Office de l'eau de La Réunion : ODE	1	1		1	Carole
Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins de La Réunion : CRPMEM	1	1		1	Carole
Géographe (scientifique)	1	1		1	Carole
Bureau d'étude OCEA Consult' (scientifique)	1	1		1	Carole
Ecologue indépendant (scientifique)	1		1	1	Enora
Brigade nautique du port (gendarmerie nautique)	1	1		1	Carole
Restaurateur à la rivière des Roches	1		1	1	Carole
Agent de la commune de Saint Benoit	1		1	1	Carole
Associations de pêcheurs de bichiques en rivière (APBR) et pêcheurs indépendants	57	13	44	58	Carole/Enora
Total	**73**	**25**	**48**	**74**	

Tableau 2. Le nombre d'entretiens avec les pêcheurs classés par type d'entretien et d'enquêteur

Enquêteur	Entretiens programmés	Entretiens spontanés	Total des entretiens avec les pêcheurs
Carole	8	27	35
Enora	5	17	22
Total	13	44	57

Tableau 3. Effort d'enquête par secteur. X et Y sont les coordonnées géographiques des entretiens

SITE	X	Y	ENTRETIEN
St André	360499.224	7681290.599	1
St Pierre	351340.892	7647189.689	1
St Benoit	366173.773	7673141.975	1
Bras Panon	362402.742	7677817.329	1
Rivière de l'Est	371872.501	7665198.605	3
Le Port	323333.972	7683513.954	3
Rivière St Etienne	334952.187	7643377.922	3
Rivière des Pluies	344237.718	7690001.895	4
Rivière des Galets	321288.275	7681653.274	4
St Denis	339230.701	7689306.242	5
Rivière des Marsouins	366561.678	7673699.654	6
Rivière du Mât	364660.525	7679594.962	7
Rivière des Remparts	356773.658	7634628.782	8
Rivière de Langevin	359392.802	7634552.568	10
Rivière des Roches	364841.863	7676746.649	16

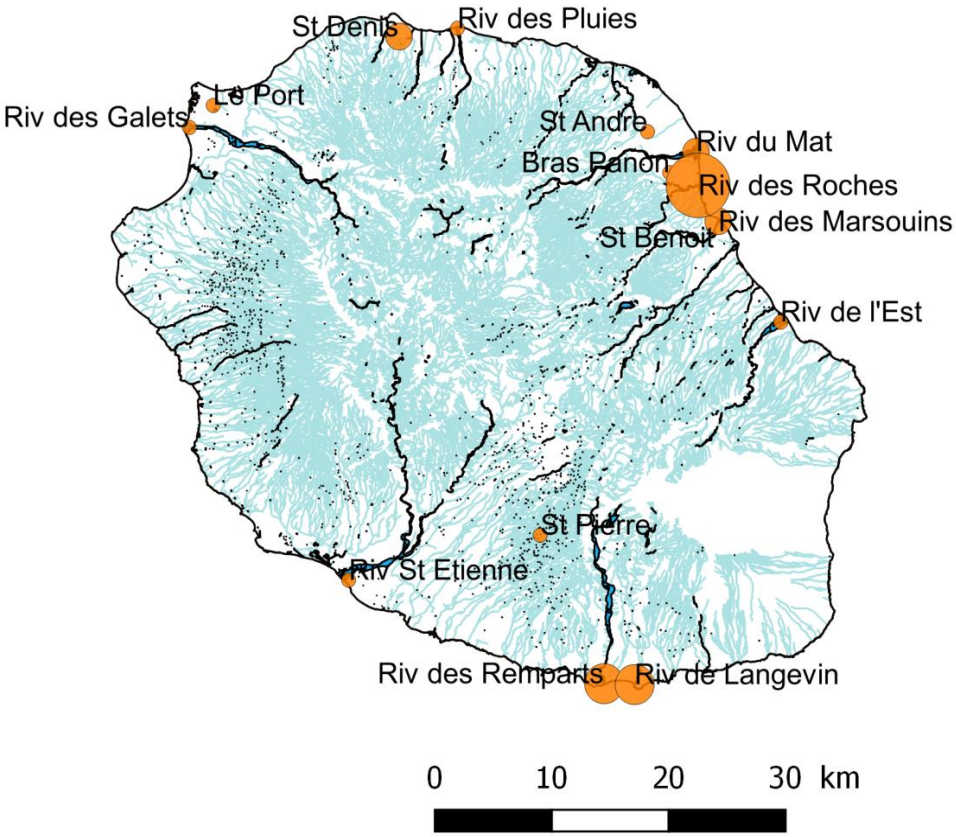


Figure 1. Carte de l'effort d'enquête à l'échelle de l'île. Chaque cercle représente proportionnellement le nombre d'entretiens

3. Conduite des entretiens

L'entretien semi-directif (Kaufman 1991 ; Savoie-Zajc 2009) est une méthode d'entretien dite compréhensive. Un questionnaire est souvent composé de questions « fermées » qui laissent peu de place à l'expression et suppose que l'on connaisse un grand nombre de réponses au préalable. Il s'utilise majoritairement dans le cadre de sondage. Pour définir plus précisément l'entretien semi-directif, je citerais Kaufman : « A l'entretien administré comme un questionnaire s'est progressivement substituée une écoute de plus en plus attentive de la personne qui parle. » (Kaufman 1991).

Les questions plus ou moins ouvertes et l'intimité de l'entretien compréhensif permettent de recueillir beaucoup de données, qu'il faut classer ultérieurement. Si la conduite d'entretien est rigoureuse et la confiance établie, on accède à une donnée exclusive, intégrant les non-dits et les ressentis des interlocuteurs : ce sont des éléments importants qui viennent enrichir l'enquête, même s'ils sont par définition très subjectifs. L'homme, fait d'émotions, n'est jamais objectif mais la véracité de son ressenti peut-être saisi, ce qui est un élément clé pour comprendre son comportement. Dans l'entretien compréhensif, « l'enquêteur s'engage activement dans les questions, pour provoquer l'engagement de l'enquêté » (Kaufman 1991).

L'enquête s'est déroulée sous forme d'entretiens semi-directifs essentiellement individuels et parfois collectifs avec les groupes de pêcheurs. Les entretiens ont duré en moyenne 1h30 et se sont déroulés sur les sites d'activités des interlocuteurs. Les entretiens ont pu être enregistrés, dans la mesure où ils restent confidentiels, ce qui a permis de réaliser une analyse qualitative. Ces enregistrements ont par la suite été retranscrits en respectant fidèlement la parole des acteurs. Seules n'ont pas été retranscrites les digressions. Parmi les pêcheurs interrogés, certains l'ont été au cours de leur activité de pêche, dans le cadre d'entretiens semi-directifs, alors que d'autres l'ont été dans le cadre d'entretiens spontanés, au gré de rencontres opportunes sur les rivières. Les entretiens spontanés sont des discussions de courte durée sur le terrain, qui fournissent une information pertinente pour l'enquête. Certaines discussions ont été enregistrées, la plupart n'ont pas pu l'être mais les notes écrites ultérieurement ont été intégrées à l'analyse.

Pour préparer l'enquête, un guide d'entretien a été élaboré et liste les sujets que l'enquêteur doit aborder. Il ne s'agit pas d'un questionnaire à distribuer mais d'une trame de fond que l'on garde pour soi et que l'on suit dans les différents entretiens. Ce guide d'entretien a été établi et validé en concertation avec une ethnologue (Aliette Geistdoerfer), un géographe (Thierry Simon) et une écologue (Céline Ellien). Ce document a été conçu initialement pour servir de ligne directrice lors des entretiens avec les pêcheurs. Les thématiques suivantes y sont abordées :

- L'organisation sociale et technique de la pêche
- L'évolution des territoires de pêche
- L'évolution de la ressource en bichiques
- Les causes de la raréfaction supposée
- La règlementation et son acceptation
- Les relations entre acteurs

Par l'intermédiaire de cette enquête à dominante qualitative, nous avons eu accès à des données sur les quantités pêchées, question abordée en fin d'entretien avec la plus grande délicatesse, compte tenu du fait que les revenus issus des pêches sont tabous, car non déclarés au fisc.

L'entretien compréhensif s'inscrit dans l'induction analytique (Znaniecki 1934) et la Grounded Theory (Strauss and Corbin, 1997). Selon Kaufman (1991), « le terrain n'est plus une instance de vérification d'une problématique préétablie mais le point de départ de cette problématisation. L'objet se construit peu à peu, par une élaboration théorique qui progresse jour après jour, à partir d'hypothèses forgées sur le terrain. L'écheveau conceptuel est en progression continue et il n'a aucun égard pour l'unité du terrain, qu'il brise à chaque avancée ». Le guide d'entretien a évolué, pour s'adapter aux hypothèses émergentes et à la typologie des nouveaux acteurs. Ainsi, les thèmes communs abordés avec ces nouveaux acteurs du socio-éco-système sont :

- Leur opinion sur la pêche et son évolution
- Leur rôle et fonction en lien avec la pêche
- Leur relation avec les pêcheurs
- L'état de la règlementation
- Ont-ils observé cette diminution supposée de la ressource en bichique ?
- Quelles hypothèses émettent-ils pour expliquer cette raréfaction ou diminution des quantités de bichiques pêchées/disponibles à l'achat ?
- Quel est le plan d'action mis en œuvre pour gérer la pêche ?
- Quelles sont les avancées et/ou les blocages dans la gestion de la pêche aux bichiques ?

4. Approche diachronique dans la cartographie des espaces de pêche

Grâce au CREGUR, mon laboratoire d'accueil à La Réunion, j'ai pu disposer des photos aériennes orthorectifiées provenant de l'IGN et qui couvrent l'île pour les années 1950, 1997, 2003, 2008. On appelle orthophotographie, une image obtenue par traitement d'un cliché aérien dont la géométrie a été redressée de sorte à ce que chaque point soit superposable à une carte plane qui lui correspond. Ces photos servent de fonds cartographiques dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG). On y aperçoit les embouchures des rivières, et sur les rivières des Roches et

des Marsouins, les installations de pêche. Des photographies aériennes non orthorectifiées, disponibles sur la plateforme Géoportail, sont venues compléter la série entre 1950 et 1997. Une procédure de recadrage a été nécessaire et possible avec l'aide d'un géographe du CREGUR.

Cette série spatio-temporelle de photos permet d'appréhender l'évolution morphologique des rivières et de la pression urbaine.

-Elle représente un élément de vérification et de comparaison avec les témoignages des interlocuteurs sur l'évolution du paysage.

-Elle permet de cartographier partiellement l'évolution des territoires de pêche, de façon diachronique. Cependant, les photos ne sont pas prises à la même période de l'année ce qui limitera leur comparaison *in fine*, sachant que les installations de pêche sont partiellement détruites en saison des pluies (et donc invisibles sur des photos aériennes prises l'hiver suivant).

La cartographie a été réalisée avec le logiciel QGIS, à partir des photos sélectionnées.

5. Les articles de presse, recueil d'informations historiques

Les informations archivées dans les journaux locaux depuis leur création, constituent une mine d'informations à exploiter. La presse locale réunionnaise parle régulièrement de la pêche des bichiques, que ce soit en saison de pêche pour avertir les consommateurs de l'arrivée des post-larves, ou annoncer le prix au kilo, qui fluctue d'un mois à l'autre. La presse s'empare aussi des conflits entre pêcheurs ou encore de la diminution des quantités de bichiques pêchées, qu'ils décrivent comme inquiétante.

Les articles de presse traitant de la problématique sous ses divers aspects ont été recensés puis classés par thème : économie, loi, règlementation, écologie, quantité, prix, conflit, pollution, braconnage. La lecture de ces articles m'a apporté des éléments de connaissances sur l'histoire de l'activité. Les données recueillies sur les prix au kilo et les quantités pêchées ont été classées par année de publication pour étudier l'évolution des captures et l'inflation des prix.

Pour ce faire, nous avons consulté les archives de presse du journal d'actualités réunionnais Le Quotidien, ainsi que les archives de la bibliothèque départementale qui conserve quelques articles du JIR, le Journal de l'île de La Réunion, fondé en 1951. Le Quotidien, fondé en 1976, a numérisé ces articles à partir de 2001, consultables sur leur site. Les articles plus anciens constituent les archives papiers qui en raison d'un volume trop conséquent d'information, n'ont pu être explorées que très partiellement. Le Quotidien a en effet archivé en 50 ans, 18000 journaux dans ses sous-sols. Dans ce contexte, j'ai uniquement ciblé les journaux publiés au cours des mois de Décembre, sachant que les bichiques sont très recherchés à l'occasion des fêtes de Noël, pour l'élaboration du plat traditionnel : le carry bichique.

6. Analyses

1. Retranscription des entretiens et analyse de contenu avec l'outil NVivo11

L'écoute des enregistrements est une première étape dans l'analyse. Cela permet de synthétiser l'information apportée par les enquêtés et de faire évoluer l'enquête au gré des questionnements soulevés. Cette première analyse s'est faite au fur et à mesure du terrain, de préférence le jour même, après chaque entretien.

Ultérieurement, les entretiens ont été intégralement retranscrits à l'aide du logiciel « Express scribe », puis une analyse de contenu thématique (Bardin 2003) a été réalisée avec le logiciel « NVivo11 ». L'utilisation du logiciel « NVivo » facilite le traitement manuel de l'information. Le travail consiste à sélectionner les fragments de discours porteurs d'une signification particulière puis de créer des catégories ou des thèmes dans lesquels les extraits des entretiens sont regroupés (Deschenaux 2007). Autrement dit, il s'agit de distinguer des « noyaux de sens » (Bardin 2005) ou encore des « séquences » (Demazière et Dubar, 2004) qui décrivent des évènements, des actions, des situations, des pratiques, des relations. Dans le cadre de l'enquête nous avons défini les catégories : Techniques, Territoire, Ressource, Religion, Règlementation, Presse, Pollution, Espèces, Jargon, Marché, Histoire, Héritage canal, Gestion, Conflit, Braconnage, Compétition, Attentes, Association. L'étape suivante consiste à regrouper et classer ces catégories au sein de thématiques plus larges telles que : Organisation sociale et technique de la pêche, Territoires de pêche, Collapse socio-écologique, Avenir de la pêche.

Le logiciel Nvivo permet *in fine* d'extraire des informations concernant la fréquence d'apparition de certains sujets, la variation de leur occurrence selon les interlocuteurs, selon les contextes, l'interdépendance entre les éléments du modèle.

2. L'analyse des relations linéaires entre le prix et les quantités pêchées au cours du temps

Le prix de vente des bichiques a été étudié et mis en parallèle avec les quantités pêchées, pour tester la relation de ces deux variables, dans l'idée d'utiliser le prix comme un proxi de la quantité pêchée. Pour diminuer le biais induit par l'inflation de la vie et le passage du franc à l'euro, le prix du bichique est rapporté au smic horaire de l'année (france-inflation.com). La relation linéaire ente ce rapport et les quantités, dont la distribution des mesures ne répond pas aux exigences de normalité des tests paramétriques, a été étudié avec un test non paramétrique de corrélation de Spearman, au seuil de signification de 5 % avec le logiciel R. La relation entre les quantités et la date d'une part et entre le prix et la date d'autre part, ont été testées au préalable. Quand la corrélation linéaire entre deux variables est significative, une étude de régression est effectuée et le coefficient de détermination calculé.

3. L'analyse du discours des acteurs

Nous avons réalisé avec le logiciel statistique R, une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les discours des différents acteurs du socio-écosystème, afin de les regrouper dans des catégories. La CAH est une technique statistique visant à partitionner une population en différentes classes. La classification est ascendante car il s'agit de regrouper itérativement les individus, en commençant par le bas (les deux plus proches) et en construisant progressivement un arbre (ou dendrogramme), regroupant finalement tous les individus en une seule classe à la racine. Elle est dite hiérarchique car elle produit des groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. On cherche à ce que les individus regroupés au sein d'une même classe (homogénéité intra-classe) soient le plus semblables possibles tandis que les classes soient le plus dissemblables (hétérogénéité inter-classe).

Nous avons construit une matrice binaire (0/1) sur Excel à partir d'éléments jugés caractéristiques du discours des individus. La notion de ressemblance entre observations est évaluée par une matrice de distances, exprimant la distance existant entre chaque individu pris deux à deux. Le coefficient de Jaccard a été utilisé pour calculer la matrice de dissimilarité à partir des données binaires. Le critère de Ward a été appliqué pour réaliser la classification. Il cherche à minimiser l'inertie intra-classe et à maximiser l'inertie inter-classe afin d'obtenir des classes les plus homogènes possibles.

Les éléments d'analyse et de discussion les plus importants sont surlignés en gras dans la partie Résultats & Discussion.

III. Résultats & Discussion

1. Les bichiques : de l'eau à la bouche…

1.1 Un héritage culturel

La pêche des bichiques est probablement la plus ancienne pêche sur l'île de La Réunion. Elle remonterait au temps de l'esclavage, soit dès l'arrivée des premiers hommes sur l'île, au milieu du XVIIème siècle. Les bichiques étaient à l'origine considérés comme le plat du pauvre, capturés et consommés par les esclaves puis les colons. Cuvier et Valenciennes en 1837 rapportent ce témoignage « *Mr Dussumier nous certifie...Les colons font grand cas d'un plat de ces petits bichiques préparés au cary* » (Cuvier and Valenciennes, 1837). Les premiers esclaves étaient d'origine malgache (Filliot 1974) et ont probablement importé cet héritage de Madagascar, comme en témoignent les documents anciens (Pellegrin 1933 ; Kiener 1963). Ces études naturalistes font état d'une activité de pêche aux bichiques à Madagascar, laquelle serait toujours pratiquée de nos jours (Andrianaivojaona et al., 1992 ; Schübel 1998) dans les embouchures des grands fleuves de la région Est. Les techniques de pêche seraient similaires à celles pratiquée par les réunionnais (nasses végétales posées dans les rivières, des « vouve », du malgache « vovo » et pêche au filet moustiquaire), ce qui ne laisse peu de doute quant à l'origine malgache de la pêche, d'après Schübel (1998). D'autres raisons, telles que l'abondance des bichiques sur l'île de La Réunion (Vaillant 1890), leur accessibilité et l'absence de moyens techniques peuvent expliquer que l'activité se soient développée localement.

Je ne recense qu'un seul pêcheur qui confirme spontanément cet héritage culturel : « ***Bein déjà on va partir depuis l'esclavage…les propriétaires terriens qui avaient les esclaves chez eux, c'était rare qu'ils avaient suffisamment à manger et ça a commencé comme ça. La pêcherie a commencé comme ça. Un est venu et a préparé et il a bien fallu goûter. Donc au départ c'est un truc qui menait à la subsistance quoi et après ça a commencé à se généraliser, tout le monde a goûté et c'est devenu, je dirais pas national mais réunionnais*** ». Il ajoute « ***C'est devenu au fil des années une denrée rare mais aussi demandée même par les gros propriétaires les blancs. Eux aussi ils sont grands consommateurs*** » (pêcheur, 30/12/2014, rivière du Mât). La Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, évoque une origine dans les années 40 « ***car il n'y avait plus rien à manger et c'était la nourriture du pauvre*** » (FDAAPPMA, 5/12/14, rivière de Langevin). L'activité était donc à l'origine une pêche de survie, pratiquée par les plus pauvres, dans un contexte de pénurie. Il faut noter ce renversement : ce produit basique d'appoint est devenu un produit de luxe. L'engouement pour ce produit rassemble actuellement l'ensemble de la population que l'on soit pauvre ou riche. L'attachement culturel pour les uns ou le prestige social pour les autres,

entament fortement le budget familial. C'est un met culturel que l'on est fier de consommer ou d'offrir. Mais à quel prix ? En 2016, le bichique s'est vendu au prix exceptionnel de 80 euros le kg. Peut-on parler d'abus ou d'escroquerie des plus faibles ou des plus religieux quand on sait que traditionnellement, les Réunionnais le consomment pour des fêtes familiales, baptême, mariage, Noël et même enterrement : « ***On est très croyant nous ici, que ce soit catholique, tamoul, malgache, le chinois, l'arabe, …le bichique fait partie d'un des plats, comment dire, favorable pour le repas des défunts. S'il n'y a pas de bichiques on met du poisson mais le bichique est préféré au poisson. C'est en mangeant le bichique qu'on rend hommage au mort*** », confie un pêcheur (30/12/2014, rivière du Mât). Cependant, j'ai constaté que le prix du bichique se négocie et que certains pêcheurs s'adaptent de bon cœur aux plus démunis. Le prix au kilo est très variable et dépend fortement de la demande, qui est plus forte en fin d'année pour les fêtes de Noël. L'inflation du prix des bichiques au cours des 50 dernières années dépasse l'inflation du coût de la vie et résulterait principalement de l'engouement toujours plus fort des consommateurs face à la raréfaction des bichiques. Dans ce contexte de forte demande de la population, les pêcheurs s'autorisent à augmenter le prix au kilo tant qu'il y a de potentiels acheteurs.

1.2 Qui sont les pêcheurs ?

La pêche des bichiques constitue une activité secondaire informelle qualifiée de « métier » pour certains, de « passion lucrative » pour d'autres. Les pêcheurs en rivière sont, pour la plupart, des riverains, nés dans le quartier accolé à la rivière et travaillent pour beaucoup dans leur commune. L'activité de pêche est saisonnière et bien qu'elle rapporte « gros », elle est trop incertaine pour assurer un revenu sur plusieurs années. Les gains sont très variables d'une année sur l'autre. L'enquête révèle que les bénéfices varient du millier d'euros à la dizaine de milliers d'euros, sur les rivières de la côte Est, historiquement connues pour être les plus productives (Barat 1978). Mais il y aurait aussi des « années sans » où les gains ne dépassent pas le millier d'euros, ce qui n'est plus rentable pour les pêcheurs dans la mesure où l'activité demande du temps, un investissement financier pour l'achat de matériel de pêche et un effort physique considérable.

Les pêcheurs sont pour la plupart des fonctionnaires qui prennent des congés lorsqu'ils pressentent une « bonne remontée ». Mais bon nombre sont des chômeurs, ou des personnes à petit revenu qui bénéficient d'aides telles que le RSA et le RMI. On trouve aussi des personnes dans le bâtiment, trop âgées pour continuer à travailler dans ce secteur d'activité et qui trouvent dans la pêche un complément financier, en plus des aides sociales. L'activité revêt donc une grande importance tant elle génère des bénéfices pour les personnes en situation précaire et soutient les liens sociaux. Une étude suggère notamment que les bonnes relations sociales revêtent une plus

grande importance que la sécurité financière (Bolger et al., 1989). Mais les pêcheurs « ***ne sont pas misères*** » comme ils tiennent à le souligner (pêcheurs, 21/01/2015, rivière St Etienne). Et certains critiqueront le film d'Alexandre Boutier[9] sur la pêche des bichiques, qui décrit un milieu pauvre, dans lequel « l'espoir fait vivre ». Pourtant, on constate que les pêcheurs parlent bien souvent d'espoir pour souligner l'imprévisibilité du rendement et donc des bénéfices.

Les pêcheurs sont relativement âgés et majoritairement de sexe masculin. Seule une femme a été recensée au cours de l'enquête. Ils ont entre 40 ans et 89 ans. Les plus jeunes sont moins nombreux et pratiquent l'activité de façon moins régulière. Le caractère patrimonial de l'activité en rivière où les savoirs et territoires se lèguent de père en fils, explique peut-être que les anciens soient omniprésents et indispensables au maintien de la tradition en rivière. Une majorité de pêcheurs en rivière expliquent avoir appris à pêcher avec leur père ou leur oncle, dès l'âge de 14 ans : « ***Moi quand la sorte de l'école, moi point d'autres solutions, n'avait point de travail. Donc comme mes tontons y pêchaient, disent à moi ben viens avec. C'est là que moi la appris la pêche et moi la hérite ça zot*** » (pêcheur, 13/10/14, rivière des Roches). Mais le vieillissement de la population des pêcheurs en rivière met en péril l'activité car la jeune génération n'envisage pas de s'engager dans cette activité, ni de faire perdurer la tradition, comme le regrette une majorité de pêcheurs. Auparavant, les femmes et les enfants participaient à la pêche. Le caractère familial et festif de la pêche se serait donc effacé et pourrait s'expliquer par la raréfaction des prises, qui aurait engendré de la concurrence et donc des comportements déviants (bagarre, conflit), menaçant la collectivité. Les conflits entre pêcheurs sont relayés par les médias. Les femmes et les enfants ont donc probablement été évincés de l'activité, par souci de sécurité mais aussi parce le milieu serait « macho ». L'activité serait de plus en plus associée à un « métier d'homme » où l'on évoque la force physique et la fierté d'être pêcheur. Les tensions entre les groupes étaient palpables sur le terrain bien que les pêcheurs se soient montrés pour la plupart accessibles et très sympathiques. Enfin, même si la plupart des femmes ne pêchent plus, elles sont toujours présentes dans la filière, et assurent la vente sur les étals en bord de route.

Il existe différentes catégories de pêcheurs selon qu'ils pratiquent la pêche dans les embouchures de rivières ou en mer (ce qui nécessite des engins de pêche différents), ou selon la régularité avec laquelle ils pratiquent l'activité (à l'année ou seulement lors des « belles remontées »). Ainsi, les pêcheurs de bichiques se composent :

- **de pêcheurs en rivière**. Ils pêchent à pied « en canal » dans l'embouchure d'une rivière. Ils sont regroupés pour la plupart dans des « associations de pêcheurs traditionnels ». Il est important de

[9] Alexandre Boutié, *Le Grand-Petit monde de la Rivière des Roches,* Production: Les films 1,2,3.., 2006.

préciser que la pêche en rivière ne fait pas nécessairement référence au milieu d'eau douce. La pêche dite « en rivière » se pratique plus exactement dans les embouchures, qui sont des zones de transition entre l'eau douce et l'eau salée. Ainsi, suivant la morphologie des embouchures qui varie d'une rivière à l'autre, la limite de salure des eaux qui départage ces deux milieux peut être localisée plus ou moins en amont du trait de côte. En conséquence, suivant les secteurs de l'île, les installations de pêche « en rivière » se trouvent dans le milieu fluvial ou marin d'après la loi et le plus souvent dans ce dernier. Nous utilisons donc le terme de « pêcheurs en rivière » pour faire référence à la pêche traditionnelle des bichiques qui se pratique à pied en aval des cours d'eau, dans l'embouchure.

- **de pêcheurs en mer**. Ils sont « migrants » et pêchent avec un équipement d'apnéiste en plein océan, à l'aide d'une moustiquaire (dite aussi « poche »).

- **de pêcheurs occasionnels**. Ils pêchent à pied dans le remous des vagues à proximité de l'embouchure, lors des « belles remontées », avec une petite « poche ». Certains pêchent en rivière, en amont des installations de pêche réservées par les traditionnels dans l'embouchure. Les pêcheurs traditionnels emploient le terme de « braconniers » pour les qualifier car ils ne font pas partis d'une association de pêcheurs.

- **de pêcheurs professionnels**. S'ils en font la demande, les professionnels de la mer sont autorisés à pêcher le bichique, en pleine mer, avec une moustiquaire. Ce sont les seuls à pratiquer l'activité légalement. Ils s'ajoutent au nombre de pêcheurs en mer (et occasionnels en mer) mais ne représentent qu'une faible population. Environ 10 pêcheurs professionnels demandent une autorisation de pêche chaque année (interview DMSOI, 25/01/2016).

Les pêcheurs en rivière seraient au nombre de 440 individus. Les pêcheurs en mer (dont les professionnels et sans les occasionnels), seraient au nombre de 230. Il n'a pas été possible d'évaluer le nombre de pêcheurs occasionnels car les témoignages à ce sujet étaient approximatifs. Les estimations fournies par les pêcheurs étaient parfois très élevées (2000 individus) et souvent confondues avec le nombre de pêcheurs en mer (professionnels et non professionnels). En effet, on peut suggérer que les pêcheurs occasionnels sont surtout des pêcheurs en mer car le milieu est accessible à tous, contrairement en rivière où il faut posséder un territoire de pêche et l'entretenir à l'année. Aussi, le nombre de « pêcheurs mer » toutes catégories confondues serait plus élevé en décembre car c'est la pleine saison des bichiques. Donc notre évaluation de 230 « pêcheurs mer » pourrait être sous-estimée pour le mois de décembre. Enfin, il n'est pas possible d'obtenir une estimation globale du nombre de pêcheurs en totalisant le nombre de pêcheurs en mer et en rivière, car l'étude révèle que certains individus possèdent un canal de pêche en rivière ainsi que du matériel de pêche pour pratiquer l'activité en mer. Il n'est donc pas permis d'additionner ces deux chiffres.

Dans le cadre de l'enquête, nous avons rencontré 54 pêcheurs « rivière » sur tous les sites et seulement trois pêcheurs « mer », sur la rivière des Marsouins. La pêche en mer reste insaisissable malgré nos efforts pour rencontrer plus de pêcheurs de cette catégorie. Un individu nous explique qu'il pêche à la moustiquaire en mer mais possède aussi un canal en rivière. Les deux autres confirment cette double pratique, dans le cadre d'un autre entretien. Et sur ce total de 57 pêcheurs interrogés, 3 nous ont affirmé être des professionnels mais ils ne pratiquent pas pour autant la pêche en mer. Deux individus sur les trois pêchent en canal. **Ainsi, on voit qu'il n'est pas possible de catégoriser d'un côté la pêche en rivière et de l'autre la pêche en mer. Certains pratiquent seulement en mer ou en rivière mais d'autres pratiquent dans les deux milieux.** Aussi, la limite de salure des eaux dans les embouchures de rivières départage le domaine fluvial du domaine marin. Cette limite remonte parfois très haut dans une rivière. De ce fait, la pêche en rivière se pratique principalement dans le domaine maritime sous l'influence des marées (Interview DEAL, 2014). Il est donc difficile de départager la pêche en mer, de la pêche en rivière et de définir des catégories de pêcheurs. Ainsi, l'impossibilité de recenser avec exactitude le nombre de pêcheurs, en raison des pratiques variées et cumulées en fonction des individus, ainsi que le flou règlementaire sur la limite de salure des eaux qui limite la définition de catégories, renforcent le caractère informel de l'activité.

1.3 Où pêche-t-on sur l'île ?

La pêche des bichiques se pratique tout autour de l'île dans les embouchures des rivières. Les pêcheries sont plus développées dans le secteur Est de l'île sur les rivières des Roches, du Mât et des Marsouins. Les sites de pêche repérés sur le terrain, auxquels s'ajoutent les sites visibles sur image satellite (canaux de pêche visibles sur Google Earth, 2017) sont géolocalisés dans la carte suivante (fig.1). D'après les témoignages, la pêche en mer se pratique de la côte jusqu'à 800 m au large.

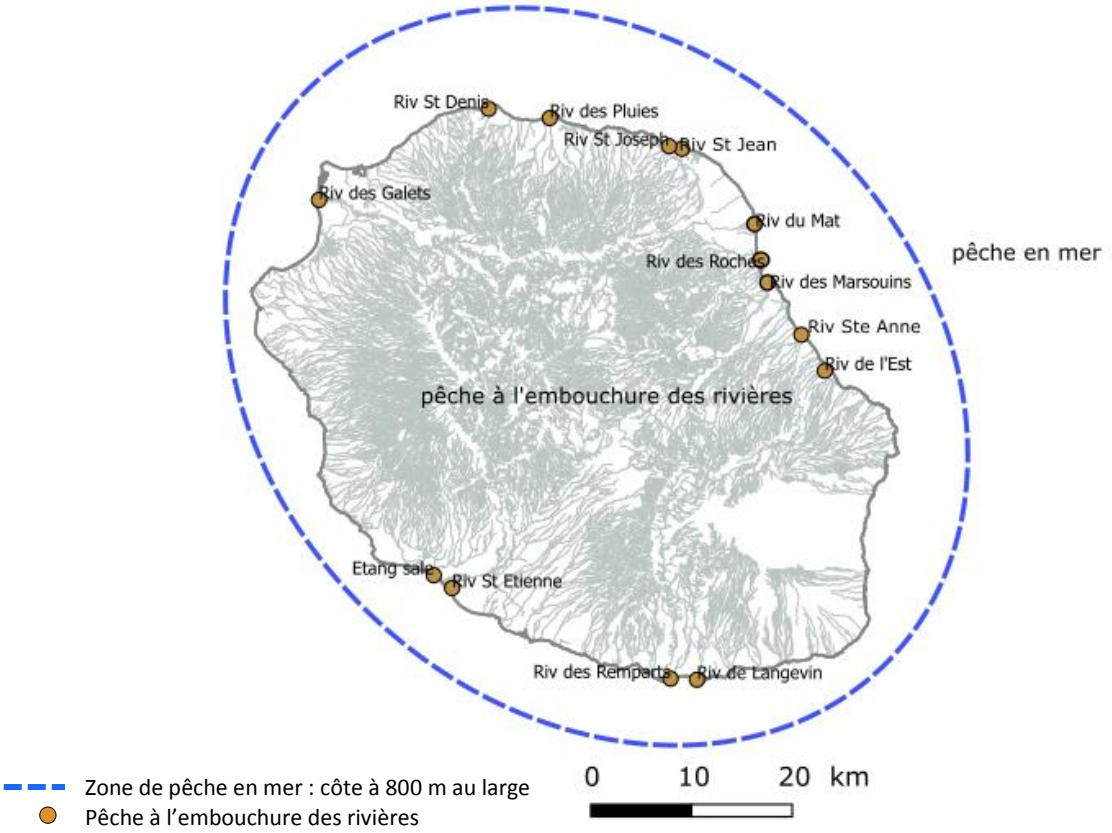


Figure 1. Sites de pêche des bichiques localisés à La Réunion en 2017

1.4 Les bichiques

1.4.1 Différentes variétés au fil des saisons

Le terme *Bichique* est d'origine malgache ; « bitsika » veut dire petit, nain (Chaudenson 1974). A La Réunion, on appelle bichiques les post-larves de deux espèces de gobies amphidromes *Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis*, qui remontent dans les rivières de façon massive et périodique, après un long séjour dans l'océan. Les pêcheurs ne distinguent pas ces deux espèces qu'ils regroupent sous le terme commun de « bichiques ». Il est en effet difficile sans expertise, de les différencier à ce stade. Pourtant il existe une différence de taille caractéristique. Les *Sicyopterus* sont plus grands. Mais pour les pêcheurs, il s'agit d'une seule espèce qui se décline en différentes variétés au fil des saisons. Cette interprétation n'est pas totalement fausse car comme nous l'avons vu, la taille, le poids et l'âge de *S. lagocephalus* au recrutement évolue au cours de l'année.

Les pêcheurs distinguent deux variétés en fonction de la taille, « le bichique fine ou sans culotte » qui fait référence à *C. acutipinnis* et « le bichique chaleur » qui fait référence à *S. lagocephalus*. Ils remarquent que le « bichique fine » remonte l'hiver et le « bichique chaleur » en été. En effet, les saisons de recrutement des espèces se chevauchent. Certains parlent d'une troisième variété, « le

bichique trois quart » que l'on capture à l'intersaison (été-hiver), qui fait référence à *S. lagocephalus*, lorsqu'il est un peu moins gros que le stade « bichique chaleur ».

Ils constatent que le « bichique fine » remonte plus faiblement que le « bichique chaleur », ce qui se vérifie car *S. lagocephalus* s'avère être l'espèce de poisson la plus abondante des rivières (OCEA 2015), et ce qui explique que la saison de pêche se déroule principalement en été et cible principalement cette dernière espèce. Cependant, la pêche se pratique annuellement dans certaines rivières où l'activité est fortement développée et cible aussi *Cotylopus acutipinnis* en hiver. Comme nous le verrons, les engins de pêche sont sensiblement différents pour capturer la plus petite espèce. Le mois de mars reste interdit à la pêche en soutien à la reproduction mais en réalité, cette interdiction n'est pas respectée.

Enfin, toutes espèces ou variétés confondues, les pêcheurs différencient des « qualités de bichique ». Le « bichique rose » ou transparent qui n'a pas été au contact de l'eau douce ou très peu. Il est plus tendre. Le « bichique gris » qui est entré dans la rivière depuis quelques heures. Il change de couleur et durcit. En effet, nous savons que la post-larve se métamorphose au contact de l'eau douce et la couleur s'avère être un bon indicateur de l'état de cette transformation (Taillebois et al., 2011). Le bichique rose se vendrait plus cher, comme en témoigne ce pêcheur :

*« **Pêcheur :** En une journée il est gris, en deux jours trois jours, après c'est du goudron. Après il y a des ailes dessous. Après c'est désagréable à manger.*

***Carole :** Donc vous, c'est plutôt rose ou gris que vous le mangez mais pas plus loin.*

***Pêcheur :** Oui il y a des gens qui mangent encore là-bas mais moi je lâche l'affaire. Les bichiques ils ont fait quinze jours dans la rivière, bein je l'achèterais pas moi. On me le donne éventuellement pour un carry, je vais le remettre à quelqu'un d'autre pour pas vexer la personne. Je le mangerais même pas. Pour moi, je vais gaspiller mes épices »* (pêcheur, 17/10/2014, rivière des Marsouins).

Les variétés définies par les pêcheurs s'avèrent proches de celles décrites par les scientifiques (Keith et al., 2002) et apportent un complément d'information sur la variabilité des traits de vie (taille et poids) des espèces au recrutement, au cours de l'année. Ces éléments sont des pistes d'exploration qui alimentent le volet écologique de la thèse.

1.4.2 Le recrutement synchronisé avec la lune

A l'unanimité, les pêcheurs confirment que la pêche se pratique entre le dernier quart de lune et quelques jours après la nouvelle lune (fig.2). Soit 8 à 12 jours par mois. Les remontées ne sont pas de même intensité au cours de la lune. Elles sont plus intenses entre le dernier quart de lune et la nouvelle. Si l'on se réfère au calendrier des marées, on observe que la marée devient plus importante entre le dernier quart et la nouvelle (lune noire), ainsi qu'entre le premier quart et la pleine lune (fig.3). D'ailleurs, la marée est un paramètre intégré dans les pratiques de pêche comme

en témoigne ce site sur la pêche sportive dans l'océan indien[10], bien que le marnage soit faible à l'île de La Réunion comparé à d'autres régions (Le marnage d'équinoxe est d'environ un mètre à La Réunion et 14 m au Mont St Michel). **Le recrutement des bichiques serait donc favorable lorsque le marnage est plus important et la luminosité nocturne plus faible.** Il a notamment été démontré que le courant de marée montant était utilisé par de nombreuses espèces diadromes (Iida et al., 2015), qu'il facilitait le recrutement des civelles (Elie and Rochard, 1994 ; Drouineau et al., 2016), et que le recrutement des poissons récifaux de Polynésie s'intensifiait lors de la nouvelle lune (Dufour and Galzin, 1992). **Ainsi, l'enquête suggère que les coefficients de marée pourraient expliquer en partie la variabilité temporelle du recrutement des bichiques sur l'île.**

Sur la rivière du Mât, on pêche plus longtemps, du dernier quartier de lune au premier quartier de lune, soit 14 jours par mois. Cela est permis par la présence d'estacades[11] en amont de la rivière du Mât, qui bloquent la remontée des post-larves non capturées en aval du cours d'eau[12]. Enfin selon la plupart des pêcheurs, les bichiques remontent la journée et non la nuit, où ils stationnent à l'embouchure. Or, quelques témoignages suggèrent que lors de fortes remontées, on pêche aussi la nuit. On pratique dans ce cas, la pêche à la descente[13] que nous détaillerons ultérieurement. Lagarde et al. (2015) confirment en effet que les bichiques préfèrent migrer en journée.

[10] http://www.mareespeche.com/af/mascarene-islands/reunion-island#_table_des_marees
[11] Une estacade (ou ponceau) est un barrage de petite dimension édifié par l'homme
[12] La pratique de pêche à l'estacade est développée dans la partie 1.5 Des pratiques et savoirs en mutation
[13] La pratique de pêche à la descente est développée dans la partie 1.5 Des pratiques et savoirs en mutation

Figure 2. Calendrier lunaire de 2015. La pêche se pratique entre le dernier quart de lune et quelques jours après la nouvelle lune. Les encadrés rouges marquent la période de pêche pour janvier et février 2015

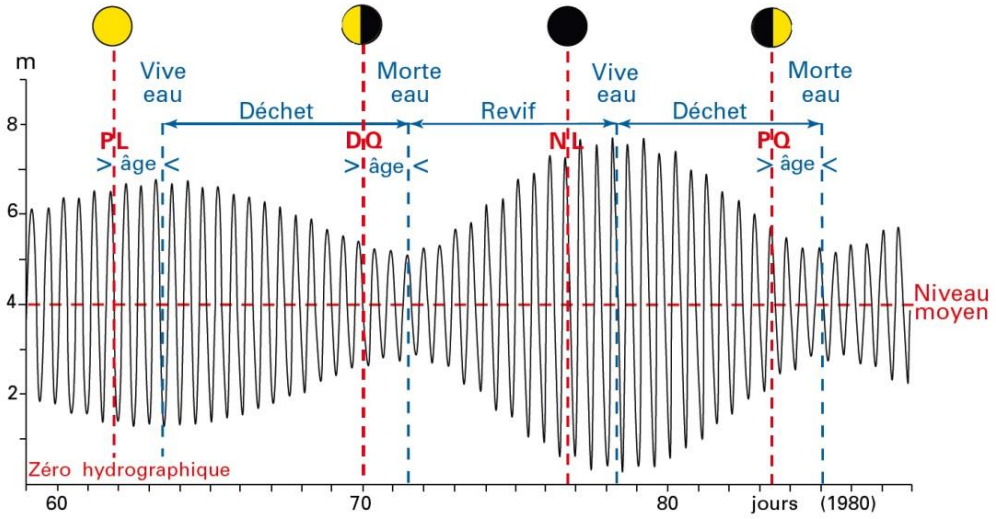


Figure 3. Effet de la lune sur la marée. Exemple du marnage dans la Baie du Mont Saint-Michel, 2015. La courbe d'amplitude d'une marée indique une phase d'augmentation du marnage (revif) avec un maximum deux jours après la Pleine Lune (âge de la marée) correspondant aux vives eaux, puis une phase de diminution de l'amplitude (déchet) jusqu'à deux jours après le dernier quartier (morte-eau), © Shom

1.4.3 Le cycle de vie des cabots bouche ronde vu par les pêcheurs

Le nom vernaculaire donné aux bichiques adultes est « Cabots bouche ronde ». D'une part, leur cycle de vie[14], tel que les scientifiques l'ont décrit récemment (Keith et al., 2002), n'est pas reconnu par les pêcheurs. Selon eux, « le gros l'eau » (la pluie qui engendre un débit de la rivière plus fort) entraine les pontes en mer où vont éclore les larves. Dans les jours qui suivent, les larves remontent la rivière pour donner « ***le papa et maman bouche ronde*** ». La ponte se fait à la pleine lune et le recrutement du dernier quartier à la nouvelle. Ainsi, les pêcheurs savent que les cabots bouche ronde vivent en rivières et repèrent les pontes, appelées « **molale** ». Mais comme ils n'ont jamais vu de pro-larves en eau douce, ils en déduisent que les œufs éclosent en mer. En effet, la taille de la pro-larve qui éclot en rivière est inférieure à 2 mm (Ellien et al., 2016) et reste difficile à observer. Concernant la durée de dispersion océanique, ils acceptent difficilement de croire que les larves séjournent plusieurs mois en mer. Pour eux, c'est une aberration. Ici la réaction d'un pêcheur qui apprend par son collègue que j'ai renseigné quelques heures auparavant, que le bichique reste plusieurs mois en mer :

« Pêcheur 1 : *Le bichique l'âge ? Bein il a du plein jusqu'au quartier, 7 jours 8 jours et jusqu'à la nouvelle, 15 jours d'existence.*

Pêcheur 2 : *160 jours.*

Pêcheur 1 : *Non, Non, Non. Alors là vous vous trompez ! car 160 jours y correspond à six mois dans l'année donc c'est impossible, tous les mois il y a une lune, tous les mois c'est les mêmes »* (pêcheurs, 13/10/2014, rivière des Marsouins).

Seuls quelques pêcheurs qui participent à la fête des bichiques[15], connaissent le cycle de vie des cabots. Un stand tenu par l'ARDA (Association Réunionnaise pour le Développement de l'Aquaculture) y présente l'écologie de vie des espèces. La méconnaissance du cycle de vie est problématique dans la mesure où certains enjeux écologiques ne sont pas connus des pêcheurs. En particulier, ce délai qui existe entre la ponte et le recrutement des post-larves doit être compris pour gérer la ressource. Par exemple, le mois de mars qui est interdit à la pêche (règlementation sommaire rarement respectée) soutient le recrutement qui s'opère quelques mois plus tard et dont bénéficient les pêcheurs. Cependant, **quelques individus ont fait part de leur désir d'accès à l'information scientifique**, ce qui est positif dans ce contexte de mise en régulation de l'activité, où l'intégration des pêcheurs au processus de gestion est souhaitée.

D'autre part, les observations des pêcheurs sur l'influence du vent et du courant, ainsi que du comportement des larves, s'avèrent très intéressantes pour appréhender le recrutement à

[14] Le cycle de vie des cabots bouche ronde est présenté dans la partie Matériel et Méthode général.

[15] La fête des bichiques se déroule traditionnellement en octobre sur la commune de Bras Panon depuis 21 ans, et sensibilise les pêcheurs et le public sur la diminution des bichiques

l'échelle de l'île. Premièrement, les pêcheurs expliquent que les larves remontent à contre-courant vers l'embouchure. Suivant les secteurs, une direction de vent particulière serait favorable, comme en témoignent les pêcheurs :

- Sur la rivière des Pluies, un vent d'est est favorable à la pêche mais un vent de nord-ouest est défavorable. Aussi, les bichiques qui recrutent sur cette rivière sont repérés au nord de l'embouchure.
- Des vents de sud-est et d'est favorisent les rivières des Roches et des Marsouins et un vent de nord favoriserait la rivière du Mât.

Ainsi, les commentaires des pêcheurs soutiennent l'idée que le régime des vents, favorise ou limite la dispersion des panaches fluviaux des différentes rivières et donc que la direction du vent est un facteur important pour comprendre la variabilité spatio-temporelle du recrutement (fig. 4). Leurs observations sont cohérentes avec la littérature scientifique qui démontre que la direction du vent influence la dispersion des panaches d'eau douce pour favoriser le recrutement des civelles d'anguilles (Elie and Rochard, 1994 ; Drouineau et al., 2016). Le comportement des civelles au recrutement semble présenter des similitudes avec les bichiques, bien que leur cycle de vie soit différent (espèces catadromes).

Cependant le lien entre la direction du vent et la direction du courant de surface n'est pas linéaire. Il faut prendre en compte la force de Coriolis, qui dans l'hémisphère sud dévie vers la gauche les masses d'eau superficielles par rapport à la direction du vent (fig. 5a). On appelle ce phénomène le transport d'Ekman (Price et al., 1987). Ainsi, un vent d'est qui favoriserait d'après les pêcheurs le recrutement sur les rivières des Pluies, des Roches et des Marsouins, indique que le courant de surface est de nord-est (et se dirige vers le sud-ouest), ce qui devrait normalement contraindre le panache de ces rivières, au détriment du recrutement sur ces mêmes sites. On peut suggérer dans ce cas, que ce régime de vent d'est (fig. 5b) contraint aussi le panache de la rivière du Mât, connu pour avoir un grand cône de déjection (Comité de Bassin Réunion 2013), au profit des autres rivières de l'est, qui auront plus de chance d'être détectées par les bichiques. Cependant, deux autres facteurs entrent en jeu, le premier, la variabilité du débit des rivières qui dépend en partie du régime des pluies sur chaque secteur. Le second paramètre inconnu est la direction dans laquelle arrivent les cohortes de post-larves et donc quel panache de rivière va potentiellement les attirer en premier. Donc, **ces informations des pêcheurs bien que potentiellement cohérentes, méritent d'être vérifiées dans une étude où les paramètres de vent, de courant et de débit seraient mesurés à proximité des embouchures, en parallèle d'un suivi du recrutement**.

Figure 4. Dispersion du panache de la rivière du Mât, le 16 février 2015, image SPOT5, ©SEAS-OI

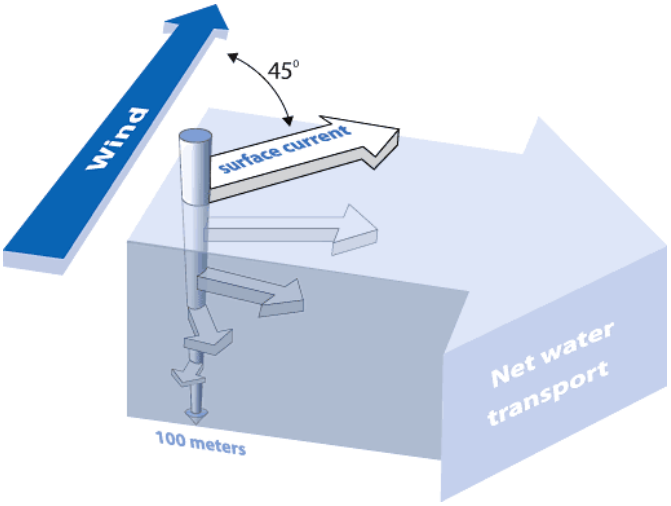


Figure 5a. Principe du transport d'Ekman, ©NOAA's National Ocean Service. Action du vent sur l'océan : le transport de la couche d'Ekman est perpendiculaire au vent, à droite dans l'hémisphère Nord, à gauche dans l'hémisphère Sud. Les vecteurs représentent, à chaque profondeur, la vitesse, la direction, et le sens du courant

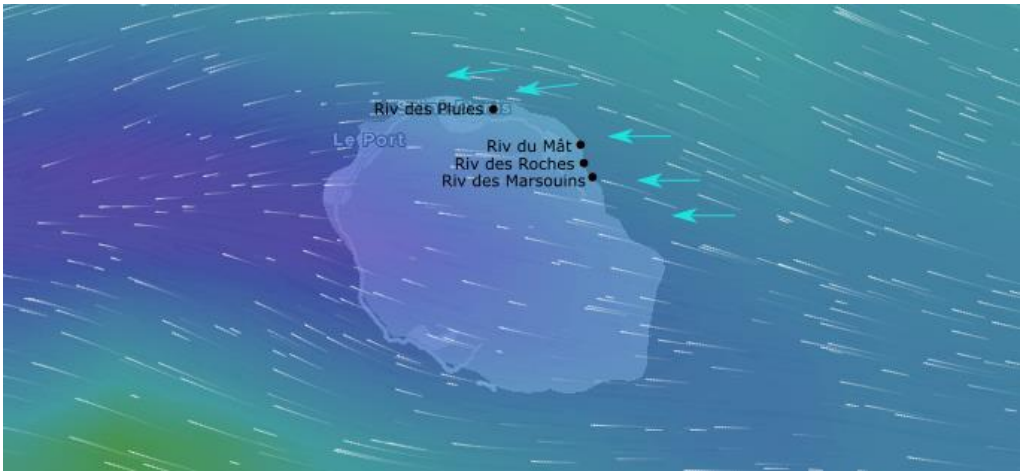


Figure 5b. La direction des alizés, est-sud-est en moyenne (traits blancs). La direction du courant de surface est matérialisée par une flèche (bleu ciel) qui s'oriente à 45 ° sur la gauche de la direction du vent (schéma dessiné à partir des images de www.windfinder.com)

Les pêcheurs nous ont également fait part d'une information intéressante sur le comportement des post-larves en mer. En pleine mer, les bichiques formeraient une boule, certains disent une bulle, que les pêcheurs viendraient percer, au profit des carangues. La masse se séparerait alors en plusieurs groupes :

« ***Pêcheur :*** *Quand ils ne sont pas encore arrivés à l'état de bichique, ils sont englobés dans une poche, les pêcheurs nous disent, quand la poche éclate c'est là que les bichiques se dispersent.*

Carole : *les bichiques sont tous réunis ?*

Pêcheur : *tous réunis. Ils doivent certainement sécréter une protection autour d'eux. Il y en a qui les ont vu en haute mer, ils sont vraiment dans un poche* » (pêcheur, 13/11/2015, rivière des Pluies).

Des études démontrent en effet que les poissons se regroupent généralement pour limiter le danger de prédation (Krause et Tegeder, 1994 ; Parrish et Edelstein-Kesh, 1999). Enfin, les pêcheurs en rivière remarquent que les bichiques fonctionnent en groupe. Si un bichique « prend le canal », les autres suivront. L'étude de Iida et al. (2015) sur le gobie amphidrome *S. japonicus* confirme en effet que des petites cohortes d'une dizaine d'individus recrutent dans les rivières. Enfin, une étude comportementale sur le choix des poissons (Hoare et al., 2004) explique que suivant la nature du signal d'attirance ou de répulsion, la taille des cohortes varie, ce qui est cohérent avec les « grosses bulles » qu'observent les pêcheurs en mer où les poissons sont exposés à la prédation et la formation de petites cohortes au recrutement, qui sont attirées par un signal attracteur, l'eau douce. D'autre part, des pêcheurs en mer rapportent que des bichiques stationnent dans la colonne d'eau sous une grotte, près de la rivière des Marsouins. On peut supposer alors qu'ils se reposent à l'abri du courant et se protègent des prédateurs.

1.5 Des pratiques et savoirs en mutation

La pêche est pratiquée traditionnellement à pied, dans et à proximité des embouchures des rivières, où l'influence de l'eau douce qui se jette dans la mer se fait sentir et attire les bichiques. Historiquement, l'activité était connue pour sa simplicité technique. Les hommes, les femmes, les enfants utilisaient ce qu'ils avaient sous la main pour collecter le « rouleau de bichiques » qui faisait référence à la vue des vagues pleines de larves, qui venaient s'écraser sur le cordon littoral, s'engouffrer dans la rivière ou encore s'accumuler sur les rives pour finalement pourrir au soleil. Il faut rappeler que les gobies amphidromes sont très agiles avec leur ventouse et peuvent sauter hors de l'eau pour y rester un certain temps (Keith et al., 2002). Lorsque la masse de post-larves était importante, les pêcheurs expliquent que l'on ne voyait plus l'eau, les poissons trop nombreux formaient un embouteillage, d'où le parallèle que l'on fait aujourd'hui avec la route du littoral à La Réunion que l'on appelle localement « canal bichique » pour ses embouteillages quotidiens. Cette activité de pêche ancestrale s'est déployée et organisée à l'échelle de l'île.

1.5.1 La pêche en « rivière » s'adapte et évolue

A. L'effort de pêche en rivière

Les informations collectées au cours de cette enquête sont comparées aux données de thèse de Delacroix (1987), au rapport d'étude en sciences sociales de Schubel (1996) et au rapport sur les pratiques de pêche de Baril (1997). Le tableau 1 présente l'évolution des effectifs de pêcheurs, du nombre de canaux et d'association par rivière.

Sur les **9 rivières étudiées dans cette étude, on recense 440 pêcheurs en rivière**. Delacroix (1987) recense **255 pêcheurs en 1987** (306 pour 12 rivières car il ajoute les rivières St Denis, St Jean, Ste Suzanne). Baril en 1997 recense 407 pêcheurs (478 pour 14 rivières avec St Denis, ravine des charpentiers, Ste Suzanne, St Jean , Ste Anne). Schübel en 1998 fait état de 417 pêcheurs, sans la rivière de l'Est (470 pour 11 rivières avec les rivières St Denis, St Jean, Ste Suzanne). Je n'ai observé que 8 pêcheurs sur la rivière des Galets sur l'ensemble des sorties bien qu'il en existe plus. Delacroix fait état de 20 pêcheurs en 1987 et Schübel et Baril, plus de cinquante. Il s'avère **que le nombre de pêcheurs en exercice varie plus fortement sur les rivières soumises à assèchement**. La rivière des Galets, qui fut l'une des plus imposantes autrefois est aujourd'hui fortement asséchée à son embouchure. Cependant, il est certain que nous sous-estimons le nombre de pêcheurs sur la rivière des Galets et donc que nous sous-estimons peut-être, par conséquent, le nombre de pêcheurs en rivière.

Ces résultats démontrent une augmentation du nombre de pêcheurs en rivière de 72 %, en 29 ans, de 1987 (255) à 2016 (440). Cependant, le nombre de pêcheurs recensés en 2015 est sensiblement le même que celui recensés, il y a une vingtaine d'année, en 1997 (407) et 1998 (417). **Ainsi, en un peu moins de 20 ans, la population de pêcheurs a « seulement » augmenté de 5 %, alors qu'elle a augmenté de 63 % en à peine onze ans, entre 1987 et 1998. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces résultats : la plus forte augmentation du nombre entre 1987 et 1998 peut suggérer une déstabilisation du système de pêche. De nouveaux individus attirés par la rentabilité de l'activité se seraient imposés (par le nombre et/ou la force) dans les rivières face aux associations traditionnelles pionnières.**

Tableau 1. Evolution de l'activité de pêche en rivière entre 1987 et 2015. Comparaison de l'enquête avec les données de Delacroix (1987), de Schubel (1996) et de Baril (1997). A noter, de nombreuses associations de pêcheurs s'appellent APBRL pour Association de Pêcheurs de Bichiques de la Rivière de Langevin, APBRR pour la rivière des Remparts, etc.

Rivières	Date	Nombre total de pêcheurs	Association de pêcheurs en rivière et (adhérents)	Nombre de canaux	Remarques
Langevin	1987	10			
	1996	24	Marins pêcheurs de St Joseph (24)	12-16	
	1997	42	APBRL (42)		
	2015	**58**	Groupe des professionnels à la vouve (8) Groupe des traditionnels à la vouve (30) Groupe des traditionnels au goni (20 à 30)	?	Initialement, il y avait une association, 45 adhérents, 15 canaux, 15 pêcheurs par canal. Le système a été déstabilisé par les nouveaux arrivants. Initialement, il y avait 32 pêcheurs professionnels, aujourd'hui il en reste 8 dans l'association des professionnels
Remparts	1987			4-5	
	1996	14	APBRR (14)	7	
	2015	**10**		5	En 1980, il y avait 35 pêcheurs. Le nombre de pêcheurs a diminué: les vieux pêcheurs sont décédés, d'autres sont partis. L'association n'existe plus en raison de conflits
Saint Etienne	1987	40		12	
	1996	> 50	APBRSE (> 50)	> 20	
	2015	**41**	APBRSE (36) + 5	10	Une équipe de 5 personnes dans un canal sur la rive droite, qui ne fait pas partie de l'association. Le nombre de canaux mis en eau varie suivant la quantité d'eau dans la rivière
Galets	1987	20			
	1996	> 50		15-20	
	2015	**Vu 8**	APBRG (Vu 8)	Vu 2 en eau	Les canaux sont rarement en eau. Une famille pêche depuis 18 ans sur la rive droite. Il y a une autre équipe sur la rive gauche
Pluies	1987	12			
	1996	25		12	
	2015	**> 21**	4 associations (10 + 8 + 3 + ?) = > à 21		Sur la rive droite (Ste Marie), 50 pêcheurs à 10 aujourd'hui. On appelle du renfort lors des bonnes remontées. Les eaux sont polluées
Mât	1987	53	COBIMAT (44) + Syndicat des pêcheurs de bichiques (9)	4	
	1996	65	COBIMAT dont GPBE + Groupe du bras central = 65	12 à 16 dans 4 bras	
	2015	**62**	Fédération des pêcheurs traditionnels de bichiques de la rivière du Mât (53) (14+17+18+9) Association pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de la rivière du Mât (9)	4 + 1 (ancien bras central)	L'association pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique se situe dans le bras central, l'ancien canal libre de pêche pour la reproduction
Roches	1987	60		5-20	
	1996	46	APBRR (46)	36-50, 1 parc	
	2015	**90**	APBRR (St Benoit) (50) + rive gauche (Bras Panon) (40)	18	APBRR sur la rive droite: 7 familles, de 1995 à 2000, 75 pêcheurs. Aujourd'hui, une cinquantaine.
Marsouins	1987	60		25	
	1996	80-120	APBRM (80-100)	50-60, 14 parcs	
	2015	**80-100**		20, 10 parcs	
Est	1987	0			
	1996	8		2	
	2015	**50**		10-12	Parmis les 50, de nombreux ocasionnels viennent dans le bras central quand il y a de l'eau

D'ailleurs, un informateur indique que la rivière des Roches, rive droite, a connu une révolte, conduisant à la disparition d'une association qui gérait les canaux. Aujourd'hui, on constate qu'aucune association ne fédère les pêcheurs sur cette rive. D'autres regroupements de pêcheurs auraient disparu sur la rivière des Remparts. Aussi, une association à Langevin s'est dissoute suite aux pressions de nouveaux arrivants, pour se scinder par la suite en trois associations. Enfin, on recense aujourd'hui sur la rivière du Mât une association et une fédération, alors qu'un seul regroupement existait légalement auparavant. **Cela peut donc suggérer que le recrutement des bichiques, il y a 29 ans, était suffisamment fort et constant pour attirer de nouveaux pêcheurs.**

Concernant la plus faible augmentation du nombre de pêcheurs après 2000, on peut l'attribuer à une désertion des sites de pêche. Des pêcheurs expliquent que des « anciens » sont décédés et que d'autres pêcheurs ont délaissé l'activité, car elle devenait moins rentable (coût humain plus élevé que les bénéfices économiques). **Cette tendance à la désertion soutient donc la supposée diminution des bichiques et la transformation progressive de l'activité où de nombreux anciens, au savoir-faire traditionnel, quittent le milieu.**

Cependant, sur la rivière des Roches, bien que le nombre de canaux ait diminué, le nombre de pêcheurs semble avoir augmenté. Les pêcheurs expliquent que la diminution du débit à l'embouchure les contraint à s'associer et à se regrouper dans un canal lorsque le niveau de l'eau diminue. **Ainsi, la diminution du nombre de canaux ne doit pas être comprise comme la diminution de l'effort de pêche mais comme la diminution du débit à l'embouchure. Donc, étant donné que le nombre de pêcheurs a augmenté, on peut en déduire que l'effort de pêche a fortement augmenté car il se concentre maintenant sur un territoire restreint par la disponibilité en eau.**

B. Les pratiques de pêche « en rivière »

Les pratiques de pêche en rivière sont diversifiées. Le premier constat que l'on fait sur le terrain concerne l'adaptation des pratiques à la morphologie des embouchures. A la rivière des Roches et des Marsouins, l'embouchure forme un bassin profond. Sur les rivières du Mât, Saint-Etienne, Remparts, Pluies, Galets, la rivière se ramifie naturellement en aval, en un nombre variable de bras d'eau, fonction du débit et des zones d'infiltration. Une exception, à Langevin, où la rivière se jette en cascade dans l'océan et forme un bassin plus ou moins profond à sa chute (fig. 6).

La morphologie de chaque embouchure est cependant en constante évolution suivant les débits et la houle qui contrôlent l'ouverture et la fermeture du cordon littoral. Lorsque les débits des rivières sont importants, le cordon de galets est détruit et inversement, de fortes houles et de faibles précipitations (donc de faibles débits) conduisent à la fermeture totale ou partielle des embouchures. Ainsi les pratiques s'adaptent à cet environnement changeant, lequel entraîne aussi une constante réorganisation des territoires de pêche. La raréfaction des prises et la concurrence, intrinsèquement lié à la diminution du débit à l'embouchure ainsi que l'apparition et l'utilisation de matériaux modernes tel que le plastique, sont les principaux moteurs d'évolution des pratiques et d'intensification de l'effort de pêche. Un état des lieux de la nature des installations et engins de pêche utilisés par rivière est présenté dans le tableau 2. Les pratiques associées sont décrites à la suite.

Figure 6. Morphologie des rivières où se pratique la pêche aux bichiques, cartes IGN, 2017, ©Geoportail

Figure 6. Morphologie des rivières où se pratique la pêche aux bichiques, cartes IGN, 2017, ©Geoportail

Tableau 2. Nature des installations et engins de pêche utilisés par rivière

Rivières	Installations	Engins de pêche	Matériels d'étanchéité entre les galets
Langevin	canaux de galets en bassin	Goni, vouve fibre, vouve métallique	herbe, plastique
Remparts	canaux de galets en rivière	vouve fibre	herbe, plastique
Saint Etienne	canaux de galets en rivière	vouve fibre, moustiquaire	herbe, plastique
Galets	canaux de galets en rivière	vouve fibre	herbe, plastique
Pluies	canaux de galets en rivière	vouve fibre	herbe, plastique
Mât	canaux de galets en rivière	vouve, estacade	herbe, plastique
Roches	canaux de galets en rivière	vouve fibre, vouve métallique, moustiquaire	herbe, plastique,
	canaux de big bags en rivière	vouve fibre, vouve métallique, moustiquaire	herbe, plastique, ombrière[16]
Marsouins	canaux de galets en rivière	vouve fibre, vouve métallique, moustiquaire	herbe, plastique, ombrière
	canaux de big bags en rivière	vouve fibre, vouve métallique, moustiquaire	herbe, plastique, ombrière
	parc en galets		herbe, plastique
Est	canaux de galets en rivière	vouve	herbe, plastique
Mer	camionnette et bateau pour une pêche migrante	moustiquaire de grande dimension, plomb, bouée, palme, masque, tuba	

[16] Une ombrière est un tissu qui protège les plantes du soleil. L'ombrière est légère et perméable ce qui laisse filtrer le courant d'eau mais bloque les bichiques.

a. Technique de pêche à la montée, en canal et avec une vouve

Traditionnellement, les pêcheurs construisent dans l'embouchure des canaux en galets (photo 1) pour départager leur territoire, canaliser l'eau et y placer une ou plusieurs nasses, appelées localement « vouves » (du malgache, vovo) (photo 2). Les canaux ne sont pas forcément longs comme sur la rivière des Roches, ni aussi larges. En effet, suivant la morphologie des rivières, les pêcheurs peuvent construire des petits barrages dans des bras d'eau étroits, dans lesquels ils placent leur vouves (photo 3). Le bichique est attiré dans la nasse qui laisse filtrer ce courant d'eau. Le poisson reste alors coincé dans la vouve qui possède une « gueule » une sorte d'entonnoir dans lequel les bichiques ne peuvent pas faire demi-tour.

Les crues en saison des pluies ou les crues cycloniques détruisent les canaux qu'il faut reconstruire chaque année ou entretenir régulièrement (photo 4), ce qui constitue un travail manuel considérable et occasionne souvent des blessures : « **Difficile parce que là-dedans c'est nous la machine. Faut ouvrir le canal tout le temps, faut tout faire. Faut lever les gros blocs** » (pêcheur, 30/12/2014, rivière du Mât). L'étanchéité de ces canaux n'est pas totale et laisse échapper de l'eau et des bichiques dans les canaux voisins. Pour réduire l'évasion des « grains » à proximité des nasses (terme employé par les pêcheurs pour parler d'un bichique), les pêcheurs colmatent les interstices avec des végétaux (vacoa pourris, canne sèche ou chiendent) (photo 5). Ils utilisent plus facilement du plastique ou des ombrières (tissu utilisé à la base pour protéger les plantes du soleil). L'usage de ces matériaux artificiels est critiquable car la rivière les emporte régulièrement, ce qui engendre une pollution du littoral. Mais Schübel (1998) constate déjà en 1998 l'usage de plastique de type Polyane. Ce n'est donc pas une pratique très récente.

A l'inverse, les canaux en « big bag » sur les rivières des Roches et des Marsouins sont apparus vers 2000 (Interview mairie, 14/11/15, Bras Panon). Ce sont des sacs en plastique résistant de grandes dimensions, dans lesquels on accumule des galets et du sable, pour construire des canaux plus stables, plus hermétiques et plus profonds (photo 6). Ils sont plus résistants face au mauvais temps (photo 7). Cependant, ces « big bag » s'avèrent esthétiquement et écologiquement très impactants, car ils s'effritent progressivement dans l'eau et ne résistent pas toujours aux fortes crues qui les emportent. Un plaisancier a notamment porté plainte en 2013 car son bateau s'est abîmé dans un amas de « big bag » dérivant[17]. **De plus, les « big bag » constituent un obstacle permanent à la continuité écologique des cours d'eau alors que les canaux de pêche traditionnels sont de nature temporaire car moins résistants.** Ces installations sont fortement

[17] Article sur le journal en ligne clicanoo.re : https://www.clicanoo.re/node/320136

Photo 1. Les canaux de pêche en galets, rivière des Roches, Octobre 2014, ©Thomas

Photo 2. Les vouves traditionnelles, vue sur la "gueule" et la "queue" des nasses, rivière des Galets, 2015, ©Becheler et Thomas

Photo 1. Barrage en galets. Vouve avec gueule, coincée entre deux gros galets au fond du lit de la rivière, gueule orientée vers l'océan, rivière du Mât, décembre 2015, ©Becheler

Photo 4. Entretien des canaux, rivière des Rempart, 2014, ©Becheler

Photo 5. Utilisation de végétaux pour faire l'étanchéité entre la vouve et les galets, rivière du Mât, 2015, ©Becheler

Photo 6. Canaux en « big bag », rivière des Roches, octobre 2014, ©Thomas

Photo 7. Canaux en « big bag » fermés pour l'hiver, rivière des Roches, février 2016, ©Thomas

critiquées par les riverains et la population en général. Les propriétaires de ces installations reconnaissent un impact mais se défendent d'être obligés de s'équiper pour faire face à la concurrence : « ***On a pas le choix*** » (pêcheur, 17/10/2014, rivière des Marsouins).

Enfin, une pratique courante aujourd'hui consiste à « **fouiller le canal** » pour avoir de la profondeur et donc plus d'eau. Elle serait apparue pour faire face à la diminution des débits à l'embouchure. Elle est remarquable sur les rives droites des rivières des Roches et des Marsouins, où l'on creuse le fond du canal pour obtenir une profondeur d'eau de 2 mètres. Sur ces rives, on retrouve les « big bag » suffisamment grands pour émerger hors de la colonne d'eau. **Dans les embouchures des rivières des Roches et des Marsouins, cette pratique d'affouillement associée à l'usage de « big bag » est critiquable car elle engendre des conflits, en défavorisant les canaux mitoyens qui dépendent du même volume d'eau.**

Concernant la « vouve », c'est l'engin de pêche le plus traditionnel, et par conséquent le plus décrit (vovo en malgache). L'étude de Barat (1978) décrit en détail la confection de cet engin de pêche. Traditionnellement, on utilise trois matériaux. On tresse les vouves avec les nervures centrales (nik) de feuilles de cocotiers (*Cocos nucifera*), de feuilles de lataniers (*Latania lontaroides*) ou de raphia (*Raphia ruffia*) appelé localement moufia. Le moufia serait plus résistant comme en témoigne ce pêcheur : **« En fait c'est le plus résistant puisqu'on travaille beaucoup avec l'eau et même à la force car quand on cale la vouve, on met toujours une pierre dessus, donc il faut que ça tienne la pierre quoi »** (pêcheur, 30/12/14, rivière du Mât). On utilise enfin du « bois de savon » (*Badula borbonica*), souple, pour former des cercles de dimensions croissantes que l'on insère dans la nasse pour lui donner sa forme conique et sa taille, puis on raccorde l'ensemble avec du vacoa (*Pandanus utilis*). Il existe des vouves avec gueule ou sans gueule. Une vouve avec gueule (entonnoir encastré dans la nasse) piège les bichiques qui ne peuvent pas faire demi-tour. Une vouve sans gueule barre seulement le passage des bichiques et s'utilise pour faire une pêche à la descente[18]. Cet engin de pêche traditionnel en fibre végétale, a lui aussi évolué au cours du temps. Sa taille, sa forme, sa composition sont actuellement très diversifiées (photos 8 à 11). Les prototypes peuvent varier à l'échelle de l'individu. Certains pêcheurs ont développé des prototypes de nasse plus résistantes et de plus grandes dimensions pour encaisser de plus grosses quantités de bichiques, dans les embouchures profondes. Aujourd'hui, il est possible de faire rentrer un homme dans une nasse métallique : « **Maintenant ils ont plus d'encaissement, avant le vouve de nick on pouvait prendre jusqu'à 40 kg 50 kg. Aujourd'hui la vouve elle peut tirer 300 400kg** » (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins). **Cette évolution marquée de l'engin de pêche soutient notre hypothèse que l'effort de pêche s'est renforcé au cours des trente dernières années et que l'activité a évolué**

[18] La pratique de pêche à la descente est développée dans la section suivante : Technique de pêche à la descente

dans un objectif de rendement maximal. La conception de nasses de plus grandes dimensions ne signifie pas pour autant que les prises sont aussi, voir plus importantes actuellement. Au contraire, il faut probablement y voir là, une adaptation de l'engin de pêche à la situation critique de l'activité. Les pêcheurs ont besoin de suffisamment d'eau dans leur canal pour attirer les bichiques. Face à la concurrence, ils ont creusé des canaux plus profonds pour augmenter leur chance de capture au détriment des autres pêcheurs. Dans ces nouveaux canaux plus profonds, les pêcheurs ont développé de nouvelles techniques et conçu de nouveaux engins adaptés aux nouvelles dimensions du canal. Le rendement est donc peut-être plus fort mais au vu de l'effort de pêche nettement plus intense, on peut supposer que le rendement a atteint son maximum et qu'il menace la ressource depuis un certain temps. Ces engins de grandes dimensions constituent en effet un obstacle plus important pour la migration des espèces et les chances que quelques « grains » s'échappent se réduit. Ce qui suggère que le rendement de l'activité ne sera pas durable et pourrait s'effondrer dans la mesure où les engins sont maintenant très efficaces alors que le recrutement n'est plus aussi fort, voir diminue. Toutefois, l'emploi de ces engins est localisé sur certaines rivières et l'on peut espérer que le recrutement sur les autres rivières suffise à maintenir les populations locales de cabot bouche ronde, de par la connectivité larvaire.

La confection d'une vouve traditionnelle constitue, il faut le souligner, un savoir-faire qui n'est pas à la portée de tout le monde et donc qui se monnaye. En 1977, Barat remarque que presque tous les pêcheurs de la rivière du Mât savent confectionner une vouve, ce qui n'est plus le cas en 2015. En effet, peu de pêcheurs sont capables d'expliquer clairement la confection d'une vouve. **Aussi, inexorablement, les vouves purement naturelles pourraient disparaitre sachant que la disponibilité en matériaux naturels diminue, notamment le « bois de savon », une espèce protégée sur l'île.** Concernant les autres espèces, elles restent disponibles mais se trouvent très souvent sur des propriétés privées où il faut demander l'autorisation de prélever. Les vouves sont donc aujourd'hui en partie artificielles (fil de fer, nylon pour le raccord), ou totalement (nasse métallique). L'avantage, c'est qu'elles sont moins chères et plus résistantes. La fibre naturelle s'use en effet rapidement au contact de l'eau, au cours d'une saison de pêche. Cependant, les nasses métalliques de mailles plus fines ne rivalisent pas avec les nasses en fibres, aux nervures plus espacées, moins sensibles au « fooling » (accumulation de micro-algues qui bouchent la filtration de l'eau).

Photo 8. Longue vouve métallique, rivière de St Joseph, octobre 2014, ©Thomas

Photo 9. Petite vouve artificielle, rivière des Rempart, 2014, ©Becheler

Photo 10. Vouve grillagée avec une chaussette terminale pour récolter les bichiques, rivière des Marsouins, 2016, ©Thomas

Photo 11. Grande nasse de longueur supérieure à 2 m, 2016, rivière des Marsouins, ©Thomas

Cependant pour pêcher les « bichiques fines », « les sans culottes », soit l'espèce plus petite *Cotylopus acutipinnis* qui recrute en hiver, les pêcheurs sont obligés d'utiliser des vouves aux nervures moins espacées, qui présentent ce même inconvénient de laisser passer moins d'eau. Les nervures se colmatent plus vite ce qui nécessite plus d'entretien. **Ainsi, il apparaît que la vouve traditionnelle n'est pas de dimension unique mais qu'il en existe des plus ou moins grandes et que le nombre de nervures varie pour s'adapter à l'espèce ciblée au sein du bichique. On voit aussi que l'utilisation de nasses métalliques ne présente pas que des avantages techniques et financiers mais bien quelques inconvénients, ce qui valorise l'outil de pêche traditionnel dans sa conception. De plus, la vouve en fibre reste l'outil le plus écologique. En effet, il arrive très souvent que les différentes espèces s'échappent car le matériel naturel n'est pas infaillible. Les vielles nasses usées ont quelques défauts qui laissent passer des bichiques et d'autres espèces. Aussi, les vouves sont en grande partie constituées de matériaux naturels biodégradables. Elles peuvent se perdre lors des crues sans occasionner d'impact lourd sur le milieu et elles ne diffusent pas non plus de substance chimique dans la rivière, comme sont supposés le faire les « big bag ». Enfin, la vouve présenterait l'avantage si elle était utilisée unanimement de donner la même chance de capture à tous les pêcheurs et d'estimer plus facilement le volume de leurs prises.**

Ainsi, nous avons vu que la technique de pêche traditionnelle des bichiques est « la pêche à la montée » et que l'on utilise actuellement des « vouves » en partie ou totalement artificielles, avec « gueules » ouvertes sur l'océan, que l'on cale dans des canaux de pêche en galets ou plus récemment en « big bag ». Mais il s'avère que le bichique prend naturellement son temps pour remonter la rivière. Il se repose en aval de l'embouchure puis attaque par étape sa remontée, en se reposant derrière les cailloux qui le protègent du courant. Dans un objectif de rendement, les pêcheurs ont développé d'autres techniques pour réduire le temps de capture.

b. Technique de pêche à la descente en canal

Déviation des cours d'eau

Les pêcheurs laissent remonter le bichique dans le canal en eau, qui est barré en amont par des vouves, cette fois ci, sans « gueule ». Les bichiques qui s'engouffrent dans le canal sont bloqués par les vouves. Les pêcheurs placent ensuite en aval du canal, une ou deux vouves avec gueule (pour collecter le bichique), en sens inverse, c'est à dire la « gueule » orientée vers la rivière. Ils dévient ensuite l'eau de la rivière pour assécher le bras de pêche et obliger les bichiques à redescendre. Les bichiques sentent l'affaiblissement du débit et redescendent en aval pour ne pas

périr hors de l'eau. Ils se font alors piéger dans les vouves avec gueules. Cette pratique est courante dans les cours d'eau peu profonds, par exemple à la rivière du Mât.

La javel pour gagner du temps

Dans les embouchures profondes des rivières des Roches et des Marsouins, les bichiques peuvent sauter au-dessus des nasses, calées au fond de l'eau, même si ces dernières sont de plus grandes dimensions. Afin de s'assurer que le bichique ne s'évade pas, on ajoute un filet moustiquaire ou ombrière à l'arrière des nasses, en amont du canal. Suspendu tel un rideau, le tissu vient fermer le canal dans sa profondeur (photo 12). On parle de « **caler le bichique** ». Quand le poisson n'est pas encore arrivé au niveau du barrage que forme le tissu, mais qu'il est suffisamment rentré au fond du canal, il est alors d'usage de verser de la javel dans la rivière. Entraînée par le courant de rivière, la substance fait redescendre immédiatement les bichiques vers l'océan, sans que les pêcheurs aient besoin d'assécher le canal. Les bichiques sont alors capturés avec un autre filet moustiquaire, balayé d'aval en amont. L'usage de la javel est assez commun et ne concerne pas que les rivières des Roches et des Marsouins.

« Pêcheur : *On fait un barrage de fortune derrière avec des galets, du plastique, avec ce qu'on a sous la main. On réduit l'eau et systématiquement, le bichique il va redescendre et on va l'attraper dans les filets. Ça c'est un premier mode de pêche.*

Carole : *et ça se passe en combien de temps ? Ça se fait vite ?*

Pêcheur : *Rapidement, c'est quoi un quart d'heure, vingt minutes, c'est rapide. Mais là où ça a posé problème, bon faut pas se voiler la face, il y en qui se sont amusés, pour gagner du temps, ils mettaient de l'eau de javel. Donc ils se contentaient pas de réduire le débit d'eau, il met de l'eau de javel ici, ce qui fait que les bichiques ils descendaient plus vite et ça a vraiment enlevé tout quoi !* » (pêcheur, 18/12/14, rivière des Marsouins).

Cet usage de la javel s'est donc probablement développé pour réduire le temps de travail en rivière, et accélérer le processus de récolte et de vente. Sachant que les remontées d'alevins peuvent s'étaler sur plusieurs jours, il est préférable de se débarrasser de sa marchandise du matin pour être prêt à en collecter de nouveau l'après-midi ou le jour d'après, lors de la pleine saison. Le temps c'est de l'argent. De plus, on suppose que la vente de ce produit en exclusivité permet de faire augmenter le prix au kilo, dans un contexte où le volume des prises diminue et la demande s'accroît. Cette technique pose cependant plusieurs problèmes. Un problème sanitaire premièrement car le bichique javellisé peut occasionner des problèmes de santé chez les consommateurs. Des plaintes ont d'ailleurs été relayées par les médias. Et un problème d'ordre écologique car la faune et la flore environnantes sont impactées par ces pollutions.

La marée

Plus traditionnellement, les pêcheurs travaillent avec la marée. ***« Nous c'est par rapport aux marées justement. Donc on pose le filet, le bichique il a remonté le canal. On arrête l'eau, on attend que la marée soit basse. Et le bichique il redescend et rentre dans le filet »*** (pêcheur, 18/12/14, rivière des Marsouins).

L'estacade

Il existe une particularité sur la rivière du Mât, c'est la présence permanente d'une estacade en béton d'une hauteur d'environ 40 cm qui casse le niveau d'eau (photo 13). Placée en amont de la rivière, elle bloque la remontée des post-larves qui n'ont pas été capturées au cours de la lune. On utilise alors l'estacade en fin de lune pour collecter ces derniers individus. Ils ont séjourné plus longtemps dans l'eau douce et sont gris. On assèche le bras d'eau pour capturer en aval, dans des vouves gueules ouvertes sur la rivière, les bichiques qui redescendent vers la mer. Cet obstacle permanent est fortement critiqué car il constitue un barrage pour la migration des espèces diadromes et ne laisse aucune chance aux alevins de remonter partiellement. **Il faut reconnaître que cette pratique de pêche est très ingénieuse. Elle serait extrêmement efficace et assurerait de très bons rendements sur la rivière du Mât. Mais l'estacade est en effet fortement critiquable car elle constitue un réel barrage et ne permet pas de soutenir la reproduction. L'estacade est relativement loin de l'embouchure, ce qui suggère que cette pratique impacte une plus grande surface du cours d'eau.**

Photo 12. Pêche à la descente. Le bichique est « calé » entre deux filets. Les pêcheurs le collectent avec des filets. Rivière des roches, novembre 2012, @ http://www.anciens-cols-bleus.net/

Photo 13. Une estacade, rivière du Mât, novembre 2015, ©Becheler

c. Les parcs à poissons

Les parcs sont uniquement visibles à l'embouchure de la rivière des Marsouins, rive gauche (St Benoit). Ces installations sont très proches de la mer, le plus en aval de la rivière (photo 14). Les post-larves qui s'acclimatent progressivement au contact de l'eau douce trouvent probablement dans ces parcs, des zones de repos. En effet, la métamorphose des post-larves (bichiques) en juvéniles se déclenche à proximité des embouchures, dans ces eaux de transition de plus faible salinité. Les profondes transformations physiologiques et morphologiques que subissent les post-larves sont très coûteuses en énergie (Taillebois et al., 2011). **Peut-être que les bichiques qui stationnent dans les parcs se protègent du courant pour allouer leur énergie à la métamorphose.** Ensuite, lorsque la marée descend, les pêcheurs retirent les galets pour faire fuir les bichiques dans des nasses et filets, placés à la sortie des parcs. Certains pêcheurs utilisent aujourd'hui de la javel et ne déplacent plus les galets :

« Pêcheur : *On a monté des murets en sac de plastiques blancs*

Carole : *des big bag ?*

Pêcheur : *oui des big bag. Le bichique il sort de la mer, il arrive là, il rentre, on a creusé on a mis un tapis de galet, c'est épais, donc il y a quand même de l'eau douce qui rentre là. Le bichique il va trouver des galets, il va venir dormir dedans au contact de l'eau douce et nous on va mettre une nasse ici. Et puis on va fermer là à l'aide des filets et une fois que la marée sera basse. Auparavant on enlevait les galets et quand on enlevait les galets systématiquement ils retournaient soit dans la nasse soit dans les filets. Et là pareil, le vice est venu de rajouter de la javel ou des produits pour accélérer »* (pêcheur, 18/12/14, rivière des Marsouins).

Ainsi, l'usage de la javel s'est probablement développé dans les parcs pour réduire le temps de travail, sa pénibilité et augmenter le rendement, comme dans les canaux de pêche.

d. Déroulement d'une journée de pêche type dans l'embouchure

La surveillance commence 3 jours avant le quart de lune et consiste à remettre en état les installations de pêche, s'assurer que suffisamment d'eau irrigue les canaux et enfin estimer les quantités qui s'apprêtent à remonter. On va à la « tate » chaque matin pour estimer le nombre de grains qui remontent (« un grain » signifie un bichique). D'autres placent des cailloux clairs devant la vouve, pour voir les grains passer dessus. *« La tate c'est lever les pierres, passer la main, regarder s'il y a des montées. Combien de grains passent. Est-ce que c'est bien fourni, est-ce que c'est un grain toutes les cinq minutes…Il y en a toujours. Mais en fonction de la quantité que l'on va palper, c'est là que l'on va déterminer si l'on fait aujourd'hui, dans deux jours, dans trois jours »* (pêcheur, 30/12/14, rivière du Mât). **Les pêcheurs auraient donc la possibilité de prévoir la force du recrutement et de s'y préparer en appelant sur les rivières des personnes de leur équipe en renfort.** Et

puis, chaque matin, les pêcheurs remontent la rivière pour s'assurer que les braconniers[19] n'ont pas construit de barrage et que les autres occupants des canaux n'ont pas formé de digue pour modifier le débit qu'ils se partagent difficilement[20]. Sur la rivière du Mât, comme l'a constaté ma collègue de terrain : « les pêcheurs remontent la rivière (1,5 km) jusqu' au niveau du séparateur où l'eau se divise entre les canaux. En cas de pénurie d'eau, ils creusent le lit pour faire un appel d'eau et éviter que leur canal ne se trouve à sec au moment de la lune. En cas de crue, ils créent une digue pour dévier l'eau vers les autres canaux et obtenir un débit moindre permettant de travailler. Chaque groupe de pêcheurs faisant la même chose, sans concertation, il faut recommencer chaque jour ! Ce travail de maintenance peut prendre une demi-journée mais demande en général une bonne heure quand ils s'y astreignent ensemble » (rapport interne d'Enora Becheler pour la rivière du Mât, 2016). **Ainsi, la pêche à la rivière du Mât semble s'être organisée autour de la variabilité des débits à l'embouchure et notamment autour du déficit progressif du débit à l'embouchure qui engendre des conflits entre groupes de pêcheurs traditionnels.** Des tests statistiques confirment cette diminution significative du débit moyen en L/s entre 1986 et 2016 sur la rivière du Mât (pvalue < 0.05 ; rho Spearman = -0.08)[21].

A La Réunion, on appelle un braconnier, une personne isolée qui n'appartient pas à une communauté de pêcheurs. Les pêcheurs de bichiques tolèrent leur présence si ces derniers pêchent 150 m en amont des installations et n'usent pas de poison. Car le poison déversé en amont de la rivière affecte le cours d'eau en aval, où se trouvent les pêcheries de bichiques. Or certains braconniers piègent toutes les espèces sur une longue portion du cours d'eau à l'aide de poison divers qu'ils déversent en amont. Ils posent une vouve dans le sens inverse du courant pour collecter les cadavres un peu plus bas, qu'ils revendent. Le kilo d'anguille se vend 25 euros. Ainsi, en pleine saison, les pêcheurs de bichiques dorment sur le bord de la rivière pour surveiller le braconnage. Ils construisent des cabanes plus ou moins grandes en bord de rivière pour patienter à l'abri de soleil en pleine journée, se restaurer ou dormir (photos 15 à 19). Certains apportent leur tente pour dormir la nuit. Sur une rivière, il peut y avoir une ou plusieurs associations de pêcheurs rivales (ce que j'appelle des groupes de pêcheurs). Au sein de chaque association, il peut y avoir une ou plusieurs équipes. **On constate que la pêche des bichiques s'exerce dans un contexte conflictuel qui oppose certains groupes de pêcheurs traditionnels entre eux pour le partage de l'eau mais aussi ces groupes de pêcheurs à une population de braconniers, à priori non négligeable en termes d'effectif.**

[19] Les pêcheurs appellent un braconnier celui qui n'appartient pas à une association
[20] Dans l'embouchure de la rivière du Mât, il y a une équipe ou groupe de pêcheurs par bras d'eau
[21] Analyse réalisée à partir des données de l'Office de l'eau Réunion

La pêche est un travail d'équipe, où chacun a sa fonction, de la pêche à la vente : *« **Chacun a un rôle, moi mon rôle c'est par mon expérience, je peux montrer aux autres, quoi il faut faire, quoi il faut pas faire. Chef d'équipe. Après au niveau artisanal, c'est moi qui prépare les vouves, après il y a des trésoriers, des encadreurs, on est disons, toute une famille** »* (pêcheur, 10/01/15, rivière du Mât). Les pêcheurs se relayent la journée pour surveiller les vouves qui peuvent être volées. Suivant la

Photo 14. Parc à bichiques, octobre 2015, rivière des Marsouins, ©Thomas

Photo 15. Cabane de pêcheur pour s'abriter du soleil ou de la pluie, novembre 2015, rivière des Pluies, ©Thomas

Photo 16. Cabane des pêcheurs, octobre 2015, rivière des Marsouins, ©Becheler

Photo 17. Cabane des pêcheurs, septembre 2015, rivière de St Etienne, ©Thomas

Photo 18. Cabane des pêcheurs, octobre 2015, rivière des Roches, ©Becheler

Photo 19. Cabane des pêcheurs, septembre 2015, rivière des Roches, ©Thomas

localité de leur « vrai travail », les pêcheurs peuvent poser une vouve le matin, vérifier qu'elle est toujours en place vers midi et la relever au sortir du travail. Même si ce procédé est risqué car les vouves se volent très facilement.

Il peut y avoir jusqu'à 18 membres par équipe, au sein de laquelle sont partagés les gains : *« Quand c'est la lune bichique on appelle tout le monde et on dit, tiens il y a du travail à faire, descendez, si vous êtes là vous faites partie de l'équipe. Si le pêcheur n'est pas là, il est hors-jeu. En général, il vient. Avec un jour de retard, il vient quand même. Il aime ça déjà et il sait que s'il y a une bonne remontée de bichiques, il y a une petite monnaie »* (pêcheur, 2/02/15, rivière de Langevin). **On suppose que le nombre de membres par équipe a augmenté au fil du temps car les pêcheurs ont été contraints de se regrouper pour faire de la place aux nouveaux pêcheurs et parce que le nombre de canaux en eau a diminué. Ces résultats expliquent aussi la difficulté d'évaluer le nombre de pêcheurs en rivière.** Concernant les rapports des équipes entre les différentes associations, ils sont rarement bons. En effet, les pêcheurs expriment régulièrement leurs désaccords et leur méfiance envers les autres groupes de pêcheurs. Ils cohabitent plus ou moins facilement suivant les rivières et la configuration des embouchures qui définit l'espace qu'ils se partagent. Pourtant, je n'ai assisté qu'une seule fois à un excès de colère d'un pêcheur, qui exprimait son désarroi face au braconnage. Les pêcheurs sont pour la plupart très paisibles, accessibles et sympathiques. Derrière les bénéfices qu'ils retirent de la pêche, il y a un réel plaisir à exercer l'activité. D'ailleurs, la plupart du temps, les pêcheurs n'attrapent rien mais ils reviennent sur la rivière par habitude. C'est un passe-temps, un loisir, un lieu où ils peuvent se retrouver entre amis. Ils sont le plus souvent solitaires ou en petit groupe de deux ou trois « camarades ». Les actes de violences dont ils font le récit concernent le plus souvent les pêcheurs en mer à la moustiquaire, qui s'opposent aux pêcheurs en rivière. Parfois « c'est la guerre » comme le souligne un pêcheur sur la rivière des Marsouins (17/10/14).

Il peut y avoir entre 1 à 14 vouves par canal sur la rivière du Mât et entre une à six sur la rivière des Pluies. On ajuste le nombre de vouves en fonction du débit. On pose les vouves tôt le matin. On les relève vers 16 h ou toutes les deux heures s'il y a beaucoup de bichiques. Une vouve de 80 cm de largeur sur 180 cm peut attraper 100 kg de bichiques. Lors des bonnes remontées, on remplit une vouve de 100 kg en une demi-heure, **ce qui suggère que des centaines de kilos peuvent être capturées par canal**. Il faut être plusieurs pour lever les vouves et les vider sauf si on n'a rien attrapé et que la vouve est de petite dimension. A la rivière des Roches, les pêcheurs sont quatre pour lever une grande vouve et sur ces secteurs, on laisse les vouves la nuit dans l'eau. Si l'engin de pêche utilisé est de petite taille et que la prise est faible comme c'est le cas sur la photo 20, une seule personne soulève la vouve, ouvre la queue de la nasse nouée avec un fil, puis déverse le contenu dans un sac. **Ainsi, on comprend qu'il est préférable de pêcher en équipe pour**

Photo 20. Lever des vouves et récolte des bichiques, novembre 2015, rivière des Galets, ©Thomas

d'une part, réduire le risque de vol de vouves, de braconnage et réduire le temps de travail, et d'autre part, augmenter la probabilité de capturer des bichiques dans ce contexte où le recrutement est plus faible et temporellement plus variable. Cependant, certains préfèrent pêcher seul pour ne pas avoir à partager les gains mais aussi parce qu'il est agréable de se retrouver avec soi-même, en communion avec la nature. Le profit n'est donc pas la seule motivation des pêcheurs, l'activité reste récréative.

e. La pêche au goni, une activité ancienne qui subsiste dans l'embouchure

La pêche avec un goni, un sac en toile de jute, serait plus ancestrale et minoritaire d'après l'enquête (photo 21), de toute évidence la spécificité d'un seul secteur, celui de la rivière Langevin. Le terme goni vient de l'Hindi qui signifie sac. Un pêcheur depuis sa vingtième année, a accepté de me rencontrer sur les berges de sa rivière. Deux heures d'interview interrompue par la tombée de la nuit, et une phrase qui résonne encore dans ma tête « **la pêche au goni, la trois valeurs : on pêche, on préserve, on perpétue** ». Il s'applique à me conter l'histoire du goni en me présentant le premier atout de cet engin de pêche. C'est de la fibre biodégradable issue du recyclage. Le goni n'étant à l'époque qu'un sac en tissu utilisé pour transporter des marchandises telles que le café, le pois ou le haricot. Sur les berges de la rivière, on s'en servait de capuchon face au mauvais temps, en attendant que le bichique remonte. C'est avec ce même sac, que l'on collectait le carry. Cet interlocuteur ne voit pas dans son goni du bichique, mais le carry qu'il va manger en suivant. Il décrit le plaisir que lui procure cette activité qu'il qualifie d'enivrante.

Ainsi, on peut supposer que la pêche aux bichiques était originellement celle pratiquée avec un goni et non avec la vouve en fibre végétale. En effet, il est probable que les gonis aient été utilisés par les premiers pêcheurs sachant que la toile de jute est apparue au cours du XIX siècle et constituait un mode de conditionnement solide des marchandises. Ce matériau souple, résistant, économique a donc probablement été valorisé en engin de pêche par les premiers pêcheurs. Mais la pêche au goni serait très physique et peu rentable comparée aux autres techniques. Actuellement, il resterait moins d'une trentaine de pêcheurs au goni.

f. La pêche occasionnelle lors des « belles remontées » reste populaire

Enfin, la pêche occasionnelle se pratique dans le remous des vagues. Ces pêcheurs irréguliers se manifesteraient par centaine à l'occasion des « belles remontées ». La pêche se pratique individuellement comme illustré dans la photo 22. Ces pêcheurs utilisent, dans le remous des vagues, une moustiquaire accrochée à une roue de vélo, autrement dit une petite « poche ». Historiquement, ces pêcheurs avaient le droit de pêcher à proximité d'une embouchure, plus

particulièrement à la rivière des Roches. Certains pêcheurs sur cette rivière affirment que les occasionnels sont toujours acceptés. Mais étant donné que les fortes remontées se font rares, et que le prix du bichique augmente, on peut penser que ces rassemblements entrainent des conflits avec les pêcheurs « rivière ». **Ainsi, le nombre de pêcheurs occasionnels reste difficile à évaluer car les « fortes remontées » sont actuellement rares et imprévisibles. Ces rassemblements de pêcheurs seraient de nature épisodique. Et dans le cadre de cette enquête, nous n'avons pas observé de recrutement larvaire spectaculaire ni de pêcheurs dans le remous des vagues.**

Photo 21. Démonstration à sec de la pose d'un goni, octobre 2014, rivière de Langevin, @Thomas

Photo 22. Rassemblement de pêcheurs occasionnels à l'embouchure de la rivière des Roches, 2015, @Fabrice Wislez

1.5.2 La pêche en mer s'intensifie

La pêche en mer concerne une communauté de pêcheurs qui migrent d'un secteur de l'île à l'autre, par voies terrestres ou marines, à la recherche de bichiques. Elle se pratique en mer, avec des palmes, un masque, des bouées et des filets moustiquaires de grandes dimensions que l'on manœuvre en équipe (photo 23). Il faut être un bon nageur et bon apnéiste pour capturer le banc de poisson en mer et le tracter sur le rivage, où le stock sera écoulé. Chaque équipe composée de 6 à 10 personnes possède une camionnette pour transporter le matériel et les hommes sur les sites de pêche, inconnus à l'avance. **Il s'avère que le succès des prises repose sur les aptitudes et moyens techniques des pêcheurs et le réseau des personnes qui scrutent la mer et préviennent de l'arrivée d'un banc. Nous savons d'après Schübel (1998), que la pêche au filet moustiquaire serait apparue à La Réunion au début des années 1970. Et notre enquête suggère que cette pratique se serait développée avec l'arrivée des barques qui font le tour de l'île et plus récemment du téléphone portable qui permet de signaler l'approche d'un banc de poisson sur un secteur particulier. La radio locale Freedom relaye aussi l'information sur l'île et serait en partie responsable de la surexploitation des bichiques.** Les pêcheurs scrutent ainsi la mer dans le secteur nord-est de l'île, un point de chute régulier des bichiques et sont à l'affût d'information, prêt à se déplacer sur un autre secteur *: « Oulà on sait pas où il va tomber. Par contre si ce soir il y a un coup de téléphone qui tombe…on a pris euh 300 kg à St Denis ben demain matin il n'y aura plus personne ici. Tout le monde à 4h du matin va être fixé sur St Denis … vous allez voir énormément de gens qui vont rentrer ici … Et c'est sûr que ça va sortir sur St Denis »* (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins).

Ces pêcheurs en mer seraient basés pour la plupart à St Pierre, dans le sud-ouest de l'île. On dit que ce sont des pêcheurs professionnels qui pêchent en mer. Or, en 2015, seulement dix pêcheurs professionnels ont demandé une autorisation auprès de la DMSOI, sans pour autant déclarer leurs prises : « 11 en 2012, 23 en 2014, 9 en 2014, 10 en 2015, 11 en 2016 » (Interview DMSOI, février 2016). Il s'avère qu'un pêcheur professionnel a en effet le droit de manœuvrer une moustiquaire avec une équipe. Dans une équipe de 10 pêcheurs, un seul est professionnel, ce qui gonfle le nombre de pêcheurs moustiquaire à 100 pour dix professionnels déclarés ou 230 pour 23 déclarés. Sur le terrain, dans le secteur ouest et sud de l'île, les pêcheurs des rivières St Etienne et Langevin ont observé 300 pêcheurs moustiquaires devant l'embouchure. Sur la côte est, sur la rivière des Pluies, un pêcheur annonce un tout autre chiffre, 2000 pêcheurs dont 20 équipes de professionnels. Ce chiffre probablement surestimé, rejoint toutefois le témoignage d'un professionnel qui fait mention d'un nombre de pêcheurs en mer beaucoup plus élevé, en Décembre : *« bon il y a 10 équipes qui est en train de travailler en mer ou 200 équipes au mois de*

Décembre, il y a 200 fois moins de chances de travailler mieux ! » (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins). **Ainsi, comme dans les rivières, le nombre de pêcheurs en mer varie fortement au cours de l'année, ce qui complique toute tentative d'estimation d'effectif.**

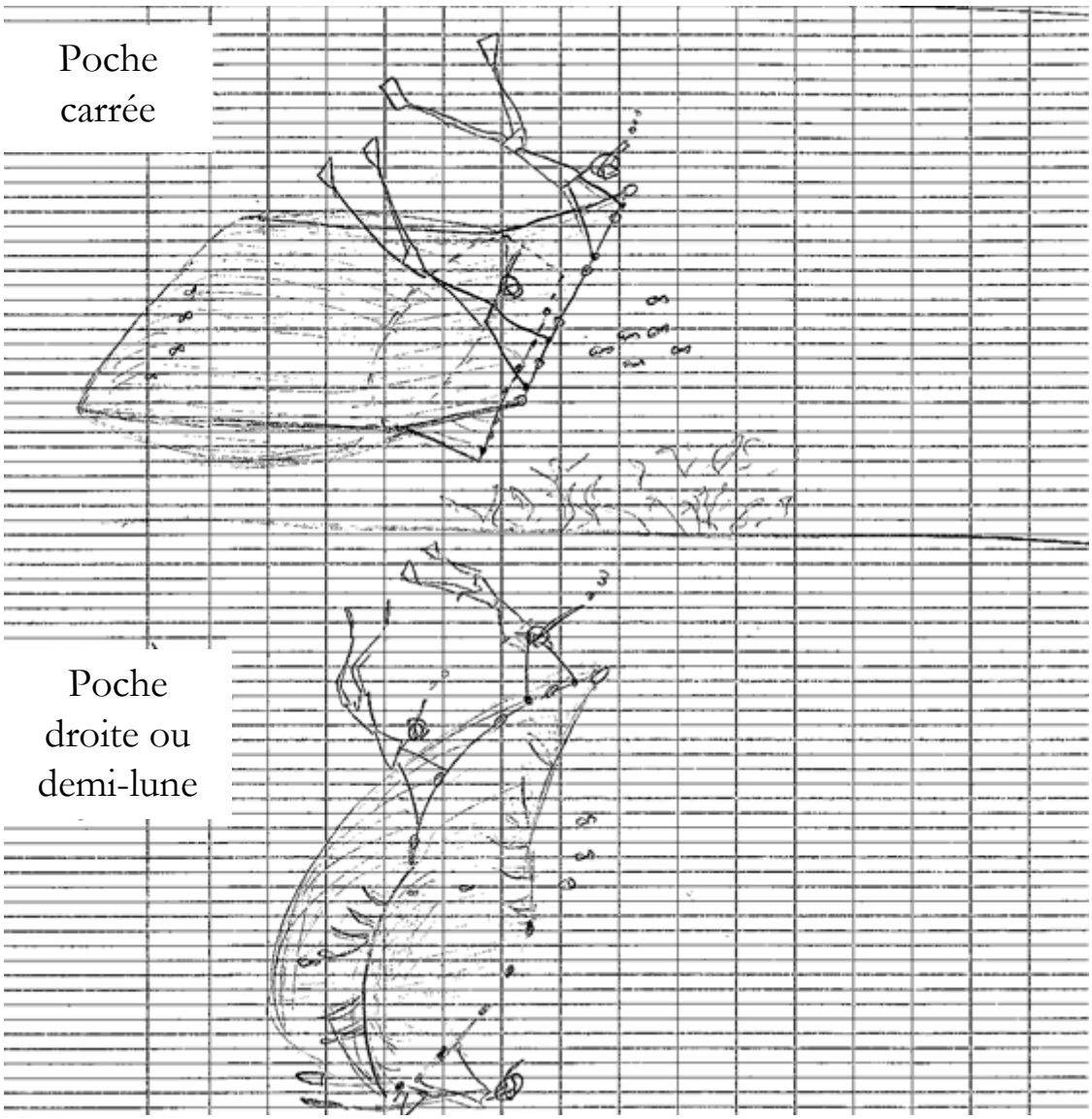
Cette pêche en mer est d'une grande efficacité et s'effectue sur de courtes périodes de l'année, quelques jours par mois, contrairement aux pêcheurs de rivière mobilisés sur leur site de pêche à l'année, pour l'entretien du canal. Mais seuls des nageurs aguerris, bons apnéistes, peuvent s'aventurer en mer. Les pêcheurs iraient parfois chercher le banc *« à 500, 600 m de la côte, 800 m làbas, si labàs le récif il fait 8, 10 m ou 12 m »* (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins). Ceux qui n'ont pas de bateau prennent des jet ski. Les plus gros poissons et les oiseaux qui s'agitent trahissent la présence d'un banc : *« On voit le bichique sauter en mer, on le voit à la jumelle »*. Dans d'autres cas, c'est la présence de bichiques dans le ventre des bonites qui alerte les pêcheurs : *« Les pêcheurs en barques à la traine, il prend deux petits thons, deux petites bonites là juste devant le port. Quand ils ramènent, ils voient qu'il y a des bichiques à l'intérieur ben ça c'est le facteur déclenchant. Alors il refait marche arrière, il va plus à la pêche, ein, il change, eh bein d'objectif ein ! plus au poisson mais au bichique maintenant et là il s'équipe »* (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins).

Un pêcheur raconte qu'il lui est arrivé de rester toute une journée dans l'eau de 6h à 18h lors d'une belle remontée, même si comme il le dit ironiquement, « **on peut pas barrer la mer** ». Il ajoute que pour manier la moustiquaire, il faut une bonne cohésion d'équipe : *« On a de grosses poches, on le cale et il va rentrer dedans, c'est tout un travail, c'est un ensemble de personnes, on va le fermer dedans, on va le remonter, on va le mettre dans un vivier, dans un sac un peu plus important où on peut ramener une tonne deux tonnes à terre sans avoir de problèmes et que ça déchire »* (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins). Ma collègue de terrain Enora Becheler, s'est entretenue avec deux pêcheurs qui s'affairaient à recoudre leurs filets, déchirés par les coraux (photo 24). Il existe deux types de « poche » fabriquées manuellement (aussi appelée moustiquaire) (dessin) :

- La poche carrée: un genre de filet à chalut, un entonnoir de 5 m de long, cousu sur 3,5 m et ouvert à la gueule sur 1,5 m et de 6 m de large (2 fois la largeur du tissu acheté en mercerie). L'ouverture a des plombs sur le bord inférieur et des flotteurs sur le bord supérieur, tenu par les pêcheurs.
- La poche droite ou poche demi-lune: 3 pans de moustiquaire en hauteur (9 m), sur 4 ou 5 m de large. Idem pour les plombs et les flotteurs, bords latéraux froncés pour faire un ventre. Il se manie un peu comme une senne.

Photo 23. Pêcheurs en mer, janvier 2012, @Imaz Press Réunion

Photo 24. Pêcheurs en mer qui réparent leurs filets moustiquaires (poches), novembre 2015, rivière des Marsouins @Becheler



Dessin. La pêche en mer avec une poche carrée ou une poche demi-lune, dessin de terrain, @Becheler

Dans son rapport de terrain (2016), Enora précise : « Les pêcheurs travaillent à 5 ou 6 sur des filets moustiquaires de dimensions susdites. Les plus grandes poches nécessitent d'être jusqu'à 15. Ils vont chercher le bichique à 6 m de profondeur en général, parfois 15 m, et ils se relaient pour faire les apnées. En fait, le banc est vers le fond mais à force d'agitation dans l'eau, les pêcheurs les font fuir vers le large et les bichiques redescendent. Ainsi, les meilleurs apnéistes ont plus de chance d'attraper beaucoup de bichiques. La poche carrée est plus efficace que la poche droite mais il faut qu'il y ait beaucoup de bichiques. Leurs poches sont roses parce que, d'après les pêcheurs, c'est la couleur que le bichique voit le moins (comparé au blanc et au noir) ».

Un pêcheur de la rivière du Mât affirme que les pêcheurs en mer jettent de la javel au fond de l'eau pour faire décoller les bichiques, enterrés sous les galets, vers la surface. Et que l'on ferme ensuite la poche au-dessus. Difficile d'estimer le volume de bichiques que l'on peut capturer dans ces poches aux dimensions variables mais un autre pêcheur professionnel parle de moustiquaires de 10 voire 15 m de grandeur. Il ajoute : *« Ben moi quand je vais en mer, j'ai deux bouées, 3 bouées. En fin de compte il y a 4 poches par bouées et chaque poche, on peut avoir 1tonne 1tonne5 ça dépend de la grandeur. On amarre les 8 si personne n'arrive et qu'on est les premiers dedans, c'est ça, c'est la fête »* (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins). Il est normalement interdit d'amarrer des filets entre eux.

La pêche en mer est donc très technique et physique mais s'avère très rentable. D'après mes observations, sans connaître l'âge exact des pêcheurs que j'ai rencontré, j'ai constaté que les plus vieux pêcheurs pratiquaient la pêche en canal et les plus jeunes, la pêche en mer. Ainsi, on peut supposer que l'activité de pêche en mer n'est pas menacée de disparition car elle semble revêtir une plus grande attractivité chez les jeunes que la pêche en rivière, au regard des coûts et bénéfices. En effet, nous voyons que la pêche en rivière s'enlise dans des conflits engendrés par le manque d'eau, la pollution et le braconnage. De plus, il faut posséder un territoire de pêche en rivière ou l'acheter. Alors que la pêche en mer est plus accessible car il n'y a pas de zones de pêche réservées, elle est rentable et offre la possibilité d'être pratiquée occasionnellement sans s'embarrasser de l'entretien d'un canal.

1.6 La pêche des bichiques, une filière informelle

En bord de rivière, les équipes pèsent les captures à la balance romaine (photo 25). Si la pêche est bonne, on la vend à un « bazardier », aussi appelé « accapareur », qui va écouler le stock au sein d'un marché informel en bord de route. Les pêcheurs ne se chargent pas de la vente et peuvent alors se concentrer sur la pêche qui bat son plein. Cependant, ils savent qu'ils vont brader leurs captures auprès de l'accapareur qui les vend au prix double en bord de route : *« Quand on a*

un cent kg, peut permettre à ou, na deux restent en bas, na deux y va vendre. Mais quand il rentre une tonne, l'accapareur vient en bas, il fait le prix et s'en va avec » (pêcheur, 17/12/14, rivière de l'Est). Si les prises sont plus faibles, de l'ordre de la dizaine de kilos, les pêcheurs appellent leurs clients ou font « du porte à porte ». Ils peuvent aussi congeler leurs captures pour les vendre à la demande, ou en garder un ou deux kg pour leur consommation personnelle. Les prises sont ainsi partagées au sein de l'équipe ou servent d'appât pour capturer l'anguille ou faire de la pêche en surfcasting pour capturer des caranges ou autres prédateurs côtiers (photo 26). Le bichique est donc écoulé publiquement sur des étals ou auprès des particuliers. Les pêcheurs peuvent aussi congeler les bichiques qu'ils capturent en début de saison, octobre, novembre pour les vendre au mois de décembre, où la demande est plus forte. Ce qui pourrait expliquer que je n'ai pas vu de vente en bord de route, en octobre et novembre 2014.

Les pêcheurs sont en contact avec plusieurs « bazardiers ». Ces derniers n'attendent pas d'être appelés pour se rendre sur site mais font des rondes entre les différentes rivières pour surveiller les remontées. Ils viennent tous les matins aux renseignements puis s'en vont sur un autre site. Ils possèdent des camionnettes avec de grands paniers vides stockés à l'arrière. Les pêcheurs vendent successivement à leurs différents « bazardiers » pour conserver leur réseau : *« Normalement au premier quartier de lune, nous on est sur la rivière 4 à 5 jours avant. Là, on fait la surveillance mais le bazardier il arrive tout de suite. 5, 6 jours avant il est là. Il fait la navette. Et quand il y a des bichiques et bien c'est chacun son tour. Par exemple, on a dix bazardiers, bein c'est chacun son tour, sauf si vraiment il y a une grosse masse et là tout le monde est servi »* (pêcheur, 30/12/14, rivière de St Etienne). Sur la rivière, le bichique s'achète en moyenne 35 euro le kilo et se revend en bord de route, entre 40 et 50 euros. Lorsqu'il y a beaucoup de bichiques, le prix de gros peut descendre à 20 euros le kilo sur la rivière. Ce sont souvent les bazardiers (dit aussi accapareurs) qui négocient le prix de gros. Les pêcheurs acceptent ou non au risque de ne pas trouver meilleur offre.

Photo 25. Pesée des captures à la balance romaine, janvier 2016, rivière du Mât, @Becheler

Photo 26. Pêche en surfcasting, 2016, rivière des Pluies, @T. Simon

Un pêcheur en mer raconte une anecdote sur la négociation de son lot : *« ils se parlent entre eux : « non non on va temporiser, on achète pas », mais nous on ne peut pas le garder longtemps. Donc si on a envie d'en rechercher d'autres, il faut qu'on se libère de ça, si on a pris 500 kg, une tonne. Donc il est vendu ou ils temporisent et là ils jouent souvent sur le prix »*. Il ajoute : *« Une fois j'ai fait un coup, il y avait trois tonnes dedans. Personne ne voulait prendre à 20 euros. Et il y a un qui m'a dit à 15 euros on prend. Et ils se sont concertés et là il y a mon copain qui arrive et qui dit « tout pour moi d'accord ? tu me fais à 18 euros ou à 19 euros je prends tout ». Biensur j'ai choisi 19. Il gagne un euro, l'autre il a pas pour 15 euros. Et tout est vendu »* (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins). Les pêcheurs sont soulagés d'écouler leur stock auprès d'accapareurs mais ils savent qu'ils y perdent car on vend leur produit plus cher en bord de route. La marge est souvent de 5 euros, parfois plus. En janvier 2016, le bichique s'est vendu 70 euros, un prix exorbitant sur lequel on peut estimer qu'un bazardier s'est fait une marge d'au moins 30 euros par kilo. Cependant, dans cette filière tout le monde y gagne sauf le consommateur qui achète au prix fort :

*« **Carole :** qui est-ce qui achète ça ?*

***Pêcheur :** ah les gros bazards, les gens qui reviennent de France, pour la famille, pour les cérémonies, ça beaucoup, ici il y a beaucoup de croyances, mon ami est croyant. Donc pour une statue comme ça, il va acheter un kg de bichique pour mettre devant. Il pense que la statue va manger ça »* (pêcheur, 3/02/16, rivière des Pluies).

Aussi, les pêcheurs doivent écouler leurs prises rapidement avec la chaleur et l'on trouve sur les étals des qualités de bichique plus ou moins fraîches. Il arrive aussi que le bichique en vente ne soit pas local mais de l'importé décongelé que les pêcheurs différencient bien ainsi que certains clients accoutumés. Un touriste peut être trompé. Dans certains cas, le bichique est blanc et impropre à la consommation car javellisé lors de sa capture. Cependant il s'écoule tout aussi vite.

La vente en bord de route qui dépend du recrutement est donc imprévisible et éphémère (photos 27 et 28). Ces ventes sont connues pour créer des bouchons spectaculaires. Je n'ai pu observer que deux ventes en bord de route au cours de mon terrain d'octobre 2014 à février 2016. Les deux fois, l'ensemble des bichiques avait déjà été vendu.

On se rend compte ici que la pêche n'est plus une activité de subsistance comme pourrait le faire penser l'appellation de « pêche traditionnelle ». L'activité s'est modernisée et génère une économie souterraine locale. Il faut d'ailleurs remarquer que ce qualificatif « traditionnel » est largement employé par les pêcheurs et repris par les communautés scientifique et politique sans que personne ne s'accorde vraiment sur sa définition. Dans le domaine de la technologie, ce terme s'inscrit dans le temps long et évoque ici l'usage des vouves en fibres naturelles. En vérité, les engins de pêche actuels mêlent un savoir-faire ancien et des matériaux modernes.

Comme alternative à la pénurie locale en bichiques et au coût élevé de ce produit local, il est possible d'acheter du bichique congelé en grande surface, provenant d'Indonésie. Il est moins cher, environ 6 euros les 250 g. Sous l'appellation « bichiques », on retrouve l'espèce *Sicyopterus lagocephalus* présente dans d'autres régions du monde et une variété d'autres espèces de gobies diadromes. Nous savons en effet que les pêcheries larvaires de gobiidae sont anciennes et fortement développées en Indonésie (Montilla 1931). Le bichique surgelé fait office d'aliment de substitution dans de nombreux foyers qui n'ont pas les moyens de s'acheter du frais. Il est aussi possible de trouver des bichiques surgelés en métropole, qui sont en réalité des post-larves du gobie *Valenciannea muralis* (photo 29). Le prix est élevé, environ 14 euros les 250 g. Tous les pêcheurs interrogés sur le bichique d'importation disent ne pas consommer ce produit congelé qui n'aurait pas la même saveur comparée au local. Qui plus est, il s'écraserait à la cuisson. Les pêcheurs utilisent du bichique frais pour cuisiner le traditionnel « carry bichique » au feu de bois (photo 30).

Ainsi, les consommateurs préfèrent consommer le bichique « péi » même si ce dernier est plus cher, ce qui montre que le bichique est apprécié pour son goût mais aussi pour ce qu'il représente. Ce plat populaire traditionnel véhicule une histoire et on pourrait même le définir comme un marqueur d'identité pour de nombreux réunionnais. Il faut toutefois s'inquiéter de cette importation surgelée d'espèces en « vrac », en provenance d'Indonésie, qui trouve à La Réunion une clientèle fidèle. Cette importation contribue à la surexploitation des stocks de gobies amphidromes dans d'autres régions du monde.

Photo 27. La vente en bord de route, @Le Quotidien

Photo 28. Vente de bichiques à 60 euros le kilo, janvier 2016, St André, @Becheler

Photo 29. Gobie *Valenciannea muralis* surgelé sous le nom de Bichique, supermarché eurasia, 2015, ©Thomas

Photo 30. Préparation du traditionnel carry bichiques au feu de bois, novembre 2015, rivière des Galets, ©Thomas

2. La pêche vue du ciel

2.1 Appropriation de la rivière : Des installations de pêche éphémères pour des territoires historiques

Les territoires de pêche en rivière se délimitent par la largeur et longueur du canal (ou parc) que l'on possède. Le canal de pêche se lègue au fils aîné de la famille ou se revend. On peut remarquer que cette « filière patriarcale » est commune au secteur de la pêche (Beaucher 2013). Cette transmission familiale des territoires de pêche se retrouve par exemple chez les pêcheurs des îles de la Madeleine qui se répartissent des zones de pêche sur le territoire maritime (avec des bouées), dans le golfe du St Laurent (Geistdoerfer 1987). Le secteur de l'agriculture serait aussi fortement marqué par une transmission patriarcale du patrimoine économique (terre, troupeau) et symbolique (valeur, croyance) (Jacques-Jouvenot 2014). **Cette transmission intergénérationnelle permettrait à un patrimoine de perdurer, comme cela semble être le cas pour la pêche des bichiques. Cependant, les territoires de pêche peuvent se vendre très cher et de façon informelle. On suppose notamment que ces ventes se sont multipliées car la nouvelle génération ne serait pas encline à reprendre l'activité. Ce qui suggère que la transmission du patrimoine symbolique de l'activité est menacée (savoir-faire, croyances, connaissances du milieu et des espèces).** Sur la rivière des Marsouins, l'emplacement coûte 30 000 euros et il faut compter 2000 euros d'entretien par an. La valeur d'un canal ne se résume pas à sa dimension mais d'avantage à sa position. Certains emplacements seraient plus favorables pour la pêche et se vendraient plus cher. Il s'agit des canaux proches de l'océan mais aussi du rivage, appelés « canal laterre ». **Ainsi, on suppose que le plus faible courant à proximité du rivage facilite la migration des post-larves. En effet, il a été démontré que les capacités de nage à contre-courant des civelles d'anguilles étaient limitées à 0,2 m/s** (Baran et al., 2012)**. Un trop fort débit fluvial freinent la migration de ces espèces. Mais les civelles tirent profit des irrégularités du fond de la rivière et des berges, pour assurer leurs déplacements vers l'amont** (Gascuel 1986)**. Il est donc fort probable que les bichiques adoptent ce même comportement et choisissent les zones de plus faible courant, ce qui profiterait aux pêcheurs des canaux en bord de rivage.**

De même, lors des crues, le bichique redescend en « rafale » vers l'océan. Ce qui n'est pas étonnant sachant que les crues peuvent même entraîner une délocalisation des populations adultes d'amont en aval (Lagarde et al., 2015). Les pêcheurs qui possèdent un canal proche du rivage peuvent capturer les bichiques à la descente. Par contre, les propriétaires des canaux positionnés au centre de l'embouchure, dit « au cœur de l'eau », ne peuvent pas poser de vouve ni manier les moustiquaires dans ces conditions car le débit de la rivière est plus fort que celui proche des rives,

ce qui rend aussi l'accès dangereux. Toutefois, le désavantage d'un emplacement proche du rivage est l'accumulation de sédiment dans ces zones de plus faible courant, qu'il faut déblayer régulièrement.

On observe sur la rivière des Roches et des Marsouins, certaines installations en « big bag » qui se prolongent jusqu'en mer, pour orienter le bichique prioritairement dans un canal. Cette pratique serait très récente comme en témoignent les photos aériennes de l'IGN (www.geoportail.gouv.fr) et marque probablement une intensification de la compétition pour la ressource. Cette pratique est en effet ressentie comme déloyale par tous les autres pêcheurs, notamment ceux de la rive gauche de la rivière des Roches. Ces derniers ne peuvent pas rivaliser de par la configuration de l'embouchure. En effet, les canaux sur la rive gauche ne sont pas rectilignes et doivent suivre la configuration incurvée de la rive, qui les éloigne de l'entrée de l'embouchure.

Les territoires sont visuellement éphémères, ils peuvent être détruits par une crue ou la houle. D'ailleurs on voit difficilement les canaux de pêche sur les photos IGN prises en hiver. Cependant, l'emplacement de pêche reste la propriété du pêcheur. Il reconstruit son canal au même emplacement. Une exception existe sur la rivière de Langevin, désormais plus accessible à une communauté de pêcheurs occasionnels ou considérés comme nouveau dans la pêche. En aval de cette rivière, se trouve un bassin dans lequel est pratiquée la pêche au goni et à la vouve. Le premier pêcheur qui arrive sur site un jour de pêche peut marquer son territoire avec deux piquets métalliques. Par forte houle, certains préfèrent rester sur le rivage et les plus courageux sont ainsi récompensés. Il s'agit souvent de jeunes. Auparavant, les différents canaux de la rivière Langevin étaient gérés par une association au nombre d'adhérents limités et cette pratique de réservation d'un territoire n'était pas permise. Chaque pêcheur conservait son canal. Avec l'afflux de nouveaux pêcheurs, l'association a éclaté et trois associations se sont formées. L'association initiale s'est retranchée dans une partie du bassin « l'empoint », réservée aux pêcheurs professionnels. La pêche au goni se pratique dans la zone la plus avale du bassin, appelée localement « le radier du cassement de la vague au bassin », qui autrefois était une zone de pêche réservée. Tout le monde peut désormais y pêcher. Mais comme le soulignent certains pêcheurs en rivière, l'emplacement ne fait pas tout, « **tu peux avoir canal mais si tu n'as pas technique…** ». Ce qui veut dire que les novices en pêche qui s'attribuent un territoire dans la zone accessible à tous, ne possèdent pas pour autant la bonne technique de pêche. Le maniement des vouves (autre association) ou du goni dans cet emplacement exposé à la houle reste très technique. **En d'autres termes, la pratique de la pêche des bichiques est un héritage technique, plus que jamais indispensable dans un contexte où s'accroît la difficulté de capture.**

Une cartographie des installations de pêche sur la rivière des Marsouins a été réalisée à partir d'une photographie aérienne IGN de 2017 (fig. 7). On peut y voir l'alignement des canaux, la présence de parcs dans la zone aval de la rivière ainsi que des canaux de plus petites tailles, dispersés en amont de l'embouchure. **On constate que la pêche se déploie sur les 400 premiers mètres du cours d'eau. La pêcherie constitue donc un obstacle non négligeable à la continuité écologique.** On remarque que les canaux sont plus nombreux, au plus près de l'océan, pour collecter le bichique « rose » ou « légèrement gris », soit celui qui ne s'est pas encore trop métamorphosé en juvéniles. Comme nous l'avons vu précédemment, avec la métamorphose qui se déclenche au contact de l'eau douce, le bichique durcit et perd de sa valeur auprès des consommateurs. Il ne faut donc pas tarder à le capturer. On suppose donc que les canaux plus en amont, à proximité du pont (600 m de l'embouchure), capturent des post-larves un peu plus métamorphosées, moins appréciées des consommateurs. Cependant, nous en avons collecté un échantillon à cet endroit et constaté que le bichique n'était pas encore devenu juvénile. De plus, nous savons que *Sicyopterus lagocephalus* met environ 7 jours à se transformer en juvéniles (Taillebois et al., 2011). Ce qui suggère d'une part que le bichique présente toujours de la valeur économique lorsqu'il est capturé dans ces installations secondaires et d'autre part que la post-larve met moins de 7 jours pour parcourir 600 m dans la rivière des Marsouins depuis l'entrée de l'embouchure. **Ainsi, on suppose que le bichique capturé dans les installations secondaires présente toujours, voir tout autant de valeur pour le consommateur, que le bichique capturé à proximité de l'embouchure. Cependant, on imagine très bien que le rendement dans ces emplacements secondaires est plus faible que celui des premières lignes. Ainsi, la plus grande quantité de bichiques serait capturée en mer et dans les canaux de premières lignes. Enfin, on se rend compte que la pêcherie en l'état actuel, constitue une pression majeure sur les espèces appartenant au bichique, car elle se déploie en mer mais aussi en rivière à différents niveaux. On peut supposer qu'elle constitue un obstacle suffisamment étalé pour stopper la migration de la plupart des bichiques. Cependant, nous savons que ces obstacles ne sont pas infaillibles et que l'effort de pêche n'est pas aussi intense toute l'année, ce qui permet probablement à la population de cabots bouche ronde (bichique devenu adulte) de se renouveler.**

On voit également très bien le prolongement dans l'océan des canaux en « big bag » à proximité de la rive droite. Sachant que leur apparition est récente à l'île de La Réunion, on suppose que des pêcheurs se sont progressivement installés devant la supposée première ligne de pêche (en vert). Il est d'ailleurs probable que des conflits au sein des canaux aient entraîné une recomposition des équipes et l'apparition de nouveaux canaux. Le plus étonnant est que ces canaux « big bag »

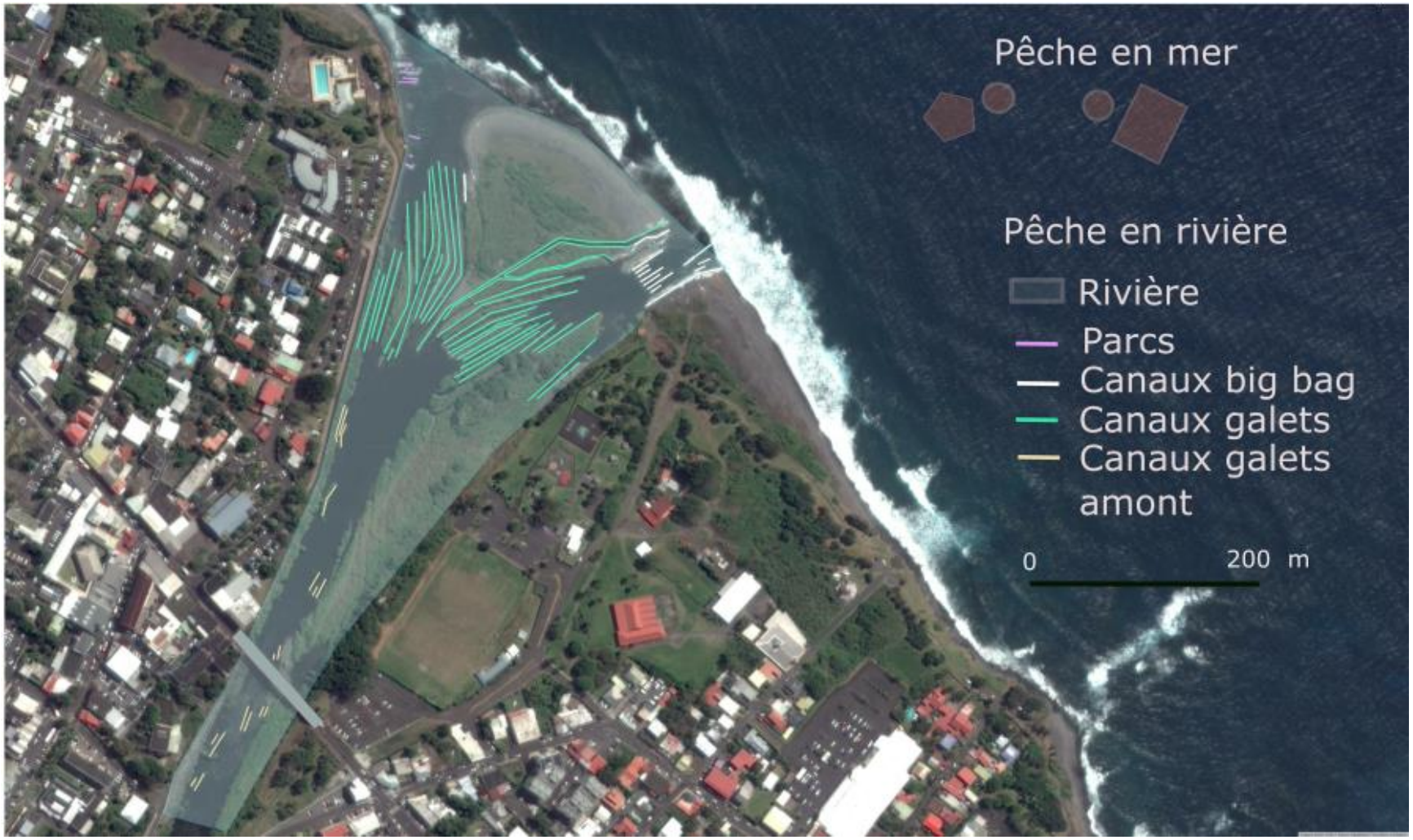


Figure 7. Cartographie des territoires de pêche sur la rivière des Marsouins, à partir d'une photo IGN 2017, ©Thomas

sont minoritaires face aux nombreux canaux de premières lignes, ce qui suggère qu'ils ont du pouvoir. Peut-être que les forces humaines en présence sont supérieures aux autres groupes, peut-être bénéficient-ils d'une notoriété, peut-être sont-ils anciens dans la pêche ou peut-être ont-ils engagé plus d'argent pour acquérir leur territoire. J'ai rencontré un pêcheur professionnel avec son équipe sur ce territoire. Il m'a fait part de ses vastes connaissances sur les espèces (poissons côtiers, langouste, bichique, etc.) et de son expérience et logistique dans la pêche. Il capture le bichique en mer et en rivière. Après son interview, il en ressort que cet usage des « big bag » serait associée à des groupes de pêcheurs très organisés qui se consacrent très sérieusement à la pêche dans un objectif de rendement et qui en tirent des profits intéressants. Ils se démarquent des autres pêcheurs dans les canaux de galets qui pratiquent l'activité en petit groupe voir solitairement, comme c'est le cas dans les installations de pêche secondaires.

2.2 La pêche des bichiques à l'embouchure des rivières: un exemple de co-évolution nature-société

La société dans son ensemble a transformé considérablement le système hydrologique de La Réunion ces dernières décennies, par l'exploitation des cours d'eau (barrages hydroélectriques, captages, extraction de matériaux naturels) et par l'étalement urbain, entraînant une diminution drastique des débits (fig. 8) et une modification du lit des rivières (figures 9 et 10). L'analyse des débits réalisée à partir des données de l'Office de l'eau démontre que le débit a significativement diminué sur la plupart des rivières pérennes. Le plus célèbre exemple d'altération de continuité hydrologique concerne le barrage de la rivière de l'Est, qui assèche le cours d'eau à son embouchure. La découverte ultérieure d'une zone d'infiltration à ce niveau, explique en partie ce phénomène d'assèchement. Le débit réservé par la centrale hydroélectrique, pour maintenir la connectivité hydrologique ne serait pas suffisant dans cette situation. Exploitée depuis 1952, elle fournit cependant 60 % de la production hydroélectrique totale de l'île et 12 % de la production électrique totale (EDF 2010).

Les comparaisons de photos aériennes, réalisées sur la rivière des Pluies et sur la rivière des Galets, révèlent l'évolution de l'emprise urbaine sur le lit de ces rivières, entre 1950 et 2017. On note premièrement que le cône de déjection de la rivière des Galets est moins large aujourd'hui et que le tronçon aval de cette rivière est canalisé dans un lit étroit. Il s'avère que l'endiguement du cône de déjection a été entrepris en 1991 afin de gagner en surfaces constructibles pour l'industrie (Aubie et Oliveros, 1999 ; Lorion 2006). On remarque aussi la présence d'épis en amont du cours d'eau, permettant de protéger la commune d'éventuelles inondations. Ils cassent la force de l'eau lors des crues. Par ailleurs, les extractions de matériaux alluvionnaires jusqu'en 1991 auraient fortement perturbé l'équilibre sédimentaire de cette rivière et influencé l'orientation des écoulements. D'une

part, ces prélèvements dans la rivière auraient modifié l'équilibre qui se forme entre la force de l'eau qui coule et le soubassement sur lequel cette eau coule. L'érosion linéaire tendrait à s'enfoncer de plus en plus et à attaquer par érosion latérale les flans des éléments brêchiques : *« **Aujourd'hui, il est possible de voir des lahars[22] qui datent de plusieurs millions d'années, dans l'axe du courant torrentiel. Cela forme un toboggan extrêmement dur sur lequel la rivière des Galets, avait déposé des tonnes d'alluvions pour former son équilibre (…). En prélevant les granulats, l'eau s'attaque maintenant aux lahars dans lequel se crée des mini vallées de plusieurs mètres de profondeur, que l'on peut observer sous le pont de la rivière des Galets** »* (Interview d'un géographe, 8/02/16, St André). D'autre part, ces prélèvements avec l'affaiblissement des débits auraient conduit à une accumulation des alluvions à l'embouchure. L'eau s'écoule aujourd'hui préférentiellement dans le Nord et le Sud de l'embouchure dans un réseau de chenaux individualisés (Aubie et Oliveros, 1999). En effet, lors de l'enquête, les pêcheurs de bichiques ont été observés aux deux extrémités de l'embouchure. Dans la zone centrale, l'accumulation de sédiments était nettement visible, empêchant toute connexion entre la rivière et l'océan. Les pêcheurs sur cette rivière disent souffrir particulièrement du manque d'eau. La rivière des Galets est notamment l'une des 4 rivières prélevées dans le cadre du projet d'envergure de transfert des eaux d'Est en Ouest, achevé en 2014. L'eau prélevée est utilisée pour recharger la nappe phréatique de la rivière des Galets qui alimente les zones industrielles portuaires. Elle fournit aussi un complément en eau potable aux communes de l'Ouest, confrontées aux déficits hydriques, et doit contribuer à l'irrigation de ces espaces (Simon 2008). Un débit réservé est relargué en aval des prises d'eau et lorsqu'il pleut, le débit d'eau relargué est plus important, ce qui permet de pêcher à l'embouchure. Ils rapportent qu'ils « **travaillent** » au gré des lâchers d'eau.

Concernant l'évolution de la rivière des Pluies, nous remarquons que la partie aval du cours d'eau traverse actuellement une zone fortement urbanisée. Le cône de déjection a été canalisé pour gagner en surfaces constructibles. Les écoulements se font aujourd'hui en « tresse » dans l'embouchure (faisant référence aux chenaux qui s'entrelacent)(Pouget et Garcin, 2003). Les extractions d'alluvions et les nombreux ouvrages (franchissement routier, épis, protection de berges) ont contribué à la disparition d'un chenal central et conduit à l'apparition de chenaux plus profonds dans l'embouchure. Schübel dénombre 12 canaux en 1998, ce qui semble être lié au nombre de chenaux formés à cette époque, si l'on se réfère aux photos aériennes de l'IGN[23]. Ce nombre est sensiblement le même actuellement. Concernant les débits à l'embouchure, depuis les années 90 et jusqu'en septembre 2001, l'embouchure était à sec à l'étiage car l'eau s'infiltrait. Mais

[22] Un lahar en géographie, correspond à des coulées de cinérites (des cendres volcaniques cimentées).
[23] Ces photos historiques sont disponibles gratuitement sur le site www.geoportail.gouv.fr

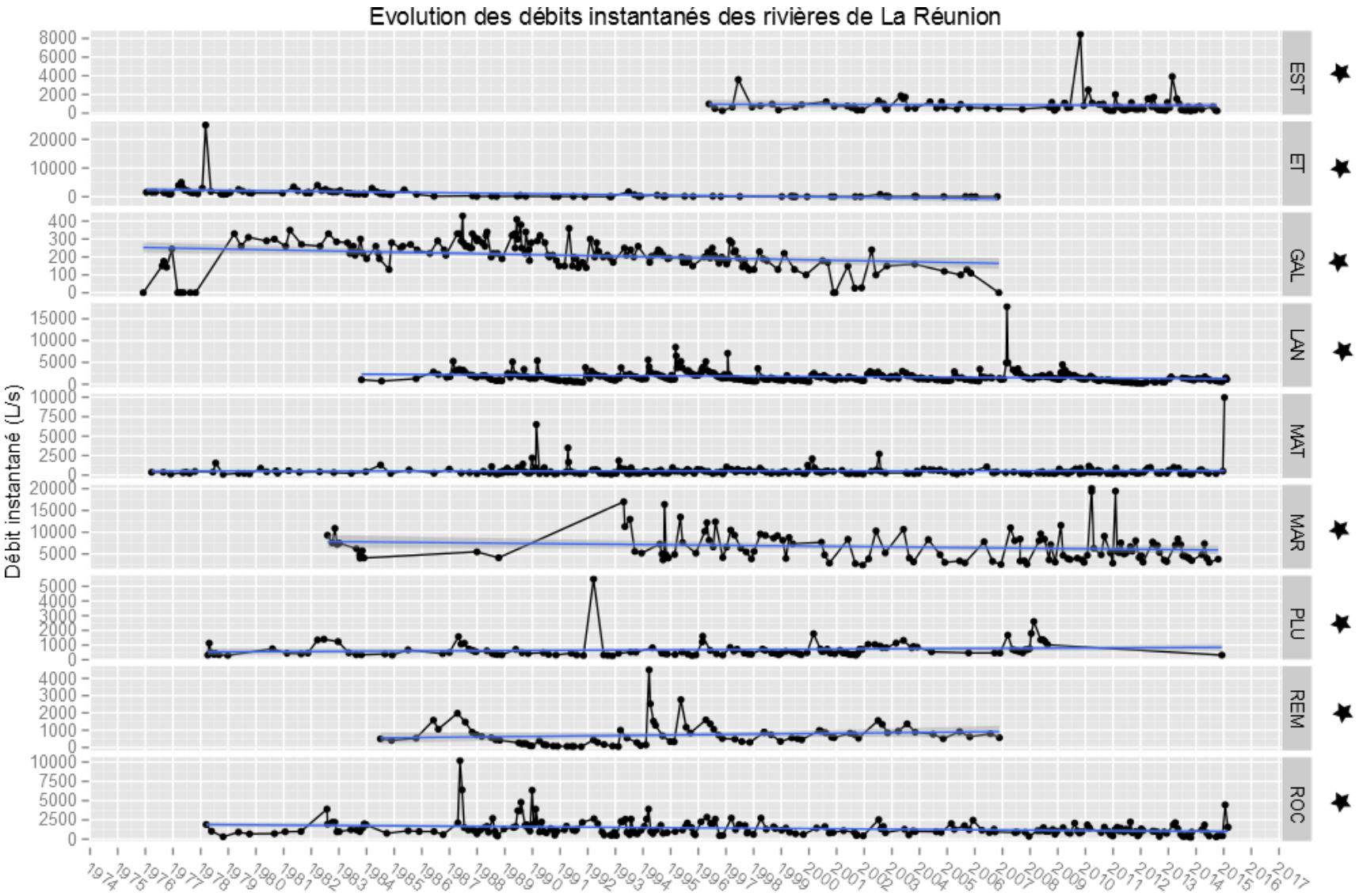


Figure 8. Evolution des débits instantanés (L/s) des rivières pérennes de La Réunion entre 1974 et 2015. Des tests statistiques sur la corrélation de rho Spearman ont été effectués. L'étoile signifie que la diminution des débits est significative au seuil de 5%. L'échelle des débits varie suivant les rivières. Les sites sont indiqués par des abréviations : EST (rivière de l'Est), ET (rivière de St Etienne), GAL (rivière des Galets), LAN (rivière de Langevin), MAT (rivière du Mât), MAR (rivière des Marsouins), PLU (rivière des Pluies), REM (rivière des Remparts), ROC (rivière des Roches)

Figure 9. Cartographie de l'évolution du lit de la rivière des Pluies entre 1950 et 2017, réalisée à partir des photos de l'IGN, ©Thomas

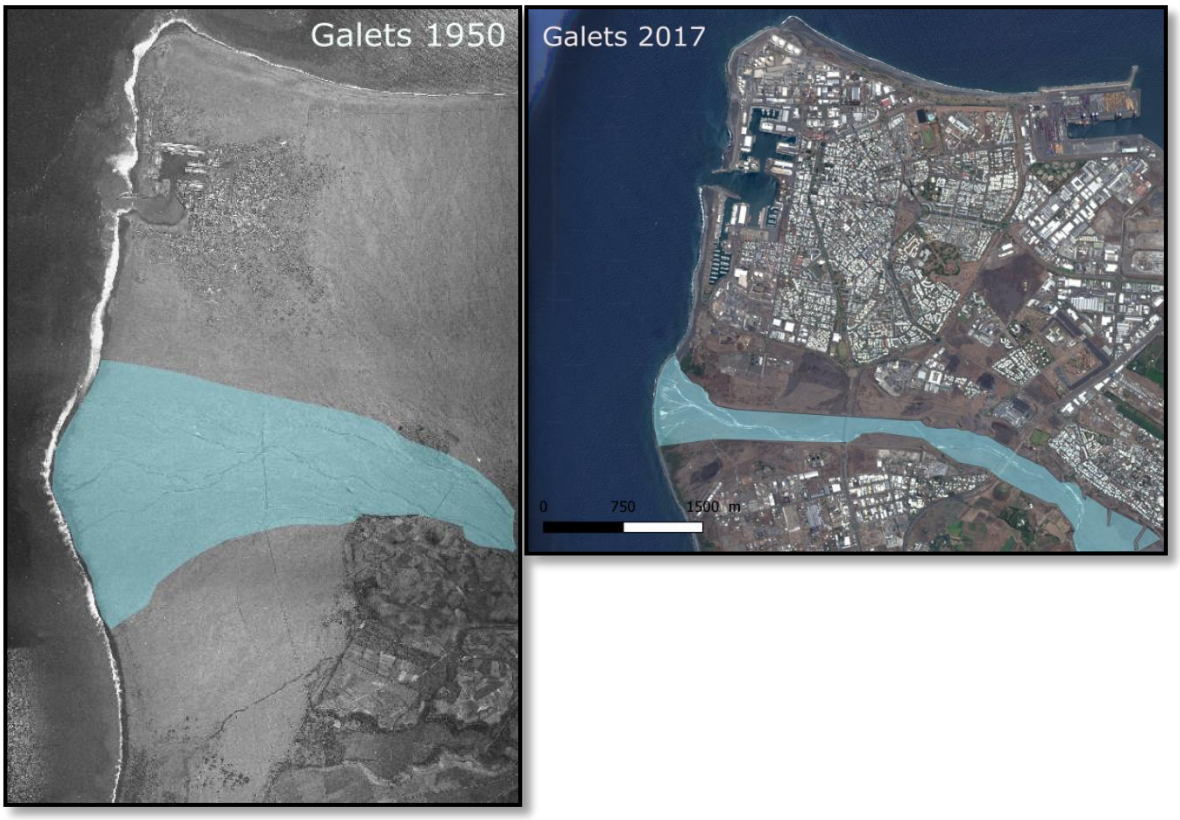


Figure 10. Cartographie de l'évolution du lit de la rivière des Galets entre 1950 et 2017, réalisée à partir des photos de l'IGN, ©Thomas

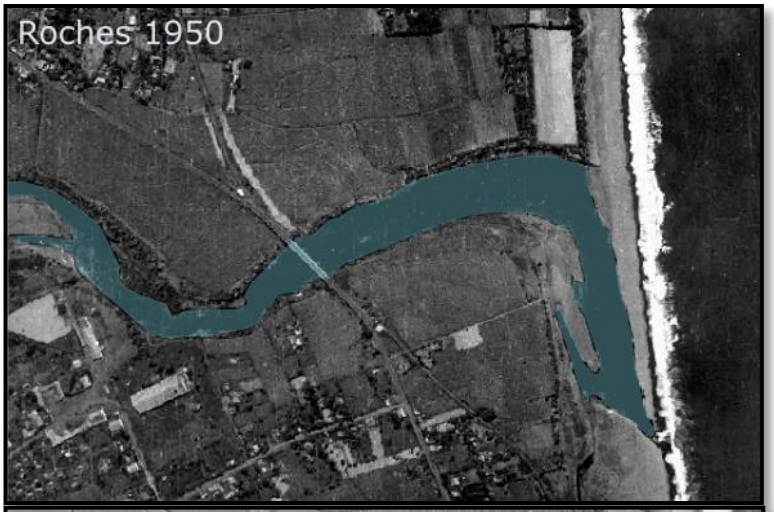
depuis 2001, dans le cadre du transfert des eaux d'est en ouest, des rejets d'eau dans la rivière des Pluies, interceptés par la galerie Salazie en amont, permettent un écoulement durable tout au long de l'année jusqu'à l'océan (ODE 2007). Pourtant, Schübel en 1998 décrit une activité de pêche qui ne semble pas plus intense actuellement. On recense un nombre de pêcheurs équivalent (25 en 1998, environ 21 en 2015). Plusieurs raisons peuvent expliquer que l'activité ne se soit pas intensifiée dans un contexte où la continuité hydrologique semblait sensiblement restaurée. Premièrement, étant donné que les travaux de basculement se sont terminés en 2014, il se peut que ces lâchers d'eau se soient interrompus juste avant le début de notre enquête (octobre 2014). Et donc que la situation se soit détériorée depuis cette date. Les pêcheurs rencontrés en 2015 ont notamment évoqué des problèmes d'eau. Nous avons aussi constaté que certains chenaux étaient parfois à sec. Deuxièmement, il est probable que ces rejets d'eau n'aient pas été suffisants pour permettre de développer la pêcherie entre 1998 et 2015. Ce rejet d'eau a probablement bénéficié aux pêcheurs déjà présents, sans pour autant permettre la venue de nouveaux individus. Il se pourrait toutefois que la modification du nombre de canaux en eau ait entraîné la restructuration des pêcheurs en groupes distincts. On recense aujourd'hui deux associations sur la rivière, aux histoires entremêlées. Delacroix ne recense aucun regroupement en (1987).

Enfin, sur l'ensemble des rivières, la diminution du débit à l'embouchure contraint les pêcheurs à réaliser de lourds travaux pour maintenir la connexion entre l'océan et la rivière. Ils doivent ouvrir le cordon de galets et creuser le fond de l'embouchure pour que l'eau douce rejoigne l'océan. Naturellement, le cordon littoral en galets se referme sur de nombreuses embouchures, en fin de saison chaude et début de saison fraîche, lorsque la pression hydrologique diminue. Les crues en saison des pluies assurent la réouverture temporaire de ces zones de migration. Mais ce processus de fermeture serait aujourd'hui exacerbé par l'affaiblissement des débits. L'emploi de pelle mécanique est désormais nécessaire et se substitue au déblayage manuel. L'emploi d'engin serait aujourd'hui plus régulier d'après la commune de Bras Panon (Interview, 14/11/2015, mairie de Bras Panon) et contesté par les gestionnaires de l'environnement. En effet, le lit de la rivière est fortement perturbé lors des travaux. La turbidité et la modification du biotope perturbent la faune environnante. En contrepartie, on peut penser que ces travaux de réouverture restaurent une connectivité écologique, altérée par les activités humaines. **Ainsi, l'étalement urbain et les prélèvements d'eau et de matériaux alluvionnaires ont eu pour conséquences visibles, d'assécher certaines rivières à leurs embouchures et de modifier la morphologie de ces dernières, impactant la pêche et entraînant une évolution des pratiques**.

Enfin, et de façon involontaire, les pêcheurs ont modifié le paysage de certaines embouchures en plantant une espèce végétale devenue envahissante dans leurs canaux en galets,

dans le but de les consolider. Il s'agirait probablement de *Pennisetum purpureum*. Cela a eu pour conséquence dans la rivière des Marsouins, de transformer ce qu'ils appellent « la grande embouchure » (rive gauche) favorable au recrutement, en « petite embouchure ». La rive droite est aujourd'hui un meilleur emplacement de pêche avec plus d'eau. **Le pêcheur a donc, à son tour, façonné la morphologie des embouchures en influençant à plus petite échelle géographique et temporelle, le paysage.**

Pour illustrer ce phénomène de coévolution entre l'activité de pêche et l'environnement, l'évolution des territoires de pêche sur la rivière des Roches entre 1950 et 2017 a été cartographiée. Ce travail met en évidence la coévolution du nombre de canaux et de la position du cordon littoral. Nous décrivons la situation de la pêche au cours du temps (fig. 11).



1950 : l'ouverture du cordon de galets sur la rivière des Roches se situe 200 m plus au sud de l'actuelle embouchure. Les installations de pêche sont invisibles.

1989 : le cordon est fermé au sud et forme un bassin de rétention. Deux nouvelles ouvertures sont visibles 150 m plus au nord, toujours légèrement plus au sud de l'embouchure actuelle. L'alignement des canaux est maintenant visible.

1997 : le cordon ne présente qu'une ouverture et sa position est proche de l'actuelle. Les canaux sont plus serrés et plus nombreux. On voit apparaitre une organisation des canaux secondaires.

2003 : le cordon présente à nouveau deux ouvertures. Les canaux sont encore plus nombreux et de longueur plus grande. Les pêcheurs occupent une surface d'embouchure plus importante et optimisent l'emplacement en construisant des canaux qui s'adaptent à la morphologie courbée de l'embouchure. Des cabanes de pêcheurs sont visibles sur la rive gauche.

2017 : les deux ouvertures ne sont séparées que par un banc de sable. L'ouverture la plus au sud s'oriente non plus vers un ensemble de canaux mais vers le grand canal à « big bag » qui se prolonge en mer. Les territoires de pêche ne sont plus équilibrés, avec des canaux courts en retrait sur la rive gauche et des canaux très longs sur la rive droite, plus proche de l'océan. Des cabanes de pêcheurs apparaissent sur la rive droite.

Figure 11. Cartographie de la co-évolution des territoires de pêche et du cordon littoral, sur la rivière des Roches entre 1950 et 2017. Cartes réalisées à partir des photo IGN, ©Thomas

3. Collapse socio-écologique

3.1. Suivi des captures d'octobre 2014 à février 2016

Le suivi du recrutement larvaire et de la pêche qui en dépend s'est déroulé d'octobre 2014 à février 2016. Le terrain, en dehors des entretiens à caractère anthropologique, consistait à recueillir des informations quantitatives sur la variabilité spatio-temporelle du recrutement ainsi que des échantillons pour notre étude en écologie. Une veille de la pêche a donc été effectuée en moyenne 9 jours par mois, aux alentours de la nouvelle lune. Nous suivions assidument le calendrier lunaire comme le font les pêcheurs. Nous avons réalisé ce terrain à des horaires de la journée variables, le matin ou l'après-midi, afin de cerner les horaires favorables au recrutement et donc les horaires où nous avions le plus de chance de rencontrer des pêcheurs. Il s'avère que les pêcheurs arrivent très tôt sur la rivière, parfois à 4h30 et la quitte aux alentours de 16h30, excepté pour ceux qui campent près de leur site de pêche. Les vouves sont généralement levées vers midi et en fin d'après-midi, ce qui ne permet pas de savoir quand les bichiques remontent exactement. **Nous supposons que le recrutement varie en fonction des horaires de marées hautes. En effet, comme nous l'avons envisagé précédemment, les bichiques profiteraient de la marée montante pour migrer dans l'embouchure. C'est pourquoi nous suggérons de suivre le calendrier des marées, en plus du calendrier lunaire pour vérifier cette hypothèse dans les prochaines études.**

Le tableau ci-dessous (tableau 3) compile les données que nous avons recueillies auprès des pêcheurs, sur les quantités pêchées sur l'île d'octobre 2014 à février 2016, date à laquelle s'arrête le suivi. Ces données compilent les quantités déclarées par les pêcheurs au cours des entretiens ou des discussions informelles sur le terrain. Ce tableau prend aussi en compte notre succès ou échec à obtenir un échantillon sur les rivières.

Tableau 3. Suivi des captures des pêcheurs de bichiques entre octobre 2014 et février 2016.
Les quantités renseignées sont issues de l'enquête et sont de l'ordre du gramme, kilo ou tonnes selon les mois ou les rivières échantillonnées. Le chiffre zéro indique l'absence de pêcheurs sur site. Les cases colorées en vert indiquent que nous avons réussi à collecter un échantillon auprès des pêcheurs.

Date	Remparts	Langevin	St Etienne	Galets	Pluies	Mât	Roches	Marsouins	Est	Mer	Total des captures déclarées
oct-14	400 Grammes	0	*poison*		100 kg	7 tonnes 80 kg	600 kg	600 kg		?	2014
nov-14	0	0	*poison*							1 tonne	> 11, 554 tonnes
déc-14	6 kg +16 kg		5 kg	6 kg			100 kg	1 tonne 40 kg		1 tonne	
janv-15	0	? kilos		2 kg	80 + 17 + 15 kg		20 kg	1 tonne	50 kg	?	2015
févr-15	0	0	5 kg	4 kg		100	800 + 200 + 15 +10 kg	4		?	> 17,521 tonnes
mars-15										?	
avr-15										?	
mai-15						4				?	
juin-15										?	
juil-15						20				?	
août-15						5				?	
sept-15	0	0	0	0		0	0	0	0	?	
oct-15				10 kg?	6 kg?					?	
nov-15			?	10 kg?	2 kg ?	2 kg?				?	
déc-15				10 kg?		10 tonnes (un canal)	+ 5t (un canal) + 30 kg +100 kg			?	
janv-16			0	10 kg?	10 kg?	1,5 tonne (un canal)	0			?	2016
févr-16			0	0	10 kg?		0	10 kg?		?	> 1,51 tonnes

D'après l'enquête, on estime à plus de 11 tonnes 554 kilos de bichiques pêchés sur l'île en 2014 et plus de 17 tonnes 521 kilos en 2015. Concernant 2016, on estime à 1 tonne 51 kilos pêché les deux premiers mois de l'année. Le tableau exclut les captures faites en mer à cette période. Les pêcheurs en mer sont plus difficiles à approcher car leur territoire de pêche n'est pas fixe sur l'île. Leurs témoignages sont donc minoritaires dans l'enquête. Ceux que nous avons rencontrés dans cette enquête pêchaient en mer et en canal, ce qui nous a offert l'opportunité de les rencontrer en rivière. Ces pêcheurs n'ont pas évoqué la situation de la pêche actuelle. Deux raisons expliquent cela. Premièrement, ces pêcheurs en mer pêchent aussi en rivière et nous ont préférentiellement communiqué de la donnée de capture en rivière. Deuxièmement, nous avons rencontré ces pêcheurs en début de terrain donc nous ne pouvons pas savoir si la pêche en mer a été productive par la suite. Cependant, ces pêcheurs nous ont communiqué des chiffres de capture en mer pour les années précédentes, qui suggèrent que la pêche en mer peut être très productive et qu'il est essentiel de prendre en compte ces captures pour évaluer globalement l'impact sur la ressource. Les témoignages de ces pêcheurs en mer, même minoritaires, ont été considérés avec importance dans notre analyse car les individus qui pratiquent la pêche en mer mais aussi en rivière, sont des gens qui se montrent fortement impliqués dans l'activité de pêche, avec beaucoup d'expérience. Le témoignage d'un pêcheur professionnel (qui pratique la pêche en mer et en rivière) donne matière pour appréhender l'échelle des quantités pêchées dont il est réellement question à La Réunion, sans pour autant donner les années de référence exactes. Je le cite: *« Il y a une année, on a attrapé quoi 200 tonnes en mer, et en rivière tout de suite après 60, 70 tonnes. Et le lendemain à St Joseph, ils ont pris une cinquantaine de tonnes.... »* (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins).

Si l'on s'attarde sur cette citation, on se rend compte que les prises dont il est question sont nettement supérieures à celles déclarées pour la période 2014-2016.

Ainsi notre estimation des captures faites sur la période d'octobre 2014 à février 2016 sous-évalue probablement le total des captures réelles, mais fait état d'une vérité que l'on ne pouvait imaginer en début de terrain. Ces chiffres s'avèrent nettement plus élevés que ceux énoncés par la population réunionnaise. En effet, en début de terrain, la plupart des gens nous ont assuré qu'il n'y avait plus de bichiques sur l'île depuis quelques années et la pénurie de bichiques était aussi annoncée dans les articles de presse locale. De plus, les trois premiers mois sur l'île (octobre à décembre 2014), nous n'avons pas réussi à collecter d'échantillons, ce qui nous a confortés dans l'idée que la pénurie de bichiques était bien réelle. Pourtant, après de nombreuses sorties de terrain, il est apparu inutile de se fier aux journaux locaux mal renseignés ayant confirmé l'absence de bichique en 2014 et 2015. Par ailleurs, comme sur les sites de vente, les quelques kilos mis en vente s'écoulaient très rapidement, il était difficile d'évaluer les quantités pêchées sur l'île. Ce qui incitait peut-être la population à « dramatiser » sur l'état des captures. Il est vrai que la production locale ne permet plus de répondre à la forte demande des consommateurs. En outre, ceux-ci ne peuvent pas localiser facilement les points de vente du fait de la mobilité des vendeurs. Et parce que certaines embouchures sont vastes comme sur la rivière des Galets et certaines zones difficiles d'accès ou dangereuses, comme sur la rive droite de la rivière St Etienne, cela rend difficile l'évaluation des rendements sur toutes les rivières. Enfin, l'échange des marchandises avec le bazardier est furtif et discret sur les rivières, ce qui laisse l'observateur dans le flou. Les sites de pêche sont parfois déserts alors que l'effervescence des échanges entre pêcheurs et bazardiers a eu lieu il y a quelques heures. **Il est donc apparu évident que les témoignages des pêcheurs constituaient l'information la plus robuste pour estimer les quantités pêchées.** La visée, en partie anthropologique de la thèse, a donc facilité notre introduction dans le milieu de la pêche et notre rapprochement avec des informateurs clés.

3.2 Reconstruction historique des captures

Les ouvrages anciens sur la pêche des bichiques à La Réunion, que l'on peut apprécier pour leur information qualitative, font état de pêches très importantes:

- « Ce poisson est très-commun dans les rivières et les étangs des îles de France et de Bourbon…ils remontent en quantités innombrables dans les rivières (…). M. Dussumier nous certifie qu'à l'embouchure de la petite rivière de Saint-Denis, il y a des jours où cette pêche fournit la charge de plusieurs chevaux. » (Cuvier and Valenciennes 1837).

- « L'abondance du poisson est si grande dans certains cas que les embouchures en sont littéralement encombrées, et l'eau en-contient une quantité si prodigieuse que les pêcheurs, faisant allusion à la forme des vagues, disent que les bichiques montent en rouleau ; il suffit à ce moment de recevoir ces vagues dans des nappes de toile pour que celles-ci soient remplies de petits poissons. » (Vaillant 1890).
- « Certaines soirées voient des pêches miraculeuses lorsque, poursuivies par les carangues et autres gros poissons de mer, les bichiques se ruent vers la rivière et que femmes et enfants se précipitent avec des « tentes » et des chapeaux pour ramasser par paquets la masse gluante. » (Defos Du Rau 1960).

Il est difficile d'évaluer les quantités dont il est question dans ces témoignages de naturalistes ou d'explorateurs mais ils appuient le discours des pêcheurs actuels qui affirment que le recrutement était plus intense dans le passé et plus régulier :

*« **Pêcheur :** Dans le temps de mon grand-père quand il pêchait, on disait 60 à 80 tonnes.*

***Carole :** Par année ?*

***Pêcheur :** Pour une saison. Une saison c'est chaque mois il y a une lune.*

***Carole :** Une saison c'est une lune ? 80 tonnes par lune !*

***Pêcheur:** Pour un mois, pas par mois.*

***Carole :** C'est quoi la différence*

***Pêcheur :** Par mois, ça veut dire que tout le temps il y en aura »* (pêcheur, 30/12/14, rivière du Mât)

La diminution des captures de bichiques est donc un fait que l'on ne peut contester aux dires de tous les pêcheurs et scientifiques (Aboussouan 1969 ; Delacroix 1987 ; Schübel 1998) et dans un contexte global où l'on a démontré que la plupart des stocks de poissons étaient surexploités dans le monde. En 1995, la FAO a indiqué que 44 % des pêcheries mondiales sont totalement ou fortement exploitées, 16 % sont déjà surexploitées, 6 % sont épuisées et seulement 3 % se rétablissent progressivement. Concernant l'état des pêcheries larvaires, on peut citer la célèbre pêcherie « des pibales » (civelles de l'anguille) en Europe qui a connu un essor considérable au XXe siècle pour s'effondrer à la fin de ce dernier. Aujourd'hui cette pêche est très règlementée en France. A titre comparatif, Manacop (1953) signalait déjà une surexploitation des post-larves de gobies en Asie en 1953, où l'on retrouve *Sicyopterus lagocephalus* (Vedra and Ocampo 2014).

Il est donc raisonnable de penser que le stock de bichiques s'affaiblit. Qui plus est, les pêcheurs affirment que les populations de cabot ont diminué dans les rivières, ce qui est fort probable étant donné que les rivières sont fortement exploitées depuis environ 1950. Les barrages hydroélectriques à La Réunion constituent un obstacle à la migration des espèces et donc à l'accomplissement de leur cycle de vie. Les passes à poisson ne sont pas toutes fonctionnelles. On retrouve d'ailleurs un plus grand nombre d'individus en aval des barrages. Le plus problématique est que ces barrages entraînent une forte mortalité des pro-larves à la descente. L'altération du profil

des rivières ainsi que la pollution chimique sont supposées aussi impacter ces populations. Enfin, l'enquête confirme que les adultes interdits à la pêche, sont braconnés pour la vente. « La barquette de cabot » se vendrait 25€/kg dans la commune du Tampon.

Cependant, les données existantes sur les populations de cabot bouche à La Réunion ne nous permettent pas de mettre en évidence cette supposée diminution des adultes sur les cinquante dernières années. Un suivi régulier de la faune est désormais effectué dans le cadre du réseau piscicole, en place depuis 2006 et suggère au regard d'études préalables (Richarson et al. 2008, 2009), une stabilisation des populations adultes depuis une quinzaine d'années. **Cependant, même si ne pouvons pas démontrer la diminution des populations adultes, en raison d'un manque de données historiques, nous pouvons supposer que la multiplication des obstacles à la continuité biologique en rivière ainsi que le braconnage ont contribué à affaiblir les populations adultes, en plus de l'intensification de l'effort de pêche des post-larves dès les années 90.**

Nous avons tenté de détecter la diminution du recrutement des bichiques, à travers la reconstruction historique des captures déclarées. Toutes les études réalisées sur la pêche des bichiques ont été compilées, y compris la littérature grise. La presse passée en revue n'a apporté que des informations approximatives difficilement valorisables pour estimer les quantités. Le tableau 4 répertorie les études utilisées pour reconstruire graphiquement l'évolution des quantités, auxquelles s'ajoutent les données collectées dans l'enquête. Ces études fournissent les quantités pêchées en mer, déclarées par des pêcheurs professionnels aux affaires maritimes (l'actuelle DMSOI). Tous les auteurs s'accordent pour dire que les captures sont assurément minorées par les pêcheurs. Une étude, celle de Barat (1978), fournit les quantités mises en conserve entre 1971 et 1976 par deux entreprises qui n'existent plus aujourd'hui, Conserveries Le Royal et Conserveries Bénédictaines. Actuellement, les pêcheurs professionnels ne déclarent plus leurs captures et l'expliquent par une absence de bichiques, ce que rapporte la DMSOI (Interview, février 2016).

Table 4. Références utilisées pour la reconstruction historique des captures de bichiques à La Réunion

Auteur	**Type de données**
Aboussouan A. (1969)	Captures déclarées aux affaires maritimes de 1954-1966
Robert R. (1977)	Captures déclarées aux affaires maritimes de 1967-1975
Barat C. (1978)	Captures des conserveries de bichiques de 1971-1976
Delacroix P. (1987)	Captures déclarées aux affaires maritimes de 1976-1985
Schübel A. (1998)	Captures déclarées aux affaires maritimes, majorée de 15%, de 1986-1996
Enquête (2014-2016)	Captures déclarées dans l'enquête de terrain de 2007-2016

La courbe des quantités reconstruite sur le temps (fig. 12) ne montre pas de tendance à la diminution. Le test de corrélation rho de Spearman entre les quantités et la date n'est pas significatif. Nous supposons fortement que la variabilité des quantités déclarées que nous observons démontre une incohérence des déclarations plus qu'une réalité biologique. En effet, il faut rappeler qu'en biologie, le recrutement larvaire des poissons est un phénomène naturel difficile à prévoir dans son intensité car il dépend entre autre, du succès de reproduction des adultes en rivière, de la dévalaison des larves et de la dispersion océanique (Houde 2008). Le recrutement est donc naturellement variable. S'en suit la disponibilité d'un habitat favorable à l'installation des jeunes poissons qui conditionne le succès du recrutement (Allen et al., 2006). Lorsqu'un stock de poisson est surexploité, on constate une augmentation de cette stochasticité démographique[24] (Wikström et al. 2012), qui se traduit par la succession d'années très bonnes ou très mauvaises en termes de recrutement. Et les pêcheurs de bichiques s'accordent pour dire que le recrutement larvaire est variable dans le temps avec des années sans, parfois 5 ans, ce qui n'arrivait pas avant : *« C'est comme ça, en sachant que parfois pendant 5 ans il n'y en pas…ça s'est déjà produit, 2 ans, 3 ans, le maximum 5 ans. Et là ben on en souffre car c'est du travail pour rien, il y a pas de beurre, ya rien »* ; *« Parce qu'avant, quand les bichiques arrivaient devant l'embouchure, pendant 15jrs 20jrs c'était la fête, c'était comme ça. Maintenant c'est plus comme ça. Maintenant on veut attraper tous un peu »*, *« En mer c'est deux jours, en rivière c'est 3, 4 jours c'est reglé, on en parle plus »* (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins). **Cependant, bien qu'il soit probable que les différentes pressions qui s'exercent sur les espèces entraînent une stochasticité plus élevée du recrutement, nous pensons que l'évolution de la courbe reflète d'avantage une incohérence dans les déclarations et indique tout au plus le seuil minimum de capture sur l'île, par année. En effet, les données de captures s'avèrent très différentes entre les études car elles concernent les prises faites en mer ou en rivière sans que l'on puisse les départager, ce qui rend la comparaison des données historiques difficile. Ainsi, bien que nous le supposions, nous ne pouvons pas prouver que le recrutement est plus faible qu'en 1954 et que la variabilité du recrutement dont les pêcheurs se plaignent est anormale.**

Toutefois, au regard des chiffres déclarés par les professionnels de la mer dans les études précédentes, nous pouvons imaginer ce que représente une « bonne année » de pêche et pourquoi la plupart des pêcheurs s'accordent pour dire que les saisons 2013/2014, 2014/2015 n'ont pas été bonnes, même si nous estimons que 11,554t au moins ont été pêchées en 2014, 17,521t en 2015, et 1,5t déjà en début d'année 2016. En effet, d'après Baril (1998), les quantités pêchées en

[24] Les modèles mathématiques intègrent des variables aléatoires correspondant à l'incertitude de l'influence des paramètres environnementaux sur les populations, on parle alors de stochasticité environnementale.

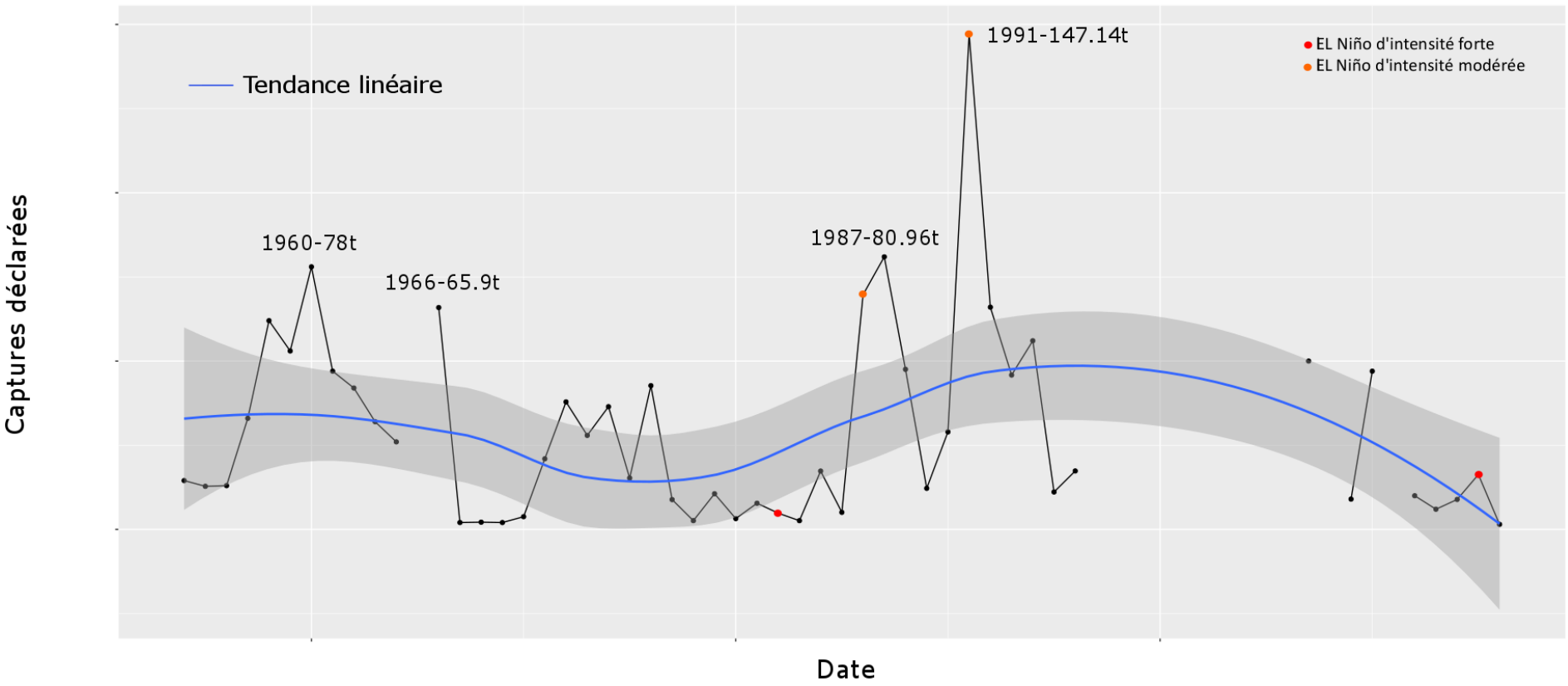


Figure 12. Courbe de l'évolution des captures de bichiques de 1954 à 2016, réalisée à partir des données d'enquête (entretiens et synthèse documentaire). La courbe de tendance démontre une irrégularité des prises avec de plus fortes prises lors des évènements climatiques El Niño d'intensité modérée (en orange) et de plus faibles captures lors des évènements El Niño d'intensité forte (en rouge)

mer peuvent s'élever à 147 t sachant que ces chiffres seraient sous-estimés de moitié par les pêcheurs. L'enquête révèle d'ailleurs qu'il est commun que le pêcheur professionnel ne déclare que la part qui lui revient et non celle de son équipe, qui peut être de 5 ou 6 personnes, d'après les pêcheurs en mer rencontrés à la rivière des Marsouins. D'autre part, ce chiffre de 147 t fait état des captures faites en mer et non en rivière. Dominique Baril estime donc, lorsqu'il écrit son rapport en 1998, que les « bonnes années », 200 tonnes sont pêchées sur toute l'île.

Cependant, concernant les « mauvaises saisons » de pêche évoquées pour 2013/2014 et 2014/2015, les discours des pêcheurs sont mitigés. Si l'on s'en tient aux dires des « pêcheurs rivière », il n'y a plus beaucoup de bichiques depuis quelques années. Et si l'on s'en tient au discours d'un pêcheur professionnel qui pêche en mer et en rivière, les prises sont de nos jours encore bonnes, bien qu'irrégulières. Cela suggère que les pêcheurs en rivière ont une vision limitée du stock global qui arrive sur les côtes mais une vision réaliste du stock qui recrute par rivière. En effet, ils pâtissent de la variabilité spatiale du recrutement qui ne favorise pas équitablement toutes les rivières alors que les pêcheurs en mer s'affranchissent de cette contrainte, en se déplaçant vers les secteurs productifs. **Le succès de capture est donc peut-être plus élevé pour les pêcheurs en mer, ce qui explique qu'ils n'aient pas le même regard sur l'état du recrutement. Enfin, il est logique que les pêcheurs en rivière servis en second après les pêcheurs en mer, capturent moins de bichiques et donc que l'affaiblissement global se ressente plus fortement à l'échelle de la rivière.**

Les « pêcheurs rivière » accusent les pêcheurs en mer mais aussi la sécheresse. Nous étions en effet dans un phénomène de pré-El Niño, l'été 2014 et en phénomène El Niño sévère dès novembre 2015 (Météofrance). El Niño représente la phase chaude du phénomène climatique ENSO (El Niño-Southern Oscillation). Ce phénomène couplé océan/atmosphère influence la climatologie globale affectant le régime des vents, la température de la mer et les précipitations. El Niño se caractérise par une augmentation de la température de surface de l'océan. Or en regardant les captures historiques, on constate que lors de certains évènements El Niño, les prises déclarées font parties des plus élevées. Au cours de l'événement El Niño de 1986, 89 t ont été pêchées et au cours de l'El Niño de 1991, 147 t ont été pêchées. Mais si l'on se réfère à l'indice océanique niño (ONI) utilisé par la NOAA[25] pour évaluer l'intensité des phénomènes, on voit que ces fortes captures sont associées à des phénomènes d'intensité modérée, alors que les El Niño de 1997, 1982 et 2015 sont classés dans la catégorie de très forte intensité et ne sont pas associés à de fortes captures. **Donc on peut suggérer que les phénomènes El Niño lorsqu'ils sont de faible intensité favorisent le recrutement des bichiques mais lorsqu'ils sont de forte intensité, le**

[25] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

défavorise. Ainsi il est probable que le réchauffement de l'Océan Indien soit favorable au recrutement jusqu'à un optimum (ONI d'intensité modérée) au-delà duquel, l'augmentation des températures devient néfaste. Mais les conséquences de ce phénomène climatique sur le recrutement ne sont pas aussi directes. L'augmentation des températures de l'océan agit à différents niveaux. Elle entraîne premièrement une modification de la production primaire, et donc de la disponibilité en nourriture pour les larves. En effet, il a été démontré qu'une augmentation de la température de surface limitait les échanges de nutriments avec les couches plus profondes et engendrait une diminution de la production primaire (Behrenfeld et al., 2006 ; Bonhommeau et al., 2008)**. Deuxièmement, elle entraîne des sècheresses ou de fortes pluies suivant les régions du monde** (Richard et al., 2002) **et une délocalisation des pluies, ce qui peut modifier le débit fluvial des rivières, qui conditionne en partie le succès du recrutement. L'année 2015 a été chaude et très humide à La Réunion (Météofrance). L'été austral 2015/2016 a été le plus chaud enregistré depuis 1968/1969**[26](Eugénie and Jumaux, 2016)**. El Niño entraîne aussi une modification de la courantologie qui intervient dans le transport des larves dans l'océan** (Pearce and Phillips, 1988; Kimura et al., 2001 ; Kim et al., 2007)**. Enfin, la température joue un rôle dans le développement des larves** (Briand et al., 2005)**. On suppose donc que c'est l'interaction de ces processus qui influence le recrutement larvaire en modifiant la durée de dispersion océanique des larves et leur survie.** La littérature scientifique rapporte des influences mitigées de l'ENSO sur le recrutement de la faune marine. Dans l'hémisphère Nord, les études décrivent une influence négative sur le recrutement des poissons avec un mouvement de fuite des espèces vers le Nord (Fiedler et al. 1986). Cette tendance est mitigée dans l'hémisphère Sud avec des effets positifs sur le recrutement de certaines espèces (Pearce and Phillips, 1988 ; Connolly and Roughgarden, 1999 ; Cubillos and Arcos, 2002 ; Navarrete et al., 2002). **On peut donc penser que la variabilité des effets négatifs, neutres ou positifs observés sur le recrutement, repose sur l'intensité de ces phénomènes climatiques et sur la tolérance des différentes espèces. Enfin, le caractère cyclique des évènements El Nino, tous les 3 à 7 ans et leur amplification ces dernières décennies pourraient en partie expliquer l'augmentation de l'irrégularité des prises des pêcheurs de bichiques.**

Aujourd'hui l'effort de pêche est plus intense sur toute l'île, ce qui suggère que la proportion de bichiques qui réussit à coloniser les rivières s'est réduite au cours du temps. Auparavant, l'abondance du recrutement en rivière était telle que des tonnes passaient au travers des installations de pêche, moins hermétiques. La pêche en mer était techniquement moins développée, au profit

[26] http://www.cycloneoi.com

des rivières. Ainsi, si pêcher 20 t en 1950 ne mettait pas en péril le stock, pêcher la même quantité aujourd'hui alors que l'effort de pêche s'est intensifié est révélateur d'une surexploitation. En d'autres termes, même si l'effort de pêche augmente, les captures n'augmentent plus. Et comme certains le disent : « **on ne laisse rien** ». D'une part car l'eau se fait rare et d'autre part car le prix au kilo est trop intéressant pour que les pêcheurs acceptent de laisser passer quelques kilos pour la reproduction : *« Imaginez que le mois de mars c'est le mois interdit et que c'est ce mois-là où il y a le bichique. S'il y a de l'eau toute l'année on peut attraper des bichiques régulièrement et on peut laisser un mois tranquille »* (pêcheur, 17/12/14, rivière de l'Est) ; *« Mais c'est pas assez contrôlé donc il y a des petits filous qui … moi je laisse mais il y en a qui disent « oh ça vaut quand même 30 euros le kg, non je laisserai pas pour la production »* (pêcheur, 17/10/14, rivière des Marsouins).

En effet, même si le recrutement est aujourd'hui plus faible, le chiffre d'affaire des pêcheurs reste considérable. Si on vend moins, on gagne autant ou plus qu'auparavant, car les prix au kilo ont fortement augmenté. D'après un pêcheur, les bénéfices d'une personne sur la rivière du Mât se sont élevés à 200 000 euros en octobre 2013 :

*« **Pêcheur :** …eux madame ils ont eu des sous. L'année dernière, il y a un copain à moi qui s'est marié que je connais. Pour le mois d'octobre, il me disait la part de son père elle était à 197 000 euros. Il me dit, pour la part du papa presque 200 000 euros à lui tout seul donc yen a quinze messieurs dedans. »*
***Carole :** Quand vous dites, 50 000 euros par exemple, ça vaut 30 euros le kg ?*
***Pêcheur :** Oui 30, 35 euros le kg. Quand ça commence comme ça, c'est minimum 35 euros. »* (pêcheur, 17.10.2014, rivière des Marsouins). Si l'on s'en tient à cette conversation, 15 membres de canal multiplié par 197000 euros font 2955000 euros. A 35 euros le kilo, ça donne 84428 kg soit 84,428 tonnes capturées sur ce canal en octobre 2013.

Un autre témoignage clé, celui d'un pêcheur de la rivière du Mât, annonce qu'une équipe de 10 pêcheurs a gagné 40 000 euros lors d'un évènement de recrutement en 2015 : *« L'année dernière, mon papa il a un canal, il est arrivé d'avoir 10t, une tonne par personne. A 40 euros, ça fait 40 000 euros une semaine. C'est beau. Moi le mois dernier c'était un petit mois, j'avais 10 000 euros sur le dos et arrive le soir, je donne le poids. Tu dois compter les billets. Il faut que ces billets correspondent au poids. Imagine, il manque 100 euros dedans. C'est trop de responsabilité. Quand tu distribues après, il y a des gars avec une grande gueule, il va leur manquer 50 euros. C'est pour ça qu'il faut avoir confiance au gars qui promène l'argent sur son dos »* (pêcheur, 6.02.16, Rivière du Mât). D'après ce témoignage, à 35 euros le kilo, les 10 000 euros représentent 286 kilos « un petit mois » sur un canal de la rivière du Mât. **Ces gains s'ils sont réels font donc difficilement le poids face aux considérations écologiques et patrimoniales.**

Pour résumer, notre évaluation des captures faites entre octobre 2014 et Février 2016 se révèle supérieure à celle décrite par la population et envisagée par les gestionnaires. La

reconstruction historique des captures fournit peu d'informations sur l'évolution de la ressource car les données disponibles ne recensent pas les captures globales. Nous supposons cependant que le recrutement larvaire s'est affaiblit sur l'île car l'effort de pêche des bichiques s'est intensifié, en même temps que les pressions sur les populations adultes en rivière ont augmenté. L'altération de la continuité biologique et hydrologique des cours d'eau ainsi que le braconnage des adultes accentueraient donc l'affaiblissement du recrutement larvaire déjà menacé par la pêche. Aussi, les évènements climatiques El Niño et leur intensité accentueraient la variabilité du recrutement, ressentie par les pêcheurs. Enfin, les pêcheurs en rivière ressentent plus fortement l'affaiblissement du recrutement à l'échelle de la rivière car la pêche en mer exerce une première pression de prélèvement sur la ressource, qui serait supérieure en termes de kilos à celle des rivières.

3.3 Le prix au kilo, un proxy pour estimer les quantités pêchées?

Nous avons étudié l'évolution du prix des bichiques au kilo entre 1967 et 2016. Les données sont issues des archives du journal Le Quotidien, en complément des prix indiqués dans la littérature (Robert 1977 ; Barat 1978 ; Augier de Moussac 1983 ; Delacroix 1987 ; Delacroix and Champeau, 1992 ; Schübel 1998) et obtenus au cours de l'enquête. Les prix varient d'un mois à l'autre, avec notamment un prix au kilo plus élevé en fin d'année, ce qui suggère que la demande est plus forte pour les fêtes de fin d'année. Nous avons moyenné les données pour obtenir un prix moyen au kilo par an. Pour éliminer le biais dû à l'inflation du coût de la vie entre 1967 et 2016, le prix a été rapporté au salaire minimum interprofessionnel de croissance (SMIC horaire) qui lui-même a évolué au cours du temps[27]. Nous étudions donc ici l'évolution de ce rapport entre 1967 et 2016. Nous ne pouvons pas étudier l'inflation du prix avant 1967 car le SMIG (précédant le SMIC) n'existe que depuis 1950 et nous ne disposons pas de données continues pour le prix avant cette date. Ainsi, nous voyons que le prix au kilo a fortement augmenté entre 1967 et 2016 (fig. 13). La régression linéaire entre le prix et la date donne un coefficient de détermination positif (R^2=0.3867) et significatif (p-value: 2.383e-05). 38.7 % de variation du prix est expliquée par la date.

[27] http://france-inflation.com/smic.php, 2017

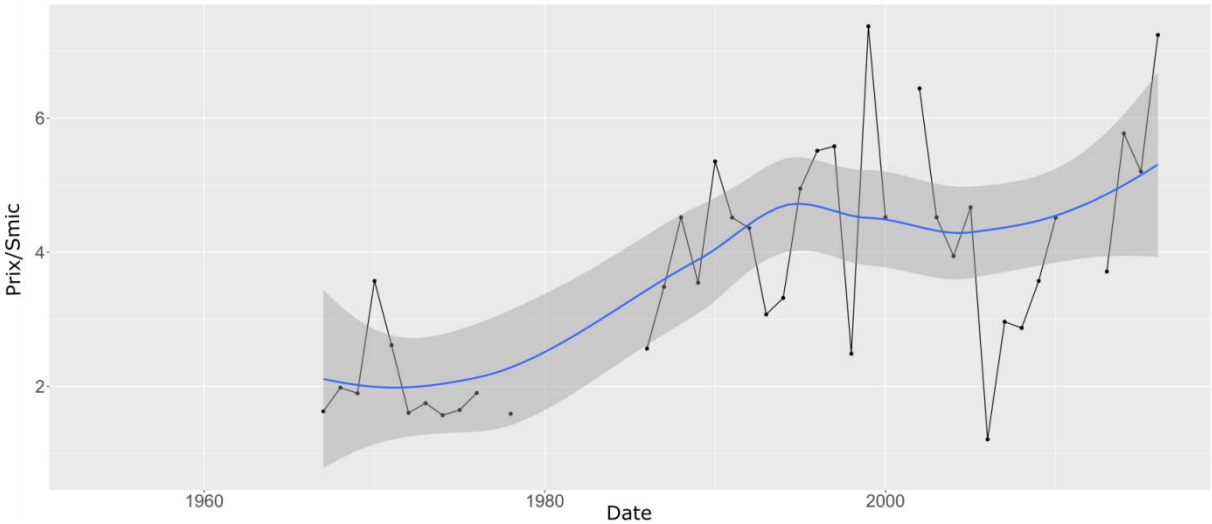


Figure 13. Courbe de l'évolution du prix des bichiques de 1954 à 2016, réalisée à partir des données d'enquête (entretiens et synthèse documentaire).

On suppose que l'inflation du prix révèle l'affaiblissement des prises. La demande est toujours aussi forte alors que l'offre diminue, ce qui fait augmenter le prix. L'irrégularité croissante des prises intensifie probablement cette inflation. En parallèle, on peut penser que l'intensification de l'effort de pêche et donc de la pénibilité du travail se retrouve dans la hausse des prix. Aussi, l'augmentation des prix ne signifierait pas forcément rareté mais aussi exclusivité. En effet, le caractère irrégulier du recrutement dans l'espace et le temps fait que le partage de la ressource n'est pas équitable entre les différentes rivières et entre les « pêcheurs rivière » et les « pêcheurs mer ». D'une part, le débit des cours d'eau entre en jeu et favorise certaines rivières. D'autre part, lorsqu'il y a de la houle, ce sont les pêcheurs en rivière qui sont privilégiés, surtout ceux situés en seconde ligne. Les « pêcheurs mer » sont bloqués à terre. A l'inverse, lorsque que la mer est belle, ce sont les pêcheurs en mer qui sont favorisés. Et les premiers avertis sont les premiers servis. Les rivières récoltent le restant, qui peut s'élever tout de même à 70 tonnes contre 200 en mer. Dans un troisième cas, la mer est belle mais le bichique est « **fané** » (dispersé), ce qui ne favorise pas la pêche en mer :

*« **Pêcheur :** Et après il y a aussi la formule où il y a pas assez de bichique, il y a une petite crue et là le bichique il est fané. Oh c'est atroce. Il est fané par exemple de Ste Marie à St Denis.*

***Carole :** il est fané ça veut dire quoi, il est étalé ?*

***Pêcheur :** Ouai, il est étalé voilà, tu prends 5kg là, 2kg là, c'est la misère. Ça veut dire beaucoup de travail. Les rivières et marins récoltent tous un peu »* (pêcheur professionnel, 17/10/14, rivière des Marsouins). Le partage de la ressource est alors naturellement plus équitable entre les pêcheurs. Dans ce dernier cas, les prix ne sont pas élevés car il y a de la concurrence. Dans les autres cas, c'est l'exclusivité qui fait monter les prix.

Une exception existe sur la rivière Langevin, où les installations de pêche sont particulièrement exposées à l'agitation de l'océan. Les pêcheurs en rivière ne sont donc pas favorisés en cas de fortes houles : *« A chaque fois que la mer est mauvaise, ça chavire tout. Cette houle rentre dans l'estuaire et démonte tout. On n'arrive pas à travailler »* (pêcheur, 2/02/15, rivière de Langevin).

Enfin, les « bazardiers », ou « accapareurs », n'ont cessé d'être plus « gourmands » sur les marchés, obligeant les pêcheurs à augmenter le prix du kilo pour réduire la marge de bénéfice entre pêcheurs et bazardiers : *« Là actuellement, il y a des bazardiers qui viennent. Parce que nous ici on vend à 35 euros le kg et le bazardier sur la table il vend entre 45 et 50 euros le kg. Il y en a même des bazardiers qui sont venus nous voir et qui disent eux ils achètent à 45 euros. Vous demandez si ça se vend ? »* (pêcheur, 30/12/2014, rivière du Mât).
« Le bazardier il vient et achète 35 euros puis vend 50 euros sur la route. Ils gagnent plus que nous » (pêcheur, 10/11/15, rivière des Galets).

Nous voyons donc que l'évolution du prix ne traduit pas seulement une diminution des captures. Les « bazardiers » en fixant librement les prix, ont amplifié cette inflation de la rivière aux étals. Le consommateur a continué d'acheter alors que les prix augmentaient fortement. Et comme le prix est un indicateur de rareté, il a probablement stimulé le désir d'achat, tout en réactivant la popularité de ce produit. On achète un produit rare pour se démarquer du reste des consommateurs, et pour le prestige qui comble un besoin de reconnaissance dans une société qui s'appuie sur le regard des autres (Lipovetsky 2006). Aussi, on peut s'attendre à ce que l'inflation se poursuive, car la demande pour ce produit de luxe devrait rester fixe quelle que soit la variation de prix. En effet, l'élasticité de la demande pour les produits de luxe est nulle contrairement à celle pour les produits de première nécessité[28]. Dans ce dernier cas, une hausse du prix peut entraîner une baisse de la demande. Et dans notre cas, nous voyons que la hausse du prix n'a pas affaibli la demande mais qu'elle a stimulé la formation d'une nouvelle classe de consommateurs. **En conséquence, les consommateurs ont une grande part de responsabilité dans l'inflation du prix des bichiques et dans l'intensification de l'effort de pêche.** Il faudrait donc sensibiliser le consommateur sur l'impact social et environnemental de sa consommation. La SREPEN, une association environnementale réunionnaise suggère notamment qu'il faudrait « **boycotter** » la vente et sensibiliser le consommateur aux étals de vente. Cette action serait efficace mais il est peu probable que les vendeurs tolèrent la présence de militants à proximité de leurs étals sans qu'éclatent des conflits. Qui plus est, il faut réussir à localiser les points de vente.

[28] http://sabbar.fr/economie-2/prixetdecisionsdesagentseconomiques/

Enfin, la corrélation entre les quantités et le prix n'est pas significative et confirme que le prix au kilo ne peut pas être utilisé comme un proxy des quantités déclarées. En effet, l'inflation significative des prix au cours du temps n'est pas corrélée avec l'évolution « chaotique » des captures déclarées. En d'autre terme, il n'est pas possible de faire statistiquement le parallèle entre l'évolution du prix et des quantités déclarées. Cela confirme à nouveau que les déclarations des pêcheurs sont incomplètes et faiblement exploitables pour étudier l'évolution de la ressource.

3.4 Recensement et occurrence des problèmes soulevés par les pêcheurs de bichiques

A la question, la ressource a-t-elle diminué et pourquoi ? Les pêcheurs donnent 63 réponses différentes, regroupées dans 9 catégories (fig. 14). Nous analysons ci-dessous les cinq catégories les plus importantes.

- L'augmentation de l'effort de pêche est la première cause évoquée par les pêcheurs dans 20 entretiens. Sur toutes les rivières, on accuse les « pêcheurs moustiquaires » de prélever toute la ressource en mer : « **Ils bouffent tout** » ; « **Ils fonçent dans le tas** » ; « **ça nous dérange pas, ça nous tue** » (pêcheur, 6/02/16, rivière du Mât). Un pêcheur de la rivière St Etienne explique que sur six tonnes prélevées en mer, il ne reste qu'une tonne à se partager entre cinq canaux dans la rivière. Les pêcheurs en mer seraient trop nombreux et leurs moustiquaires immenses. Les pêcheurs en rivière dénoncent notamment le fait que seul un pêcheur sur dix est enrôlé en mer, c'est-à-dire que dans une équipe de 10 pêcheur en mer, un seul est professionnel. **Légalement, seuls les pêcheurs professionnels sont autorisés à manier la moustiquaire en équipe (Arrêté 1742, 15 juillet 2008).** La pêche en rivière est aussi décrite comme non raisonnée. Lorsqu'il y a des petites remontées, les gens prélèvent le peu qui remonte. On dit que certains « **grattent le canal** ». Les pêcheurs expliquent aussi que les engins de pêche sont désormais plus performants. Les vouves métalliques entourées de moustiquaires et les « big bag » sont incriminés. Un pêcheur explique que ce n'est pas facile de conserver l'aspect traditionnel de la pêche. En effet, une vouve métallique coûterait 100 euros aujourd'hui alors qu'une vouve traditionnelle coûterait entre 300 et 450 euros (2000 ou 3000 francs). Un pêcheur qui reconnaît l'impact des « big bag » se défend toutefois d'être obligé d'employer les mêmes méthodes pour faire face à la concurrence. Les pêcheurs évoquent l'arrivée de nouveaux pêcheurs en rivière, comme une source de déstabilisation pour les groupes déjà formés qui accroit les conflits, la compétition et donc l'effort de pêche. Enfin, les pêcheurs reconnaissent que les gains sont très intéressants, et que la pêche est avant tout lucrative. « **C'est chacun son biftak** » (pêcheur, 11/10/14, rivière de Langevin). Le bichique serait une passion lucrative pour certains, une manne financière importante pour d'autres qui s'investissent davantage

dans cette activité. **On note donc que les pêcheurs reconnaissent d'une part que l'effort de pêche s'est intensifié en mer et en rivière, à travers l'augmentation du nombre de pêcheurs et l'évolution des pratiques et d'autre part que l'activité est avant tout lucrative.**

- Le problème du manque d'eau est la seconde cause évoquée dans 18 entretiens. L'ensemble des pêcheurs constate une diminution du débit et de la profondeur des rivières. Les barrages, les captages, le basculement des eaux d'Est en Ouest (Projet ILO), l'augmentation de la population et de ses besoins en eau mais aussi la déforestation sont mis en cause. En effet, les rivières pérennes de La Réunion sont parsemées d'obstacles à la continuité hydrologique (DEAL 2011) et sont fortement exploitées pour subvenir aux besoins de la population, estimée à 845 000 habitants au 1er janvier 2014[29]. Sur la rivière des Marsouins, un pêcheur de 43 ans se rappelle qu'il devait nager à ses 15 ans pour la traverser, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui. 3 pêcheurs sur les rivières de l'Est, du Mât et des Pluies, évoquent les problèmes d'infiltration qui assèchent les embouchures. **Nous voyons que la diminution des débits est un problème majeur des pêcheurs en rivière. Des tests statistiques confirment cette diminution significative du débit moyen en L/s (pvalue < 0.05) sur ces rivières, de l'Est (rho= -0.279 ; entre 1991 et 2015), des Marsouins (rho= -0.147 ; entre 1994 et 2016), du Mât (rho= -0.08 ; entre 1986 et 2016) et des Pluies (rho= -0.123 entre 2009 et 2015). La présence avérée de zones d'infiltration aux embouchures, accentuerait la diminution des débits entraînant l'assèchement de certaines embouchures** (Comité de Bassin Réunion 2013)**.** 3 pêcheurs, dont 2 sur la rivière des Pluies, et 1 sur la rivière St Etienne, mettent en parallèle la diminution du nombre de bras d'eau que les pêcheurs peuvent exploiter, ce qui les contraint à se regrouper. Aussi, avec le manque d'eau, les alluvions s'accumulent ce qui les oblige à creuser l'embouchure parfois 8 mois de l'année pour y pêcher. **Le manque d'eau accroît donc la pénibilité du travail et force les pêcheurs à se réorganiser. Depuis 2014, l'assèchement s'accentuerait à l'embouchure de la rivière du Mât car une partie de son débit est transférée dans l'Ouest** (Cordonnier and Bonnier, 2009)**. La situation de l'eau devrait donc empirer sur cette rivière ce qui ne devrait pas faciliter la procédure de régulation de l'activité de pêche, engagée par l'Etat depuis 2012.** Enfin, les pêcheurs expliquent que les fortes crues cycloniques sont nuisibles car elles détruisent les œufs de cabot. En effet, il est probable qu'un débit trop fort entraîne de la mortalité chez les pro-larves à la dévalaison mais il est plus probable qu'un fort débit impacte la pêche, en limitant la migration des post-larves au recrutement (Lagarde et al., 2015).

[29] https://www.insee.fr/fr/statistiques/1288155

- L'absence de contrôle est le troisième problème abordé dans 17 entretiens. Sur les rivières St Etienne, des Pluies et du Mât, les pêcheurs se plaignent du manque d'effectif de la Brigade Nature Océan Indien (BNOI, la police de l'environnement). Les agents ne sont pas disponibles ou arrivent trop tard pour constater une effraction. En effet, il y aurait 8 agents pour surveiller toute La Réunion, ce qui inclut les cours d'eau et les milieux terrestres. 3 pêcheurs déplorent aussi l'absence de contrôle en mer. Les pêcheurs à la moustiquaire ne respecteraient pas la règlementation qui les contraint de rester éloignés de 100 m, de part et d'autre des embouchures (Arrêté 315, 29 janvier 2007). En rivière, c'est le non-respect du canal de reproduction qui est mis en cause. Ce chenal reconnu traditionnellement et légalement (Arrêté 315, 29 janvier 2007), doit rester libre de toute pêche pour qu'une partie des post-larves migrent, deviennent adultes et se reproduisent. Mais sur la rivière des Marsouins, un pêcheur aujourd'hui décédé aurait vendu l'emplacement 80 000 euros. Certains pêcheurs affirment cependant laisser passer quelques « grains » pour la reproduction mais ils accusent les braconniers de les capturer plus en amont. Ces braconniers sont des pêcheurs qui n'appartiennent pas à une association. Les pêcheurs révèlent également l'existence de braconnage sur l'adulte, le cabot bouche ronde, pourtant interdit à la pêche dont la barquette se vendrait 25 euros au Tampon. Ils expliquent que l'adulte est aussi capturé pour appâter les anguilles que l'on vend à 25 euros le kg. Il y aurait de nombreux braconniers vers Salazie qui font des barrages et « tuent tout ».

Enfin, un pêcheur évoque les problèmes que rencontrent les agents de terrain qui ne sont pas autorisés à contrôler les pêcheurs dans l'embouchure des rivières. En effet, une limite de salure des eaux départage administrativement le domaine fluvial et maritime sur chaque rivière (Arrêté 615, 1er juillet 1955) et limite l'action de la brigade nature au domaine fluvial. Or nous savons que la pêche se pratique dans les deux milieux. Toutefois, la gendarmerie nautique est autorisée à contrôler la pêche dans la zone maritime soit en mer et sur la portion la plus aval de l'embouchure, mais les « pêcheurs rivière » ne la mentionnent pas. Ce qui peut suggérer que son intervention est tout aussi rare. La loi limite donc le contrôle des embouchures, pourtant réclamé par de nombreux pêcheurs. Il faudrait selon ces derniers faire des rondes le jour mais aussi la nuit et sanctionner. Selon eux, l'Etat manque de sévérité.

Il ressort de ces témoignages que l'impact des moustiquaires et du braconnage est conséquent sur la ressource car il semble affecter le rendement des pêcheurs en rivière, au point qu'ils réclament des contrôles. Qui plus est, les pêcheurs en rivière sont plus faciles à contrôler en comparaison avec des braconniers qu'il faut réussir à localiser ou des pêcheurs en mer qui sont migrants. Cette situation renforce probablement le sentiment d'injustice des pêcheurs en rivière, à qui l'on semble faire porter l'entière responsabilité de

la raréfaction des bichiques.

- La violence et la corruption (« comportements humains déviants ») se placent en quatrième position et sont mises en cause dans 16 entretiens. Des pêcheurs expliquent que la mentalité n'est pas bonne dans le milieu. Il y aurait des « **brutes, des gros bras, des méchants** » (pêcheur, 6/02/16, rivière du Mât). Lorsque les bichiques sont là, les gens seraient agressifs. Les pêcheurs en rivière jetteraient des galets sur les pêcheurs à la moustiquaire qui s'approchent trop près des embouchures, ce que confirme la presse. Un pêcheur explique que l'Etat ne peut pas faire grand-chose face à 50 pêcheurs en faisant référence à la rivière des Roches. En effet, l'Etat qui a désigné cette rivière comme « site pilote » pour la régulation de l'activité, rencontre des difficultés pour identifier un interlocuteur dans la pêche. Cela ne traduit pas pour autant de la violence mais un refus de coopérer. Pour l'avoir expérimenté dans le cadre de mes recherches, l'accueil est moins chaleureux sur cette rivière, les pêcheurs plus méfiants, les enjeux financiers probablement importants. Des pêcheurs sur la rivière du Mât expliquent qu'ils sont dans l'impossibilité de dénoncer le braconnage car ils risquent de recevoir « **la balle en retour** », c'est-à-dire d'être agressés par ceux qu'ils ont dénoncés ou alors de voir leur canal empoisonné.

A propos de la mentalité des pêcheurs, un professionnel sur la rivière Langevin explique qu'il veut défendre son métier mais que les autres non professionnels s'en fichent s'il n'y a plus de bichiques demain. Un autre pêcheur sur ce secteur explique qu'il ne respectera pas les quotas s'il devait y en avoir. Ce qui n'est pas le cas actuellement. Il préfèrerait payer « **une taxe d'empiètement sur l'environnement** », comme si la ressource était inépuisable.

Le rôle des politiciens est aussi mis en cause dans l'évolution des conflits sur les rivières et dans l'acceptation de pratiques de pêche contestées. Les maires sont accusés de défendre leur carte électorale. En effet, un maire prend le risque de ne pas être réélu en fonction de son opinion sur la pêche, donc certains préfèrent ne pas se prononcer sur le sujet, quitte à laisser la situation se dégrader. Sur les communes de Bras Panon et St Benoit, se trouvent les rivières des Marsouins, des Roches et du Mât, les plus productives de l'île. L'influence des pêcheurs sur ces communes est donc considérable et historique. Récemment, le maire de Bras Panon a fait enlever les « big bag » sur la rive gauche de la rivière des Roches, qui est sous sa responsabilité. Le maire de St Benoit, responsable de l'autre rive, ne l'a pas fait. Les pratiques s'opposent donc dans cette rivière et engendre une concurrence déloyale. Un maire peut aussi soutenir l'activité de pêche, en autorisant l'ouverture du cordon de galets et la restauration des canaux de pêche avec des pelles mécaniques. Ce qui facilite considérablement le travail des pêcheurs. Le maire de Bras Panon aurait aussi aidé les pêcheurs de la rivière du Mât à financer leur dossier loi sur l'eau que l'Etat réclamait pour

autoriser la pêche à l'embouchure. **Les maires jouent donc un rôle dans l'évolution des pratiques et dans la persistance de l'activité.**

Mais certains pêcheurs ont également du pouvoir et peuvent faire pression au niveau de l'Etat. Un pêcheur de Langevin rappelle qu'il était conseiller municipal à l'époque et qu'il a demandé une réunion avec le préfet pour résoudre les problèmes que son association rencontrait avec de nouveaux pêcheurs. Enfin, un pêcheur sur la rivière du Mât raconte comment la médiatisation lui a été profitable pour acquérir son territoire de pêche. Il est commun en effet que les pêcheurs se fassent entendre par les médias, exerçant ainsi une pression sur les politiques. Une association dans la rivière du Mât a notamment réussi à revendiquer son droit de pêche dans l'embouchure, ce qui a contraint les autres pêcheurs fédérés en association, à se réorganiser pour faire de la place aux nouveaux.

Enfin, des pêcheurs accusent certains écogardes d'être des braconniers sur la rivière des Pluies et suspectent des agents de la gendarmerie d'être « de connivence ». Il est peu probable que les agents assermentés même s'ils devaient être des braconniers aient un impact sur la ressource, au vue de leur faible nombre. Par contre, la brigade nautique du Port soit la gendarmerie nautique ayant compétence pour sanctionner dans l'embouchure, sous-entend que ce n'est pas toujours facile d'intervenir dans le milieu. **Ce qui suggère que les pêcheurs peuvent impressionner les forces de l'ordre mais aussi qu'il y a une certaine tolérance des agents pour ne pas créer de conflits.**

- La dégradation de la qualité de l'eau est la cinquième cause soulevée dans 10 entretiens. Les pêcheurs évoquent principalement la pollution anthropique à l'échelle d'un bassin versant qui se répercute sur la qualité de l'eau à l'embouchure et certains dénoncent aussi les empoisonnements volontaires de proximité. A l'échelle du bassin versant, l'agriculture avec les engrais, les désherbants, les pesticides, utilisés notamment pour la culture de canne, ainsi que les porcheries constituent selon eux la plus forte pollution. **En effet, bien que la qualité des eaux soit globalement bonne sur l'île, des signes de dégradation sont observés (DEAL 2012). La Réunion connait un accroissement des productions agricoles, des pressions urbaines, une augmentation de l'habitat dispersé, une activité industrielle croissante, une production de déchets organiques supérieures aux capacités d'accueil des surfaces agricoles et un assainissement non conforme (DIREN 2006). De plus, le ruissellement des hydrocarbures est intense car les transports en communs ne sont pas développés sur l'île. Ainsi les zones littorales qui reçoivent les multiples pressions anthropiques des bassins versants sont les plus vulnérables. L'érosion des sols est un facteur qui participe à la pollution. Et elle est très**

importante à La Réunion, en partie à cause des fortes pentes, des pluies torrentielles et du défrichement. Le transport de la matière chargée de polluants est donc intense (plusieurs tonnes lors des cyclones)(DEAL 2012). Un « pêcheur mer » qui pratique l'apnée, constate que l'usine de Beaufonds un centre de traitement de la canne pour produire du sucre, désaffectée depuis 1996, a pollué la côte Est et tué le corail. Il s'avère que l'usine est répertoriée dans la base de données BASOL qui permet l'identification des sites et sols pollués à La Réunion (Comité de Bassin Réunion 2013). Il dénonce aussi la distillerie Savanna qui rejette des eaux sales par un tuyau au large. Les distilleries et sucreries sont en effet les industries ayant l'impact environnemental le plus fort, sources de pollutions organiques. La Réunion compte deux distilleries et deux sucreries et sur les quatre usines, trois sont dans l'Est**.** Les distilleries rejettent leurs effluents directement ou indirectement dans l'océan, saisonnièrement, de juillet à novembre lors de la campagne sucrière (ODE 2014). Le recrutement des bichiques pourrait donc être affecté à cette période, à proximité de ces sites. D'autres pêcheurs dans les rivières de l'Est incriminent les biocides utilisés par EDF qui serviraient à nettoyer les cuves et éviter le colmatage. Il s'avère que les biocides sont utilisés pour le traitement des locaux, la lutte contre les fourmis ou pour la lutte antivectorielle (ONEMA 2015), donc les sources de pollutions peuvent être multiples et ne peuvent pas être seulement associées à EDF. Qui plus est, nous ne savons pas si les centrales hydroélectriques EDF utilisent des biocides. Aussi, le centre d'enfouissement des déchets sur la rivière St Etienne est pointé du doigt ainsi que la zone de dépôts sauvages sur la rivière des Pluies qui engendrent une pollution aquatique. Il s'avère que l'île est saturée de déchets et que le coût de mise en décharge est élevé. Ce qui explique que les entreprises et les particuliers préfèrent jeter leurs déchets dans les ravines et rivières (Campan 2010). Enfin les extractions de pierre, les travaux d'endiguements et les bulldozers qui perdent de l'huile sont mis en cause. En effet, les rivières sont parsemées d'ouvrages dont la construction a engendré une forte perturbation physico-chimique des milieux. La remise en suspension des particules lors des travaux engendre de la turbidité et libère les polluants qui menacent la faune environnante (Le Berre et al., 2010).

Concernant les empoissonnements de rivière, les pêcheurs évoquent l'utilisation de la javel qui serait très récurrente pour faciliter la pêche mais aussi pour empoisonner le canal du voisin afin qu'il n'attrape rien lorsqu'il pêche « à la montée ». Les pêcheurs se plaignent surtout des braconniers qui l'utilisent en amont pour pêcher diverses espèces, mais aussi pour léser les pêcheurs de bichiques en aval, dont ils seraient jaloux. D'autres cas d'empoisonnement plus importants sont recensés sur la rivière St Etienne. Les pêcheurs sont très inquiets depuis 2014. Un bac de 400 L de poison aurait été retrouvé en amont de la rivière. Des malfaiteurs l'auraient percé pour qu'il diffuse son poison, afin de nuire à l'association des pêcheurs, toute une saison. Ces derniers suspectent le

petit groupe de pêcheurs sur la rive droite qui ne fait pas partit de l'association et avec qui ils sont en conflit. Les pêcheurs regrettent que le poison n'ait pas été identifié et qu'il n'y ait pas eu d'enquête. Un autre cas d'empoisonnement sévère affectant toute la rivière de Langevin a été recensé. La Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a confirmé cet épisode. **Ainsi, nous voyons que l'embouchure est le réceptacle des pollutions du bassin versant, qui affectent le rendement de la pêche mais que les pêcheurs y contribuent paradoxalement pour faire face à la concurrence ou par simple jalousie.**

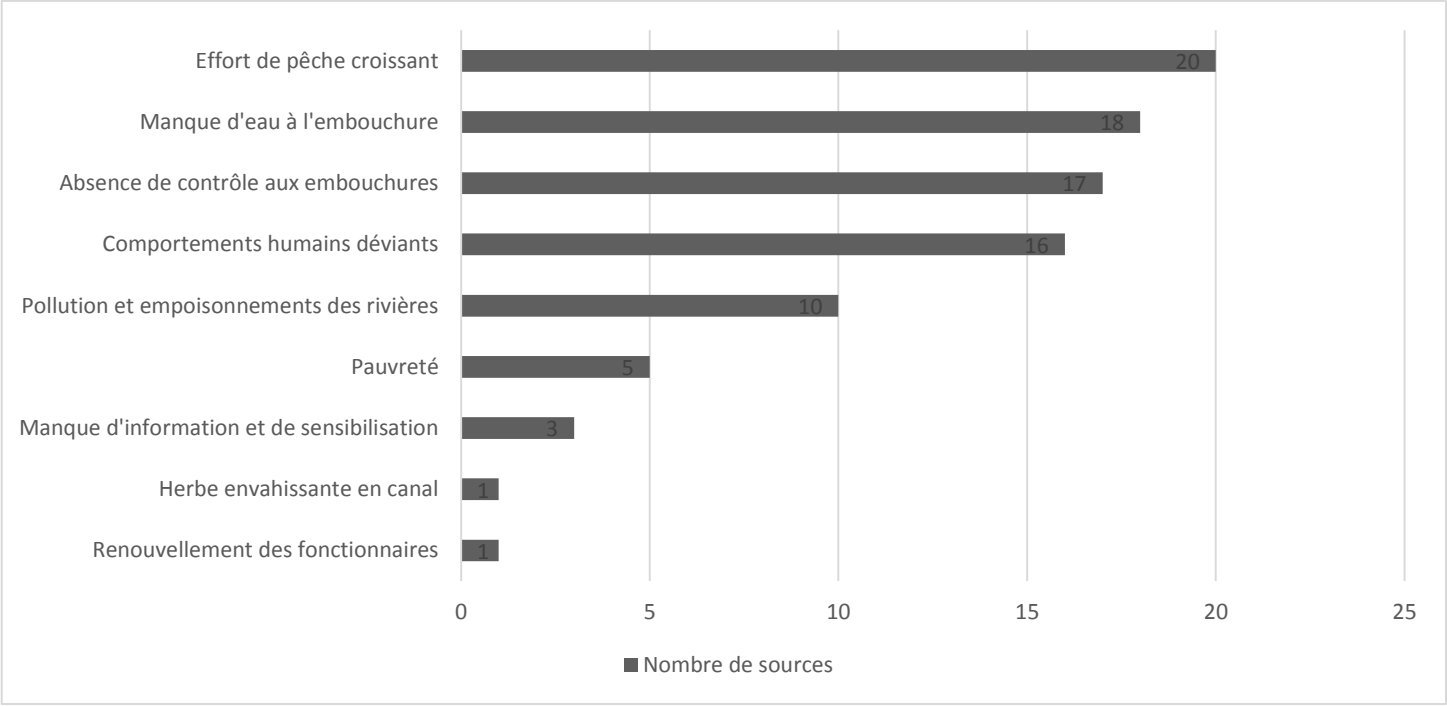


Fig 14. Recensement et occurrence des 9 catégories de problèmes soulevés par les pêcheurs de bichiques entre 2014 et 2016

4. « Mise en conformité de l'activité de pêche », un pas vers la résilience ?

4.1 Vers une intégration des pêcheurs à la gestion

Pour rendre compte de l'état de la règlementation sur la pêche des bichiques et de son évolution, nous avons rencontré les unités de gestion en charge du dossier, à savoir la DEAL (la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion), la DMSOI (Direction de la Mer Sud Océan Indien) et la sous-préfecture de Saint-Benoit entre 2014 et 2016. La DEAL est le référent pilote sur le dossier de la pêche des bichiques. Les deux interlocuteurs que nous avons rencontrés au sein de la DEAL nous ont décrit la démarche actuelle et générale de l'Etat, concernant la mise en conformité de l'activité de pêche des bichiques. Notre interlocuteur au sein de la DMSOI est venu compléter cette description, sur les démarches propres au domaine maritime. La sous-préfecture a confirmé qu'il s'agissait d'une démarche interministérielle. Le plan d'action de l'Etat est présenté dans cette section. Au préalable, nous avons questionné la mémoire de la DEAL sur l'existence ou non d'une règlementation dans le passé et son contenu.

4.1.1 Les prémices d'une règlementation dans le passé

Les informations recueillies auprès de l'Etat sur l'existence passée d'une règlementation de la pêche sont sommaires et révèlent que l'activité de pêche n'était pas une priorité des politiques publiques avant les années 2000. La seule contrainte pour les pêcheurs résidait dans le paiement d'une redevance d'occupation du territoire en rivière. Dans les années 80, l'Etat se rappelle que les pêcheurs faisaient une demande d'AOT (Autorisation d'occupation temporaire du territoire). Cette démarche n'était plus à l'ordre du jour depuis une vingtaine d'années, nous informe la DEAL. Or, l'Etat souligne que les pêcheries sont installées sur le domaine public d'Etat, sans autorisation. Soit les pêcheurs ont cessé d'en faire la demande, soit l'Etat a cessé de contrôler les associations de pêche. Cependant cette situation est en passe de changer depuis 2012.

Aussi, les canaux de pêche sont traditionnellement légués de père en fils mais certains pêcheurs ont autrefois pensé qu'ils pouvaient vendre ou acquérir légalement un canal. Cependant la DEAL précise que les actes notariés de vente de canaux de bichiques qu'ils possèdent, n'ont aucune valeur légale.

La DEAL se rappelle aussi que dans les années 80, le canal central libre de pêche pour soutenir la reproduction, était traditionnellement respecté. Ce qui n'est plus le cas aujourd'hui dans un contexte de raréfaction et de concurrence.

La DEAL évoque ensuite l'un des problèmes majeurs pour règlementer l'activité de pêche. Un vieil arrêté de 1955 a fixé la limite de salure des eaux dans les rivières et départage administrativement le domaine maritime du domaine fluvial. Sur la rivière du Mât, la limite de salure

des eaux est à 150 m de l'embouchure. Le contrôle du milieu maritime est du ressort de la DMSOI et la DEAL est en charge du domaine fluvial. Or, l'activité de pêche se pratique dans les deux milieux. Donc les mesures de gestion de la DEAL ne concernent légalement que les pêcheurs au-dessus de cette limite. Il est notamment difficile de définir le statut des pêcheurs en rivière qui pêchent dans la partie la plus avale. Doit-on les considérer comme des « pêcheurs mer » ? L'outil de pêche ne devrait-il pas définir la catégorie à laquelle on appartient ? Il serait probablement plus simple de ne pas tenir compte de cette limite de salure des eaux et de définir des statuts de pêcheurs en fonction des pratiques : pêche en canal avec une vouve (ou un goni) ou pêche avec une moustiquaire en mer. Mais il s'avère que l'Etat ne peut pas faire abstraction de cet arrêté et tant qu'il n'est pas modifié, ils doivent composer avec. A priori, la procédure administrative pour le modifier serait compliquée.

Enfin, la DEAL confie que le risque de contentieux avec la directive cadre sur l'eau (2000/60/CE), qui visait à atteindre le bon état des cours d'eau en 2015, a motivé l'action de l'Etat, qui s'est mobilisé dès 2012 pour définir un plan de gestion.

4.1.2 Le plan d'action de l'Etat

Au niveau de la DEAL et des services de l'Etat associés, la question des bichiques a émergé particulièrement dans le cadre de la MISEN, Mission Interservices de l'Eau et de la Nature. La MISEN associe tous les services de l'Etat, préfecture, services déconcentrés, et sont associés en tant qu'invités, des établissements publics. L'objectif est de travailler de façon cohérente et complémentaire sur des sujets qui touchent tous les services. La MISEN a identifié la pêcherie des bichiques comme un sujet interservices aux multiples impacts, qui a conduit l'ensemble des membres à se mobiliser. Cette démarche interministérielle réunit en effet la sous-préfecture, la DEAL, la DMSOI, la DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) pour la partie alimentation et sanitaire ; la DRFIP (Direction Régionale des Finances Publiques) sur la partie finances et redevance ; la DRCPN (Direction des Ressources et des Compétences de la Police Nationale) pour la partie droit au travail ; l'Office de l'eau en associé ; la gendarmerie nationale, la police nationale, et la BNOI (Brigade de la Nature de l'Océan Indien).

Les impacts identifiés sont premièrement d'ordres environnementaux. La pêche constitue un obstacle à la continuité écologique des cours d'eau, pour toutes les espèces piscicoles, crustacés et macrocrustacés. Les pratiques intègrent l'utilisation de biocide (javel, cresyl) et de « big bag », qui posent un problème en termes de pollution. On note que certains plastiques sont consommés par les tortues ou les cétacés. Un accident de bateau a aussi été imputé aux « big bag ». Enfin, les travaux des pêcheurs en rivière non autorisés sont catastrophiques pour le milieu. L'impact est donc aussi

de nature visuelle. Il n'y a pas de cadre légal qui encadre l'activité (excepté le mois de Mars qui est interdit à la pêche) et l'opacité, en termes d'organisation de la pêche, est totale. L'incidence est ensuite d'ordre fiscal. Les bénéfices ne sont pas déclarés aux impôts et les pêcheurs ne payent pas de redevance pour l'occupation du domaine public. L'impact est aussi d'ordre sanitaire. La vente se fait au soleil avec peu de glace ou pas du tout. Les bichiques sont parfois coupés avec du décongelé en provenance d'Indonésie de moindre prix.

Enfin même si la MISEN reconnait que la pêche génère des bénéfices dans certains milieux sociaux défavorisés, elle a en contrepartie des impacts forts sur le milieu et les stocks de poissons. Ainsi la MISEN a jugé en 2012 qu'il y avait matière à se mobiliser. L'objectif de la MISEN est de mettre en conformité les pêcheries. Le terme régulariser n'est pas approprié selon la DEAL qui précise que l'Etat n'a jamais envisagé de fermer cette pêcherie traditionnelle. Il s'agit de trouver un juste milieu dans la façon de pratiquer ces prélèvements et un cadre légal qui soit acceptable. Le débat en interne porte sur l'optimum environnemental que certains souhaitent atteindre, au risque de ne pas améliorer la situation, en créant des blocages avec les pêcheurs. **La stratégie de l'Etat aurait donc évolué vers le compromis et la négociation. Nous comprenons aussi que les différents services de l'Etat ont identifié les problèmes inhérents à cette activité informelle. Le caractère patrimonial de l'activité et l'historique conflictuel que l'Etat entretient avec les pêcheurs, a probablement découragé les services de l'Etat autrefois isolés. La Directive Cadre sur Eau (2000/60/CE) aurait contraint l'Etat français à trouver une solution, qui s'est traduite par l'union des services de l'Etat concernés par l'activité de pêche. La DEAL est prioritairement concernée car elle a pour mission de restaurer la continuité écologique des cours d'eau pour répondre aux attentes de l'Europe. Elle aurait bénéficié de l'appui des autres services de l'Etat pour mettre en œuvre son plan de gestion de l'activité de pêche. Et comme le confirme la DEAL, c'est principalement l'implication de la sous-préfecture ainsi que l'association de la DEAL et de la DMSOI qui aurait donné du poids à ce dossier et débloqué la situation. Les autres services tels que la DAFF, la DRFIT ou la DRCPN, joueraient actuellement un rôle minoritaire dans cette évolution étant donné que les premiers objectifs du plan d'action ne sont pas encore atteints.**

En effet, la MISEN a élaboré en 2012 un plan d'action en cinq points :

- Le premier point consistait à faire un bilan et un diagnostic des pratiques de pêche à l'échelle de l'île. Un état des lieux cartographique aurait mis en évidence en 2012 que toutes les rivières pérennes de l'île sont occupées par des pêcheries (fig. 15), ce qui a conduit la MISEN à travailler sur des rivières pilotes, les rivières du Mât, de Langevin et de St Denis. Finalement c'est la rivière des

Roches qui sera retenue comme troisième rivière pilote. Ces rivières sont vues comme des terrains d'expérimentation pour enclencher un cercle vertueux. La démarche ayant vocation à être généralisée l'échelle de l'île.

- Le deuxième point consiste à faire évoluer les pratiques.
- Le troisième point consiste à mettre en place un contrôle sur les pratiques.
- Le quatrième point vise à proposer un statut aux pêcheurs amateurs ou professionnel.
- Le cinquième point consiste à faire un contrôle de la commercialisation.

Les points 1, 2 et 3 ont démarré en même temps fin 2012.

Concernant le deuxième point, une charte de bonnes pratiques a été posée comme un préalable à toute démarche de mise en conformité par rapport à la loi sur eau. Les pêcheurs doivent respecter cinq points :

- la taille des vouves est de 80 cm de diamètre maximum
- la vouve est en matériaux naturels (ce qui implique de ne pas utiliser de vouves surdimensionnées ou métalliques)
- Pas de canaux en « big bag »
- Pas d'emploi de javel ou de cresyl
- Laisser un canal en eau, libre de toute pêche

Ensuite, les pêcheries qui occupent le domaine public fluvial (DPF) sont soumises à déclaration au titre de la loi sur l'eau, ou soumises à autorisation si la surface occupée est plus importante. Ainsi, sur la rivière du Mât, les dossiers de déclaration pour « l'association des pêcheurs » et d'autorisation pour « la fédération des pêcheurs » (la fédération occupe une plus grande surface sur la rivière), ont été instruits en 2015 et validés au CODERST (Comité Départemental d'Evaluation des Risques environnemental, Sanitaire et Technologique) présidé par le préfet de La Réunion. Daniel Gonthier, le maire de la commune de Bras Panon a été consulté car il est responsable de la rive droite de la rivière du Mât. Il a soutenu cette démarche et financé en partie les dossiers loi sur l'eau. Les autorisations ont été délivrées début 2016.

Les points 3, 4 et 5 n'étaient pas encore engagés en 2016. Ainsi nous voyons que le plan d'action est difficile à mettre en œuvre et comporte des étapes décicives

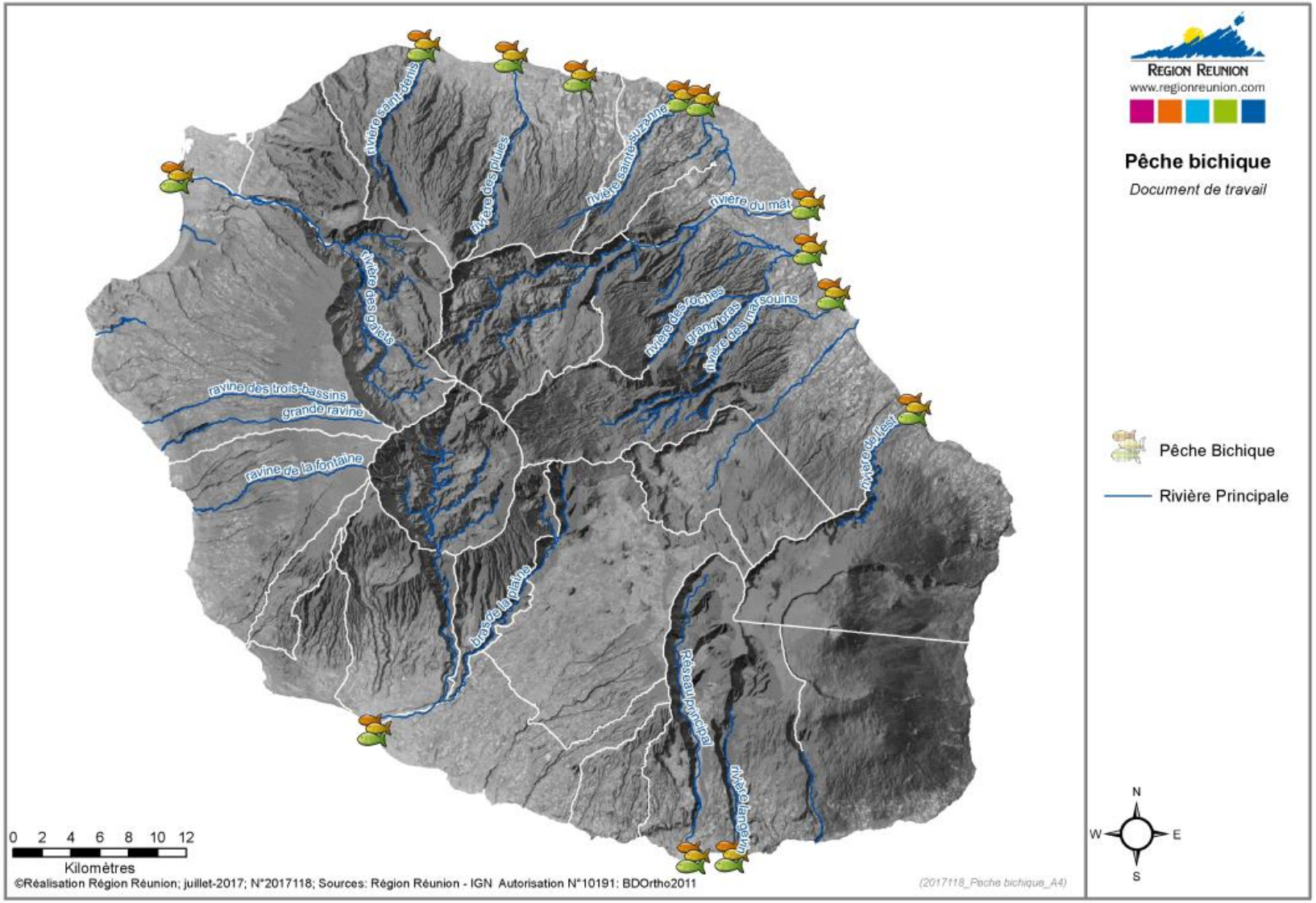


Figure 15. Localisation des principaux sites de pêche aux bichiques - Île de La Réunion (DCE-POLMAR-RUN), DEAL 2006 (sextant.ifremer.fr)

Concernant le contrôle des pratiques, l'Etat demande aux pêcheurs de mettre en place un suivi sur l'efficacité du canal de reproduction. Les pêcheurs devront faire des prélèvements en amont des installations de pêche pour vérifier les remontées d'espèces. Comme l'explique les pêcheurs, ce n'est à eux de faire ce travail et ils ne sont pas compétents pour identifier les différentes espèces. En effet, ces pêches de surveillance demandent du temps et les pêcheurs n'ont aucun intérêt à réaliser ce travail s'ils ne sont pas rémunérés. Cette requête de la DEAL reflète un manque de moyens pour contrôler l'activité de pêche, et plus largement le peu de moyens alloués par l'Etat à la protection de l'environnement. Il faut rappeler que le nombre d'éco-gardes au sein de la BNOI est très faible pour surveiller toute l'île, et qu'ils sont déjà très occupés à surveiller le braconnage des tangues en forêt (Hérisson malgache). D'ailleurs, la DEAL cherche des sources de financements pour rémunérer les pêcheurs sur ce volet car elle est consciente que cette mesure sera difficilement réalisable. Les scientifiques et gardes-pêche assermentés de la Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) (à ne pas confondre avec les associations ou fédérations de pêcheurs de bichiques) se sont engagés à fournir leur aide aux pêcheurs de bichiques, en réalisant des pêches électriques. Les scientifiques de la Fédération sont très au fait de la problématique de la pêche et soutiennent la procédure de régulation. Leur aide pourrait en effet être très appréciée de tous car ils ont une bonne connaissance du terrain et des pratiques de pêche. Cependant on peut penser que les pêcheurs au fait de ces pêches occasionnelles laisseront volontairement passer plus d'espèces les jours de surveillance et donc que le suivi ne reflètera pas la réalité.

La question du statut des pêcheurs, évoquée dans le quatrième point du plan d'action, est à ce jour la plus difficile à résoudre car ce statut varie selon que la pêche est pratiquée en amont ou aval de limite de salure des eaux. En amont, on est dans le domaine public fluvial (DPF). Une association départementale agréée des pêcheurs aux engins et filets existe déjà sur l'île depuis 2014. Un statut de pêcheur de bichiques amateur devrait être mis en place.

Par contre en aval, on est dans le domaine public maritime (DPM). Les pêcheurs à pied dans cette zone sont autorisés à pêcher en canal avec la vouve uniquement. C'est aussi dans ce domaine que l'on autorise les professionnels à pêcher à pied en rivière à la vouve et en mer à la moustiquaire, loin des embouchures. La DMSOI voudrait donc mettre en place à La Réunion un statut spécifique de pêche à pied professionnelle pour légitimer l'activité des pêcheurs de bichiques non professionnels. **Nous pouvons déjà critiquer ce choix de créer deux statuts de pêcheurs à pied, amateur et professionnel qui viendraient départager les pêcheurs en fonction de leur localité et non de leur usage. Mais l'arrêté sur la limite de salure des eaux et la situation particulière de la pêche en embouchure contraint l'Etat à proposer ces deux statuts.**

De plus, la DMSOI se heurte à un problème pour transposer localement, le statut de pêcheur à pied national. Les pêcheurs à pied doivent en effet remplir des conditions pour se voir délivrer un permis de pêche et une licence locale de pêche :

- Ils doivent suivre une formation d'au moins 200h et la faire dans les deux premières années après avoir obtenu une autorisation de pêche.
- Ils doivent posséder une couverture sociale.

Hors le régime d'affiliation local, la CGSS (Caisses générales de sécurité sociale), qui se substitue au régime de la métropole MSA (Mutualité sociale agricole), est bloqué par un décret. Lequel empêche la transposition des textes aux DOM-TOM. Ce statut s'il existait, donnerait un droit de vente aux pêcheurs de bichiques. La DMSOI envisageait de prendre contact avec la DAAF plus à même de pouvoir transposer les textes nationaux aux DOM-TOM, pour créer à La Réunion un régime de sécurité sociale des pêcheurs à pied. **Ainsi, le statut de pêcheur amateur devrait être facile à obtenir alors que le statut de pêcheur à pied professionnel ne devrait pas voir le jour de suite. C'est un problème dans la mesure où la plupart des pêcheurs de bichiques sur l'île de La Réunion se trouvent en aval de la limite de salure des eaux, dans le domaine maritime. Qui plus est, il est peu probable que les pêcheurs à pied acceptent de suivre une formation, ou trouvent du temps de la suivre sachant que la plupart des pêcheurs ont une profession ou sont âgés.**

La pêche des bichiques avec une moustiquaire est déjà règlementée par un arrêté (article 11 de l'arrêté 1742 du 15 juillet 2008). Elle ne peut être pratiquée que par des professionnels de la pêche. Mais ces pêcheurs doivent remplir certaines conditions pour se voir autorisés à pêcher saisonnièrement le bichique.

- Le pêcheur doit être enrôlé pendant au moins 6 mois dans les douze mois précédents sa demande.
- Le pêcheur doit déclarer ses captures
- La pêche se fait à pied avec un filet de 10 m de long et 3 m de haut maximum avec un maillage de 16 mm. La surface maximum autorisée est de 25 m². Il est interdit d'accrocher plusieurs filets ensemble.
- Les pêcheurs professionnels à la moustiquaire doivent respecter une zone de 100 m de part et d'autre de l'embouchure.

Nous voyons que la règlementation existe mais qu'elle n'est pas appliquée car la DMSOI nous affirme que les pêcheurs ne déclarent plus leurs captures. Il n'y aurait plus de bichiques d'après les pêcheurs, ce qui est peu probable, mais ce que la DMSOI ne peut pas vérifier.

A l'heure actuelle, le plan d'action progresse sur les rivières du Mât et de Langevin. La rivière de Langevin est la seconde rivière pilote sur laquelle les démarches sont entamées depuis 2015. Le maire de St Joseph et la FDAAPPMA[30] accompagnent les pêcheurs locaux. En effet, le directeur et la cellule scientifique de la FDAAPPMA sont basés à Langevin. Ils facilitent donc les échanges entre l'Etat et les pêcheurs. Ici, la pêche des bichiques se fait principalement dans le domaine maritime. La rivière se jette en cascade dans un bassin ouvert sur l'océan. Les pêcheurs utilisent localement la vouve et le goni. Les pêcheurs à la moustiquaire seraient nombreux devant l'embouchure lors des « belles remontées ». On peut donc dire que le choix de cette rivière comme « site pilote » a été stratégique car la procédure sera facilitée par la présence de la Fédération. Par contre, l'Etat n'avait pas encore réussi à établir de contact officiel sur le troisième site pilote, la rivière des Roches, en février 2016. **Ainsi, notre enquête qui a débuté en 2014 et s'est achevée en 2016 s'est synchronisée avec la démarche de l'Etat, ce qui nous a permis d'être témoin de changements dans les rivières pilotes, et d'observer une évolution dans le ressenti des acteurs. Ce que nous abordons dans la partie suivante.**

[30] Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

4.2 Le ressenti des acteurs sur la pêche des bichiques

4.2.1. Discours des services déconcentrés et associés de l'Etat

Les discours de la DEAL, DMSOI et sous-préfète rencontrés en 2016 ne sont que faiblement nuancés. Les quatre interlocuteurs livrent un message commun, identique sur le fond et la forme. Le contenu des discours est plus ou moins riche d'informations selon les interlocuteurs, en partie dû à leur fonction respective au sein de l'Etat. On note cependant une évolution dans le discours des interlocuteurs de la DEAL, interrogés successivement entre 2014 et 2016.

- Interlocuteur 1, DEAL, 7/11/2014, réunion collective

Dans le cadre d'une réunion collective à la DEAL fin 2014, nous avons rencontré un premier interlocuteur. Celui-ci introduit le sujet de la pêche comme sensible et précise qu'un gros travail a déjà été réalisé. La Directive Cadre sur Eau serait le moteur de cette démarche interministérielle. L'objectif de l'Etat, dit-il, c'est de « régulariser l'existant tout en l'améliorant ». Il est aussi question de procédures administratives lourdes. La DEAL tente d'actualiser l'arrêté de 1955 sur la limite de salure des eaux, et notre interlocuteur déclare que c'est « un chemin de croix ». Il explique que l'Etat veut trouver un terrain d'entente, ce qui suggère que ce n'est pas encore le cas, fin 2014. Il mentionne notamment les difficultés d'entrer en contact avec les pêcheurs de la rivière des Roches, ce qui sera toujours d'actualité à la fin de notre enquête en 2016.

Le discours tenu sur les pêcheurs est méfiant et traduit les difficultés passées et actuelles de coopération entre l'Etat et les pêcheurs. Le discours de la DEAL exprime une volonté de coopération mais alterne avec une position autoritaire qui menace de sanctionner : « il va falloir qu'ils rentrent dans les rangs ». La coopération semble encore très difficile fin 2014 et nettement plus avancée en février 2016, lorsque notre second interlocuteur nous fait part de son enthousiasme. **En un an, la situation aurait évolué favorablement sur la rivière du Mât et serait due à une synergie de bonnes volontés et à l'acceptation d'un compromis entre parties.**

- Interlocuteur 2, DEAL, 4/01/2016

Notre interlocuteur travaille dans l'unité Politique de l'Eau et des Milieux Aquatiques au sein de la DEAL. Son discours traduit une volonté de coopération et d'aboutissement. Il décrit l'objectif de la MISEN ainsi : « c'est de travailler, se mobiliser de façon cohérente, complémentaire, optimisé ». Il connait presque tous les acteurs avec qui il dit entretenir de bon rapport, y compris les pêcheurs de la rivière du Mât qu'il connait.

Son discours révèle une évolution dans la démarche de l'Etat. Il ne s'agit pas de réguler l'activité, terme selon lui mal adapté, mais de mettre en conformité les pêcheries. L'esprit n'est pas le même, dit-il. Il défend l'Etat, accusé de vouloir empêcher la tradition, en spécifiant honnêtement qu'à sa connaissance « ça n'a jamais été abordé, évoqué, envisagé ». **Sur ce point, nous pouvons dire qu'il y a une volonté conjointe de l'Etat et des pêcheurs d'inscrire la tradition technique dans la modernité, c'est-à-dire de conserver l'aspect traditionnel de la pêche dans le plan de gestion. Mais pour certains pêcheurs, conserver l'aspect traditionnel veut dire conserver la liberté de faire et d'agir sans être contrôlés. Pour d'autres, il s'agit d'être libre d'utiliser les outils de pêche que l'on désire. Et sur ce point, l'Etat s'oppose.** Il est question dans la charte des bonnes pratiques d'utiliser une vouve traditionnelle de 80 cm de diamètre. Les pêcheurs de la rivière des Roches y sont opposés car selon eux, ce n'est pas applicable à l'embouchure de la rivière des Roches qui est plus profonde. Cependant, ce sont les pêcheurs qui entretiennent cette profondeur de canal pour y placer des vouves bien plus grandes. Nous pensons que les nasses de grandes dimensions utilisées sur les rivières des Roches et des Marsouins sont en effet trop efficaces et leur rendement doit être limité pour préserver la ressource. De plus, cette règle peut s'appliquer sur la majorité des rivières de l'île, il ne faut donc pas faire d'une exception la règle. Aussi, l'uniformisation de la taille des vouves est utile pour contrôler l'effort de pêche et mettre l'ensemble des pêcheurs sur un pied d'égalité, tout en s'assurant que les matériaux sont biodégradables.

Notre interlocuteur défend l'intérêt d'une démarche de coopération avec les pêcheurs et se réjouit du travail accompli sur la rivière du Mât. Ce succès repose selon lui sur la présence de bons interlocuteurs motivés. Un pêcheur serait un ancien de la DAAF, ce qui aurait facilité les procédures administratives. La concertation avec les pêcheurs a été longue mais constructive affirme-t-il. A ce propos, il évoque le rôle du maire de Bras Panon qui aurait facilité les échanges avec les pêcheurs. Le portage préfectoral et la réunion des services auraient donné une plus grande portée au dossier. Enfin, il dit que la FDAAPPMA a aussi « joué le jeu » en proposant de faire des pêches de contrôle.

Il pense que le traditionnel « Ladilafé » facilite en partie le travail de communication de la DEAL auprès des pêcheurs de l'île, sur les démarches entreprises. Ce terme local est employé à La Réunion pour dire qu'une information circule vite à l'échelle de l'île bien que l'on diffuse souvent de fausses informations pour nuire à autrui. Il donne l'exemple de la rivière St Denis sur laquelle un agent de la brigade nautique a transmis l'information de régularisation aux pêcheurs qui en retour sont venus voir la DEAL pour en discuter.

Notre interlocuteur explique qu'il possédait déjà une connaissance du contexte local et de l'expérience sur des dossiers similaires. Son discours se veut pragmatique. Comme il le dit lui-même : « Si on demande trop, le fil se casse. Et tout le monde est perdant, le milieu en premier ». Il fait référence aux estacades que les pêcheurs ne sont pas prêts à enlever. Il reconnait la grande efficacité de cette pratique, et comprend que la supprimer constituerait un gros manque à gagner pour les pêcheurs. L'Etat a accepté de faire une concession, bien que les estacades soient jugées trop efficaces. L'Etat reconnait qu'il n'a pas eu le choix au risque de perdre le contact avec les pêcheurs de la rivière du Mât. Sachant que les estacades sont la spécificité d'une seule rivière, nous pensons que la concession de l'Etat était envisageable dans la mesure où elle n'affecte pas la gestion des autres rivières.

Il évoque d'autres difficultés qui surviennent. Le président d'une association de pêche ne peut pas être le seul interlocuteur de l'Etat. Dans la pratique, le président ne veut pas prendre sur lui, pour tous les pêcheurs. Il évoque aussi les difficultés de dialoguer sur la continuité écologique des cours d'eau. Les pêcheurs se défendent en mentionnant le barrage de Bengalis en amont de la rivière du Mât et les barrages plus généralement accusent les pêcheries de constituer un obstacle à la continuité, en aval.

Enfin il évoque la difficulté de l'Etat à rentrer en contact avec la rivière des Roches qui n'est pas structurée en association et sur laquelle la DEAL n'a aucun interlocuteur. Il espère que la chute des stocks fera réagir les gens ou plus probablement que la coopération sur la rivière du Mât rassurera cette communauté sur le fait que l'Etat est dans une démarche non punitive mais de reconnaissance de la dimension patrimoniale de l'activité.

La DEAL est donc dans une démarche de coopération avancée en février 2016 sur la rivière du Mât mais les problèmes pour entrer en contact avec les pêcheurs de la rivière des Roches persistent. L'absence d'organisation de la pêche suggère que « c'est chacun pour soi » dans cette rivière et cela est problématique dans la mesure où les pêcheurs sont censés constituer un dossier de déclaration loi sur l'eau. Il est donc nécessaire que les pêcheurs se regroupent et s'ils ne l'envisagent pas, l'Etat serait en droit d'interdire la pêche.

- DMSOI, 25/01/2016

Notre interlocuteur travaille au service politique de la mer et du littoral au sein de la DMSOI. Il précise qu'il a pris connaissance du dossier en 2011. Il se positionne en retrait par rapport à la DEAL, plus à même selon lui de détailler la démarche de l'Etat. Il qualifie le dossier « de pas facile » pour ne pas porter de jugement sévère sur l'activité de pêche et confirme que le portage préfectoral était nécessaire. Il fait référence au travail essentiel de la sous-préfecture qui

coordonne les services et donne du poids au dossier. Sur son volet de compétence, il confie que les pêcheurs de bichiques à la moustiquaire ne sont pas tous déclarés et que ceux qu'ils le sont, ne déclarent pas leurs captures. Se pose alors la question, pourquoi leur délivre-t-on une autorisation. Un autre agent de la DMSOI introduit dans la conversation, qualifie la maille des moustiquaires, de toute petite (16 mm). Selon notre interlocuteur, la régularisation des pêcheurs à pieds serait « formidable en terme d'emploi et de formation » car il existe une école d'apprentissage maritime à La Réunion qui dispense des cours pour les marins professionnels. Cela aurait « du sens » dit-il. Il ajoute que la vente se fait en toute illégalité pour l'instant et que la professionnaliser pourrait permettre de mettre en place un suivi des captures (sauf que cela ne fonctionne pas avec les pêcheurs en mer). Il évoque le problème technique de couverture sociale qui bloque actuellement la mise en place de statut de pêcheur à pied professionnel. Il espère « faire bouger les choses » avec la DAAF. **Ainsi, le discours de la DMSOI bien qu'il soit très positif laisse entendre que le seul blocage dans la gestion de cette pêche réside dans la création d'un statut de pêcheur à pied professionnel. Or il est peu probable que ce statut soit idéal car il est complexe à acquérir. De plus, ce statut confère bien un avantage dans la mesure où les pêcheurs pourront vendre légalement mais on se demande pourquoi les pêcheurs placés au-dessus de la limite de salure des eaux, n'y seraient pas autorisés.**

- Interlocuteur, sous-préfecture de St Benoit, 24/02/2016

Notre interlocutrice est en poste au sein de la sous-préfecture depuis 2015. Elle nous décrit ses missions dont celle de coordination et de mise en place de toutes les politiques publiques sur l'arrondissement. Cela implique un travail interministériel important avec tous les services de l'Etat. Sur le dossier de la pêche, elle dit s'appuyer sur l'expertise technique et juridique des services de l'Etat « sur un précédent en phase d'aboutissement ». Elle fait état d'une situation à peu près régulée sur la rivière du Mât. Elle reconnaît « qu'on sera jamais dans du règlementaire pur et dur, qu'il faut être aussi pragmatique ». Son discours est semblable à celui de notre second interlocuteur à la DEAL, dans sa volonté de coopérer et d'aboutissement. Elle évoque l'attachement de la population y compris des pêcheurs et des élus à cette pratique. Elle rappelle le gros travail accompli de compréhension et concession mutuelles « qui a permis d'arriver à une construction administrative pas trop boiteuse ».

A la différence des autres interlocuteurs, elle est très optimiste sur le fait que l'on réussira à répliquer la procédure sur d'autres rivières dont la rivière des Roches. Selon notre interlocutrice, la coopération ne peut se faire que si les pêcheurs sont structurés. Elle espère que la légitimité conjointe des élus et du sous-préfet sera une force pour faire évoluer la situation sur la rivière des

Roches et croit beaucoup au fait que la coopération sur la rivière du Mât va motiver la rivière des Roches. Elle souligne le rôle important du maire de Bras Panon dans cette affaire, pour appréhender l'importance de cette pratique culturelle.

Enfin elle donne son opinion sur la place du chercheur dans la concertation. Il peut objectiver et expliquer de manière pédagogique à tous, élus, pêcheurs, administrations, le risque de voir disparaître à terme la ressource. Cela participe selon elle à l'appropriation collective du sujet, dit-il.

Ainsi nous voyons que la sous-préfecture tient en 2016 un discours semblable à celui de la DEAL en 2016 et qu'il y a une volonté de concrétiser le plan d'action sur le terrain. L'optimisme sur le bon déroulement à venir du plan d'action tient peut-être au fait que nos deux interlocuteurs se sont appropriés récemment le dossier et que l'usure de la collaboration avec les pêcheurs n'est pas encore ressentie comme chez notre premier interlocuteur de la DEAL rencontré en 2014. Sinon, on peut espérer que leur optimisme tient de leurs expériences passées qui seront constructives pour débloquer la situation de la pêche. Quoi qu'il en soit, la volonté que manifestent les acteurs est encourageante et essentielle. Enfin, la position de la sous-préfecture sur le rôle du chercheur marque une ouverture d'esprit. Nous pensons en effet que le chercheur a toute sa place en tant que médiateur scientifique.

- Office de l'eau de La Réunion (ODE), 18.02.16

Notre interlocuteur réunionnais travaille au service aquatique au sein de l'ODE. Il est en charge du suivi qualitatif des eaux de surface, souterraine, cours d'eau, eaux littorales et eaux de transition. La grande problématique selon lui, est que la pêche des bichiques est un « no man's land ». Les pêcheurs font ce qu'ils veulent et c'est délicat d'intervenir. Son avis sur la question est tranché, il faut règlementer la pêche. Il dit que la pêche cessera de toute manière lorsqu'il n'y aura plus de bichiques. Il faut remarquer que les personnes pensant comme lui sont nombreuses. En réalité, sachant que la demande ne faiblit pas, la pêche devrait continuer même si les rendements s'affaiblissent. Et si un jour il n'y a plus de bichique en rivière, on pourra s'inquiéter de l'état des rivières. Il n'est donc pas envisageable pour l'ensemble de l'environnement de laisser la pêche s'épuiser d'elle-même.

Les vouves capturent selon lui toutes sortes d'espèces dont certaines interdites comme le cabot bouche ronde adulte. Il donne l'exemple de la Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, qui s'insurge de devoir pénaliser ces pêcheurs dans les cours d'eau tandis qu'à l'embouchure, il n'y a pas de contrôle aux vouves des pêcheurs de bichiques.

Concernant la démarche de l'Etat, il pense que les pêcheurs en rivière n'accepteront pas de coopérer, si les pêcheurs en mer ne sont pas à leur tour contrôlés. Il n'a pas tort dans la mesure où une gestion asynchrone de l'activité va défavoriser certains pêcheurs en premier et attiser la jalousie et les conflits. **Dans l'idéal, il faudrait demander à ce que l'ensemble des catégories de pêcheurs soit en règle dans un même délai. Mais nous savons déjà que le statut de pêcheur à pied professionnel n'est pas encore créé et donc que certains ne pourront pas attester d'un permis de pêche. Il serait déjà plus utile de contrôler la pêche en mer sachant que seuls les pêcheurs professionnels sont autorisés à employer la moustiquaire, ce qui réduirait déjà l'impact sur la ressource. Mais on comprend que la priorité de la DEAL n'est pas forcément de sauvegarder le bichique mais plutôt de réduire l'impact des obstacles en rivière pour l'ensemble des espèces. Les pêcheries de bichiques en rivière sont prioritairement ciblées car elles constituent un obstacle à la continuité écologique, que l'Europe demande de restaurer. Il se peut même que l'Etat ne s'intéresse pas aux pêcheurs à la moustiquaire dans la mesure où ils n'ont pas été identifiés comme un obstacle fixe à la migration des espèces. Pourtant leur impact sur la ressource est considérable et la règlementation de l'activité en mer nécessaire pour justifier d'une action en rivière auprès des pêcheurs et espérer qu'ils coopèrent.**

Il évoque aussi la proximité des pêcheurs et des équipes communales, comme responsable de cette « omerta » dit-il. Il reconnait que le maire peut aussi faciliter les négociations, comme sur la commune de Bras Panon. Selon lui, il est possible de réglementer la pêche des bichiques comme la pêche des civelles en métropole. Enfin, il dit avoir été sollicité par un bureau d'études pour savoir si l'ODE subventionnait des actions de suivi des pêcheries, qui font suite à la mise en place de la règlementation. Selon lui, c'est envisageable. Le comité d'administration pourra en discuter. L'Office de l'eau de La Réunion est donc un peu plus critique quant à la démarche de l'Etat mais ne reste pas fermé à l'idée d'apporter sa contribution dans la gestion de l'activité. Cette position plus critique tient probablement du fait que la responsabilité de l'ODE dans la mise en régulation de l'activité est très faible et donc que l'ODE ne saisit pas toutes les difficultés administratives auxquelles doit faire face l'Etat.

- Brigade nautique du port, 4.02.2016

Notre interlocuteur est réunionnais, il connait bien la pêche des bichiques. Selon lui les captures sont plus nombreuses en canal qu'en mer et il dénigre l'usage des « big bag ». Concernant la professionnalisation de la pêche à pied, il pense que les pêcheurs seront réticents car ils devront cotiser sans être sûr d'avoir des gains. En effet, notre interlocuteur soulève ce problème qui s'ajoute

aux contraintes du statut de pêcheur à pied professionnel. La cotisation pourrait s'élever à 280 euros si l'on se réfère au statut national. Cependant, il est fort probable que cet investissement soit rentabilisé rapidement sur les rivières productives du Mât, des Roches, et des Marsouins. Aussi, il pense que les pêcheurs associeront le statut de professionnel aux déclarations fiscales. En effet si la vente est légalisée, les pêcheurs seront contraints de renseigner leurs bénéfices. Les gains des pêcheurs sont énormes dit-il, ce qui permet l'achat de maisons, d'immeubles.

Notre interlocuteur propose que l'on ferme la pêche sur un secteur pendant un an puis que l'on change de secteur. Cette mesure est proche des cantonnements de pêche où sont définis des périodes d'ouverture et de fermeture de la pêche. Cette forme de protection existe depuis 1999 et a été proposée par les marins pêcheurs martiniquais confrontés à la raréfaction des stocks (Valdivia 2014). Mais plusieurs problèmes se posent pour l'appliquer à La Réunion. D'une part, les pêcheurs possèdent des territoires de pêche fixes en rivière. Ils ne pourront pas se déplacer sur une autre zone ouverte à la pêche. Donc les pêcheurs devront attendre que la pêche soit autorisée sur leur rivière soit une fois tous les 13 ans (si l'on considère les 13 rivières pérennes) ou une fois tous les trois ans (si l'on ne considère que les trois rivières les plus productives). D'autre part, les pêcheurs à la moustiquaire qui sont migrants pourraient se déplacer dans les zones autorisées renforçant l'effort de pêche sur un seul site. Enfin nous supposons qu'il y a une grande variabilité inter-annuelle du recrutement sur l'île, donc nous pouvons imaginer que certaines années seront plus prolifiques que d'autres et que cette mesure de cantonnement sera contestée.

Selon lui, l'Etat agit sur des petits sites pour faire « bonne figure ». Il donne comme exemple la rivière St Denis, où l'Etat n'a pas renouvelé l'AOT car les installations de pêche n'étaient pas en conformité. Il faut comprendre que l'Etat a plus de facilité à agir sur des sites où le nombre de pêcheurs est réduit mais l'injustice réside dans le fait que la plupart des installations de pêche sur l'île ne sont pas aux normes de la charte. Il sous-entend que c'est délicat d'intervenir sur les autres rivières. Il explique qu'il est cependant connu sur la rivière des Roches et que « lorsque il arrive, les autres font attention ». Il conclut qu'il est pour la paix sociale, ce qui suggère que l'on tolère des pratiques non conformes pour éviter les conflits. **Nous comprenons que la brigade nautique comme les éco-gardes ont des difficultés techniques face au nombre de pêcheurs (rapport de force) et à leur situation géographique (DPF ou DPM) mais aussi des contraintes d'ordre social et moral qui limitent leurs champs d'intervention. Des agents parce qu'ils connaissent certains pêcheurs tolèrent leurs pratiques. Cette dérive est problématique pour la gestion de la ressource et révèle que peut-être le faible effectif des agents n'est pas le seul problème qui limite la surveillance. Le problème est que les pêcheurs sont très nombreux sur l'île, que certains ont du pouvoir de par leur fonction professionnelle et un**

réseau de connaissance et d'influence développé pour certains, ce qui leur permet d'agir librement. Il est difficile d'incriminer les forces de l'ordre qui craignent les conflits et cherchent la paix sociale mais cette attitude affaiblit le pouvoir de l'Etat et compromet le plan d'action. Les interventions en rivière devraient se faire à plusieurs afin d'éviter qu'un seul individu ne porte la responsabilité de la sanction imposée. Il faudrait aussi s'assurer que les forces de l'ordre n'aient pas de lien familial avec les pêcheurs.

- Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins de La Réunion, CRPMEM, 2.02.2016

Notre interlocuteur est Réunionnais. Il ne cache pas son ressenti face aux pêcheurs de bichiques, en particulier ceux qui pratiquent en rivière : « **C'est souvent des gens qui font de la politique avec le maire, ils sont bien placés dans des boulots sûrs, qui gagnent bien. Plus encore, ils exploitent, volent à 70 euros le kg. Les 3/4 ne payent aucun impôt**.». Il mentionne l'affaire de faux actes de vente de canal, dont la DEAL nous avait parlé. Il mentionne à plusieurs reprises les pratiques de pêche en rivières qui ne sont pas bonnes du tout : « Les ombrières, la javel, les « big bag », les nasses métalliques ». Et selon lui, « **il faudrait surtout s'occuper des pêcheurs qui se disent soi-disant traditionnels** ». En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, ce terme est employé par l'ensemble des pêcheurs qui ont pourtant des pratiques bien différentes selon les secteurs et plus ou moins destructrices.

Il défend à l'inverse « les quelques professionnels qui payent des charges pour pratiquer l'activité en fin d'année ». Ces pêcheurs viendraient de St Leu, Etang salé et de St Pierre. L'activité ne serait pas trop pratiquée dans la zone ouest, St Gilles, St Paul, sauf si par hasard il arrivait un banc. Mais selon lui, le milieu professionnel a diminué. Sur les 180 pêcheurs professionnels, il estime à 30, 50 le nombre de pêcheurs artisanaux. Mais nous savons que les pêcheurs professionnels qui demandent à la DMSOI leur autorisation de pêcher les bichiques, sont au nombre aujourd'hui de 11 (11 en 2012, 23 en 2014, 9 en 2014, 10 en 2015, 11 en 2016, DMSOI, 2016). Ainsi, si l'on considère que 50 pêcheurs de bichiques sont professionnels, il se pourrait alors que 40 pêcheurs professionnels environ ne font plus leur demande d'autorisation bien qu'ils continuent de pêcher. Il évoque les conflits entre les catégories de pêcheurs. La catégorie minoritaire des professionnels serait attaquée et menacée par le reste des pêcheurs non déclarés. Nous savons en effet que des conflits violents éclatent entre les pêcheurs en mer et en rivière. Cependant, il est reconnu que les pêcheurs professionnels recrutent dans leur équipe, des non professionnels. Les équipes de professionnels ne seraient donc pas toutes légitimes. Il reconnait tout de même l'impact de la pêche en mer, et dit qu'il y aurait une trentaine de pêcheurs (non professionnels) qui détruisent tout :

« Des gens qui louent des fourgons et qui posent des vacances ». En effet nous savons que la pêche constitue pour beaucoup une activité secondaire de saison.

Il n'est pas confiant sur le fait qu'il soit possible de créer un statut de pêcheur à pied localement. Selon lui, l'Etat fait un apaisement social. Ils ciblent notamment les fonctionnaires de passage dans l'île, « qui ne veulent pas faire de vague car ils pensent à leur carrière ». **Il est plus vraisemblable que ces fonctionnaires de passage aient peu de temps pour s'approprier des dossiers aussi complexes. Cependant, nous voyons que le renouvellement des fonctionnaires au sein de la DEAL entre 2014 et 2016 s'est bien déroulé et n'a pas entravé le plan d'action de l'Etat.** Notre interlocuteur nous explique que la paix sociale c'est de l'hypocrisie. Il fait le parallèle avec les 800 licences qui viennent d'être délivrées pour pêcher dans la réserve marine. C'est de la destruction, dit-il. C'est une aberration car les réserves sont en effet normalement interdites à la pêche. Selon notre interlocuteur, il faut traiter le problème à sa source et interdire certaines pratiques de pêche « que ça plaise ou non ». Il est relativement âgé et se dit épuisé par ce combat qui lui laisse un goût amer. Il aurait aimé laisser un héritage digne de ce nom, à la jeunesse. **Ainsi, nous pensons qu'il est logique que le CRPMEM qui regroupe et défend les intérêts des professionnels de la mer, dénigre la pêche informelle et défende les pêcheurs professionnels de bichiques.**

- Interlocuteur 1, Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA), 5.12.2014

Notre interlocuteur travaille dans la cellule scientifique de la Fédération, qui est une association d'usagers avec une mission de police de la pêche. Il y aurait 8 gardes sur l'île. La Fédération a donné un avis négatif sur l'utilisation de l'estacade à la rivière du Mât, qui constitue un « piège mortel ». L'autre point noir selon notre interlocuteur, c'est la rivière des Roches, où il est difficile d'entrer en contact avec les pêcheurs. Il regrette que l'Etat n'ait pas tenu compte de leur avis qui était de choisir la rivière St Etienne comme rivière pilote. Les pêcheurs sont gentils et structurés, dit-il. Selon cette personne, la pêche des bichiques impacte directement les stocks que la Fédération gère. Il n'y a personne pour faire appliquer la règlementation aux embouchures. Il dénonce le braconnage des espèces et l'emploi de javel. Son avis est que la pêche est mer est probablement plus importante, même si elle reste difficile à quantifier.

Notre interlocuteur a donc un avis plus tranché sur la question des compromis faits par l'Etat sur les pratiques de pêche et juge que le choix des rivières pilotes n'est pas optimal. En effet, il est dommage que la rivière St Etienne n'ait pas été choisie car les pêcheurs ont exprimé leur désir de se mettre en conformité par rapport à la loi (au cours des enquêtes)

et ils espèrent en retour que l'Etat pourra les aider à surveiller le braconnage. Toutefois, la situation est critique sur la rivière des Roches et représente un enjeu environnemental majeur qui justifie ce choix.

- Interlocuteur 2, Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 5.01.2016

Notre second interlocuteur dans la Fédération, raconte que suite à une verbalisation qui s'est mal passée dans le domaine public fluvial, certains pêcheurs de Langevin fortement ancrés dans la municipalité locale ont fait pression auprès du maire de St Joseph, qui lui a fait pression au sous-préfet, ce qui a débouché sur l'organisation d'une réunion avec la DEAL. Langevin a ainsi été choisi comme rivière pilote, car la Fédération connaissait bien les trois groupements de pêcheurs en place et que la situation pourrait vite avancer.

Il décrit l'objectif de la Fédération qui est d'arriver à poser un cadre règlementaire sur toutes les embouchures de La Réunion pour réglementer la pêche des bichiques et qu'on mette en place des contrôles. Il aimerait pouvoir contrôler à l'embouchure mais il explique qu'il n'a pas cette compétence dans le domaine maritime et ne peut donc rien faire. Le problème que notifie notre interlocuteur, c'est que la coopération des pêcheurs dépend de la variabilité du recrutement. Les pêcheurs sont disposés à discuter lorsque les remontées de bichiques sont faibles mais lorsque le recrutement est fort, « **les principaux concernés ne sont plus autour de la table** ». Il ne s'étonne pas de l'absence des bichiques depuis trois ans sur le secteur de Langevin et raconte l'épisode d'empoisonnement important d'il y a 6 ans, probablement dû à une querelle de pêcheur. « **Les pêcheurs ont utilisé de l'endosulfan, 2km en amont, qui a tout rasé. Il n'y avait plus une espèce dans la rivière** ». L'incident aurait pu être dramatique souligne-t-il, car le mercredi, il y a beaucoup d'enfants qui se baignent dans la rivière. **La Fédération basée à la rivière de Langevin est donc à l'origine de sa désignation comme site pilote. Cette association est un moteur d'évolution sur cette rivière car les agents possèdent des compétences de terrain et de médiation scientifique, qui sont un atout pour faciliter le dialogue entre les différents acteurs.**

- Mairie de Bras-Panon, 14.11.205

Notre interlocuteur se dit passionné de tradition. Avec sa formation en géographie urbaine, il se place en défenseur de l'environnement mais il ajoute que l'objet révèle notre identité, en faisant référence à la vouve. C'est un Réunionnais né en 1958, qui a vu la population augmenter, l'eau se raréfier et sa qualité se dégrader. Il explique avoir engagé une action forte dont les gens comprendront les bénéfices à plus long terme. Son combat a été de réduire la consommation d'eau,

en réduisant les déperditions d'eau chlorée dans le milieu. Sur la commune de Bras Panon, « **nous n'utilisons plus de désherbants mais des produits bio** ». Notre interlocuteur, qui a aussi une fonction au sein du Parc naturel national de La Réunion, explique qu'il y a un nouveau perturbateur, les sècheresses consécutives qu'il attribue aux captages mais aussi peut-être au climat. Selon lui, les débits réservés sur la rivière du Mât ne sont pas suffisants. La rivière est en train de connaître un bouleversement. En effet, nous savons que les eaux sont détournées d'Est en Ouest. A l'embouchure, il dit venir souvent pour constater la montée des agrégats qui se forment avec la houle. Le profil de la rivière est en train de s'inverser, s'inquiète-t-il. Une étude confirme que la morphologie du cône alluvionnaire est fortement modifiée. La rivière s'enfonce dans son propre lit qui bute sur les formations dures du substratum (De la Torre 2008).

Notre interlocuteur semble proche des pêcheurs et les accompagne dans leur demande de travaux en rivière. Il dit que si l'embouchure de la rivière des Roches se ferme, il n'y aura plus de migration, ce qui constitue une perte de biodiversité. Il évoque aussi un problème de transparence de l'eau qui serait dû à la stagnation. En effet, ce phénomène de fermeture du cordon est naturel mais les besoins en eau ont amplifié ce processus de fermeture, altérant la continuité hydrologique des rivières et la qualité des eaux. Selon lui, on peut être accompagnateur d'un dysfonctionnent d'un lit lorsqu'arrive certaines perturbations liées à des grosses pluies d'orages. « **Je fais partie de ceux qui croient que nous allons de plus en plus vers des pluies étroites fortes, concentrées** ». Cependant, MétéoFrance ne détecte pas de tendance à l'augmentation des épisodes de pluies intenses à La Réunion mais suggère tout de même un allongement de la période concernée par les événements pluvieux extrêmes vers les mois d'avril et mai[31].

Concernant la pêche des bichiques, le travail de fond qu'il a mené concerne les « big bag » qu'il a fait retirer sur la rive gauche de la rivière des Roches. Selon lui, cette dérive date de 1995. Il explique que les pêcheurs, très nombreux dans ce quartier, ont accepté au fil du temps de revenir à la pêche traditionnelle. **Cependant, bien que les pêcheurs n'utilisent plus de « big bag », nous savons qu'ils ne laissent pas pour autant de canal de reproduction. La pêche n'est pas donc pas encore totalement aux normes sur cette rive bien que le travail de la mairie ait été conséquent.** Il explique qu'un pêcheur qui travaille à la mairie aurait facilité le dialogue entre les acteurs. Il ajoute qu'à Bras Panon, des espaces pour la vente des bichiques sont disponibles en contrepartie d'utiliser les tables aux normes alimentaires, que la commune a acheté. C'est bien la seule commune qui s'investit autant pour que l'activité de pêche se fasse dans les règles. Il nous faire part de sa motivation pour convaincre les autres élus et le préfet, de s'engager dans la protection du milieu. **Nous voyons bien qu'un élu a le pouvoir de faire évoluer les pratiques**

[31] http://www.meteofrance.re/climat/changement-climatique

en rivière et d'aider à la mise en œuvre du plan d'action de l'Etat. Sur la rivière des Roches, un site pilote où l'Etat rencontre des difficultés, la mairie de Bras Panon pourrait faciliter la mise en relation des différents acteurs, du moins sur les rives dont elle est responsable, à savoir la rive gauche de la rivière des Roches et la rive droite de la rivière du Mât.

Il a une opinion sur chacune des différentes rivières de l'île. Il explique que l'endiguement sur la rivière des Galets a été une catastrophe en créant un enfoncement du lit, ce que nous avons constaté. La rivière de St Etienne est selon lui la plus polluée et la plus asséchée. En effet, nous avons vu que la pollution était particulièrement forte sur cette rivière avec la station d'enfouissement des déchets. Il mentionne aussi le développement des algues avec l'épandage dans les communes de l'Est. En effet, les boues des Step servent d'engrais dans cette commune, il est donc probable que les algues prolifèrent. Cependant, les zones sensibles à l'eutrophisation ont été identifiées dans les cours d'eau de l'Ouest et non à l'Est (Comité de Bassin Réunion 2013).

Il évoque enfin ce partage administratif du cours d'eau, insensé selon lui, qui limite les contrôles. Et il conclut que la pêche est une économie souterraine donc il est peu probable que les gens acceptent de dire combien ils ont pêché.

- SREPEN, Société Réunionnaise pour l'Etude et la Protection de l'Environnement, 16.02.2016

La SREPEN est une association loi 1901 crée en 1971 par des scientifiques et membre de l'IUCN. Notre interlocutrice décrit ce travail de bénévole qui demande des engagements, du temps et de l'argent. L'association refuse les subventions mais vit des formations de sensibilisation ou d'expertises qu'elle réalise, des adhésions et des dons. Cette personne milite depuis 40 ans au sein de la SREPEN. Elle est à l'origine de la mise en réserve d'un grand nombre d'espaces, et a œuvré pour la création du Parc national. Elle explique que sa formation de géographe lui donne une vision globale de l'aménagement du territoire. Elle soulève différents problèmes concernant la pêche des bichiques. Selon cette personne, nous savons depuis 25 ans que le canal de reproduction n'est pas respecté, ce qui empêche les géniteurs de remonter. On constate une évolution dans l'usage du plastique pour construire les canaux et une modification de la consommation. Elle est d'avis de boycotter la vente et d'informer le consommateur pour qu'il refuse d'acheter à des prix exorbitants. Elle n'est pas contre la pêche mais souhaite qu'elle s'organise. Elle mentionne les nombreux pêcheurs non déclarés et les personnes qui travaillent à la commune et pêchent en parallèle, se faisant beaucoup d'argent. Il faut un statut des pêcheurs. Concernant la démarche de l'Etat, elle reconnaît une évolution positive et le rôle influent du maire de Bras Panon. Mais selon elle, l'échange cessera si la maire n'est plus là. Elle mentionne aussi les différentes couleurs politiques

qui s'opposent à la rivière des Roches et qui influencent l'évolution de la pêche. Dans ces souvenirs, l'Etat n'a pas été bien reçu sur le terrain les années précédentes : « **Les galets ont voltigé** ». Faire la morale à un pêcheur un jour de pêche est dangereux, dit-elle. Elle a essayé. Elle reconnaît que le terrain est difficile mais pour elle, l'Etat manque de courage. Elle propose d'arrêter la pêche pendant 3 à 4 ans et de réduire la répression à 20 %, au profit d'actions de sensibilisation de la population à la protection des bichiques et du milieu.

Ainsi, la SREPEN qui milite depuis 50 ans en faveur de la protection de l'environnement s'est heurtée à la résistance des pêcheurs. Il est probable que la démarche de l'association plus moralisante n'ait pas été bien perçue par les pêcheurs, surtout si l'association a tenté de sensibiliser la communauté des pêcheurs de la rivière des Roches, particulièrement méfiante. Il ne faut cependant pas faire de généralité, certains pêcheurs sont réceptifs au discours de protection de l'environnement sur cette rivière et sur d'autres secteurs. Le combat de la SREPEN n'est donc pas inutile mais la faible menace que constitue l'association lui donne peu de poids face aux pêcheurs. D'ailleurs la SREPEN a bien compris que l'Etat était le seul à pouvoir agir. Cependant, la SREPEN reste en faveur de la sensibilisation et pense qu'il faut réduire la répression. Ce qui suggère que les pêcheurs en infraction devraient suivre une formation de sensibilisation à la protection de la nature. Ce qui est en soi une très bonne idée. Encore faut-il que l'Etat en ait les moyens. Quoi qu'il en soit, on peut imaginer que les pêcheurs sont déjà conscients de l'impact qu'ils ont sur le milieu mais que l'appât du gain est plus fort, ce qui ne changera pas après une formation de sensibilisation. Le boycott de la vente comme nous l'avons déjà évoqué est une bonne initiative pour sensibiliser le consommateur mais cette démarche pourrait être mal perçue par les pêcheurs et attiser des conflits. Les pêcheurs pourraient alors se victimiser en disant que l'Etat cherche à interdire la pêche des bichiques. Il y aurait un risque d'amalgame entre l'action de cette association et la démarche de coopération de l'Etat. Toutefois, on peut comprendre que l'association tienne ce discours étant donné que la situation de la pêche s'est enlisée entraînant la raréfaction des bichiques sans qu'aucune action de l'Etat ne soit entreprise avant 2012.

4.2.2 Discours des scientifiques

- Géographe, 8.02.2016

Notre interlocuteur est un géographe, qui s'intéresse depuis toujours à la relation homme-nature. Il a une vison holistique de La Réunion. Il connait bien les acteurs de l'île impliqués dans la gestion de la pêche des bichiques. Il évoque la profonde transformation que La Réunion a connu

avec la décentralisation, l'inexorable augmentation de la population sur un territoire finit et les conséquences des aléas climatiques sur le territoire. **La Réunion est en effet exposée à des risques naturels liés d'une part au risque volcanique et d'autre part au passage des cyclones et aux dépressions tropicales. Le cyclone Hyacinthe en 1980 a notamment provoqué des dégâts considérables. Les fortes précipitations** (**record mondial de pluviométrie sur 10 et 15 jours) ont provoqué des mouvements de terrain et modifié le profil des rivières.** Concernant la décentralisation, il regrette que l'on n'ait pas fait disparaitre le conseil général ou créé un conseil mixte entre région et département, « **pour que tout le monde travaille sur le même pied d'égalité** ». Il explique que la région est la première administration à s'occuper de la relation homme-nature, avec Philippe Berne en 1985. Plus tard, le département décide de faire un service environnement et crée la DIREN. Il explique qu'entre temps, Cloé a été créée, Cellule LOcale pour l'Environnement, permettant de faire le lien entre le département et la région, pour lancer des actions concrètes et globales. Et il conclut, « **on a perdu un temps fou** ». Il évoque le temps qu'il a fallu pour créer le parc national, un travail débuté dans les années 90, qui ne s'est concrétisé qu'en 2000. **Notre interlocuteur met en avant la dispersion des efforts entre les collectivités territoriales, pourtant animées par une même logique. Le partage des compétences administratives et politiques ne débouche guère sur une meilleure efficacité pour gérer l'environnement comme cela a été démontré dans d'autres pays tropicaux** (Singaravelou 1997)**.**

Son avis sur la pêche des bichiques est différent des autres acteurs. Son discours ne cible pas de responsable au sein des pêcheurs. Il remarque que les pêcheurs en canaux critiquent les pêcheurs en mer et vice versa. Son opinion est que l'homme dans la société a une vison à court terme et que chacun « **voit midi à sa porte** », du pêcheur à l'élu. Il regrette que beaucoup de politiciens n'aient pas de connaissance de la relation homme nature, ni de connaissances juridiques et scientifiques. Il décrit la pyramide socio-économique de la pêche comme très fonctionnelle, « **du pêcheur à celui qui tire les ficelles et change de Mercedes chaque année** ». Il ne pense pas que la pêche se soit intensifiée mais constate qu'il y a nettement moins de bichiques qu'auparavant. Il fait le parallèle avec les points de vente moins nombreux aujourd'hui et il attribue cette diminution à divers facteurs. Il est d'avis que l'embouchure où se pratique la pêche, draine toutes les conséquences morpho-climatiques et anthropiques. Il cite la pollution des eaux, la déforestation, et regrette l'emploi de « big bag ». S'ajoute selon lui, l'extraction de gravats et l'endiguement des rivières, qui ont modifié le profil des cours d'eau et donc l'habitat des gobies. Il pense qu'il est plus difficile aujourd'hui pour les alevins de grimper sur les lahars apparents, et que des bassins naturels ont disparu, dans lesquels pouvaient se reposer les gobies. En effet, les obstacles aux flux de sédiments, tels que les barrages, entrainent un déficit en aval qui déséquilibre la dynamique d'un

cours d'eau. Le déficit génère souvent une érosion du lit en aval de la retenue et provoque la disparition des substrats favorables à la vie et à la reproduction des espèces aquatiques (DEAL 2011). Pour les cabots bouche ronde, l'augmentation des dépôts de fines particules peut provoquer le colmatage des habitats de frayère. Les bouche rondes pondent dans des « nids » composés d'un support (granulat grossier) enfouit dans un substrat plus fin (sable graviers) mais non colmaté par de fines particules.

La vision transversale de notre interlocuteur réduit donc la responsabilité des pêcheurs dans la raréfaction de la ressource. Nous pensons en effet qu'il est important de considérer l'ensemble des pressions qui s'exercent sur les espèces. L'altération de la continuité hydraulique constitue en effet un impact majeur sur la ressource. Cependant, notre étude démontre que l'effort de pêche s'est intensifié, d'une part car la zone de pêche à l'embouchure s'est réduite alors que le nombre de pêcheurs a augmenté et d'autre part car les pratiques et engins de pêche ont évolué pour améliorer le rendement.

- Bureau d'étude OCEA consult, 9.02.2016

Notre interlocuteur est ingénieur hydrobiologiste. Il a réalisé les dossiers de demande d'autorisation d'occupation temporaire (AOT) du domaine Public Fluvial, des deux associations de pêcheurs sur la rivière du Mât. Concernant l'avancement de la mise en régulation des pêcheries, il dit que nous en sommes pour l'instant à une « **révolution papier** ». Les pêcheurs ne se rendent pas compte de ce qu'il les attend, dit-il. Il explique que les pêcheurs sont des chercheurs d'or. Il ne pense pas comme d'autres interlocuteurs, que lorsqu'il n'y aura plus de bichiques, il n'y aura plus de pêcheurs. Il explique que le dialogue est aujourd'hui très difficile entre les pêcheurs et l'Etat, parce que les pêcheurs ont peur qu'on leur interdise tout et l'Etat est quant à lui « frileux » à cause de l'histoire, et des violences perpétrées dans les canaux. Les deux parties se sentent en faiblesse, l'un par rapport à l'autre, nous explique-t-il. Le déficit de l'Etat est qu'il ne conserve pas sa mémoire et son expérience. « **D'autres chargés de missions vont peut-être reprendre le dossier avant qu'on ne passe à d'autres embouchures** », s'inquiète-t-il. En effet, le renouvellement des fonctionnaires s'avère être un problème listé par de nombreux acteurs. Il pense qu'il faut un médiateur pour faciliter la concertation avec les pêcheurs et il suggère qu'il pourrait jouer ce rôle. Il pense qu'un maire peut jouer ce rôle, mais dans une moindre mesure. « **La voix politique peut être très puissante pour finir de faire passer une mesure mais elle est aussi très préjudiciable lorsqu'elle a pas été techniquement bien mise au fait** ». Un maire ne doit pas écourter les attentes de l'Etat et s'interposer dans les accords passés entre les pêcheurs et l'Etat. Il faut que l'élu comprenne les véritables attentes de la DEAL, dit-il. **Nous comprenons que l'Etat, des scientifiques et des élus, bien qu'associés**

dans cette démarche de mise en régularisation de l'activité, rencontrent des points de divergence. L'association des acteurs bien qu'indispensable, n'est donc pas idéale dans la mesure où les acteurs ne sont pas tous unis pour délivrer le même message aux pêcheurs ce qui peut freiner l'application des mesures. Cependant, cette divergence de fonction et de points de vue est riche pour construire une gestion des plus adaptée car l'élu, dans une certaine mesure, donne du poids aux revendications des pêcheurs ce qui oblige l'Etat a réellement entrer dans un processus de coopération et de co-gestion avec les pêcheurs. En d'autres termes, on peut imaginer que si l'Etat trouve un compromis avec l'élu, il trouve un compromis avec les pêcheurs. Concernant la volonté de répliquer la procédure sur d'autres rivières, notre interlocuteur pense qu'il faudra définir environ trois modèles pour tenir compte des spécificités de chaque rivière. En effet, la morphologie des embouchures varie d'une rivière à l'autre, ce qui influence les pratiques de pêche. Il pense qu'il faut accompagner cette révolution pour éviter que le préfet ne ferme le dossier. « L'enjeu, il est fort à l'échelle du SDAGE ». L'intérêt de travailler sur la pêcherie est double, nous confie-t-il. « Effectivement, il y a des leviers d'amélioration de la pêche actuelle et le fait d'organiser cette pêcherie permet d'avoir un levier sur les autres aménageurs, qui n'auront plus cet argument-là : « Nous on fera rien, tant que en bas ils ne font rien ». Il précise enfin le rôle écologique des cabots, qui entretiennent les cours d'eau par leur fonction de brouteurs racleurs, lesquels empêchent la prolifération d'algues et de matières organiques. Leur rôle est aussi trophique dit-il, où se développe en cascade la biodiversité.

Nous voyons que la gestion de la pêche des bichiques pourrait être profitable à tout un écosystème. En réduisant la pression sur ces Gobiidae qui jouent un rôle écologique majeur dans les rivières, on soutient la chaine alimentaire et l'entretien biologique des cours d'eau. Une réduction de l'effort de pêche aux embouchures serait de plus favorable à la migration de l'ensemble des espèces diadromes, qui sont accessoirement piégées dans les nasses. Enfin, les autres aménageurs à l'échelle des bassins versants (industriels, barrage, etc.) seraient prêts à fournir un effort pour restaurer la continuité écologique des rivières, si les pêcheries qui constituent un obstacle physique en aval des cours d'eau sont réglementées.

4.2.3. Analyse croisée du discours des acteurs

Nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique des discours des acteurs, afin de les regrouper dans des catégories. Nous avons construit une matrice binaire à partir d'éléments jugés caractéristiques du discours d'un individu. Le coefficient de Jaccard a été utilisé pour calculer la matrice de dissimilarité. Le critère de Ward a été appliqué pour réaliser la classification.

L'objectif est de mettre en valeur des catégories. Cette classification ne prend pas en compte toutes les subtilités du discours de chaque individu mais souligne quelques aspects discriminants du discours des acteurs. Le graphe apporte donc une vision globale intéressante mais réductrice et doit être étudié, en complément des synthèses de discours de chaque acteur.

Le dendrogramme issu de la classification met en valeur des regroupements d'acteurs (fig. 16). Plus largement, sont regroupés les gestionnaires impliqués dans la régularisation de l'activité. Tous évoquent les négociations qu'ils ont entreprises avec les pêcheurs et leur désir de trouver un terrain d'entente. Les gestionnaires sont dans une démarche de coopération bien qu'il y ait des variantes dans leur discours qui isolent notamment nos premiers interlocuteur au sein de la DEAL et de la Fédération de La Réunion pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FRPPMA), interrogées en 2014. La DEAL en 2014 nous fait part du travail déjà accompli et des difficultés rencontrées dans la coopération avec les pêcheurs. La Fédération se démarque pour son opposition tranchée sur l'usage des estacades sur la rivière du Mât. La sous-préfecture de St Benoit et la DMSOI, se distinguent en positionnant la DEAL comme service pilote de la démarche étatique. Enfin nos seconds interlocuteurs au sein de la FRPPMA et de la DEAL rencontrés en 2016 se démarquent avec leurs verbes d'action et leur volonté exprimée d'agir et de concrétiser l'action de l'Etat.

La brigade nautique du port, la SREPEN, le comité des pêches et l'ODE se rejoignent dans leur discours sur deux éléments. Le milieu de la pêche des bichiques, particulièrement en rivière, n'est pas facile d'accès, voire dangereux. Le dénigrement de la communauté des pêcheurs de bichiques est apparent. Cette position plus dure envers les pêcheurs s'explique peut-être par leur fonction qui ne les contraint à dialoguer et à coopérer avec les pêcheurs en canaux. Ils peuvent exprimer leur ressenti en toute honnêteté. Et parce que ces acteurs sont créoles, ils manifestent peut-être le besoin de se démarquer de cette communauté qui dérange parfois. Enfin, ils perçoivent la pêche à travers leur réseau de connaissance local, qui se sent probablement plus concerné par cette problématique réunionnaise que d'autres acteurs non réunionnais et donc plus à même de juger sévèrement la pêche. Ces acteurs se rejoignent aussi pour dire que l'Etat doit agir et manque de courage. Enfin, ils reconnaissent clairement les relations entre la politique et les pêcheurs.

A l'interface de ces deux groupes d'acteurs, on retrouve les scientifiques, un géographe, un écologue et un élu. L'élu et le géographe, se rejoignent dans leur vision holistique du problème, lié à leur formation de géographe. Ils réduisent la part de responsabilité des pêcheurs dans la raréfaction des bichiques et mettent d'avantage en cause l'évolution des paysages suite aux aménagements de l'homme et le changement climatique. Enfin, l'élu et l'écologue se placent tous deux à l'interface des négociations entre les pêcheurs et les gestionnaires. Leur fonction les amène

à communiquer régulièrement avec les pêcheurs et à jouer ce rôle de médiateurs entre l'Etat et les pêcheurs. La présence de médiateurs est selon eux nécessaire pour faciliter la régulation de la pêche. Enfin, ils mettent en avant le rôle écologique des espèces ciblées par la pêche.

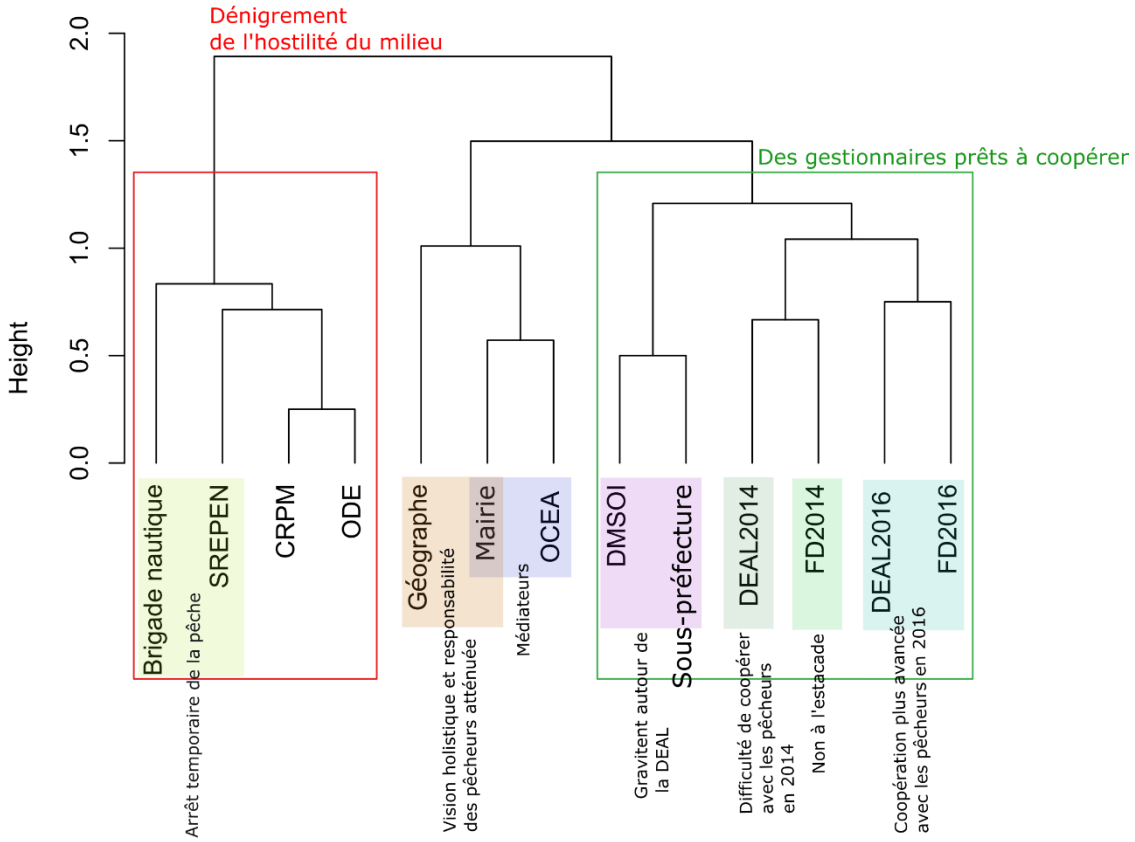


Figure 16. Classification du discours des acteurs. Dendrogramme issu d'une classification ascendante hiérarchique

4.2.4 Discours des pêcheurs par rivière

Nous avons rencontré les pêcheurs sur les rivières entre octobre 2014 et février 2016. La démarche de l'Etat avait débuté sur les rivières du Mât et de Langevin mais n'en était qu'au stade de la discussion informelle sur la rivière des Roches. Sur les autres rivières, les pêcheurs n'étaient pas au courant du plan d'action de l'Etat, ce qui démontre que la démarche de régularisation est assez récente et que la communication entre les pêcheurs des différentes rivières de l'île est assez limitée. Concernant la situation de la pêche sur ces rivières, il est intéressant de voir que chaque secteur a son lot de problème. Les pêcheurs de la rivière des Marsouins doivent faire face à l'invasion d'une plante qui modifie la répartition de l'eau. Il s'agirait de *Pennisetum purpureum*, devenue envahissante après avoir été introduite pour consolider leurs canaux. La rivière St Etienne doit faire face aux empoisonnements et la rivière des Pluies à la pollution. Le manque d'eau est un problème commun à l'ensemble des pêcheurs. La pêche sur la rivière de l'Est vit notamment au rythme des lâchers d'eau du barrage hydroélectrique. L'entente entre les canaux est particulièrement mauvaise sur la rivière des Remparts. Et bien qu'il ait été possible de faire deux entretiens, le contact a été difficile à établir. A contrario, les pêcheurs de la rivière St Etienne semblaient soudés dans leur association, et se sont rapidement ouverts à la discussion, ce qui suggère que l'Etat aura plus de facilité à mettre en œuvre son plan d'action sur les rivières où la pêche est organisée. D'ailleurs, lorsqu'on a informé le président de l'association de St Etienne de la démarche étatique, celui-ci a exprimé son désir de se mettre en conformité par rapport à la loi sur l'eau.

Les pêcheurs étaient aussi très accessibles sur la rivière des Pluies et en particulier sur la rivière des Galets. Les pratiques de pêche sur la rivière des Galets sont des plus traditionnelles avec l'emploi de vouve végétale (et d'un peu de plastique pour faire la jointure). En termes de gestion, la rivière des Galets ne semble donc pas une priorité car les pêcheurs sont, d'une part, très contraints par le manque d'eau ce qui limite leur activité de pêche et, d'autre part, ils ont des pratiques qui respectent la charte de bonne pratique de l'Etat. Les pêcheurs sur la rivière des Marsouins sont peu visibles contrairement à leurs installations de pêche. Ils sont méfiants comme sur la rivière des Roches mais restent plus accessibles, notamment ceux qui pêchent dans les installations secondaires. L'atout de cette rivière est qu'il est possible d'y rencontrer des pêcheurs professionnels qui pêchent en mer et en rivière. Cette information est intéressante dans la mesure où les pêcheurs en mer sont souvent insaisissables.

Nous avons pu recueillir le ressenti des pêcheurs sur les rivières pilotes concernant la démarche de l'Etat, en particulier sur la rivière du Mât. Nous analysons ici leurs discours.

1. Rivière du Mât : Une coopération qui profite aux uns et contraint les autres

Nous avons rencontré les deux groupements de pêcheurs présents sur la rivière du Mât soit la fédération des pêcheurs en 2014 et l'APPE (association) à plusieurs reprises entre 2015 et 2016. L'APPE, plus récente historiquement, a fait valoir son droit d'occuper une partie de la rivière, après plusieurs années de combat, utilisant en partie des médias pour faire pression sur les politiques et l'Etat. L'APPE était tolérée par la fédération des pêcheurs jusqu'au jour où l'Etat a contraint les pêcheurs à répartir équitablement l'eau entre canal, tout en laissant un débit réservé pour la reproduction. La mise en conformité de l'activité sur la rivière du Mât a donc contraint la fédération de pêche à réorganiser son activité en réduisant la part d'eau qu'elle utilisait. Une partie est aujourd'hui octroyée à l'APPE et aux canaux de reproduction que tous les pêcheurs sont tenus de respecter.

Il ressort du discours des deux interlocuteurs principaux avec qui on s'est entretenu que la démarche de l'Etat a été profitable à l'APPE, aujourd'hui reconnue par l'Etat, mais que cette démarche a été contraignante pour la fédération, qui a perdu une partie de l'eau qu'elle se réservait pour pêcher.

- Représentant de la Fédération des pêcheurs de bichiques, 30.12.2014

L'objectif de la fédération est de faire le lien entre toutes les rivières pour conserver l'aspect traditionnel de la pêche. Le ressenti de notre interlocuteur sur la démarche de l'Etat est méfiant et critique. Premièrement, la légitimité des autres pêcheurs est soulevée. L'Etat leur a imposé ces « personnes-là » alors qu'elles pêchent dans le canal historiquement réservé à la reproduction. Il explique que la direction de la mer avait imposé à la COBIMAT, ancienne fédération, de ne pas toucher à ce canal. La démarche de terrain de la DEAL en 2014 est ensuite critiquée. La DEAL n'aurait pas joué le jeu : « **la pêche traditionnelle, comment vous la voyez comment vous la sentez, fallait partir de là** ». Il explique que la DEAL a été ferme « **en disant on vous donne deux choix, soit vous vous pliez aux règles ou sinon vous arrêtez. Le choix est vite fait** ». Son discours accuse l'Etat d'être autoritaire et de ne pas reconnaître leur spécificité à la rivière du Mât. Selon lui, l'Etat voulait depuis longtemps contrôler cette économie souterraine et a trouvé « **le moyen de mettre son nez dedans** ». Il souhaite que l'Etat surveille le braconnage et dit ne pas pouvoir « **pêcher, faire la police et l'écologie** ». En effet nous savons que l'Etat a demandé aux pêcheurs de surveiller leur canal du braconnage et de faire un suivi de l'efficacité du canal de reproduction, ce qui leur pose problème. D'une part, ils disent ne pas être des scientifiques et expliquent d'autre part que la police de l'eau leur répond que ce n'est pas dans leur compétence de verbaliser. Il explique que le maire de Bras Panon les aurait beaucoup défendus sur ce point. Son plus gros problème est que l'Etat s'oppose

à l'estacade mais tolère le barrage de Bengalis. Si les espèces passent le barrage haut de 4,5 m, elles peuvent passer la petite estacade. Nous constatons que les pêcheurs et les aménageurs « se renvoient la balle » sur ce problème de continuité écologique. Il évoque enfin les efforts que leur fédération a fait pour garder leur estacade, soit de les retirer hors période de pêche. Et il mentionne le coût élevé du dossier loi sur l'eau, qu'ils ont dû financer. La menace de rompre le dialogue est envisagée avec la DEAL et la sous-préfecture en 2014, « si la DEAL devient de plus en plus difficile ».

Il est important de rappeler que ce discours était tenu fin 2014 en pleine négociation et que la situation a évolué favorablement puisque les pêcheurs des deux associations se sont vus délivrer une autorisation de pêche. Ajoutons que les témoignages positif de la DEAL et de la sous-préfecture recueillis en 2016, font état d'une situation moins conflictuelle.

- Les représentants de l'APPE, 2015.2016

Le discours des membres de l'APPE sur la démarche de l'Etat est positif. Ils évoquent le monopole passé de la fédération qui s'est fortement enrichie avant qu'ils arrivent. Leur présence dans l'ancien canal de reproduction est aujourd'hui bénéfique pour l'environnement disent-il, car le canal est de nouveau en eau. Cette remarque suggère que les pêcheurs de la fédération détournaient l'eau du canal de reproduction et donc qu'il n'était pas fonctionnel. Le discours varie entre les pêcheurs du groupe APPE en fonction de leur ancienneté. Les plus anciens évoquent la réconciliation progressive des deux camps « On a ouvert notre association, on veut être comme eux. Maintenant ils ont compris » et ils envisagent de créer une fédération à l'échelle de l'île « on se regroupe on arrête de faire la guerre ». Ainsi comme la fédération, l'APPE souhaite créer une fédération à l'échelle de l'île, encore faudrait-il qu'ils arrivent à s'entendre à l'échelle de la rivière. Ce qui s'avère plus difficile car il est prévu que le débit à l'embouchure de la rivière du Mât s'affaiblisse avec le transfert des eaux d'Est en Ouest. Ainsi, le partage de l'eau devrait continuer à être une source de conflit. D'autres pêcheurs plus jeunes montrent leur mécontentement face à l'Etat qui ne les aide pas à surveiller le braconnage très présent sur la rivière du Mât. Les appels pour signaler une infraction sont sans retour, disent-ils. Faire la police soit même est très dangereux.

Nos deux interlocuteurs, au sein de la fédération et de l'APPE disent qu'ils vont respecter les mesures de la DEAL et qu'ils vont remplir la feuille de déclaration des captures. Leur crainte est que la vente devienne difficile et ils ne comptent pas s'y résoudre. **Ainsi, nous pouvons craindre que l'Etat rencontre des difficultés pour mettre en œuvre le point n°5 du plan**

d'action, à savoir le contrôle de la commercialisation. Enfin notre interlocuteur de l'APPE reconnait que sa médiatisation l'a aidé à se faire entendre auprès de la DEAL et de la préfecture.

2. Rivière des Roches : la rive gauche parle, la rive droite reste muette

La rivière des Roches sépare les communes de Bras Panon et de Saint Benoît. Nous avons réalisé des entretiens sur la commune de Bras Panon mais nous en sommes restés au stade de la discussion sur la commune de St Benoît. Le travail de la DEAL sur cette rivière était peu avancé entre 2014 et 2016, ainsi les mesures de la DEAL n'ont pas été commentées par les pêcheurs, peu au fait de ce qui se prépare.

- La rive gauche, la commune de Bras Panon

La commune de Bras Panon héberge l'association les Pin Pin Panonais, qui représente et défend la pêche traditionnelle des bichiques sur la rivière des Roches. Elle s'oppose aux pratiques de pêche employées sur les berges de Saint Benoit, où les canaux sont en « big bag ». L'association répète que « **les pêcheurs sont en train de tout détruire, qu'il faut retirer les « big bag et arrêter la pêche un an** ». Nos deux interlocuteurs au sein de l'association les Pin Pin sont des anciens pêcheurs qui alertent depuis 20 ans sur les risques de voir disparaitre les bichiques, ce qui souligne que la situation de la pêche était déjà critique à cette époque. L'association organise chaque année la fête des bichiques pour sensibiliser la population, à laquelle sont conviés le maire de Bras Panon, la sous-préfète de St Benoit et l'ARDA. Cet évènement est une opportunité de rencontre et d'échanges entre les différents acteurs.

L'activité de pêche existe sur la rive de Bras Panon mais l'association n'a pas vocation à fédérer ces pêcheurs. Il n'y a pas d'organisation de la pêche sur cette rive. Une association de pêcheurs existait mais s'est dissoute car les rendements de la pêche étaient trop faibles. Sur cette rive et d'après l'association, les pêcheurs auraient accepté de retirer les « big bag » mais ne seraient pas prêts à laisser un canal de reproduction. En effet, il faudrait que l'ensemble des pêcheurs sur la rivière se mettent d'accord pour restaurer un canal central. L'association représente donc un moyen d'interagir avec la communauté des pêcheurs sur la rive de Bras Panon.

L'association nous a d'ailleurs mis en contact avec l'un des plus vieux pêcheurs de la rivière, qui aurait notamment créé l'association des pêcheurs qui s'est dissoute. Il travaille à la mairie de Bras Panon. Son expérience lui a permis d'intervenir dans les discussions avec l'Etat sur l'établissement de la charte des bonnes pratiques. En tant que pêcheur, il nous explique qu'il est en faveur d'une règlementation mais qu'il ne valide pas entièrement la charte. Selon lui, il y a deux problèmes. D'une part les pêcheurs ne peuvent pas utiliser des vouves de 80 cm dans la rivière des Roches. En effet, comme nous l'avons expliqué, l'embouchure est plus profonde et nécessite des

vouves de plus grandes tailles. Toutefois, ce sont les pêcheurs qui entretiennent la profondeur du canal. D'autre part, il explique que l'on ne fabrique pas les vouves avec du vacoa, comme demandé par l'Etat. Il faut corriger cette erreur dans la charte. Selon lui, l'Etat a mal compris. En effet, comme nous l'avons décrit précédemment, on tresse les vouves avec des feuilles de cocotiers (*Cocos nucifera*), des feuilles de lataniers (*Latania lontaroides*) ou de raphia (*Raphia ruffia*). Et on utilise le vacoa (*Pandanus utilis*) pour raccorder l'ensemble de la structure. Ainsi, nous voyons que les pêcheurs sont en droit de critiquer parfois l'Etat sur ces lacunes. La concertation est donc indispensable.

- La commune de St Benoit

Nous avons rencontré l'APBRR (Association des Pêcheurs de Bichiques de la Rivière des Roches), laquelle aurait été créée en 1992 pour faire face à la loi du plus fort qui régnait dans la rivière. La pêche ne serait plus le privilège de quelques familles mais ouvert à un plus grand nombre. L'association est pour le retrait des « big bag » qui polluent et pour la mise en place d'une règlementation. Notre interlocuteur explique que la diminution des bichiques l'a conduit à créer l'activité des emplois verts : les pêcheurs se sont reconvertis et entretiennent aujourd'hui le littoral de la commune et les berges de la rivière. Lui, ne pêche plus depuis 2005. On peut penser que l'activité de pêche était rentable en 1992 mais que la situation s'est dégradée en 13 ans. Des pêcheurs auraient donc arrêté la pêche car une opportunité d'emploi se présentait à eux. Notre interlocuteur explique que « **maintenant qu'il y a moins de pêcheurs, le maire pourrait s'impliquer sans trop de risque** ». En effet, nous pouvons constater que la commune de St Benoit n'a pas fait retirer les « big bag » sur la rive droite. L'activité de pêche est cependant toujours bien développée sur la rive droite mais non structurée en association. Ces pêcheurs expliquent que beaucoup ont quitté le milieu car les travaux en rivière n'étaient pas autorisés sur la rive droite contrairement à la rive gauche. On peut donc penser que l'entretien manuel des canaux devenait trop difficile ce qui a contraint les pêcheurs à utiliser des « big bag » pour continuer à pêcher. Les décisions des communes influenceraient donc fortement l'évolution des pratiques dans cette rivière. Enfin, les pêcheurs sur cette rive étaient fermés à la discussion. C'est le seul site où nous avons dû acheter notre échantillon de bichiques. Il est probable que l'activité y soit encore très rentable. Nous y avons notamment rencontré un bazardier avec de nombreux paniers vides (chacun pouvant contenir 60 kg). **Ces pêcheurs seraient pour la plupart au chômage, ce qui suggère que la négociation avec l'Etat ne sera pas facile, dans la mesure où ils n'ont pas d'activité secondaire.**

3. Rivière de Langevin : où sont passés les bichiques ?

Sur la rivière Langevin, les interlocuteurs étaient peu nombreux et la pêche rarissime entre octobre 2014 et février 2016. L'Etat et la Fédération de pêche nous ont confirmé que la démarche

de l'Etat était avancée sur cette rivière. Nous pensons que le faible recrutement a facilité la coopération entre les acteurs. Un des pêcheurs, inscrit aux affaires maritimes, a reconnu qu'il ne déclarait que la moitié de ces captures. Ce qui suggère que l'Etat ne doit pas négliger l'impact de la pêche professionnelle.

4.3 Discussion sur la démarche de mise en conformité des pêcheries de bichiques

L'Etat français est en passe de réglementer l'activité de pêche jusqu'alors informelle des bichiques à l'île de La Réunion. Cette démarche de régularisation de l'activité a été motivée par la Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE, 2000). Elle définit un cadre de référence pour la gestion et la protection des eaux par grands bassins hydrographiques. Les dispositifs SDAGE et SAGE sont des outils de mise en œuvre de cette politique de gestion de la ressource en eau, à l'échelle d'un grand bassin hydrographique. Le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) pour le bassin Réunion a identifié les pêcheries de bichiques dans les embouchures de rivières, les obstacles à la montaison et à la dévalaison des espèces et l'absence du maintien d'un débit minimum en période d'étiage, comme des perturbations de la continuité écologique des cours d'eau.

Dans ce contexte, l'Etat a entamé une démarche de régulation de l'activité en 2012 sur trois rivières pilotes, Mât, Langevin et Roches. Un plan de gestion a été élaboré en concertation avec les différents services de l'Etat. La sous-préfecture porte le dossier et coordonne les démarches entre les différents services de l'Etat associés sur ce dossier. La DEAL principalement et la DMSOI, pilotent le plan d'action. Les pêcheurs ont été consultés pour élaborer la charte des bonnes pratiques de pêche, et ont contesté certaines mesures. Sur la demande des pêcheurs, l'Etat a fait des concessions et autorisé notamment l'usage des estacades sur la rivière du Mât, sous certaines conditions. Actuellement, la démarche de coopération est avancée sur les rivières du Mât et de Langevin car les pêcheurs sont regroupés en association et fédération ce qui facilite la concertation entre les acteurs. Ce n'est pas le cas sur la rivière des Roches où l'absence d'interlocuteurs officiels ralentit la procédure de régularisation. **Nous suggérons que l'Etat qui envisage d'étendre la procédure à l'ensemble des rivières de l'île, intervienne en priorité sur la rivière St Etienne, la rivière des Remparts et la rivière des Pluies, et ce d'autant plus que les pêcheurs sur la rivière St Etienne ont manifesté leur volonté de coopérer. Par ailleurs, nous pensons que le faible débit d'eau aux embouchures sur les rivières de l'Est et des Galets, et la conformité des pratiques de pêche sur la rivière des Galets avec la charte des bonnes pratiques, n'en font pas des sites prioritaires pour engager des actions.** De plus, la procédure de régulation de la pêche sur la rivière de l'Est serait peu légitime sachant que le barrage hydroélectrique sur cette

rivière constitue un obstacle d'envergure. La mise en conformité des pêcheries sur les rivières des Roches et des Marsouins constitue un enjeu de taille après la rivière du Mât car la pêche y est très développée et non structurée. Le plan de gestion devra probablement s'adapter à la spécificité de ces embouchures plus profondes, aux multiples pratiques (pêche en parc, canaux en galets, canaux en « big bag », zone de pêche en amont des premières installations de pêche). D'ailleurs le SDAGE 2016-2021 prévoit de décliner des actions adaptées aux différents contextes des embouchures.

A l'échelle de l'île, la démarche de l'Etat rencontre des blocages d'ordre administratif. La limite de salure des eaux départage le domaine fluvial du domaine maritime au sein de l'embouchure et contraint l'Etat à proposer dans son plan d'action deux statuts de pêcheurs à pied suivant qu'ils pêchent en amont ou en aval de cette limite. Un statut de pêcheur à pied amateur sera attribué dans le domaine fluvial et un statut de pêcheur à pied professionnel sera attribué dans le domaine maritime. Un troisième statut de pêcheur en mer professionnel existe déjà pour ceux qui pêchent avec un filet moustiquaire dans l'océan. Nous pouvons comparer le plan de gestion des bichiques à celui des anguilles en France, qui présente de fortes similitudes (Plan de gestion anguille de la France 2015). Il existe trois statuts de pêcheurs : pêcheur professionnel maritime, pêcheur professionnel en eau douce et pêcheur de loisir. Les différences sont que les pêcheurs de loisir peuvent pêcher en mer et en eau douce mais aussi qu'ils ne peuvent pêcher que le stade « anguille jaune » alors que les professionnels peuvent pêcher l'anguille jaune, l'anguille argentée et la civelle. L'exercice de la pêche professionnelle est limité suivant les façades maritimes et les stades biologiques de l'espèce. Concernant la pêche des cabots bouche ronde, le stade adulte est interdit à la pêche et le stade bichique est autorisé à la pêche en rivière et mer. Mais un problème se pose pour la pêche des bichiques dans la mesure où d'une part, l'obtention du statut de pêcheur à pied professionnel est plus contraignante que le statut amateur car il faut suivre une formation et payer une cotisation et d'autre part, il est impossible à ce jour de créer ce statut de professionnel à pied à La Réunion, en raison d'un blocage administratif. Les pêcheurs professionnels ne pourront pas régulariser leur activité dans les mêmes délais que les pêcheurs amateurs. Et tandis que ce statut de pêcheur à pied professionnel légalise la vente des bichiques, celui d'amateur ne le permet pas. Les pêcheurs à pied suivant la localisation du site de pêche dont ils ont hérité, en amont ou en aval de la limite de salure des eaux, ne pourront donc pas tous se voir attribuer un statut professionnel pour légaliser leurs ventes. Il faut donc s'attendre à ce que la vente illégale se poursuive dans la mesure où l'activité s'exerce principalement pour les bénéfices économiques qu'elle génère. D'ailleurs, la vente illégale de civelles en France est importante sur toutes les façades de l'Hexagone, bien que la pêche des civelles soit interdite aux pêcheurs de loisir et qu'elle soit limitée par des quotas pour les professionnels (ONEMA 2010). De plus, le partage administratif des cours d'eau

limite les contrôles de pêche car la brigade nature ou les garde pêche sont autorisés à contrôler dans le domaine fluvial mais non autorisés dans le domaine maritime où se pratique en grande partie l'activité de pêche, que peut contrôler la brigade nautique. En métropole, c'est l'Onema qui contrôle la pêche de l'anguille dans le domaine fluvial et d'autres agents qui contrôlent la pêche en mer. Les différents agents peuvent donc difficilement sanctionner les mauvaises pratiques et le braconnage qui sévit sur les rivières, s'ils constatent des infractions dans le domaine où ils ne sont pas compétents. Or, les pêcheurs qui entrent dans un processus de coopération souhaitent en retour que l'Etat sanctionne ceux qui ne respectent pas les règles et qu'il surveille le braconnage en amont, car celui-ci affecte la pêche des bichiques en aval. Comme les moyens de surveillance restent faibles actuellement, les pêcheurs ont peu d'intérêts à coopérer dans la mesure où d'autres prélèvent la ressource sans se soucier des règles. Cependant, l'intervention de l'Etat dans la rivière du Mât a permis d'apaiser les conflits pour le partage de l'eau entre les deux groupes de pêcheurs, ce qui constitue probablement une avancée pour eux.

Nous voyons aussi que le plan d'action de l'Etat qui cible la pêche à pied, contrarie les pêcheurs en rivière qui dénoncent l'impact de la pêche en mer. Une dizaine de pêcheurs professionnels en mer sont autorisés à pêcher le bichique mais ils ne déclarent pas leurs prises, ce qui est contraire à la délivrance d'une autorisation. De plus, nous savons que les pêcheurs au filet moustiquaire sont plus nombreux que 10, probablement plus de 200, ce qui constitue une pression de pêche importante en mer qui affecte la ressource et le rendement de la pêche en rivière. L'Etat devrait donc renforcer le contrôle de la pêche en mer, en même temps que celui de la pêche en rivière. Cependant, nous comprenons que la régularisation de la pêche des bichiques cible les pêcheries en rivière car la priorité de l'Etat est de mettre en œuvre la Directive Cadre sur l'Eau dont l'une des priorités est de restaurer la continuité écologique des cours d'eau, c'est-à-dire la continuité hydraulique, morphologique et biologique. Le plan de gestion des pêcheries n'a donc pas pour objectif de sauvegarder le bichique à La Réunion, menacé en mer et en rivière, mais de limiter les impacts des pêcheries dans les embouchures, ce qui doit profiter à l'ensemble des espèces dulçaquicoles. Mais si le plan de gestion de la pêche avait pour vocation de sauvegarder le bichique, il devrait prendre en compte les différentes menaces qui pèsent sur l'espèce aux différents stades de son cycle de vie, comme cela se fait pour la sauvegarde de l'anguille en Europe (Duheca et al., 2009). En effet, les barrages lors de la migration des juvéniles ou lors de la dévalaison des pro-larves, le braconnage sur les adultes ainsi que la pêche en mer, constituent des pressions qui participent à la raréfaction des bichiques et s'ajoutent à l'impact de la pêche en rivière. Toutefois, des études scientifiques sont en cours sur les aptitudes à la migration des juvéniles de *C. acutipinnis et S. lagocephalus*, afin de développer des passes à poisson adaptées. Et le SDAGE 2016-2021 indique que des passes à

bichiques ont été installées sur les prises ILO (le projet d'Irrigation du Littoral Ouest). Enfin, deux listes de cours d'eau ont été arrêtées par le préfet de La Réunion fin 2015, visant à préserver certains cours d'eau de toute nouvelle atteinte à la continuité et à restaurer la continuité sur des ouvrages existants dans un délai de 5 ans. Ainsi, même si le plan de gestion de la pêche des bichiques n'a pas pour vocation de prendre en compte l'intégralité des pressions qui pèsent sur les espèces de bichique, le SDAGE dans lequel cette action de régularisation est inscrite, s'y engage partiellement. L'ensemble des études scientifiques réalisées sur *S. lagocephalus* et *C. acutipinnis* pourraient être utilisées par le SDAGE qui prévoit de décliner des actions adaptées aux différents contextes des embouchures. L'étude que nous avons menée en écologie fournit notamment des éléments de compréhension sur la variabilité spatio-temporelle du recrutement de *S. lagocephalus* à l'échelle de l'île, pour identifier les secteurs favorables au recrutement. Mais nous pensons qu'il faut tenir compte des impacts cumulés sur chaque rivière pour évaluer les sites « sources » et « puits » de l'île. En effet, certains sites moins favorables au recrutement peuvent s'avérer essentiels au maintien des populations de cabots sur l'île car les obstacles à la migration y sont plus réduits. Il serait intéressant de mener des études pour quantifier la productivité en pro-larves des rivières, à travers l'étude du rapport du nombre d'individus à la montée sur le nombre d'individus à la descente. La BICHICAM[32] a été développé récemment et pourrait être utilisée à l'avenir pour quantifier le recrutement (Boussarie et al., 2016). Des filets à plancton pourraient être utilisés en rivière lors de pêches expérimentales, pour quantifier la dévalaison des pro-larves, comme cela a été réalisé dans l'étude de Lagarde et al. (2016). Enfin, il faut envisager que la localisation des sites favorable au recrutement évolue, car d'une part, depuis 2014, une partie du débit des rivières de l'est est transférée à l'ouest (Projet ILO), et parce que, d'autre part, l'évolution du climat entraîne une modification des températures de l'océan et donc de la circulation océanique (Collins et al., 2007).

Actuellement, la mise en œuvre de la DCE dans le bassin hydrographique de La Réunion représente une opportunité de diminuer l'impact de la pêche en rivière qui devrait bénéficier à l'ensemble des espèces migratrices. Le SDAGE 2016-2021 prévoit de finaliser la démarche de régularisation de la pêche traditionnelle sur les rivières pilotes puis de généraliser cette régularisation à toutes les pêcheries de l'île. Cependant, il faut s'attendre à ce que le déclin des bichiques se poursuive dans la mesure où le renforcement du contrôle de la pêche en mer n'est pas envisagé et la non fonctionnalité de la plupart des passes à poisson entraîne une forte mortalité (Lagarde et al., 2015, 2016).

[32] BichiCAM : un système de suivi vidéo sous-marin automatisé pour l'étude de la dynamique migratoire des espèces diadromes benthiques dans les cours d'eau

IV. Conclusion

Notre étude sur la pêche traditionnelle des bichiques à l'île de La Réunion montre que l'activité est ancestrale, originaire de Madagascar et importée sur l'île par les premiers esclaves malgaches en 1643. Considéré autrefois comme le plat du pauvre, le bichique est devenu un emblème local, comme le dodo l'est devenu à l'île Maurice. La simplicité technique de la pêche et les remontées autrefois massives et régulières des bichiques, ont permis d'assoir la notoriété de l'activité, aujourd'hui inscrite dans le patrimoine culturel de l'île.

Alors qu'à l'origine, la pêche des bichiques était une pêche de subsistance, celle-ci est devenue une pêche récréative et de profit. Le prix de vente des bichiques a significativement augmenté entre 1967 et 2016 pour atteindre 80 € le kilo en 2016. La rentabilité de la pêche s'est accrue car la demande des consommateurs a augmenté face à l'augmentation de la population réunionnaise et la raréfaction progressive des bichiques. Il n'est pas possible d'évaluer précisément la diminution du recrutement larvaire car les données sur les captures de bichiques sont partielles. Seuls les pêcheurs en mer qui possèdent un statut de professionnel sont tenus de déclarer leurs prises. Etant donné que la pêche des bichiques se pratique traditionnellement à pied dans les embouchures de rivières, elle reste majoritairement informelle. Il est admis que le recrutement larvaire s'est affaiblit au cours du temps car les textes anciens font état de remontées spectaculaires en 1837, qu'il n'est plus possible d'observer actuellement. Notre étude révèle que les captures en rivière s'élèvent à plus de 11 tonnes en 2014, à plus de 17 tonnes en 2015 et à environ 1 tonne 5 dès février 2016. Ces déclarations ne comprennent pas les captures faites en mer ce qui indique que ces estimations restent sous-estimées.

Nos résultats démontrent une augmentation du nombre de pêcheurs en rivière de 72 % en 29 ans, de 1987 (255) à 2016 (440). La population de pêcheurs en rivière a augmenté de 5 % de 1998 à 2015, alors qu'elle avait augmenté de 63 % entre 1987 et 1998, ce qui suggère que la pêche en rivière était encore très rentable à la fin du XXème siècle. Depuis, il semblerait que la pêche en rivière s'enlise dans des conflits engendrés par le manque d'eau, la forte concurrence, les empoisonnements et le braconnage.

En parallèle, les pratiques de pêche en rivière ont évolué pour s'adapter à la concurrence, renforcée par la diminution du recrutement, l'augmentation du nombre de pêcheurs et l'affaiblissement significatif du débit des rivières aux embouchures. Les photographies aériennes de l'IGN révèlent notamment l'évolution de l'emprise urbaine sur l'île et sur le lit des rivières entre 1950 et 2017 ainsi que les transformations morphologiques des embouchures consécutifs à la réduction des débits, aux aléas climatiques et au déploiement de la pêche et de ses nouvelles

pratiques. L'engin de pêche le plus traditionnel, le goni, est en passe de disparaître. Les vouves en fibres végétales biodégradables ont été remplacées, sur de nombreux secteurs, par des nasses métalliques qui permettent d'encaisser une plus grande quantité de bichiques et qui résistent à l'usure. Des canaux de pêche en « big bag », plus résistants aux intempéries, remplacent depuis les années 2000 les traditionnels canaux en galets, sur les rivières des Roches et des Marsouins. La pêche en mer, au filet moustiquaire, est plus sportive, moins contraignante et serait plus rentable que la pêche en rivière, au regard des coûts et bénéfices. Il faut en effet posséder un territoire de pêche en rivière ou l'acheter, alors que la pêche en mer offre la possibilité d'être pratiquée occasionnellement sans s'embarrasser de l'entretien d'un canal. Cette activité de pêche au filet moustiquaire serait apparue à La Réunion dans les années 1970. Le nombre de pêcheurs en mer est aujourd'hui estimé à 230 individus. L'effort de pêche s'est donc intensifié en rivière et en mer.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) à La Réunion, à travers le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) élaboré pour le bassin Réunion, l'Etat français s'est engagé depuis 2012 à régulariser les pêcheries de bichiques qui constituent un obstacle à la continuité écologique des cours d'eau. La mise en conformité de l'activité de pêche prévoit la création de statuts de pêcheurs à pied en rivière, qui départagera la pêche dans le domaine fluvial et le domaine maritime. Il sera permis de pratiquer la pêche de façon récréative, au-dessus de la limite de salure des eaux, avec un statut de pêcheur amateur. Et il sera permis de pêcher en aval de la limite de salure des eaux et de vendre le produit de sa pêche, avec un statut de pêcheur à pied professionnel. Mais des blocages d'ordre administratif empêchent actuellement la création du statut de pêcheur à pied professionnel et la situation géographique de la pêche à pied qui se pratique à l'interface du domaine fluvial et maritime limite la surveillance de la pêche. Le SDAGE représente une opportunité de réduire les impacts sur les populations de cabot bouche ronde à l'échelle de l'île en réduisant l'impact des pêcheries sur le recrutement des post-larves en rivière ainsi que l'impact des obstacles (barrage par exemple) à la migration des juvéniles à la montaison et des pro-larves à la dévalaison.

La démarche interministérielle de l'Etat pour régulariser la pêche et la volonté d'intégrer les pêcheurs à la gestion sont les points forts du plan d'action. Les faibles moyens humains pour contrôler le braconnage en rivière et en mer en sont les points faibles. Il faut s'attendre à ce que le déclin des bichiques se poursuive tant que le renforcement des contrôles à l'échelle de l'île n'est pas envisagé et que les passes à poisson au niveau des obstacles en rivière ne sont pas fonctionnelles. Le SDAGE 2016-2021 prévoit cependant de restaurer la continuité écologique sur les ouvrages existants, dans un délai de 5 ans, ce qui devrait être très favorable pour l'ensemble des espèces habitants les milieux dulçaquicoles et d'interface.

CHAPITRE 3.

Le socio-écosystème

Dans ce dernier chapitre, nous synthétisons la cascade des processus en jeu dans la diminution manifeste du recrutement larvaire et nous proposons une modélisation théorique du socio-écosystème dans lequel s'insère le bichique, afin de communiquer sur la nécessité de réguler la pêche et sur la responsabilité partagée des acteurs du socio-écosystème (pêcheurs, consommateurs, politiciens, aménageurs, gestionnaires, etc.) dans les dérèglements écosystémiques que l'on observe aux embouchures.

I. L'embouchure, un écosystème de transition sous haute pression

1. Confluence des pressions anthropiques à l'embouchure

La « trame verte et bleue » (TVB) se définit comme un réseau formé de continuités écologiques terrestres et aquatiques. C'est un outil au service de la protection des espaces naturels qui prend en compte le fonctionnement écologique des écosystèmes et des espèces dans l'aménagement du territoire. Les continuités écologiques sont définies par le Ministère de l'écologie comme « l'**ensemble des zones vitales (réservoirs de biodiversité) et des éléments (corridors écologiques) qui permettent à une population d'espèces de circuler et d'accéder aux zones vitales** ». A l'origine, le concept de continuité écologique a été introduit par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE 2000/60/CE), puis transposé ensuite dans la législation française. La définition générale entend la libre circulation des espèces dans nos rivières et le bon déroulement du transport sédimentaire.

A La Réunion, les embouchures ont été identifiées comme des corridors écologiques, au sein de « la trame eaux douces et saumâtres » (DEAL 2014). Cette sous-catégorie a été définie de façon à intégrer la notion de connectivité et d'interface entre les milieux d'eaux douces et les milieux marins. Les embouchures réunionnaises sont notamment des zones de transition entre la rivière et l'océan où transitent les organismes diadromes, comme les bichiques. A La Réunion, il est cependant fréquent que les embouchures se colmatent avec l'affaiblissement du débit de la rivière et les plus fortes houles en hiver. La morphologie d'une embouchure évolue donc sous l'influence du débit de la rivière et du déferlement des vagues, ce qui conditionne l'ouverture de cet écosystème sur l'océan. Les continuités hydraulique (eau), biologique (espèce) et morphologique (sédiment) de certains cours d'eau, comme définies par le code de l'environnement, peuvent ainsi naturellement être altérées (DEAL et al., 2011). Des études suggèrent que ces processus naturels d'ouverture puis de fermeture sont essentiels au maintien de la biodiversité (Abrantes et Sheaves, 2010 ; Elliott et Whitfield, 2011 ; Whitfield et al., 2008).

Cependant, les barrages hydroélectriques, les radiers et les captages d'eau pour la population ou l'agriculture, altèrent durablement la continuité écologique, en amont des cours d'eau, ce qui se

répercute aux embouchures à travers l'affaiblissement des débits. En conséquence, ces zones d'interface se ferment de façon durable car le débit réservé par les aménageurs est souvent insuffisant pour maintenir une continuité hydraulique jusqu'à l'embouchure. D'autres menaces de type chimique et micropolluants, non intégrées dans la trame verte et bleu (TVB), altèrent également le bon état de ces corridors, sans que nous puissions véritablement en mesurer l'impact. L'embouchure qui constitue la portion la plus aval du cours d'eau, concentre ainsi toutes les pollutions drainées depuis l'amont, telles que les eaux usées et les engrais utilisés en agriculture. Il est d'ailleurs reconnu que les écosystèmes estuariens dans le monde font partie des zones naturelles les plus exposées aux pressions anthropiques (Elliott 2011 ; Elliott et Whitfield, 2011). Un déclin général de la qualité des écosystèmes dulçaquicoles est notamment observé depuis les années 1980 à La Réunion (Richarson et al., 2009). La donnée « pressions » sur ces milieux d'interface reste cependant très lacunaire comme pour l'ensemble du littoral réunionnais (CETE méditerranée, 2012).

La pêche des bichiques qui se pratique directement dans cette zone d'interface, constitue une source de pollution côtière, et un obstacle à la continuité biologique (DEAL et al., 2011). La pêche exerce une pression majeure sur les populations de cabots bouche ronde, déjà menacées par les barrages et la destruction des habitats en rivière. Notre étude soutient notamment que les pratiques de pêche sont aujourd'hui plus impactantes pour le milieu et que l'effort de pêche est plus important qu'il y a 20 ans. Il faut souligner que l'affaiblissement significatif du débit aux embouchures, pour répondre aux besoins de la population, a contribué à l'apparition de pratiques non durables et au renforcement de l'effort de pêche. La situation de la pêche s'est donc fortement dégradée face à l'augmentation des pressions humaines à l'échelle du bassin versant et face au déclin des bichiques auquel elle a contribué.

2. La tragédie des biens communs

« La tragédie des biens communs » est un concept développé par Hardin 1968, qui décrit comment l'intérêt personnel entraîne une surconsommation de la ressource commune au détriment de tous. Cette idée s'applique particulièrement bien au secteur de la pêche où de nombreux stocks et activités associées, se sont effondrés suite à la surexploitation halieutique. Une étude sur les pêcheries internationales suggère notamment que les stocks partagés sont plus enclins à une surexploitation (McWhinnie 2009). Comme le prédit la théorie économique standard, les pêcheurs utilisant une ressource commune à accès libre, seront confrontés à un dilemme : si les pêcheurs individuels acceptent de limiter leurs prises aujourd'hui pour s'assurer d'un meilleur rendement à l'avenir, ils ne peuvent jamais être sûrs que les prises qu'ils viennent d'abandonner ne seront pas

immédiatement capturées par des pêcheurs concurrents (Kraak 2011). Cette idée se retrouve dans le témoignage des pêcheurs de bichiques qui déplorent la très forte concurrence et le braconnage. En effet, la pêche des bichiques, emblématique sur l'île, historiquement source de revenus, de nourriture et d'échanges festifs, s'apparente aujourd'hui aux conflits d'intérêts qu'elle génère. Le difficile partage de l'eau douce entre les pêcheurs de rivière ainsi que le conflit pour l'accès à la ressource en bichique qui opposent les pêcheurs en rivière et en mer, illustrent ce concept de *tragédie des biens communs*.

Le premier dilemme auquel les pêcheurs « rivière » sont confrontés, c'est le respect du canal de reproduction. Ce canal d'eau central doit être libre de toute pêche pour laisser une partie des espèces diadromes migrer, afin de soutenir la reproduction des adultes qui se fait en rivière. Cette règle était traditionnellement respectée lorsque les ressources en eau et en bichiques n'étaient pas limitantes. Désormais, avec la concurrence, les pêcheurs à l'embouchure n'ont aucun intérêt à fournir un effort qui profiterait aux braconniers positionnés en amont de leurs installations de pêche. Il est toutefois difficile de condamner ces « braconniers » qui n'ont pas hérité d'un canal de pêche et qui souhaitent comme tout le monde continuer à accéder à cette ressource.

Le second dilemme auquel les pêcheurs en rivière sont confrontés, c'est la forte concurrence qui s'opère avec les pêcheurs à la moustiquaire en mer. Ces derniers sont accusés de piller la ressource au détriment de ceux qui attendent dans les canaux. Les pêcheurs « rivière » se partagent alors difficilement la plus faible quantité de bichiques qui remonte, après que les pêcheurs à la moustiquaire se soient servis dans l'océan. Et, face à l'Etat, ils expriment l'injustice dont ils se sentent victimes : les pêcheurs en rivière doivent faire des concessions dans le cadre de la mise en conformité de l'activité de pêche, tandis que les pêcheurs à la moustiquaire ne sont pas pour l'instant inquiétés. Ces éléments constituent la plus grande forme de résistance des pêcheurs avec lesquels l'Etat devra composer.

A l'échelle d'une ligne de pêche, la concurrence entre les canaux de pêche se résout à « coups de javel ». En effet, comme les captures et donc les gains de chaque équipe attisent la jalousie et les soupçons de ceux qui n'ont rien attrapé, il semble qu'il soit coutume voire bon enfant de léser ainsi son voisin comme en témoignent les pêcheurs. Toutefois, cela sous-entend que c'est une pratique commune dont les pêcheurs tentent de minimiser la gravité alors même qu'elles peuvent conduire à l'éradication durable de la vie dans une portion du cours d'eau comme cela s'est produit dans les rivières de St Etienne et de Langevin, fortement impactées par des empoisonnements.

Ainsi, l'importance économique du bichique conduit à l'acceptation de pratiques non durables au sein de la pêche qui amplifient les pressions s'exercant sur la ressource et donc sur

l'activité traditionnelle qui en dépend. Il est donc devenu impératif de contrôler cette activité informelle qui ne respecte plus les codes traditionnels, d'autant que la population de pêcheurs a augmenté. Or, dans le cas d'une ressource accessible à tous, l'augmentation du nombre d'individus est négativement corrélée au succès d'une coopération (Ostrom 2001 ; Weissing et Ostrom, 1991), ce qui constitue une difficulté supplémentaire pour faire appliquer le plan de gestion de l'Etat.

Enfin, dans cette tragédie des communs, les humains ne seraient pas seulement motivés par des incitations économiques (Ostrom, 1998). Des facteurs sociaux tels que la peur de perdre son statut social motiveraient le comportement humain. Les conflits interpersonnels seraient d'ailleurs plus stressants que les difficultés financières (Bolger et al., 1989). Cette étude sur la pêche des bichiques suggère notamment qu'il y a de la fierté à exercer cette activité patrimoniale, dans la mesure où celle-ci est associée à une forme de réussite économique et donc sociale, également parce que la communauté des pêcheurs est localement respectée (ne vient pas qui veut dans l'embouchure) et peut-être aussi parce qu'elle est un marqueur d'identité. Ainsi, une gestion réussie d'une ressource commune repose sur la compréhension des enjeux économiques et sociaux qui motivent les comportements humains.

3. Répercussions sur les autres espèces et la qualité de l'eau

Nous voyons qu'à l'embouchure sont drainées toutes les conséquences morpho-climatiques et pressions humaines de plus en plus fortes, qui altèrent la qualité du milieu et impactent l'ensemble des espèces qui y transitent, dont *Sicyopterus lagocephalus*, l'espèce la plus remarquable en terme d'abondance (Richarson 2012). Or, nous pensons que le bichique constitue un maillon essentiel de la chaîne alimentaire sur cette île océanique, de même que le « tismische » à Tortuguero fournit plusieurs fois par an un afflux massif de ressources alimentaires aux consommateurs résidents d'eau douce (migration massive de post-larves de crevettes et poissons) (Winemiller et Leslie, 1992 ; Winemiller et al., 2011). Les post-larves de poissons se nourrissent de microorganismes en zone côtière (Sorensen et Hobson, 2005) et alimentent à leur tour les chaînons supérieurs au cours de leur recrutement de l'océan vers la rivière. L'étude révèle en effet que la faune aquatique réunionnaise est en effervescence à l'approche d'un banc de bichiques, comme en témoignent les pêcheurs. Les prédateurs marins qui consomment le bichique sont notamment la carangue et la pêche cavale (famille des caranguidés). Ces espèces attirent à proximité des embouchures, d'autres prédateurs plus gros tels que les dauphins, grands consommateurs de pêche cavale, et les requins qui rentrent parfois dans l'embouchure.

En rivière, l'anguille est le principal prédateur du bichique, suivi d'autres espèces de Gobiidae et d'Eleotridae (OCEA, 2015). Les pêcheurs utilisent notamment le bichique comme un appât pour la pêche à l'anguille. Certaines espèces d'oiseaux consomment également le bichique échoué sur les rives ou celui qui s'expose à découvert dans les cascades. Les détritivores profitent aussi du recrutement des bichiques au cours duquel des post-larves ne survivent pas (étape critique du cycle de vie). Enfin, pour l'avoir observé, les cabots adultes sont cannibales et prédatent les post-larves ou juvéniles au recrutement mais aussi les pro-larve qui viennent de naître (Delacroix et Champeau, 1992). On suppose alors que le déclin manifeste du recrutement des bichiques entraîne des déséquilibres trophiques majeurs dans ce continuum terre-mer.

De plus, l'affaiblissement du recrutement larvaire est supposé affecter l'affaiblissement des populations adultes en rivière et inversement. Bien qu'il n'ait pas été possible d'étudier ce lien, les pêcheurs font cependant état d'une diminution du nombre d'adultes et dénoncent aussi le braconnage. Les cabots sont des brouteurs de périphyton (Bielsa et al., 2003) qui entretiennent la qualité des cours d'eau en réduisant la prolifération des micro-algues. Ainsi, les menaces qui pèsent sur les espèces *Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis,* au stade de post-larve et à l'âge adulte, se répercutent à l'échelle du réseau trophique et de la qualité des cours d'eau.

II. Et si les pêcheurs traditionnels disparaissaient avant le poisson?

Ce titre provocateur évoque une réalité en considérant que le poisson de par son cycle de vie amphidrome, ouvert à la dispersion inter-îles, sera plus résistant dans le temps que la tradition face au profit. En effet, l'étude soutient que les pressions sur les populations de cabot augmentent mais elle révèle également un rapide changement dans les pratiques de pêche et une dégradation marquée de la situation des pêcheurs locaux.

La pêche en rivière est pratiquée par une communauté d'individus relativement âgés (plus de 45 ans) et la plupart n'ont pas réussi à transmettre à leurs enfants l'envie de pratiquer. Le « métier » comme bon nombre le qualifie, s'avère de plus en plus difficile. De nombreux pêcheurs reconnaissent que le milieu est mal fréquenté et ne souhaitent pas que leurs enfants prennent le relais, qui plus est dans un contexte où la pêche devient moins rentable en rivière (plus d'efforts pour moins de prises). En effet, la charge de travail en rivière est considérable. Les travaux d'affouillement régulier qu'occasionne le manque d'eau à l'embouchure et l'investissement en termes de temps repousse un grand nombre d'individus qui seraient attirés par les gains que génère l'activité. L'entretien du canal de pêche se fait toute l'année, et il faut compter 10 jours non-stop de surveillance de la pêche par mois, pendant 5 mois minimum.

De nombreux pêcheurs ont cependant trouvé une parade pour faire face aux contraintes du milieu et à la concurrence entre canaux. Car malgré la raréfaction des prises, et la pénibilité du travail, le prix des bichiques ne cesse d'augmenter (35 euros le kilo en moyenne, 80 euros en 2016) ce qui en fait une activité toujours rentable pour ceux qui s'y investissent sérieusement. Les changements de pratiques les plus remarquables sont l'usage des « big bag » pour construire des canaux de pêche plus résistants aux intempéries et le détournement de l'engin de pêche traditionnel en nasse métallique. L'usage de la javel pour accélérer la capture des bichiques ne semble pas si récent mais se serait intensifié pour un usage indirect, celui de nuire au canal du voisin. L'enquête révèle également que la pêche au filet moustiquaire en mer s'est fortement développée car elle présente de nombreux avantages comparés à la pêche en canal, qui doit notamment s'adapter aux contraintes du milieu et faire face au braconnage. Cependant, bien que les bénéfices de la pêche en mer soient conséquents, la bonne condition physique et le courage de s'aventurer dans les eaux réunionnaises (fréquentées par les requins) sont des prérequis nécessaires pour la pratiquer.

Pour autant, l'activité de pêche en rivière ne devrait pas disparaître tant que les anciens vivent et la pratiquent, et tant qu'elle reste très rentable. L'étude suggère que c'est le cas, car certains pêcheurs possèdent du matériel pour pêcher en mer mais aussi un canal en rivière leur permettant de pratiquer l'une ou l'autre activité suivant les conditions météorologiques. Cependant, si la pêche en rivière ne tend pas à disparaître, elle subit tout de même de profondes transformations, comme nous l'avons évoqué précédemment, qui dénaturent son aspect traditionnel et accroît considérablement son impact. En effet, le plastique pour colmater les canaux est en 2016 omniprésent sur les sites de pêche et les « bigs bag » ont fait leur apparition sur les rivières des Roches et des Marsouins. Les vouves artificielles se multiplient et la maille plus fine de ces nouveaux prototypes constitue une pression renforcée sur la ressource et les espèces environnantes car les plus jeunes individus ne peuvent plus s'échapper. Par ailleurs, les nouveaux matériaux non biodégradables des engins de pêche, souvent emportés par les crues, participent davantage à la pollution côtière.

Pourtant, l'usage de la vouve traditionnelle en fibre végétale ne semble pas dépassé technologiquement par les nouveaux prototypes de nasses, qui possèdent une maille plus fine, laquelle se colmate davantage par « fouling ». Mais ce sont les matériaux naturels qui s'avèrent moins disponibles, car ils reviennent plus chers à l'achat et s'usent également rapidement. Ainsi, les vouves totalement naturelles tendent à disparaître avec le savoir-faire. En conséquence, les pêcheurs dit traditionnels, qui pêchent en canal avec une vouve en fibre végétale, tendent à disparaître au profit de pratiques écologiquement non durables qu'appelle le profit.

III. Modélisation du socio-écosystème : un outil de réflexion et de sensibilisation

Le concept de socio-écosystème (social-ecological systems (SES) (Ostrom, 2009)) ou de système couplé homme-environnement (coupled human and natural system (CHANS)(Liu et al., 2007c)) fait référence à l'interdépendance des systèmes sociaux et biophysiques (Berkes and Floke, 1998). Les socio-écosytèmes considèrent les relations entre une société et son environnement et peuvent être définis à de multiples échelles, allant du local (un site de pêche) au global (le cosmos).

Le socio-écosystème connecte théoriquement deux sous-systèmes : le système écologique (ou écosystème) et le système social (le socio-système). Le premier sous-système est pensé par les sciences naturelles. Dans cette vison écocentrée, on admet progressivement que l'homme fait partie de l'écosystème (Barreteau et al., 2016 ; Folke 2006). Le second sous-système est pensé par les sciences sociales. Dans cette vison anthropocentrée, le contexte biogéophysique affecte la société dans son ensemble. L'union des deux sous-systèmes que forme le socio-écosystème dépasse cette vison anthropocentrée ou écocentrée et apporte une vision holistique : le système social et écologique forme un système complexe unique (Gallopín et al., 1989, Folke 2006). Et dans ce système complexe, la modification d'une entité a des impacts sur d'autres entités qui en retour affectent cette première entité. On parle de rétroactions nature-société, considérées déjà par Holling (1973) comme des processus essentiels à prendre en compte dans la gestion des ressources naturelles et qui sont aujourd'hui envisagées à travers la notion « de services écosystémiques ».

Les services écosystémiques réfèrent aux services, fournis par les écosystèmes, dont bénéficie l'homme (fig 1). Cette notion de « service » est apparue sous l'impulsion de biologistes de la conservation tels qu'Ehrlich and Mooney (1983). Elle s'est développée suite aux travaux de Costanza (1997) ou Daily et al. (1997) puis a pris de l'ampleur dans le rapport sur l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (Millenium Ecosystem Assessment 2005)(MEA). Ce programme d'envergure mondial a réunis 1360 experts des sciences naturelles et humaines dans l'objectif d'évaluer les conséquences des changements écosystémiques sur le bien-être humain. Ces experts d'un genre nouveau ont donc évalué les interactions entre les enjeux socio-économiques et écologiques et mis en évidence l'importance de conserver la biodiversité pour le maintien

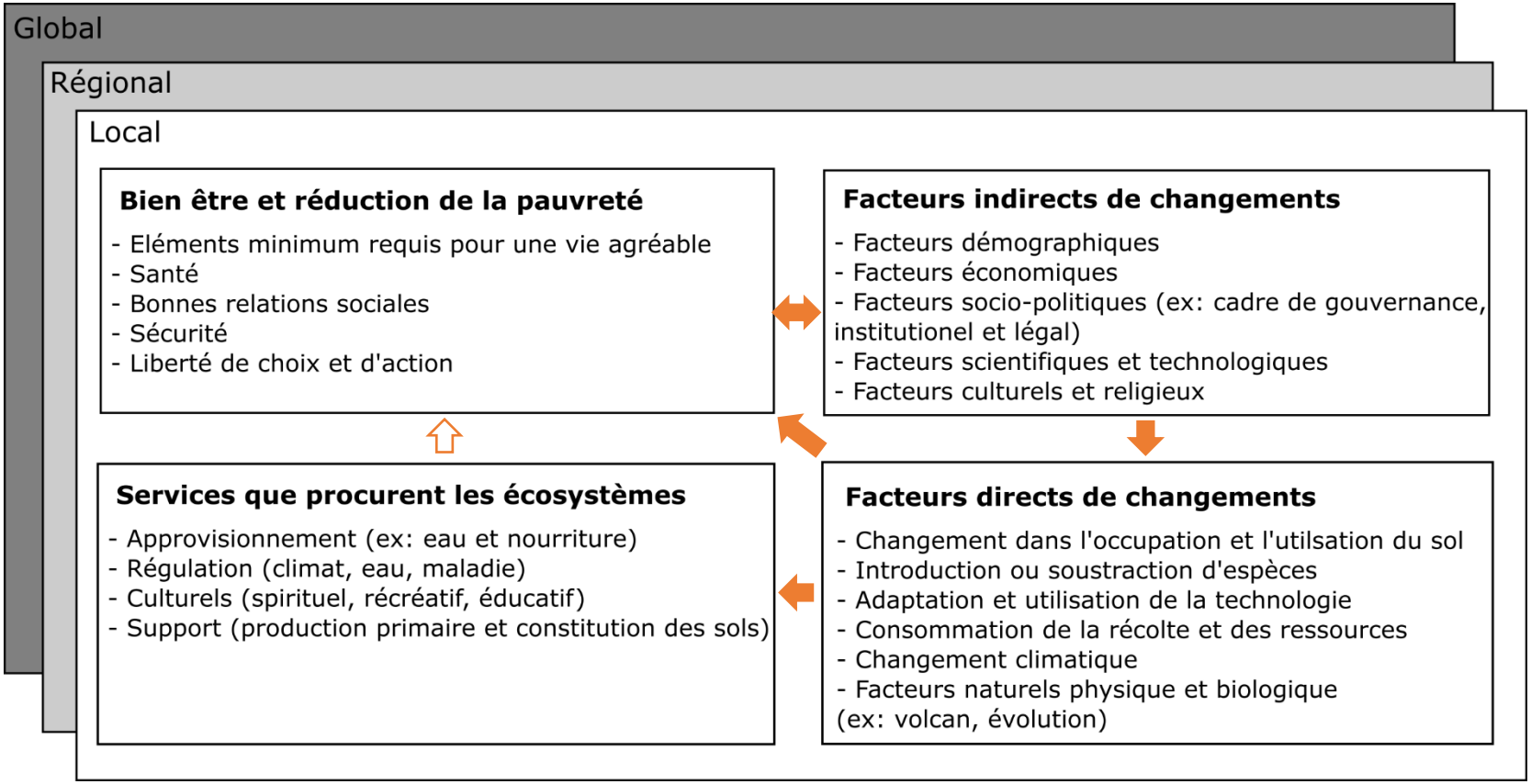


Figure 1. Le cadre conceptuel de l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire. Les facteurs de changements affectent indirectement la biodiversité, comme la population, la technologie et le mode de vie (angle supérieur droit de la figure) et peuvent entraîner des changements direct dans la biodiversité, à travers la consommation des ressources ou l'utilisation d'engrais par exemple (angle inférieur droit). Cela entraîne des modifications dans les écosystèmes et les services qu'ils fournissent (angle inférieur gauche), ce qui affecte le bien-être humain. Ces interactions peuvent avoir lieu à différentes échelles. Les flèches pleines ou creuses indiquent respectivement qu'il est possible ou non d'intervenir. Schéma modifié d'après le Millennium Ecosystem Assessment 2003)

des générations futures. Le but général du MEA était de communiquer sur les conséquences des impacts écosystémiques et de favoriser une prise de décision améliorée dans la gestion des écosystèmes et du bien-être humain. Sur la base du MEA (Millenium Ecosystem Assessment 2003), les services écosystémiques ont été classés en 4 catégories :

- les services de support : ce sont les services nécessaires à la production des autres services, c'est-à-dire qui créent les conditions de base au développement de la vie sur Terre (formation des sols, production primaire, air respirable, etc.). Leurs effets sont indirects ou apparaissent sur le long terme ;
- les services d'approvisionnement : ce sont les services correspondant aux produits, potentiellement commercialisables, obtenus à partir des écosystèmes (nourriture, eau potable, fibres, combustible, produits biochimiques et pharmaceutiques, etc.) ;
- les services de régulation : ce sont les services permettant de modérer ou réguler les phénomènes naturels (régulation du climat, de l'érosion, effet tampon, inertie, etc.) ;
- les services culturels : ce sont les bénéfices non-matériels que l'humanité peut tirer des écosystèmes, à travers un enrichissement spirituel ou le développement cognitif des peuples (patrimoine, esthétisme, éducation, religion, etc.).

L'évaluation du millénaire indique que « bien que de nombreux individus bénéficient des actions et activités conduisant à des changements au niveau des écosystèmes, les coûts de ces changements supportés par la société sont souvent plus élevés ». L'agriculture est par exemple considérée comme responsable de la diminution d'un certain nombre de services, en ayant un impact fort sur la biodiversité, au profit du seul service d'approvisionnement en nourriture (Carpenteret al., 2009). L'agriculture se voit donc confrontée aux impératifs d'assurer un approvisionnement et de garantir l'emploi tout en préservant les écosystèmes, qui fournissent d'autres services (Tancoigne et al., 2014).

Le cadre conceptuel du MEA peut s'adapter à diverses problématiques qui nécessitent une approche holistique telle que la problématique régionale de raréfaction des bichiques. Il constitue un nouveau cadre systémique et de communication entre les décideurs, les scientifiques, les usagers et le public sur l'inter-relation entre la nature et la société (Wallis et al., 2011). Ce cadre a donc été utilisé pour modéliser le socio-écosystème dans lequel s'insère l'activité de pêche des bichiques afin de communiquer sur les rétroactions nature-société et les enjeux de gestion et conservation des bichiques (fig. 2). Dans ce modèle, les embouchures des rivières de l'île de La Réunion constituent des corridors à l'interface des écosystèmes marins et terrestres comme définis au sein de la trame « eaux douces et saumâtres » (DEAL 2014 ; Elliott et Whitfield, 2011). Ces corridors écologiques sont essentiels au maintien de la biodiversité et participent à la fourniture de services

écosystémiques dont bénéficie l'homme. Les services écosystémiques menacés au sein du socio-écosystème sont les suivants :

- les services de support : premièrement, ces écosystèmes de transition possèdent des caractéristiques chimiques particulières qui supportent la vie (Whitfield et al., 2008). Les embouchures de La Réunion abritent des espèces euryhalines qui viennent s'alimenter ou qui y séjournent à l'état juvénile, ainsi que des espèces diadromes (Richarson et al., 2009). A l'île de La Réunion, ces espèces migratrices contribuent grandement au peuplement des milieux dulçaquicoles et à leur diversité (OCEA 2015), en particulier les deux gobies *Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis* (endémique des Marscareignes) qui dominent le peuplement en rivière. Pour accomplir leur cycle de vie amphidrome, ces deux espèces doivent migrer à travers ce corridor, à la dévalaison à l'état de pro-larves (de la rivière vers l'océan) et lors du recrutement à l'état de post-larves (de l'océan vers la rivière). Deuxièmement, cette zone mesohaline que forme l'interface rivière-océan stimule la productivité primaire et secondaire, à la base du fonctionnement biologique des embouchures (Berg, Raven et Hassenzahl, 2009). Les variations chimiques et la remise en suspension des particules sous l'influence hydrologique déclenchent cette cascade trophique. Et suivant les conditions environnementales, l'étendue de ces zones turbides et riches varie sous la forme d'un panache. Les juvéniles de poissons dépendent alimentairement de ces zones (Strydom, Whitfield et Wooldridge, 2003 ; Tzeng et Wang, 1992) et contribuent à leur tour à cette chaîne alimentaire qui s'insère dans ce continuum terre-mer. En particulier, le retour massif et cyclique des post-larves (bichiques) dans les rivières réunionnaises constitue un maillon essentiel de cette chaîne alimentaire (Delacroix 1987).

- les services de régulation : l'ouverture estivale puis la fermeture hivernale du cordon littoral sous l'influence du régime hydrologique est un processus naturel qui structure les communautés biologiques. L'apport d'eau douce entraine une remise en suspension des sédiments qui stimule la productivité. L'embouchure et les écosystèmes adjacents (rivière et océan) régulent donc la continuité hydraulique, la remise en suspension des sédiments et la productivité biologique. Le maintien de cette continuité hydraulique prévient des inondations et régule la qualité des eaux douces. Enfin l'embouchure qui représente la partie aval d'un cours d'eau, participe à la régulation du climat local.

- les services d'approvisionnement : l'embouchure soutient l'activité de pêche des bichiques qui génère des bénéfices alimentaires et économiques. Les post-larves des gobies *Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis* sont capturées pour être consommées directement ou vendues. D'autres espèces migratrices telles que les anguilles sont accessoirement capturées et génèrent d'autres bénéfices.

- les services culturels : l'activité de pêche récréative des bichiques pratiquée dans les embouchures est traditionnelle et très emblématique sur l'île. Les post-larves de bichiques constituent le « caviar péi ». L'embouchure supporte également d'autres activités de loisir comme la pêche en surfcasting, le kayac, la baignade ou la promenade. Enfin, les scientifiques y réalisent des suivis et des associations y organisent des sorties.

L'ensemble de ces services dont profite l'homme contribue à son bien-être, à sa sécurité alimentaire et financière, à sa bonne santé (qualité de l'eau, climat, loisir) et au maintien de son tissu social. Mais la société dans son ensemble exerce une forte pression sur les services écosystémiques (diverses pressions anthropiques) qui se répercute finalement sur les conditions de vie lesquelles, rétroactivement, influencent les facteurs de changements (voir fig. 2). Ces facteurs caractérisent l'évolution d'une société. Celle-ci peut renforcer les pressions sur les services écosystémiques ou les réduire, selon les décisions politiques qui seront prises ou encore l'évolution de nos modes de consommation. Il faut en effet rappeler que le consommateur, déconnecté de l'environnement qui le fait vivre, a sa part de responsabilité dans la réduction des stocks de bichiques. Les écosystèmes peuvent alors s'adapter à l'utilisation non durable de leurs services ou changer complètement au risque de voir disparaitre certains services essentiels à la vie humaine ou à son bien-être (désertification de la vie dans les cours d'eau, pollution interdisant les activités aquatiques ou ressource aquatique impropre à la consommation, etc.). Avant d'atteindre ce seuil de rupture, les hommes devront agir. Les scénarios futurs sont donc sous l'influence des facteurs de changement indirects et directs qui agissent à des échelles de temps différentes. A l'échelle de notre socio-écosystème, la conservation des services écosystémiques passe par la volonté politique d'engager des actions de restauration de la continuité écologique des bassins versants, de réduction de la pollution et de régulation de la pêche des bichiques de la rivière à l'océan. La responsabilité repose aussi sur les aptitudes des gestionnaires et des scientifiques, ainsi que sur leur capacité à élaborer des plans de gestion efficaces. La volonté de coopération des pêcheurs est également importante et dépend dans notre cas des moyens financiers dont disposent les gestionnaires pour effectuer la surveillance du braconnage et vérifier l'application de la charte des bonnes pratiques par tous. A l'échelle de la société, tous les individus ont une responsabilité dans l'évolution du socio-écosystème car les modes de production (agriculture industrielle très impactante sur la qualité des milieux terrestres et aquatiques) et de consommations des ressources (gaspillage de l'eau et surconsommation des ressources, même rares (bichiques) ne sont pas durables. La volonté de règlementer la pêche en rivière constitue donc une première action déterminante pour réduire les pressions sur les services écosystémiques à une échelle de temps court et engendrer des rétroactions positives dans le système, en attendant que la prise de conscience du besoin de conserver

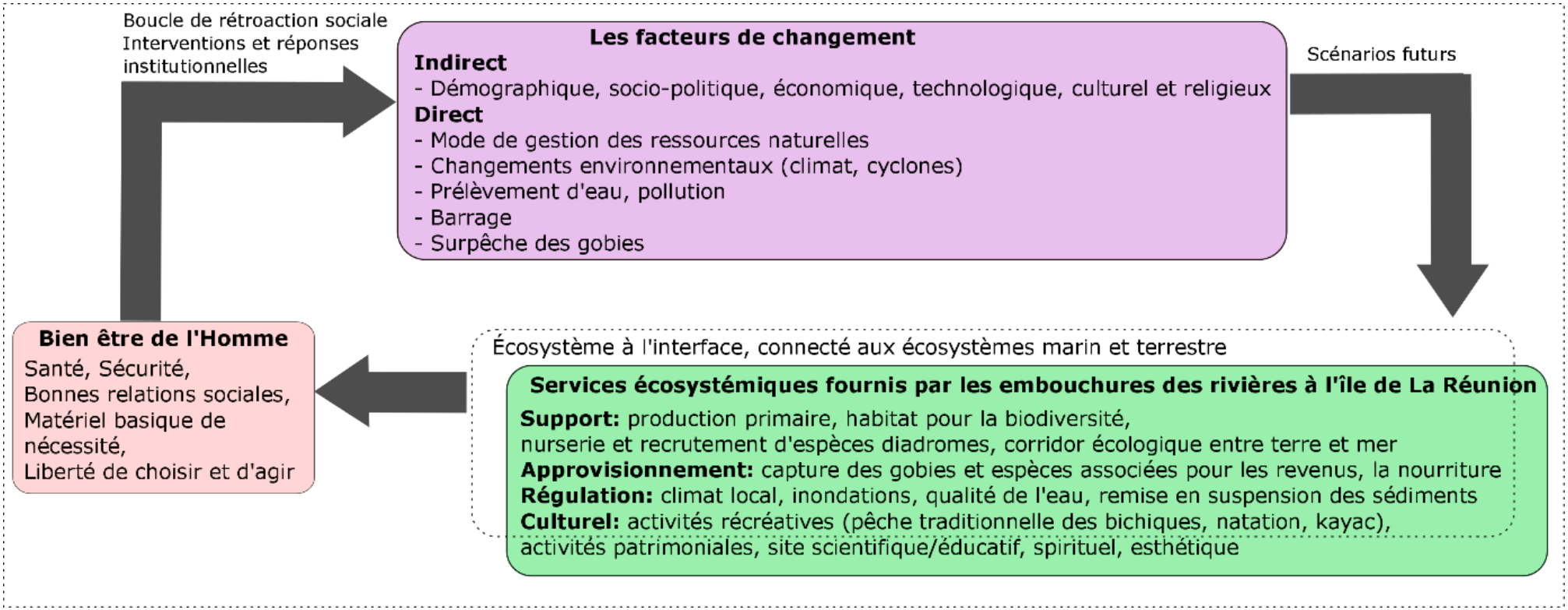


Figure 2. Modélisation théorique du socio-écosystème dans lequel s'insère le bichique. Les flèches matérialisent la boucle de rétroactions qui existe entre la nature et la société, notamment les enjeux de réduire les pressions anthropiques sur les services écosystémiques des embouchures de rivières, dont l'Homme dépend. La gestion de la pêche est une action en faveur de la résilience du socio-écosystème

les services écosystémiques dont nous dépendons, soit collective.

IV. La gestion de la pêche aux embouchures : une action en faveur de la résilience du socio-écosystème

La résilience est un concept multidisciplinaire, employé d'abord en physique pour parler de la capacité d'un matériau à résister aux chocs. En écologie, il évoque la capacité d'un système (espèce, habitat, écosystème, etc.) à retrouver un état d'équilibre dynamique après une perturbation (Gallopín 2006). Dans notre cas d'étude, ce sont les diverses pressions anthropiques qui induisent une perturbation du socio-écosystème. La résilience est une forme de résistance qui peut céder au-delà d'un certain seuil de perturbation, pour induire un changement dans le système, qui ne reviendra plus à l'équilibre antérieur.

L'élaboration d'un plan de gestion de la pêche des bichiques aux embouchures est une opportunité majeure de changement en faveur de la résilience du socio-écosystème, dans ce contexte où la dégradation écologique et sociale des rivières s'accroît. L'application du plan de gestion pourrait engendrer un processus de changement vertueux au sein du socio-écosystème. En effet, la gestion de la pêche aux embouchures devrait d'une part, réduire les pressions sur les 4 services écosystémiques identifiés et d'autre part, encourager la restauration de la continuité écologique à l'échelle des bassins versants. Nous détaillons ci-après ces rétroactions positives.

A l'échelle des embouchures :

1- L'application de la charte des bonnes pratiques, qui impose de laisser un canal libre de pêche, devrait contribuer à la restauration de la continuité écologique des embouchures, en soutien aux espèces diadromes. Cette mesure devrait bénéficier à l'ensemble des espèces qui migrent à travers ces corridors dont celles appartenant aux bichiques, *Sicyopterus lagocephalus et Cotylopus acutipinnis* (soutien aux services de support).

2- En facilitant la migration des espèces, le plan de gestion devrait soutenir le recrutement larvaire à travers l'augmentation des adultes reproducteurs et donc soutenir l'activité de pêche qui génère des bénéfices alimentaires et économiques (soutien aux services d'approvisionnement).

3- La charte des bonnes pratiques, élaborée dans le respect de la tradition et de l'écologie des espèces cibles, impose l'usage de vouves traditionnelles et le retrait des « big bag », ce qui devrait enrayer le processus d'évolution et d'acceptation de pratiques non durables. La gestion de la pêche pourrait donc préserver l'activité de pêche traditionnelle, l'esthétique des embouchures et réduire la pollution locale (soutien aux services culturels).

4- En légitimant l'activité de pêche aux embouchures, à travers l'obtention de statuts ou d'autorisations d'occupation du territoire, les pêcheurs en règle ne craindront plus de la pratiquer ce qui pourrait faciliter les échanges avec les scientifiques. Cette légitimation devrait réduire aussi le monopole de certains groupes de pêcheurs au sein des embouchures et rétablir une certaine justice et paix sociale, comme cela s'est produit sur la rivière du Mât (soutien direct au bien être humain).

A l'échelle des bassins versants :

5- La règlementation des pêcheries en aval des cours d'eau devrait encourager les aménageurs à restaurer, en amont et à leur échelle, la continuité des cours d'eau en laissant un débit réservé et en installant des passes à poissons fonctionnelles (soutien aux services de support). Ce point est essentiel pour soutenir les populations de gobies sans quoi toutes les mesures de gestion en aval du cours d'eau resteront inutiles. En effet, nous savons que la réduction des prélèvements de post-larves par la pêche pourrait devenir une action de sauvegarde vaine dans la mesure où d'autres pressions existent plus en amont des cours d'eau, entravant la migration des espèces, en particulier la dévalaison des pro-larves. Les gains d'une reproduction localement plus élevée associée à un recrutement de juvéniles plus élevé, pourrait être perdus si les pro-larves engendrées ne peuvent pas rejoindre l'océan. Pour que les rivières « puits » (taux de mortalité supérieur au taux de naissance) deviennent des rivières « sources » (recrutement des post-larves, reproduction des adultes et dévalaison des pro-larves assurées), la gestion des cours d'eau doit tenir compte de l'ensemble du cycle biologique des diadromes. On peut toutefois s'inquiéter de la dégradation et de la réduction des habitats essentiels à la reproduction des gobies, qui nécessite des zones bien oxygénées, peu profondes et exige une granulométrie particulière (Teichert 2012). En effet, certaines portions de cours d'eau sont classées comme défavorables pour la fraie des cabots bouche ronde, par la présence de fines particules (rivière des Pluies, rivière Saint Denis, etc.) ou par la présence d'algues (Amont de la rivière des Galets, etc) (DEAL et al., 2011). La disponibilité des habitats de frai dans les cours d'eau réunionnais pourrait peut-être augmenter si l'on restaure la continuité hydraulique. Mais la canalisation des berges et l'éradication de la végétation riparienne participent à la disparition de ces milieux. Cependant, des études rapportent que la restauration de zones humides (marais) pour les oiseaux, s'est avérée bénéfique pour les populations d'anguilles européennes qui ont rapidement et massivement colonisé ces masses d'eau, non pas pour s'y reproduire comme les gobies mais pour y vivre (Eybert et al., 1998 ; Feunteun 2002).

Au regard de notre étude sur le recrutement de *Sicyopterus lagocephalus,* la mortalité des post-larves au recrutement et juvéniles en rivière seraient plus forte à l'ouest, indépendamment de la pression de pêche, car la condition des post-larves serait plus faible à l'ouest. De plus, il a été

démontré que la condition des individus au stade larvaire se répercutait sur l'état de santé des juvéniles. Ainsi, on peut se réjouir que la démarche de régulation de la pêche sur trois rivières pilote, ait pour vocation de se généraliser à l'échelle de l'île. En effet,

6- la régulation de la pêche sur le versant ouest pourrait augmenter le nombre de recrues en rivières et donc le nombre d'individus qui survivent et atteignent l'âge adulte. Et si l'on restaure la continuité écologique à l'échelle des bassins versants, cela pourrait favoriser la production de pro-larves. A l'est, le recrutement est avéré plus intense ce qui suggère que la régulation de la pêche sur ce secteur sera très bénéfique en terme de démographie et donc que la plus forte reproduction sera profitable à l'autorecrutement sur l'île ou à l'allorecrutement sur d'autres îles (soutien aux services de support). Cette régulation de la pêche à l'échelle de l'île est d'autant plus souhaitable qu'il est possible que les secteurs favorables au recrutement changent sensiblement dans un avenir proche, avec le projet d'envergure de basculement des eaux d'est en ouest, dont les travaux se sont achevés fin 2014.

Mais dans quelle mesure le retour à des pratiques ancestrales sera-t-il accepté ? Il est clair que l'application de la charte des bonnes pratiques dans des secteurs comme les rivières des Roches et des Marsouins signera la réduction drastique des rendements de pêche à court terme. En effet, comme l'effort de pêche est intense sur ces rivières, il est probable que certains groupes de pêcheurs s'opposent à tout changement, comme c'est déjà le cas sur la rivière des Roches. Toutefois, il n'est pas raisonnable de laisser le milieu se dégrader dans ces rivières, même pour des considérations sociales, d'autant que nous pensons que c'est « la loi du plus fort » qui régit les embouchures, et donc que ce ne sont pas forcément les plus démunis qui tirent profit de l'activité. Dans ce contexte, nous pensons qu'une intervention de l'Etat est d'autant plus justifiée et nous espérons que ses services réussiront à réduire la pression de pêche sur ces secteurs, très favorables au recrutement larvaire. La rivière du Mât est l'une des trois plus productives de l'Est en terme de recrutement larvaire (avec les rivières de Roches et des Marsouins). La fédération des pêcheurs a accepté de partager le débit d'eau à l'embouchure avec leurs concurrents l'APBE, ce qui constitue déjà un effort de coopération avec l'Etat et d'apaisement social. En échange, l'Etat a accepté que la fédération conserve sa pratique de pêche à l'estacade, une technique très efficace. Il faut donc espérer que l'accord passé par les services de l'Etat avec les pêcheurs sera respecté, c'est-à-dire que ceux-ci respecteront la charte des bonnes pratiques. En effet, les gains pour la reproduction seront minimes voir nuls si les pêcheurs ne respectent pas le canal de reproduction. Ce respect du canal de reproduction dépend de l'arasement du barrage de Bengalis (programmé) sur la rivière du Mât et de la surveillance du braconnage, comme sur l'ensemble des rivières où l'on tentera de réguler la pêche.

Nous voyons que la gestion de la pêche est une action nécessaire pour réduire les pressions sur les services écosystémiques mais que ce potentiel de résilience est menacé si les services de l'Etat ne peuvent pas surveiller le braconnage et l'application de la charte. Dans ce contexte où le budget alloué à la surveillance de toutes les rivières pérennes est trop faible, on pourrait envisager de concentrer l'effort de surveillance sur les rivières où le braconnage est le plus problématique dans la mesure où il menace la volonté de coopération des pêcheurs, à commencer par la rivière du Mât. Enfin, à plus long terme, les incertitudes climatiques et politiques pourraient engendrer de nouvelles perturbations du socio-écosystème. Le réchauffement climatique pourrait impacter le cycle biologique des espèces, du succès de la reproduction aux sites de recrutement. Météofrance prévoit également une légère baisse des précipitations pour la fin du 21ème siècle qui pourrait conduire, si notre consommation d'eau n'est pas régulée, à l'assèchement durable de certains cours d'eau et à l'arrêt de la pêche en rivière.

En conclusion, le socio-écosystème est un concept relativement récent qui permet de représenter une réalité complexe, celle des rétroactions entre la société et l'environnement. Les scientifiques se sont appropriés ce concept pour cerner les enjeux globaux de conservation de la biodiversité qui contribuent à la fourniture de services écosystémiques essentiels à l'Homme et envisager une gestion intégrée des socio-écosystèmes. Nous avons adapté à notre cas d'étude, le modèle conceptuel de l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, afin de communiquer sur les enjeux de conserver les bichiques et envisager les rétroactions positives que pourrait générer l'application du plan de gestion de la pêche aux embouchures. Cependant, il est difficile de prévoir avec certitude les effets d'une régulation de la pêche sur le socio-écosystème car nous ne maîtrisons pas tous les facteurs de changements, tels que le comportement humain, l'effet des micropolluants sur le milieu ou encore l'effet du changement climatique, qui agissent à des échelles de temps plus ou moins longues. Il sera possible de dresser un bilan global des bénéfices, une fois que les actions prévues par les services de l'Etat au sein du SDAGE seront mise en œuvre sur le terrain, soit entre 2016 et 2021.

SYNTHESE ET CONCLUSIONS GENERALES

« Nous devons "écologiser" les disciplines, c'est-à-dire tenir compte de tout ce qui est contextuel y compris des conditions culturelles et sociales, c'est-à-dire voir dans quel milieu elles naissent, posent des problèmes, se sclérosent, se métamorphosent..... » (Edgar Morin)

L'objectif principal de cette thèse était de montrer que la préservation des enjeux socio-économiques dépend de la préservation des enjeux de conservation de la biodiversité et nous l'avons montré, au moins pour partie, à travers notre étude de cas sur la pêche des Gobbidae amphidromes à La Réunion, où la gestion et conservation des bichiques revêt une importance à la fois écologique, économique et sociale. Les résultats principaux obtenus dans cette thèse se déclinent en trois points qui font écho aux hypothèses et objectifs de départ.

1- La variabilité spatio-temporelle des traits de vie (âge, taille, poids) des post-larves de *Sicyopterus lagocephalus* au recrutement

A travers notre étude en écologie, nous avons apporté de nouveaux éléments de connaissances sur la phase de dispersion océanique des larves jusqu'à leur recrutement en rivière.

Premièrement, nous avons détecté une **variabilité phénotypique des traits de vie des post-larves au recrutement, entre les rivières situées sur le versant est et ouest de l'île de La Réunion**. Cette variabilité était marquée en été austral (saison humide) et concernait la taille et le poids, et partielle en hiver austral (saison sèche) ne concernant que la taille. Les post-larves à l'est avaient une petite taille standard et un poids élevé comparés aux post-larves à l'ouest qui avaient une grande taille standard et un poids plus léger. Au regard des études de Keith et al., 2008 ; Taillebois et al., 2011, **nous sommes arrivés à cette première conclusion que les post-larves au recrutement à l'est étaient plus métamorphosées que les post-larves au recrutement à l'ouest**. **Nous avons également démontré que la position de l'engin de pêche en rivière avait une influence sur les traits de vie que nous observions**, indépendamment de la situation géographique de la rivière. Nous avons observé un état de métamorphose plus avancé sur les post-larves que nous avions collectées à une distance plus éloignée de l'embouchure comparé au reste de nos échantillons collectés systématiquement à l'entrée de l'embouchure.

Deuxièmement, nous avons mis en évidence un effet faible mais significatif du débit des rivières sur le poids des post-larves en été austral (saison humide qui comprend la saison des pluies). Nous avons également constaté que la variabilité pluviométrique et celle des débits entre les deux versants de l'île, étaient fortes en saison des pluies mais réduite en saison sèche, et observé aussi que le poids des post-larves en saison sèche ne différenciait plus les secteurs est et ouest de l'île. **Nous sommes ainsi arrivés à la seconde conclusion que la quantité d'eau douce qui arrive dans l'océan influence localement le phénotype des post-larves en fin de phase larvaire.**

Troisièmement, nous avons calculé l'indice de condition des larves au recrutement et démontré qu'il était plus élevé chez les post-larves au recrutement à l'est que sur celles au recrutement à

l'ouest. Sachant que la condition larvaire intervient dans le succès de métamorphose des post-larves en juvéniles et dans la survie des individus à ces différents stades, **nous sommes arrivés à la conclusion que les rivières à l'est de l'île étaient plus favorables au recrutement que les rivières à l'ouest de l'île.** Nous savons également que le recrutement larvaire est historiquement plus intense à l'est, ce que nous avons d'ailleurs pu vérifier, permettant de penser que les conditions environnementales sont plus favorables à l'est, à commencer par la disponibilité en nourriture intrinsèquement liée à l'apport d'eau douce dans le milieu marin.

Quatrièmement, **nous avons observé l'absence de variabilité spatiale de l'âge au recrutement** (ou une faible variabilité) qui soutient l'hypothèse que des cohortes larvaires aux histoires de vie différentes (origine et/ou date de naissance) se mélangent dans l'océan avant d'alimenter les différentes rivières de La Réunion.

Enfin, nous avons observé **une variabilité saisonnière des traits de vie au recrutement** (été-hiver austral) et **suggéré que l'épisode climatique El Niño de 2015 a eu un impact sur le recrutement en début d'année 2016** sans que l'on puisse le confirmer ou en expliquer les mécanismes dans le cadre de cette étude.

Ces travaux en écologie qui mettent en évidence une influence de l'environnement local sur les post-larves au recrutement soutiennent donc l'idée que l'est de La Réunion pourrait être plus favorable au recrutement car l'eau douce y est notamment plus abondante. Au regard de l'ensemble de nos travaux dans cette thèse, nous concluons que **les rivières de l'est, en réduisant les pressions anthropiques locales, pourraient être des « secteurs sources » essentiels au maintien des populations locales et régionales de *S. lagocephalus* et à fortiori de *C. acutipinnis* dont les exigences écologiques sont relativement semblables.**

2- Le contexte socio-économique et technique de la pêche des bichiques

A travers cette étude généraliste, s'inspirant des approches anthropologique, sociologique et géographique, nous avons cherché à comprendre quelles étaient les différentes pressions anthropiques à l'échelle de l'île qui pourraient avoir contribué à l'affaiblissement manifeste du recrutement des bichiques et les répercussions de cet affaiblissement sur la pêche. Pour y répondre, nous avons mené une vaste enquête auprès des différents acteurs de la pêche : depuis les pêcheurs, services de l'Etat, associations, scientifiques jusqu'aux politiques. Ces rencontres diversifiées nous ont permis de confronter les savoirs et intérêts des différents interlocuteurs, de comprendre la démarche de régularisation des représentants de l'Etat, de cerner le potentiel et les avancées de leur démarche de coopération avec les pêcheurs mais aussi les blocages auxquels ils doivent faire face.

Les entretiens avec les pêcheurs nous ont également permis de comprendre l'origine de la pêche, les problèmes qui attisent les conflits entre les différents groupes de pêcheurs, la diversité des pratiques et leurs impacts sur le milieu, et d'envisager l'avenir de cette activité traditionnelle en passe d'être règlementée.

Cette étude suggère premièrement que **la pêche des bichiques existe depuis que l'île est habitée** et que cette pratique est un héritage des premiers esclaves malgaches. La pêche se pratiquait à l'origine dans les embouchures des rivières avec une toile de jute appelée « goni ». Désormais cette pratique est en désuétude sur l'île car **le goni a techniquement été dépassé par des engins de pêche plus efficaces tels que la « vouve »**. Cette nasse en fibre végétale constitue d'ailleurs l'engin de pêche traditionnel reconnu dans le patrimoine culturel de l'île et aurait fortement contribué au développement de l'activité de pêche sur l'île. **La pêche au filet moustiquaire, qui se pratique dans l'océan à proximité des embouchures, serait apparue dans les années 1970 à La Réunion, et a profondément transformé l'activité de pêche récréative et de subsistance en rivière, pour en faire un « métier »**. **Le prix des bichiques a d'ailleurs fortement évolué au cours de cette période car la pêche s'est organisée pour former une filière,** avec à la base les pêcheurs, puis les « bazardiers » qui achètent le produit aux pêcheurs et le revendent plus cher aux vendeurs de bord de route, qui a leur tour se font une marge de bénéfices auprès des consommateurs. La diminution des captures et l'augmentation du nombre de pêcheurs dans la filière a également participé à l'inflation des prix de vente. **Les pressions anthropiques autres que la pêche, sont venues aggraver la diminution du recrutement, et réduire le débit de l'eau douce aux embouchures, que les pêcheurs en canal se partageaient**. Cela a eu pour conséquence d'accroître les conflits entre les pêcheurs « rivière », d'accélérer le développement de pratiques non durables (javel, big bag, aucun canal de reproduction) et d'accentuer l'effort de pêche en mer et en rivière. Nous avons notamment montré que le paysage dans les embouchures avait fortement évolué depuis les années 1950, suite aux extractions de matériaux naturels, aux endiguements, aux captages d'eau et à l'obstruction du lit des rivières par des barrages et des radiers.

Notre étude montre aussi que **les pratiques de pêche varient d'une rivière à l'autre en fonction de la morphologie des embouchures** (large cône de déjection et faible profondeur, petit cône de déjection et plus grande profondeur) et que la pêche entretient également l'ouverture artificielle de certains cours d'eau qui seraient normalement asséchés à leurs embouchures.

Dans cette étude, nous confirmons que la pêche est plus développée dans l'est car les rivières en eau sont plus nombreuses sur ce versant humide de l'île. Notre enquête révèle que **le nombre de pêcheurs en rivière a augmenté de 72 % en 29 ans**, de 1987 (255) à 2016 (440) et

nous estimons qu'il y a environ 440 pêcheurs en rivière et 230 pêcheurs en mer, sachant que certains pêchent à la fois en mer et en rivière, ce qui rend difficile toute tentative d'estimation globale.

Concernant la gestion de la pêche, nous pouvons dire que la démarche étatique de régularisation de la pêche a été engagée en 2012 parce que l'Union européenne, en particulier la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000), demandait aux états membres de restaurer la continuité écologique des cours avant 2015. De nombreux obstacles ont alors été identifiés sur les 13 rivières pérennes de l'île dont les pêcheries de bichiques aux embouchures. **Les services de l'Etat se sont unis, en particulier la DEAL et la DMSOI, pour élaborer un plan de gestion ambitieux** afin de mettre en conformité l'activité de pêche à pied aux embouchures. Ils ont entamé **une** difficile **démarche de coopération** avec les associations de pêcheurs traditionnels sur trois rivières pilotes (rivières des Roches, de Langevin et du Mât), aboutissant à **une première avancée administrative et humaine**. Les associations de la rivière du Mât sont aujourd'hui en conformité avec la loi sur l'eau grâce aux compromis des services de l'Etat, mais grâce également au travail du bureau d'études en charge de constituer les dossiers « loi sur l'eau » et du maire de Bras Panon. Ensemble, ils ont facilité l'acceptation de ces changements auprès des pêcheurs et leurs actions ont notamment permis d'apaiser les conflits entre pêcheurs liés au partage de l'eau dans cette embouchure.

Cependant, **des problèmes majeurs menacent le plan d'action à court terme**. Le plus gros problème exprimé par les associations et dont sont conscients les services de l'Etat concerne le **besoin de surveiller le braconnage en rivière et en mer.** Celui-ci pèse sur les efforts que sont prêts à faire les pêcheurs pour respecter la charte des bonnes pratiques. D'autres contraintes ralentissent le bon déroulement du plan d'action de l'Etat à commencer par la situation particulière de la pêche à l'interface du domaine fluvial et maritime qui impose la création de deux statuts de pêcheurs à pied, amateur et professionnel. L'Etat espère contrôler les captures à travers le statut de professionnel à pied qui autorise la vente mais il faut s'attendre à ce que les amateurs continuent de vendre si aucun contrôle n'est fait et à ce que les professionnels à pied ne déclarent qu'une partie de leurs prises comme cela se fait chez les professionnels de la mer, autorisés à capturer le bichique avec une moustiquaire. Enfin, un autre problème vient ralentir la procédure de régularisation : sur les sites où la pêche n'est pas organisée en association, il est impossible d'identifier un référent avec lequel coopérer (par exemple, la rivière des Roches).

Ces recherches dans le volet des sciences humaines et sociales, montrent que la situation de la pêche s'est fortement dégradée en l'absence de réglementation. L'activité de pêche depuis qu'elle s'est organisée en filière, a fortement contribué à l'affaiblissement du recrutement larvaire et s'enlise désormais dans des conflits pour le partage de l'eau et de la ressource, au détriment de

l'environnement et de la tradition. La pêche en mer avec un filet moustiquaire constitue une pression majeure sur la ressource, mais reste en dehors de tout contrôle. Le plan de gestion de l'Etat qui vise à mettre en conformité l'activité de pêche à pied dans les embouchures, constitue déjà une tentative de réduire l'impact de la pêche mais rencontre des obstacles qui ralentissent ou menacent son déroulement. La mise en œuvre de l'ensemble du plan d'action prendra du temps mais pourrait aboutir, dans la mesure où les pêcheurs en rivière signalent depuis longtemps ce besoin de contrôle.

3- Le bichique au sein d'un socio-écosystème

Dans ce troisième et dernier chapitre, nous avions pour objectif de valoriser notre démarche interdisciplinaire et de montrer que les enjeux écologiques de conservation des gobies amphidromes à La Réunion et plus largement dans la région du sud-ouest de l'océan Indien, n'étaient pas incompatibles avec la préservation des intérêts socio-économiques de la pêche des bichiques à La Réunion. En s'inspirant des travaux interdisciplinaires réalisés pour l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, nous avons pu modéliser le socio-écosystème dans lequel circulent les bichiques et communiquer sur les pressions que subissent ces espèces et les enjeux multiples qui gravitent autour de leur conservation.

Nous avons modélisé la boucle de rétroactions dans laquelle diverses pressions anthropiques induisent des changements indirects (ex : religion, démographie) ou directs (ex : surpêche, barrage) sur les services écosystémiques que fournissent les embouchures des rivières (ex : diminution de l'approvisionnement en bichiques), et qui se répercutent sur le bien-être de l'Homme (ex : conflits, santé affectée par la pollution).

Nous savons désormais que la pêche n'est pas la seule pression s'exercant sur les différents services écosystémiques du socio-écosystème mais qu'elle constitue un facteur de changement direct à fort impact sur lequel une intervention humaine est possible. C'est dans ce contexte que s'insère le programme d'actions du SDAGE 2016-2021 qui prévoit notamment de réguler la pêche des bichiques aux embouchures.

Nous avons vu que cela permettrait à la fois de restaurer, en partie, la continuité écologique aux embouchures pour l'ensemble des espèces dont les bichiques. Ce dont pourrait profiter en retour les pêcheurs, si un meilleur respect du canal de reproduction permet une plus forte reproduction et un meilleur recrutement. L'application de la charte qui interdit l'usage des « big bag » et de la javel réduirait également la pollution locale, esthétique et chimique, aux bénéfices de l'ensemble des usagers et du milieu où transitent les bichiques (survie des post-larves qui dépend également de la qualité du milieu). De plus, le respect de la charte permettrait de stopper

l'acceptation de pratiques non durables pour préserver l'activité patrimoniale de pêche des bichiques en rivière dont l'importance culturelle, fédérait autrefois les familles.

Cette représentation du socio-écosystème n'était pas envisageable en début de thèse. C'est bien après avoir acquis suffisamment de connaissances dans les deux volets de l'étude, qu'il a été possible de schématiser simplement une réalité complexe, à des fins pragmatiques, de communication sur la nécessité de gérer les pressions anthropiques à l'échelle des bassins versants, dont la pêche, tant pour la qualité de vie des réunionnais que pour celui des autres espèces.

4- Regard sur l'interdisciplinarité et perspective de recherche

La rédaction de cette thèse repose sur un travail de terrain important, tant par la diversité des méthodes, que par la quantité d'informations recueillies, afin de réaliser une analyse robuste à la fois en écologie et en sciences humaines et sociales. L'estimation des âges des post-larves (otolithométrie) et la retranscription et analyses des entretiens, ainsi que l'utilisation des outils SIG, constituent des techniques nouvelles qu'il a fallu acquérir au cours de cette thèse interdisciplinaire. Ce travail pour lequel nous avions l'ambition d'associer les sciences naturelles aux sciences humaines, était donc un vrai défi que nous pouvons espérer avoir relevé en partie.

L'effort accompli pour comprendre les intérêts des acteurs réunionnais, a également été fourni à mon échelle d'apprentie chercheur formée en écologie, pour comprendre quels étaient les intérêts des anthropologues, géographes, ethnologues ou sociologiques dans ma problématique de recherche afin de m'approprier leurs regards et orienter mes recherches dans le volet Sciences Humaines et Sociales.

Il apparaît néanmoins que malgré tous mes efforts pour cerner le vaste champ disciplinaire des sciences humaines et sociales à travers des discussions, formations doctorales ou intégration dans un labo de géographie, je ne peux prétendre à la fin de cette thèse avoir compris tous les enjeux qui animent ces différentes disciplines. D'ailleurs, les projets interdisciplinaires sont souvent menés à travers la collaboration de différentes équipes de recherche aux compétences particulières ayant la volonté de mettre en regard leurs connaissances et objectifs.

Pour ce qui concerne notre sujet d'étude, les perspectives de recherches sont nombreuses, tant en écologie que dans le volet des sciences humaines et sociales et dans la collaboration de ces deux domaines de recherche :

1- Nous pouvons d'ores et déjà imaginer que la définition des enjeux socio-économiques du bichique que nous avons proposé, pourrait être complétée et enrichie par la contribution de divers spécialistes. Il serait alors possible d'identifier d'autres blocages et leviers d'actions, en soutien aux gestionnaires.

2- Il serait également intéressant de mener une enquête auprès des consommateurs pour évaluer la consommation de bichiques par famille et par an, et vérifier que la demande est réellement supérieure à l'offre locale. On pourrait également leur demander s'ils seraient prêts à restreindre leur consommation.

2- En écologie, il serait intéressant de quantifier le recrutement des post-larves et la dévalaison des pro-larves pour identifier les rivières « sources » et « puits » de l'île. Il serait également possible de mesurer l'impact de certains obstacles ou l'efficacité des mesures de restauration, telles que les passes à poissons.

3- Il faudrait envisager, pour approfondir l'interprétation d'un jeu de données sur les traits de vie des post-larves au recrutement, de relever aux embouchures les données de débit, de température, de météorologie, de marée, de direction de vent et de courant de surface, en parallèle de la collecte d'un échantillon. Cela permettrait de détecter l'influence d'autres facteurs environnementaux locaux sur la variabilité phénotypiques des individus au recrutement et d'identifier leurs exigences écologiques à ce stade de leur vie.

4- Pour mettre en évidence un éventuel effet de l'épisode climatique El niño sur le recrutement, il faudrait collecter de nouveaux échantillons lors d'un ou plusieurs épisodes de réchauffement ainsi qu'en dehors de leurs influences, afin de tester l'effet de la température, de la chlorophylle a et de la courantologie de surface, par exemple, sur la variabilité spatio-temporelle du recrutement.

BIBLIOGRAPHIE

Abdou, A., Keith, P., Galzin, R., 2015. Freshwater Neritids (mollusca: Gastropoda) of Tropical Islands: Amphidromy as a Life Cycle, a Review. Rev. Ecol.- Terre Vie 70, 387–397.

Aboussouan, A., 1969b. Note sur les «bichiques» de l'île de la réunion. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Fascicule Hors Série Supplément. 9: 25–31.

Abrantes, K.G., Sheaves, M., 2010. Importance of freshwater flow in terrestrial-aquatic energetic connectivity in intermittently connected estuaries of tropical Australia. Mar. Biol. 157, 2071–2086. doi:10.1007/s00227-010-1475-8

Allen, L.G., Pondella II, D.J., Horn, M.H., 2006. The Ecology of Marine Fishes California and Adjacent Waters. University of California Press, Berkeley.

Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecol. 26, 32–46.

Andrianaivojaona, C., Kasprzyk, Z.W., Dasylva, G., 1992. Pêches et aquaculture à Madagascar: bilan diagnostic. Ministère de l'élevage et des ressources halieutiques, Direction des ressources halieutiques.

Artusi, R., Verderio, P., Marubini, E., 2002. Bravais-Pearson and Spearman correlation coefficients: meaning, test of hypothesis and confidence interval. Int J Biol Markers 17, 12113584.

Aubie, S., Oliveros, C., 1999. Evolution du trait de côte de 1950 à 1997 de la baie de la Possession à l'embouchure de l'Etang de Saint Paul. Ile Réun. Evol. 1950 1997 Possess. Baya St. Paul Swamp Estuary La Réun. Isl. BRGM 40780.

Augier de Moussac, G., 1983. Contribuer à l'étude de la distribution des bichiques dans les cours d'eau de La Réunion. Mémoire.

Augspurger, J.M., Warburton, M., Closs, G.P., 2017. Life-history plasticity in amphidromous and catadromous fishes: a continuum of strategies. Rev. Fish Biol. Fish. 27, 177–192. doi:10.1007/s11160-016-9463-9

Baran, P., Basilico, L., Larinier, M., Rigaud, C., Travade, F., 2012. Plan de sauvegarde de l'anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages? ONEMA.

Barat, C., 1978. La pêche des bichiques à la réunion: un exemple d'activité économique marginale. Cahier du Centre Universitaire de la Réunion.

Barbee, N.C., Hale, R., Morrongiello, J., Hicks, A., Semmens, D., Downes, B.J., Swearer, S.E., 2011. Large-scale variation in life history traits of the widespread diadromous fish, Galaxias maculatus, reflects geographic differences in local environmental conditions. Mar. Freshw. Res. 62, 790–800. doi:10.1071/MF10284

Barreteau, O., Giband, D., Schoon, M., Cerceau, J., DeClerck, F., Ghiotti, S., James, T., Masterson, V., Mathevet, R., Rode, S., Ricci, F., Therville, C., 2016. Bringing together social-ecological system and concepts to explore nature-society dynamics. Ecol. Soc. 21. doi:10.5751/ES-08834-210442

Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proc. R. Soc. Lond. Ser. Math. Phys. Sci. 268–282.

Beaucher, S., 2013. Plus un poisson d'ici 30 ans ? Surpêche et désertif: Surpêche et désertification des océans. Les petits matins.

Behrenfeld, M.J., O'Malley, R.T., Siegel, D.A., McClain, C.R., Sarmiento, J.L., Feldman, G.C., Milligan, A.J., Falkowski, P.G., Letelier, R.M., Boss, E.S., 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. Nature 444, 752–755.

Bell, J.D., Clua, E., Hair, C.A., Galzin, R., Doherty, P.J., 2009. The capture and culture of post-larval fish and invertebrates for the marine ornamental trade. Rev. Fish. Sci. 17, 223–240.

Bell, K., Pepin, P., Brown, J., 1995. Seasonal, Inverse Cycling of Length-at-Recruitment and Age-at-Recruitment in the Diadromous Gobies Sicydium-Punctatum and Sicydium-Antillarum in Dominica, West-Indies. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52, 1535–1545. doi:10.1139/f95-147

Bell, K.N.I., 1999. An overview of goby-fry fisheries. Naga 22, 30–36.

Berg, L.R., Raven, P.H., Hassenzahl, D.M., 2009. Environnement. De Boeck Supérieur.

Bergenius, M.A.J., McCormick, M.I., Meekan, M.G., Robertson, D.R., 2005. Environmental influences on larval duration, growth and magnitude of settlement of a coral reef fish. Mar. Biol. 147, 291–300. doi:10.1007/s00227-005-1575-z

Berrebi, P., Cattaneo-Berrebi, G., Valade, P., Ricou, J.F., Hoareau, T., 2005. Genetic homogeneity in eight freshwater populations of Sicyopterus lagocephalus, an amphidromous gobiid of La Reunion Island. Mar. Biol. 148, 179–188. doi:10.1007/s00227-005-0058-6

Bielsa, S., Francisco, P., Mastrorillo, S., Parent, J.P., 2003. Seasonal changes of periphytic nutritive quality for Sicyopterus lagocephalus (Pallas, 1770) (gobiidae) in three streams of Reunion Island. Ann. Limnol.-Int. J. Limnol. 39, 115–127. doi:10.1051/limn/2003009

Blanco, G.J., 1956. Assay of the goby fry (ipon) fisheries of the Laoag River and its adjacent marine shores, Ilocos Norte Province. Philipp. J Fish 4, 31–80.

Bliss, C.I., 1958. Periodic regression in biology and climatology.

Bolger, N., Delongis, A., Kessler, R., Schilling, E., 1989. Effects of Daily Stress on Negative Mood. J. Pers. Soc. Psychol. 57, 808–818. doi:10.1037/0022-3514.57.5.808

Bonhommeau, S., Chassot, E., Planque, B., Rivot, E., Knap, A.H., Le Pape, O., 2008. Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. Mar. Ecol. Prog. Ser. 373, 71–80.

Boussarie, G., Teichert, N., Lagarde, R., Ponton, D., 2016. BichiCAM, an Underwater Automated Video Tracking System for the Study of Migratory Dynamics of Benthic Diadromous Species in Streams. River Res. Appl. 32, 1392–1401. doi:10.1002/rra.2984

Bradshaw, A.D., 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Adv. Genet. 13, 115–155.

Briand, C., Fatin, D., Ciccotti, E., Lambert, P., 2005. A stage-structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass eel Anguilla anguilla pigmentation development. J. Fish Biol. 67, 993–1009. doi:10.1111/j.1095-8649.2005.00798.x

Brothers, E.B., Williams, D.M., Sale, P.F., 1983. Length of larval life in twelve families of fishes at "One Tree Lagoon", Great Barrier Reef, Australia. Mar. Biol. 76, 319–324. doi:10.1007/BF00393035

Campan, F., 2010. Le traitement et la gestion des déchets ménagers à La Réunion : approche géographique. Thèse. Université de La Réunion.

Carvalho, M.G., Moreira, C., Queiroga, H., Santos, P.T., Correia, A.T., 2017. Pelagic larval duration, size at settlement and coastal recruitment of the intertidal blenny Lipophrys pholis. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 97, 197–205. doi:10.1017/S0025315415002179

CETE méditerranée, 2012. Approche spatiale des continuités écologiques à La Réunion.

Collins, W., Colman, R., Haywood, J., Manning, M., Mote, P., 2007. Réchauffement climatique: le temps des certitudes. Pour Sci. 68.

Comité de Bassin Réunion, 2013. État des lieux 2013 du district hydrographique de la Réunion. Chapitre 2 Le district hydrographique de La Réunion Usages et activités liés à l'eau.

Connolly, S.R., Roughgarden, J., 1999. Increased recruitment of northeast Pacific barnacles during the 1997 El Niño. Limnol. Oceanogr. 44, 466–469. doi:10.4319/lo.1999.44.2.0466

Cordonnier, T., Bonnier, J., 2009. Modélisation numérique du système aquifère associé à la plaine alluviale du Mat. Rapport Office de l'eau Réunion.

Cubillos, L.A., Arcos, D.F., 2002. Recruitment of common sardine (Strangomera bentincki) and anchovy (Engraulis ringens) off central-south Chile in the 1990s and the impact of the 1997–1998 El Niño. Aquat. Living Resour. 15, 87–94. doi:10.1016/S0990-7440(02)01158-0

Cuvier, G., Valenciennes, M., 1837. Histoire naturelle des poissons. Tome II.

De la Torre, Y., 2008. Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât et propositions de solutions de gestion. No. Volume 1/5 : Inventaire bibliographique. Rapport BRGM/RP-56364-FR.

DEAL, 2014. Étude préalable d'identification et de cartographie des réseaux écologiques à la réunion. Tome2-cartographie.

DEAL, 2012. Profil environnemental de La Réunion.
DEAL, al, 2011. Évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de La Réunion. Proposition d'un plan d'action pour reconquérir cette continuité. Rapport DEAL, ANTEAGROUP, OCEA CONSULT', HYDRETUDES – ECOGEA.
Defos Du Rau, 1960. L'île de la Réunion. Etude de Géographie humaine. Thèse. Université de La Réunion.
Delacroix, P., 1987. Etude des "bichiques", juvéniles de Sicyopterus lagocephalus (Pallas), poisson Gobiidae migrateur des rivières de la Réunion (océan Indien): exploitation, répartition, biologie de la reproduction et de la croissance. Thèse. Université de La Réunion.
Delacroix, P., Champeau, A., 1992. Ponte en eau douce de Sicyopterus lagocephalus (Pallas) poisson Gobiidae amphibionte des rivières de la Réunion. Hydroécologie Appliquée 4, 49–63. doi:10.1051/hydro:1992105
Devlin, MJ., Brodie, J., 2005. Terrestrial discharge into the Great Barrier Reef Lagoon: nutrient behavior in coastal waters. Mar Pollut Bull 51:9–22. doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.10.037
DIREN, 2006. Profil environnemental de La Réunion.
Division of aquatic resources, 2016. Hawai'i fishing regulations. Hawai'i.
Drouineau, H., Briand, C., Lambert, P., Beaulaton, L., 2016. GEREM (Glass Eel Recruitment Estimation Model): A model to estimate glass eel recruitment at different spatial scales. Fish. Res. 174, 68–80. doi:10.1016/j.fishres.2015.09.003
Dufour, V., Galzin, R., 1992. Le recrutement des poissons récifaux sur l'île de Moorea, Polynésie française. Impact sur la dynamique des populations et conséquences sur la gestion des stocks. Cybium 16, 267–277.
Duheca, A., Delormea, M.O., Hénauta, A., Martinb, C., 2009. La gestion des ressources d'anguille: enjeu européen et problématiques locales. Ingénieries 119–130.
Dunn, O.J., 1964. Multiple comparisons using rank sums. Technometrics 6, 241–252.
EDF, 2010. Les systèmes énergétiques insulaires (SEI), laboratoire pour l'innovation et les énergies renouvelables. L'exemple de La Réunion.
Elie, P., Rochard, E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (Anguilla anguilla L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. Bull. Fr. Pêche Piscic. 81–98. doi:10.1051/kmae:1994006
Ellien, C., Werner, U., Keith, P., 2016. Morphological changes during the transition from freshwater to sea water in an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus (Pallas 1770) (Teleostei). Ecol. Freshw. Fish 25, 48–59. doi:10.1111/eff.12190
Elliott, M., 2011. Marine science and management means tackling exogenic unmanaged pressures and endogenic managed pressures–a numbered guide. Pergamon.
Elliott, M., Whitfield, A.K., 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. Estuar. Coast. Shelf Sci. 94, 306–314. doi:10.1016/j.ecss.2011.06.016
Erdman, D.S., 1961. Notes on the biology of the gobiid fish Sicydium plumieri in Puerto Rico. Bull. Mar. Sci. 11, 448–456.
Eugénie, G., Jumaux, G., 2016. Bulletin climatologique 2016 Direction Interrégionale Océan Indien (Météo-France Réunion).
Eybert, M.C., Bernard, J.Y., Constant, R., Feunteun, E., Hédin, J., Questiau, S., 1998. Marsh meadow restoration in the Briere marsh: evolution of flora, fish and birds. Gibier Faune Sauvage 15, 999–1016.
Feunteun, E., 2002. Management and restoration of European eel population (Anguilla anguilla): An impossible bargain. Ecol. Eng. 18, 575–591. doi:10.1016/S0925-8574(02)00021-6
Fiedler, P.C., Methot, R.D., Hewitt, R.P., 1986. Effects of California El Niño 1982–1984 on the northern anchovy. J. Mar. Res. 44, 317–338. doi:10.1357/002224086788405365
Filliot, J.-M., 1974. La traite des esclaves vers les Mascareignes au 18e siècle. Mémoire. ORSTOM.
Folke, C., 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. Glob. Environ. Change, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme

of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change 16, 253–267. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002
Gallopín, G.C., 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Glob. Environ. Change 16, 293–303.
Galton, F., 1886. Regression towards mediocrity in hereditary stature. J. Anthropol. Inst. G. B. Irel. 15, 246–263.
Gascuel, D., 1986. Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (Anguilla anguilla) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. Helgol. Meeresunters. 40, 321–326.
Geistdoerfer, A., 1987. Pêcheurs acadiens, pêcheurs madelinots: ethnologie d'une communauté de pêcheurs. Presses Université Laval.
Green, B.S., Fisher, R., 2004. Temperature influences swimming speed, growth and larval duration in coral reef fish larvae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 299, 115–132. doi:10.1016/j.jembe.2003.09.001
Hoare, D.J., Couzin, I.D., Godin, J.-G., Krause, J., 2004. Context-dependent group size choice in fish. Anim. Behav. 67, 155–164.
Hoareau, T., 2005. Dynamique structurale des populations de bichiques, Sicyopterus lagocephalus : gobiidés amphidromes des rivières de la Réunion. Thèse. Université de La Réunion.
Hoareau, T.B., Bosc, P., Valade, P., Berrebi, P., 2007a. Gene flow and genetic structure of Sicyopterus lagocephalus in the south-western Indian Ocean, assessed by intron-length polymorphism. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 349, 223–234.
Hoareau, T.B., Lecomte-Finiger, R., Grondin, H.-P., Conand, C., Berrebi, P., 2007b. Oceanic larval life of La Reunion "bichiques", amphidromous gobiid post-larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 333, 303–308. doi:10.3354/meps333303
Holling, C.S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annu. Rev. Ecol. Syst. 4, 1–23. doi:10.1146/annurev.es.04.110173.000245
Iida, M., Watanabe, S., Tsukamoto, K., 2009. Life History Characteristics of a Sicydiinae Goby in Japan, Compared with Its Relatives and Other Amphidromous Fishes. In Haro, A. J., K. L. Smith, R. A. Rulifson, C. M. Moffitt, R. J. Klauda, M. J. Dadswell, R. A. Cunjak, J. E. Cooper, K. L. Beal, and T. S. Avery, editors. Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment. American Fisheries Society Symposium 69. 355–373. Bethesda, Maryland.
Iida, M., Watanabe, S., Tsukamoto, K., 2015. Oceanic larval duration and recruitment mechanism of the amphidromous fish Sicyopterus japonicus (Gobioidei: Sicydiinae). Reg. Stud. Mar. Sci. 1, 25–33. doi:10.1016/j.rsma.2015.03.001
Iida, M., Kondo, M., Tabouret, H., Maeda, K., Pecheyran, C., Hagiwara, A., Keith, P., Tachihara, K., 2017. Specific gravity and migratory patterns of amphidromous gobioid fish from Okinawa Island, Japan. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 486: 160–169.
Jacques-Jouvenot, D., 2014. Le paradoxe de la transmission du métier : le cas des éleveurs. Sociologies.
Jarvis, M.G., Closs, G.P., 2015. Larval drift of amphidromous Gobiomorphus spp. in a New Zealand coastal stream: a critical spatial and temporal window for protection. N. Z. J. Mar. Freshw. Res. 49, 439–447. doi:10.1080/00288330.2015.1072569
Jenkins, GP., Conron, SD., Morison, AK., 2010. Highly variable recruitment in an estuarine fish is determined by salinity stratification and freshwater flow: implications of a changing climate. Mar Ecol Prog Ser 417:249–261. doi: 10.3354/meps08806
Kaufman, J.C., 1991. L'entretien compréhensif: L'enquête et ses méthodes. Ed Armand Colin Paris 78.

Keith, P., 2003. Biology and ecology of amphidromous Gobiidae of the Indo-Pacific and the Caribbean regions. J. Fish Biol. 63, 831–847. doi:10.1046/j.1095-8649.2003.00197.x

Keith, P., Galewski, T., Cattaneo-Berrebi, G., Hoareau, T., Berrebi, P., 2005. Ubiquity of Sicyopterus lagocephalus (Teleostei : Gobioidei) and phylogeography of the genus Sicyopterus in the Indo-Pacific area inferred from mitochondrial cytochrome b gene. Mol. Phylogenet. Evol. 37, 721–732. doi:10.1016/j.ympev.2005.07.023

Keith, P., Hoareau, T.B., Lord, C., Ah-Yane, O., Gimonneau, G., Robinet, T., Valade, P., 2008. Characterisation of post-larval to juvenile stages, metamorphosis and recruitment of an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus (Pallas) (Teleostei : Gobiidae : Sicydiinae). Mar. Freshw. Res. 59, 876–889.

Keith, P., Lord, C., Maeda, K., 2015. Indo-Pacific Sicydiine Gobies Biodiversity, life traits and conservation. Société Française d'Icthyologie, Paris.

Keith, P., Vigneux, E., Marquet, G., 2002. Atlas of freshwater fish and crustaceans from French Polynesia. Museum National d'Histoire Naturelle, Keith, P.; Museum National d'Histoire Naturelle, 57 rue Cuvier, 75231 Paris cedex 05, France, France.

Kiener, A., 1963. Poissons, pêche et pisciculture à Madagascar. Nogent-sur-Marne. 160 p.

Kim, H., Kimura, S., Shinoda, A., Kitagawa, T., Sasai, Y., Sasaki, H., 2007. Effect of El Niño on migration and larval transport of the Japanese eel (Anguilla japonica). ICES J. Mar. Sci. 64, 1387–1395. doi:10.1093/icesjms/fsm091

Kimura, S., Inoue, T., Sugimoto, T., 2001. Fluctuation in the distribution of low-salinity water in the North Equatorial Current and its effect on the larval transport of the Japanese eel. Fish. Oceanogr. 10, 51–60. doi:10.1046/j.1365-2419.2001.00159.x

Koumans, 1953. Gobioidea. In M. Weber and L. de Beaufort (eds.) Fishes of the Indo-Australian Archipelago, Vol. 10. E.J. Brill, Leiden. 423 p.

Kraak, S.B.M., 2011. Exploring the "public goods game" model to overcome the Tragedy of the Commons in fisheries management. Fish Fish. 12, 18–33. doi:10.1111/j.1467-2979.2010.00372.x

Krause, J., Tegeder, R.W., 1994. The mechanism of aggregation behaviour in fish shoals: individuals minimize approach time to neighbours. Anim. Behav. 48, 353–359. doi:10.1006/anbe.1994.1248

Kruskal, W.H., Wallis, W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. J. Am. Stat. Assoc. 47, 583–621.

Kucharczyk, D., Luczynski, M., Kujawa, R., Czerkies, P., 1997. Effect of temperature on embryonic and larval development of bream (Abramis brama L.). Aquat. Sci. 59, 214–224. doi:10.1007/PL00001309

Lagarde, R., Teichert, N., Boussarie, G., Grondin, H., Valade, P., 2015. Upstream migration of amphidromous gobies of La Réunion Island: implication for management. Fish. Manag. Ecol. 22, 437–449. doi:10.1111/fme.12142

Lagarde, R., Teichert, N., Grondin, H., Magalon, H., Pirog, A., Ponton, D., 2016. Temporal variability of larval drift of tropical amphidromous gobies along a watershed in Réunion Island. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 73, 1–10.

Le Berre, P., Françoise, L., Colin, S., 2010. Schéma départemental des carrières de La Réunion. Rapport BRGM/RP-57788-FR.

Lecchini, D., Galzin, R., 2003. Synthèse sur l'influence des processus pélagiques et benthiques, biotiques et abiotiques, stochastiques et déterministes, sur la dynamique de l'autorecrutement des poissons coralliens. Cybium 27, 167–184.

Leis, J., McCormick, M., 2002. Behaviour, dispersal, growth and metamorphosis of the pelagic larvae of coral reef fishes. In: Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a complex Ecosystem (Sale P.F., ed.), pp. 171-200.

Lejeune, L., Tabouret, H., Taillebois, L., Monti, D., Keith, P., 2016. Larval traits of the Caribbean amphidromous goby Sicydium punctatum (Gobioidei: Sicydiinae) in Guadeloupe. Ecol. Freshw. Fish 25, 272–280. doi:10.1111/eff.12208

Levins, R., 1969. Some Demographic and Genetic Consequences of Environmental Heterogeneity for Biological. p. Pages 237–240.

Lipovetsky, G., 2006. Le bonheur paradoxal. Essai Sur Société Hyperconsommation Paris Gallimard.

Lord, C., 2009. Amphidromie, endémisme et dispersion: traits d'histoire de vie et histoire évolutive du genre Sicyopterus (Teleostei : Gobioidei : Sicydiinae). Thèse. Museum national d'histoire naturelle, Paris.

Lord, C., Brun, C., Hautecoeur, M., Keith, P., 2010. Insights on endemism: comparison of the duration of the marine larval phase estimated by otolith microstructural analysis of three amphidromous Sicyopterus species (Gobioidei: Sicydiinae) from Vanuatu and New Caledonia. Ecol. Freshw. Fish 19, 26–38. doi:10.1111/j.1600-0633.2009.00386.x

Lord, C., Lorion, J., Dettai, A., Watanabe, S., Tsukamoto, K., Cruaud, C., Keith, P., 2012. From endemism to widespread distribution: phylogeography of three amphidromous Sicyopterus species (Teleostei: Gobioidei: Sicydiinae). Mar. Ecol. Prog. Ser. 455, 269–285. doi:10.3354/meps09617

Lord, C., Tabouret, H., Claverie, F., Pécheyran, C., Keith, P., 2011. Femtosecond laser ablation ICP-MS measurement of otolith Sr: Ca and Ba: Ca composition reveal differential use of freshwater habitats for three amphidromous Sicyopterus (Teleostei: Gobioidei: Sicydiinae) species. J. Fish Biol. 79, 1304–1321.

Lorion, D., 2006. Endiguements et risques d'inondation en milieu tropical. L'exemple de l'île de la Réunion. Norois Environ. Aménage. Société 45–66. doi:10.4000/norois.1753

Manacop, P.R., 1954. The life history and habits of the goby, Sicyopterus extraneus Herre (Anga) Gobiidae, with an account of the gobyfry fishery of Cagayan river, Oriental Misamis. Philipp. J. Fish. 2, 1–58.

Maxwell, S.E., Delaney, H.D., 2004. Designing experiments and analyzing data: A model comparison perspective. Psychology Press.

McDowall, R.M., 2007. On amphidromy, a distinct form of diadromy in aquatic organisms. Fish Fish. 8, 1–13. doi:10.1111/j.1467-2979.2007.00232.x

MCRae, M.G., 2007. The potential for source-sink population dynamics in Hawaii's amphidromous fishes. Biol. Hawaii. Streams Estuaries 3, 87–98.

Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Millenium Ecosystem Assessment. 2005.Ecosystems and Human Wellbeing :Current State and Trends, tome 1. Island Press, Washington D.C.

Millenium Ecosystem Assessment, 2003. Millenium Ecosystem Assessment. 2003.Ecosystems and Human Wellbeing :A Framework for Assessment. Island Press, Washington D.C.

Montilla, J., 1931. The Ipon fisheries of Northern Luzon. Philipp. J. Sci. 45, 61–74.

Myers, G.S., 1949. Usage of Anadromous, Catadromous and Allied Terms for Migratory Fishes 89–97.

Navarrete, S.A., Broitman, B., Wieters, E.A., Finke, G.R., Venegas, R.M., Sotomayor, A., 2002. Recruitment of intertidal invertebrates in the southeast Pacific: Interannual variability and the 1997–1998 El Niño. Limnol. Oceanogr. 47, 791–802. doi:10.4319/lo.2002.47.3.0791

North, EW., Houde, ED., 2001. Retention of white perch and striped bass larvae: Biological-physical interactions in Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum. Estuaries 24:756–769. doi: 10.2307/1352883

North, EW., Houde, ED., 2003. Linking ETM physics, zooplankton prey, and fish early-life histories to striped bass Morone saxatilis and white perch M. americana recruitment. Mar Ecol Prog Ser 260:219–236. doi: 10.3354/meps260219

OCEA, 2015. Suivi 2014 des éléments biologiques "poissons et macro-crustacés " des rivières du bassin Réunion.

ODE, 2014. Etablissement du schéma départemental d'assainissement de La Réunion. Phase 1 - Etat des lieux.
ODE, 2007. Etude des circulations d'eau (rivières, galeries salazie, ….) Des systèmes hydriques du secteur de Saint-Denis / Sainte-Marie.
ONEMA, 2015. Contexte et diagnostic des usages phytosanitaires en ZNA - 2014 (Document Initial, Projet Ecophyto ZNA - Action 2).
ONEMA, 2010. Sauvegarde de l'anguille. Le plan de gestion français.
Ostrom, E., 2001. Social dilemmas and human behaviour. Econ. Nat. Soc. Dilemmas Mate Choice Biol. 23–41.
Ostrom, E., 1998. A behavioral approach to the rational choice theory of collective action. Am. Polit. Sci. Rev. 92, 1–22. doi:10.2307/2585925
Panfili, J., Troadec, H., 1993. What's new in otolithometry? Cybium 17, 171–173.
Parrish, J.K., Edelstein-Keshet, L., 1999. Complexity, pattern, and evolutionary trade-offs in animal aggregation. Science 284, 99–101.
Pearce, A.F., Phillips, B.F., 1988. ENSO events, the Leeuwin Current, and larval recruitment of the western rock lobster. ICES J. Mar. Sci. 45, 13–21. doi:10.1093/icesjms/45.1.13
Pechenik, J.A., Estrella, M.S., Hammer, K., 1996. Food limitation stimulates metamorphosis of competent larvae and alters postmetamorphic growth rate in the marine prosobranch gastropod Crepidula fornicata. Mar. Biol. 127, 267–275. doi:10.1007/BF00942112
Pellegrin, 1933. Les poissons des eaux douces de Madagascar et des îles voisines (Comores, Seychelles, Mascareignes).
Phillips, N.E., 2002. Effects of nutrition-mediated larval condition on juvenile performance in a marine mussel. Ecology 83, 2562–2574. doi:10.2307/3071815
Plessis, Y., 1973. Etude préliminaire de la faune ichtyologique de Moorea. Cah Pacif 17, 79–88.
Pouget, R., Garcin, M., 2003. Etude diagnostic du transport solide et de l'évolution du fond du lit de la rivière des Pluies, Ile de La Réunion. Proj Serv Public BRGM 03 RES 837 BRGMIRP-52841-FR.
Price, J.F., Weller, R.A., Schudlich, R.R., 1987. Wind-driven ocean currents and Ekman transport, in: Proceedings of the 20th International CosmicRay Conference (Nauka, Moscow, 1987). JSTOR, p. 236.
Pulliam, H.R., 1988. Sources, sinks, and population regulation. Am. Nat. 132, 652–661.
Radtke, R.L., Kinzie, R.A., 1996. Evidence of a marine larval stage in endemic Hawaiian stream gobies from isolated high-elevation locations. Trans. Am. Fish. Soc. 125, 613–621. doi:10.1577/1548-8659(1996)125<0613:EOAMLS>2.3.CO;2
Radtke, R.L., Kinzie, R.A., Folsom, S.D., 1988. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. Environ. Biol. Fishes 23, 205–213. doi:10.1007/BF00004911
Richard, Y., Camberlin, P., Fauchereau, N., Mulenga, H., 2002. Cohérence intrasaisonnière de la variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique du Sud, ABSTRACT. L'Espace Géographique tome 31, 63–72.
Richarson, M., Grondin, H., Valade, P., Bosc, P., 2009. Révision de la liste des espèces animales protégées de La Réunion. Rapport ARDA, ODE, Région Réunion, Département de la Réunion.
Richarson, M., Valade, P., Bosc, P., Olivier, J.., 2008. Réseau Piscicole de La Réunion 2000/2007 : mise en place d'outils d'interprétation de la qualité des peuplements. Rapport ARDA, LEHF, ODE, Région Réunion, Département de la Réunion.
Richarson, M., 2012. Observation des Flux Migratoires de poissons et de macrocrustacés diadromes de la Réunion. Rapport ARDA, FEDER INTERREGIIIB, DEAL Réunion.
Risch, L., Van Den Audenaerde, D.T., 1979. On the west African species of the genera Sicydium Cuv. & Val. and Lentipes Gthr. Rev. Zool. Afr. 93, 882–900.
Robert, R., 1977. Pêche et aquaculture a la Reunion. Centre universitaire de la Réunion.

Savoie-Zajc, L., 2009. L'entrevue semi-dirigée. Rech. Soc. Problématique À Collecte Données 5, 337–360.
Schott FA, McCreary JP (2001) The monsoon circulation of the Indian Ocean. Prog Oceanogr 51:1– 123.
Schübel, A., 1998. Pêcheurs de bichiques à la Réunion. Rapport final d'étude en sciences sociales.
Secor, D. H., Dean, J. M. & Laban, E. H. (1992). Otolith removal and preparation for microstructural examination. In Otolith Microstructure Exaininatioii and Analysis (Stevenson, D. K. & Campana, S. E., eds), pp. 19-57. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans.
Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52, 591–611. doi:10.1093/biomet/52.3-4.591
Simon, T., 2008. Une île en mutation. EchoGéo. doi:10.4000/echogeo.8003
Singaravelou, M., 1997. Pratiques de gestion de l'environnement dans les pays tropicaux. DYMSET CRET Talence 558p.
Sirois, P., Dodson, JJ., 2000. Influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt Osmerus mordax in an estuarine turbidity maximum. Mar Ecol Prog Ser 193:167–179. doi: 10.3354/meps193167
Sorensen, P.W., Hobson, K.A., 2005. Stable Isotope Analysis of Amphidromous Hawaiian Gobies Suggests Their Larvae Spend a Substantial Period of Time in Freshwater River Plumes. Environ. Biol. Fishes 74, 31–42. doi:10.1007/s10641-005-3212-6
Sponaugle, S., Grorud-Covert, K., 2006. Environmental variability, early life-history traits, and survival of new coral reef fish recruits. Integr. Comp. Biol. 46, 623–633. doi:10.1093/icb/ic1014
Sponaugle, S., Pinkard, D.R., 2004. Impact of variable pelagic environments on natural larval growth and recruitment of the reef fish Thalassoma bifasciatum. J. Fish Biol. 64, 34–54. doi:10.1046/j.1095-8649.2003.00279.x
Strauss, A., Corbin, J.M., 1997. Grounded Theory in Practice. SAGE.
Strydom, N.A., Whitfield, A.K., Wooldridge, T.H., 2003. The role of estuarine type in characterizing early stage fish assemblages in warm temperate estuaries, South Africa. Afr. Zool. 38, 29–43.
Taillebois, L., Keith, P., Valade, P., Torres, P., Baloche, S., Dufour, S., Rousseau, K., 2011. Involvement of thyroid hormones in the control of larval metamorphosis in Sicyopterus lagocephalus (Teleostei: Gobioidei) at the time of river recruitment. Gen. Comp. Endocrinol. 173, 281–288. doi:10.1016/j.ygcen.2011.06.008
Taillebois, L., Maeda, K., Vigne, S., Keith, P., 2012. Pelagic larval duration of three amphidromous Sicydiinae gobies (Teleostei: Gobioidei) including widespread and endemic species. Ecol. Freshw. Fish 21, 552–559. doi:10.1111/j.1600-0633.2012.00575.x
Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J.-P., Richard, G., 2014. Les services écosystémiques dans la littérature scientifique: démarche d'exploration et résultats d'analyse. Institut National de la Recherche Agronomique.
Teichert, N., 2012. Variabilité des traits d'histoire de vie chez les Gobiidae (Sicydiinae) amphidromes de l'île de la Réunion: Sicyopterus lagocephalus (Pallas, 1770) et Cotylopus acutipinnis (Guichenot, 1863). Thèse. Pau.
Teichert, N., Richarson, M., Valade, P., Gaudin, P., 2012. Reproduction and marine life history of an endemic amphidromous gobiid fish of Reunion Island. Aquat. Biol. 15, 225–236. doi:10.3354/ab00420
Teichert, N., Valade, P., Grondin, H., Trichet, E., Sardenne, F., Gaudin, P., 2016. Pelagic larval traits of the amphidromous goby Sicyopterus lagocephalus display seasonal variations related to temperature in La Reunion Island. Ecol. Freshw. Fish 25, 234–247. doi:10.1111/eff.12205

Townsend, C.H.T., 1895. On a fish of the genus Sicydium whose young swarm in vast numbers in the fresh waters of Jamaica. Journal of the Institute of Jamaica 2, 175–176.

Tukey, J.W., 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. Biometrics 99–114.

Tzeng, W.-N., Wang, Y.-T., 1992. Structure, composition and seasonal dynamics of the larval and juvenile fish community in the mangrove estuary of Tanshui River, Taiwan. Mar. Biol. 113, 481–490. doi:10.1007/BF00349175

Vaillant, L., 1890. Remarques sur la pêche de la bichique à l'île de la Réunion.

Valade, P., Lord, C., Grondin, H., Bosc, P., Taillebois, L., Iida, M., Tsukamoto, K., Keith, P., 2009. Early life history and description of larval stages of an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus (Gobioidei: Sicydiinae). Cybium 33, 309–319.

Valdivia, F., 2014. Les cantonnements de pêche à la Martinique : bilan et perspectives. Études Caribéennes. doi:10.4000/etudescaribeennes.6800

Vedra, S.A., Ocampo, P.P., 2014. The Fishery Potential of Freshwater Gobies in Mandulog River, Northern Mindanao, Philippines. Asian J. Agric. Dev. 11, 95–103.

Wallis, C., Blancher, P., Séon-Massin, N., Martini, F., Schouppe, M., 2011. Mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. Quand les services écosystémiques entrent en jeu (Synthèse Les rencontres de l'Onema). Bruxelles.

Watanabe, S., Iida, M., Lord, C., Keith, P., Tsukamoto, K., (2014). Tropical and temperate freshwater amphidromy: a comparison between life history characteristics of Sicydiinae, ayu, sculpins and galaxiids. Reviews in Fish Biology and Fisheries 24 (1): 1–14

Weissing, F., Ostrom, E., 1991. Irrigation institutions and the games irrigators play: Rule enforcement without guards, in: Game Equilibrium Models II. Springer, pp. 188–262.

Whitfield, A.K., Adams, J.B., Bate, G.C., Bezuidenhout, K., Bornman, T.G., Cowley, P.D., Froneman, P.W., Gama, P.T., James, N.C., Mackenzie, B., Riddin, T., Snow, G.C., Strydom, N.A., Taljaard, S., Teroerde, A.I., Theron, A.K., Turpie, J.K., van Niekerk, L., Vorwerk, P.D., Wooldridge, T.H., 2008. A multidisciplinary study of a small, temporarily open/closed South African estuary, with particular emphasis on the influence of mouth state on the ecology of the system. Afr. J. Mar. Sci. 30, 453–473. doi:10.2989/AJMS.2008.30.3.2.636

Wikström, A., Ripa, J., Jonzén, N., 2012. The role of harvesting in age-structured populations: Disentangling dynamic and age truncation effects. Theor. Popul. Biol., Structured Population Models: Construction, Analysis, Inference 82, 348–354. doi:10.1016/j.tpb.2011.12.008

Wilcoxon, F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. Biom. Bull. 1, 80–83.

Winemiller, K.O., Leslie, M.A., 1992. Fish assemblages across a complex, tropical freshwater/marine ecotone. Environ. Biol. Fishes 34, 29–50.

Winemiller, K.O., Zeug, S.C., Robertson, C.R., Winemiller, B.K., Honeycutt, R.L., 2011. Food-web structure of coastal streams in Costa Rica revealed by dietary and stable isotope analyses. J. Trop. Ecol. 27, 463–476.

Znaniecki, F., 1934. The Method of Sociology, New York: Farrar and Rhinehart. Inc.

ANNEXE

Article sous presse

Environmental Biology of Fishes

Spatial variability in post-larval traits of *Sicyopterus lagocephalus* Pallas 1770 around Reunion Island

Carole Thomas · Enora Becheler · Anne-Marie Trinh · Céline Ellien

C. Thomas (✉) · A. M. Trinh · C. Ellien

Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie, UMR 7208 (MNHN-CNRS-UPMC-IRD-UAG-UCB), Département Adaptations du Vivant, Muséum national d'Histoire naturelle, 43 rue Cuvier, CP26, 75231 Paris cedex 05, France

e-mail: carole.thomas@mnhn.fr

E. Becheler

Becheler Conseils, 11 avenue de la Possession 33380 Marcheprime

Acknowledgements

We thank Convergence program of Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), National Museum of Natural History of Paris and UMR BOREA 7208, for financial support of this work. We also thank the CREGUR of the University of Reunion Island, for technical support as well as human support. We are grateful to fishermen for their cooperation. We thank Mélyne Hautecoeur for the rereading of the manuscript.

Abstract

The spatial variability of *S. lagocephalus* post-larval traits, in February 2015, was investigated through comparison of pelagic larval duration (PLD), standard length (SL), body mass (BM) and condition factor among 6 rivers around Reunion Island. The variability of the same traits was also investigated within a recruitment event in another river, in January 2015. Our results showed homogeneity of the PLD both between sites during the recruitment of February 2015, and during the recruitment event of January 2015 at a given site. The other traits were different between the eastern and the western rivers. The post-larvae from the East were characterised by higher BM and condition factor whereas on the West they were longer. These differences can be explained by different environmental conditions experienced by larvae in the coastal oceanic water before they entered the river, but also by different migration routes during their marine dispersal. The coastal water on the eastern side, more turbid and probably trophically richer, could have induced a better growth of the post-larvae compared to those at the same age on the western side. A singularity was highlighted concerning the Marsouins river, located East of the island, where post-larvae were at a more advanced stage of their metamorphosis, characterised by both a smaller size and a lighter weight. This particularity was related to the location of the fishermen trapnet, positioned farther up river compared to all the other rivers, either West or East of the island.

Keywords Amphidromous gobies · Insular environments · Traditional fishery · River mouth · Reunion Island

Introduction

Recruitment is defined by ecologists as the arrival of new individuals in the adult population. Variability in larval recruitment of most marine fish stocks has been demonstrated to be important in space and time and constitutes a central issue given its influence on demography of adult populations (Hjort 1914; Hughes 1990; Doherty and Fowler 1994; McDowall 2007; Houde 2008). The variability in larval supply in recruitment areas is, at least partly, related to environmental and ecological processes acting over several temporal and spatial scales and throughout pre-recruitment life history (i.e. marine larval stage) (Houde 2008; Santos et al. 2011; Smart et al. 2012; Stige et al. 2013). Thus, larval production, condition, behaviour and predation, coupled to environmental conditions and oceanographic processes, are major sources of recruitment variation (Allen and Cover 2006). These processes influencing larva loss (i.e *potential recruits*) have been a central focus of fisheries science to maintain commercially exploited or vulnerable species (Hjort 1914; Cushing 1973; Govoni 2005).

In tropical insular environments, freshwater systems are usually composed of young oligotrophic rivers, undergoing strong hydrological seasonal variations (Keith et al. 2009). These rivers are impacted by alternation of floods and drought periods, in relation with the alternation of humid and dry seasons. As a consequence of these hydrological variations, insular rivers are frequently subject to local extinctions of their fauna (McDowall 2003; Keith 2003).

In the Caribbean and Indo-Pacific islands, these rivers are mainly inhabited by diadromous organisms. Diadromy characterises the life-cycle of organisms (i.e. crustaceans, molluscs, or fish) that have to migrate between freshwater and the sea, in a regular way, at predictable stages of their life-cycle (McDowall 1992). Three categories of diadromy are defined, based on the location of spawning and feeding areas, and then, on migration direction. If migration is related to a spawning event, it is either anadromy: the organisms migrate towards the river to reproduce, or catadromy: the organisms migrate seawards to reproduce. If the migration between fresh- and sea-water is not related to spawning events, then it is amphidromy (McDowall 1992). For amphidromous species, recruitment corresponds to the return of larvae to coastal water, after their dispersal phase, and the successful colonization of juvenile then adult freshwater habitats (Allen et al. 2006).

In Reunion Island (Mascarene Archipelago, Indian Ocean), the amphidromous goby *Sicyopterus lagocephalus* Pallas 1770 (Teleostei: Gobiidae: Sicydiinae) represent a substantial part of freshwater fish populations. Its particular life cycle, requiring transitions between freshwater and seawater, gives it an advantage in freshwater habitats, highly fragmented by geographical isolation as well as natural and anthropogenic perturbations. Potential seasonal extinctions of the populations are

compensated by larval recolonisation events (McDowall 2007). The amphidromous life cycle of *S. lagocephalus* begins with adult reproduction in rivers. After eggs hatch, pro-larvae migrate to the ocean where they develop into marine larvae and disperse for a few months before recruiting back to the rivers (Hoareau et al. 2007; Radtke et al. 1988). This return to the rivers comes along with metamorphosis of the marine post-larvae into juveniles, showing morphological and physiological adaptations to freshwater habitats (Keith 2003; Keith et al. 2008). Once in the rivers, juveniles grow and reach the adult reproductive stage. Thus, marine larvae constitute a reservoir for the species, enabling re-colonisation of the rivers that undergo frequent extinctions of their fauna. This is possible because the marine larval stage is separated from the freshwater juvenile and adult stages. Furthermore, marine larvae may disperse over great distances, enabling connectivity among populations (Cowen and Sponaugle 2009), between rivers and remote islands (Keith 2003). The disadvantage of a long dispersive phase is an increased risk of cumulative mortality by starvation, predation by pelagic predators, and unpredictable environmental conditions (Murphy and Cowan 2007).

Specialized fisheries for freshwater Gobiidae have existed for centuries and are present in various parts of the world, including Philippines, Hawaii, Dominica, Puerto Rico, Jamaica, Reunion Island, Madagascar, Maurice, islands in Gulf of Guinea, Cameroon and Ivory Coast (Bell 1999). We can also add Colombia (Castellanos-Galindo et al. 2011) and Tahiti (Keith et al. 2002). More specifically, the genus *Sicyopterus* supports the biggest goby-fry-fisheries in Indonesia and Reunion Island (Manacop 1954; Delacroix 1987; Bell 1999). The fishermen capture, with a trapnet, the young post-larvae of *S. lagocephalus* called *"bichique"* in Reunion Island (meaning *"young"* in Malagasy) when they return to the rivers. In Reunion Island, this species constitutes a local source of food for the human population, but also takes on cultural and societal importance (Aboussouan 1969; Delacroix and Champeau 1992). A decline of this resource, probably due to overexploitation and natural habitats degradation, is reported by Montilla (1931) then Manacop (1954), Delacroix (1987), Aboussouan (1969) and more recently by Hoareau (2005), Teichert et al. (2014) and Lagarde et al. (2015). Although local and traditional, this fishery is not sustainable without regulation. In Reunion Island, signs of decline in post-larval recruitment are therefore a concern, due to their high economic and patrimonial value, in addition to their ecological importance. In this context, and as *S. lagocephalus* is the most widespread amphidromous goby inhabiting rivers of islands from the Indian to the Pacific Ocean, the biology and ecology of this species need to be better understood to implement suitable management and conservation policies. Studying the post-larval trait variability represents a source of information to understand the early life history of this species and the patterns of its recruitment.

In this paper, we investigate the spatial variability of some *S. lagocephalus* post-larval traits: the pelagic larval duration, standard length, body mass and condition, measured on postlarvae when they return in freshwater and are collected by traditional fishery, across Reunion Island. The study focuses on the recruitment event of February 2015, for which the post-larvae were sampled in 7 rivers located on the different sides of the island. We also study the recruitment variability at a given site, Langevin

River, during a single recruitment event in January 2015. The objective is to assess the variability of the same post-larval traits measured on post-larvae collected at the same place of the same river, at two different times within the nine days of this recruitment event. The results of our different analyses led us to formulate and discuss the hypothesis of different geographical origins of the post-larvae colonising the rivers of Reunion Island.

Materials and methods

Study site

Reunion Island is located in the southwest Indian Ocean, in the Mascarene Archipelago, East of Madagascar (Fig. 1). The climate is tropical and humid. The warm and humid season is from November to April, and the cooler and drier one is from May to October. Southeastern winds prevail on the island. The high reliefs (3,070 m for the highest peak) impose a dichotomy between the windward East coast, which is wet and the leeward West coast, which is dry. Abundant precipitation (on average 2-12 $m.y^{-1}$) occurs on the windward side, whereas the leeward side of the island is much drier (1-2 $m.y^{-1}$) (Soler 1997; Pfeiffer et al. 2004). Despite the fact that rainfall distribution over the island shows a huge variability in both time and space, tropical depressions and cyclones associated with rainfall affect the island regularly from January to March. The seasonal precipitation-evaporation balance (P-E) varies from -50 to -100 mm/month in June-October to +100 mm / month in January-March (Oberhuber 1988). Reunion Island is crossed by a total of 750 gullies and rivers of torrential type among which only 13 are permanent. Among them, seven were studied (Fig. 1): Langevin river, sampled in January 2015, and the rivers Galets, St Etienne, Marsouins, Roches, Mât and Pluies sampled in February 2015.

Biological material

As adults *Sicyopterus lagocephalus* are rheophilic and live in the fast flowing zone of the rivers (Keith 2003). Individuals can reproduce throughout the year except in higher altitudes, where reproduction is limited to the warmer months (Teichert et al. 2014). The female spawns between 5000 and 120000 small eggs (Delacroix and Champeau 1992), with an average around 30000 (Teichert et al. 2013). The fertilized eggs hatch in 48 hours. On Reunion Island, previous studies highlighted that, in absence of obstacles, taking into account the flow speed of the rivers, pro-larvae reached the sea in less than 24 h. The marine larval phase lasts 4 to 9 months (Hoareau et al. 2007). After this dispersive period, *S. lagocephalus* post-larvae return to the rivers to complete their life cycle. On Reunion Island, the recruitment period spreads from September to February, i.e. mainly during the wet season (Delacroix and Champeau 1992). In this wet season, the flooded river flow can be up to 600 times greater than the low flow in the dry season (Météofrance data). Marine larvae are assumed to perceive a freshwater signal that might lead them to the rivers when they were ready to recruit (Keith 2003). So, the greater

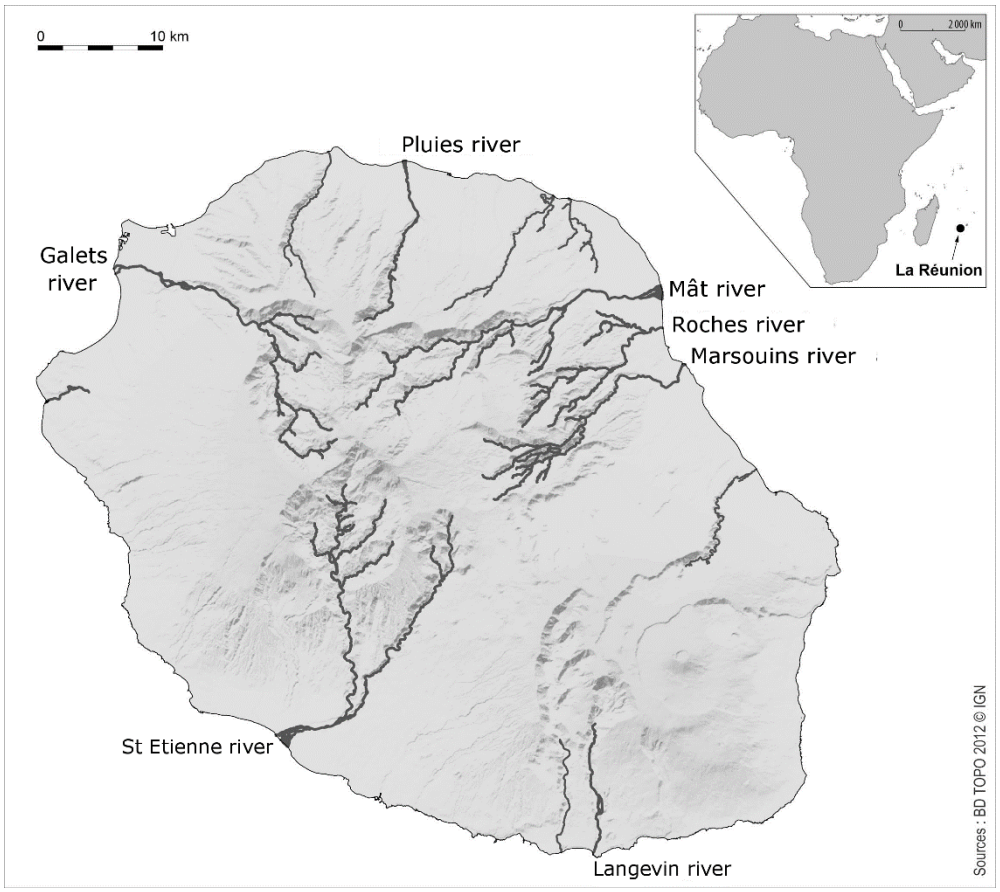


Fig. 1 Sampling sites locations on the Reunion Island

the river flow, the farther in the sea the signal might be perceived by the larvae. Thus, a strong river flow should favour post-larval recruitment.

When post-larvae arrive in the mixed waters in coastal areas, they begin their metamorphosis into juveniles (Shen and Tzeng 2002; Keith 2003). This metamorphosis, controlled by thyroid hormones, begins with the progression of pigmentation and is characterised by the formation of a sucker, from the merging of the pelvic fins (Taillebois et al. 2011). This sucker is typical of Sicydiinae, and enables them to enter the stream and to ascend the waterfalls (Keith 2003). Post-larvae also use flood tide transport to enter the river through the estuary, as described by Iida et al. (2015) for the amphidromous fish *Sicyopterus japonicus* (Teleostei: Gobiidae: Sicydiinae). Then, the mouth migrates from a terminal position in planktotrophic larvae to a subinferior position in post-larvae, enabling a benthic herbivorous diet during the juvenile and adult stages in the river (Keith et al. 2008; Taillebois et al. 2011).

Sampling protocol

From the point where they recruit into the river until 600 m from the river mouth, post-larvae and juveniles are targeted by a traditional fishery. The fishing season follows the peaks of recruitment and lasts from October to February, coinciding with the rainy season of the austral summer. Fishing is

practiced with a traditional trapnet, between the waning half-moon and the new moon (Delacroix and Champeau, 1992), i.e. 9 days per month. Within the framework of this study, the fish traps were placed by the fishermen at the same elevation, within the first 100 m from the river mouth, except for Marsouins River where the fishermen placed it higher in the river, at about 600 m of the river mouth. The trapnets used by the fishermen were similar across the different rivers: it was a traditional gear built in the same manner.This study concerns the recruitment that occurred between the 13th and the 15th of February 2015, on 6 permanent rivers (Galets - St Etienne - Marsouins - Roches - Mât and Pluies). The post-larvae were sampled in the rivers Pluies and Roches, in the rivers Marsouins and Galets and in the river St-Etienne respectively the 13th, the 14th and the 15th of February 2015. Given the importance of the "bichique" fishery, as an economic resource for the fishermen in Reunion Island, it was impossible to consider sampling this precious resource on our own. Consequently, post-larvae were collected from fishermen, randomly inside their trapnet. Each sample collected in a given river at a specific date was about 200 individuals. During the recruitment event in January 2015 on Langevin River, two samples were collected from the fishermen, on the 19th and 22th of January, in order to assess whether or not a significant difference in the post-larval age, standard length, body mass and condition factor could occur during a recruitment event on a site.

Thus, during the sampling campaign of January and February 2015, a total of 1600 juveniles were collected from the fishermen, from all the rivers. After their capture, post-larvae were maintained in a cool box and anesthetised with eugenol (clove oil) prior to fixation in 250 ml of 90 % ethanol. Their transfer into alcohol led to the death of the fish. The fish were maintained in alcohol a maximum of 3 months before the samples were dried and analysed. The alcohol was entirely renewed twice during this period. This process was identical for each sample, so that all the post-larvae collected underwent the exact same treatment.

Fish measurements and otolith analysis

For each site, 50 post-larvae were randomly selected from each sample of 200 individuals for analysis. In total, 400 post-larvae were analyzed, 100 post-larvae from the 2 samples in January 2015 and 300 post-larvae from the 6 samples in February 2015. The standard length (SL) and total length (TL) of each post-larva were measured to the nearest tenth millimetre (mm) using a Mitutoyo digital caliper. In addition, post-larval body mass (BM) was measured to the nearest tenth of a gram (Balance Precisa 410) just before otolith extraction. According to a study by Smith and Walker (2003) on larval and juvenile carp (*Cyprinus carpio* L.), preservation of the organisms in ethanol led to shrinkage of the biological tissues, particularly visible on the weight. For the fish larvae and juveniles of this species, shrinkage was nearly complete within a few days of preservation. In our study, *S. lagocephalus* post-larvae had similar characteristics of length and body mass as those measured on *C. carpio* larvae. Thus, we were confident that the same shrinkage process could affect our post-larvae. The shrinkage process

being complete within a few days for carp juveniles, we assumed that at the time of our measurements, all *S. lagocephalus* post-larvae had reached the same maximum level of dehydration in ethanol, so that the maximal loss of weight was acquired for all individuals. Consequently, it was possible to compare the body mass of our individuals from different samples. Smith and Walker (2003) showed that in the same context, the loss of length was negligible.

Otoliths are calcareous concretions, present in the inner ear of fish, composed of alternating layers of aragonite and protein deposited continuously throughout the lifetime of the fish. For *S. lagocephalus* larvae and post-larvae, the increments were deposited daily from the nucleus (Hoareau et al. 2007). Knowing that the nucleus appeared at hatching, the number of increments that formed from the nucleus indicated the age of the post-larva at the time of its catch (i.e. when it reached the river), taking into account the pelagic larval duration (PLD). Right and left sagittal otoliths were extracted under a binocular microscope. Each otolith was cleaned in distilled water and kept in an eppendorff tube. Within a pair, only right otoliths were analysed. A total of 300 otoliths were analysed for the study concerning spatial variability of recruitment in February 2015, and 100 otoliths were analysed for the study concerning variability of recruitment at a given site during a single recruitment event in January 2015. Otoliths were individually embedded in an epoxy resin (Araldite 2020A, Escil, Chassieu, France), and 48h later, fixed on microscope slides with Crystal-Bond. Preparations were then polished until the otolith surface was exposed using grind discs of decreasing grades and 0.3 µm alumina paste, in order to highlight the increments. The otoliths of post-larvae were translucent and did not require any sectioning.

Several snapshots were necessary to photograph an otolith from the nucleus to the edge, at different focal lengths due to the concave form of the microstructure. Photos were taken using a digital camera (Olympus DP21) on a microscope (Olympus BX51), at a magnification of 200X. The photos were then connected to complete the image and to facilitate the reading process. The number of increments, from the nucleus to the edge of the otoliths, was counted from pictures by two readers, using GIMP 2.8.4 software. Hatch dates were calculated from the capture date, from which PLD was subtracted.

Statistical analysis

Fulton's condition factor (K) (Heincke 1908) is the relationship between the weight of a fish and its length. This described the "condition" of individuals (Nash et al. 2006). It was calculated for each individual as follows: $K = (BM / SL^3)*100$. We have used to calculate condition factor, milligrams for the fish mass rather than grams, in order to present condition values at the 0.1 level. Differences in the PLD assessed by the two operators were tested using a Wilcoxon test. As the PLD were not significantly different ($V = 12574$, p-value = 0.0509), only the estimation of a single counter was used. A Shapiro test was performed on our data to check the normality of the characteristics: PLD, SL, BM,

LT, K. A T-test was used to determine if the two samples collected on Langevin River during the recruitment event of January 2015 showed significant differences for the same studied traits. One-way ANOVA was performed when data showed normal distribution and variance homogeneity. If the conditions required to perform ANOVA were not observed then a non-parametric test of Kruskal-Wallis was carried out. When ANOVA revealed significant site effects, a Tukey's multiple pairwise comparisons test was carried out to precise this result. Linear relationships between quantitative variables (PLD/SL, PLD/BM BM/SL and PLD/K) were investigated using Bravais-Pearson correlation tests. When linear correlation between two traits was significant, regression study was performed and the coefficient of determination was calculated. All statistical analyses were performed with open source R software (R Developpement Core team 2010). The level of statistical significance was set at 0.05 for all tests.

Results

Pelagic larval duration

The average PLD, calculated from all the samples collected in February 2015, was approximately seven months (average ± SD: 208 ± 24 days, with a range of 126-269 days). The PLD distributions were represented by site (Fig. 2) and revealed that they could be considered as unimodal for all sites, even if they were not always symmetrical. Considering the sampling dates (13, 14 and 15 February 2015) and the PLD, hatching dates were back-calculated and revealed that the sampled post-larvae hatched between May and October 2014 with a mode in the middle of July. No significant difference in average PLD was observed among sites in February 2015 (Kruskal-Wallis chi-squared = 9.647, df = 5, p-value = 0.085) (Fig. 3.1). No significant difference in average PLD was observed during a recruitment event, between the two samples collected at Langevin River, on the 19th and the 22nd of January 2015 (Two Sample T-test on PLD, t = 0.763, df = 85.315, p-value = 0.447). The average PLD found in January 2015, with the two dates combined, was 195 ± 17 days, leading to a spawning event between May and August with a mode in early July.

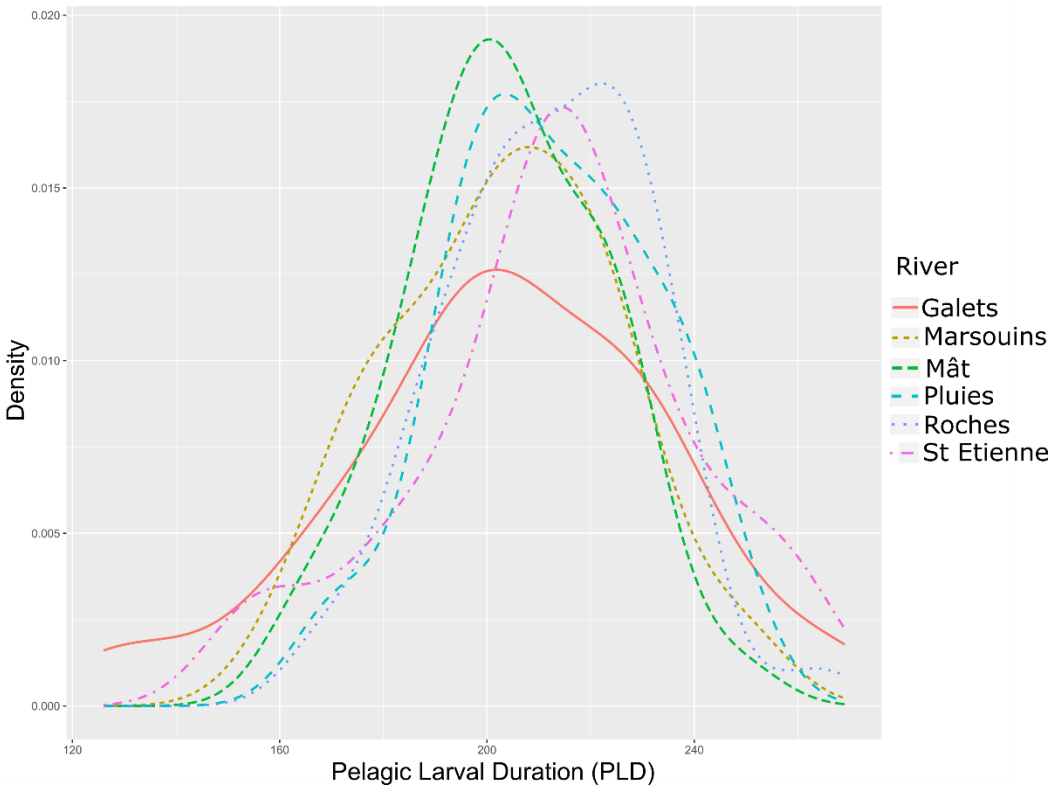


Fig. 2 Pelagic Larval Duration distribution for each river, in February 2015. A color is associated with a river: Galets river (red), Marsouins river (orange), Mât river (green), Pluies river (blue), Roches river (light blue) and St Etienne river (pink)

Size at recruitment, Body Mass and Condition

For the study on spatial variability of post-larva traits in February 2015, the average SL (± SD) was 27.5 mm (± 0.7), with a range of 25.6 - 29.6 mm (n= 300). The average BM (± SD) was 0.19 g (± 0.02) with a range of 0.13 - 0.26 g and the condition factor was 0.9 (± 0.1) with a range of 0.6 – 1.2. Significant differences in average SL (ANOVA, $F = 6.713$, $p < 0.001$), in average BM (ANOVA, $F = 7.643$, $p < 0.001$) and in condition factor (ANOVA, $F = 16.17$, $p < 0.001$**)** were observed between sites (Fig. 3). Tukey's multiple comparisons test revealed that the average SL of post-larvae from the Marsouins and Mât rivers was significantly different and smaller than these from the St Etienne and Galets rivers. However the two groups were not different from the intermediate group composed of the Pluies and Roches rivers (Fig. 3.2). The average BM of post-larvae from St Etienne, Marsouins and Galets was significantly different and lighter than those from the Pluies and Roches rivers. Average BM of post-larvae from the Mât River was not different from the two groups (Fig. 3.3). The average condition factors of post-larvae from the Galets and St Etienne rivers were significantly different and smaller than those from the Marsouins, Mât, Pluies and Roches rivers (Fig. 3.4). A smaller condition factor indicated that post-larvae had a lighter weight relative to their length, compared to post-larvae with a larger condition factor. No significant difference in average SL ($t = 0.423$, $df = 97.834$, p-value = 0.6) was observed between the two samples collected at Langevin River, on the 19th and the 22nd

of January 2015 (i.e. during a single recruitment event). Significant differences in average BM (t = -3.677, df = 85.102, p-value < 0.001) and average condition factor K (t = -3.861, df = 94.611, p-value < 0.001) were observed. The average post-larval BM and condition were significantly heavier on the 22nd of January than on the 19th of January.

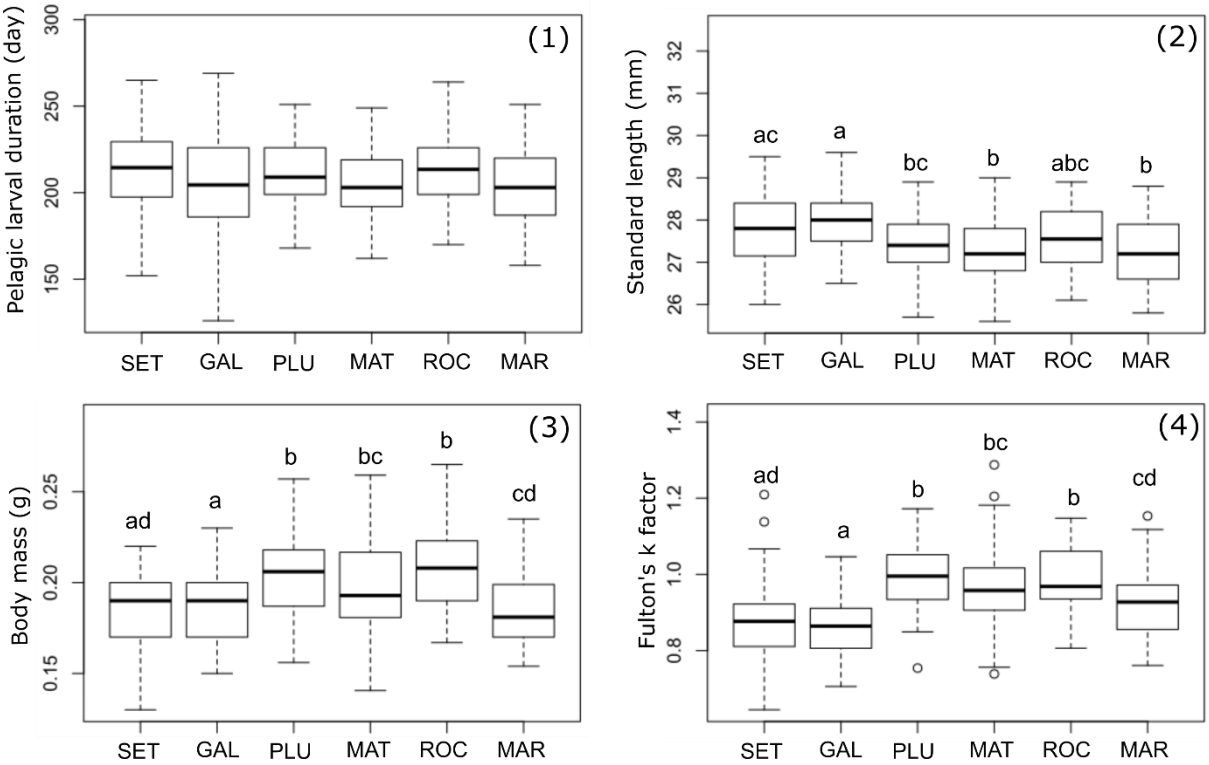


Fig. 3 Boxplot Kruskal Wallis test of Pelagic Larval Duration (1) and boxplot ANOVA of Standard Length (2), Body Mass (3) and condition factor (4) of post-larvae per site. Sites that share the same letters were not significantly different following the post-hoc Tukey HSD test

Pearson correlation tests showed significant, although weak, positive linear correlations between PLD/SL (corr = 0.271, p-value < 0.001), PLD/BM (corr = 0.248, p-value < 0.001) and BM/LS (corr = 0.406, p-value < 0.001). The linear correlation between PLD/K was not significant (p-value = 0.291) (Fig. 4). As the linear correlation was found significant between BM and SL, we chose to keep only the variables PLD and SL for the rest of the study. The linear regression between PLD and SL, determined by taking into account data from all sites, showed weak determination coefficients (R^2) with 7.32 % of SL variation explained by PLD variation. The determination coefficients were higher for the linear regressions between PLD and SL by site. For Galets and Mât rivers, respectively, 17.03 % and 19.85 % of SL variation was explained by PLD variation.

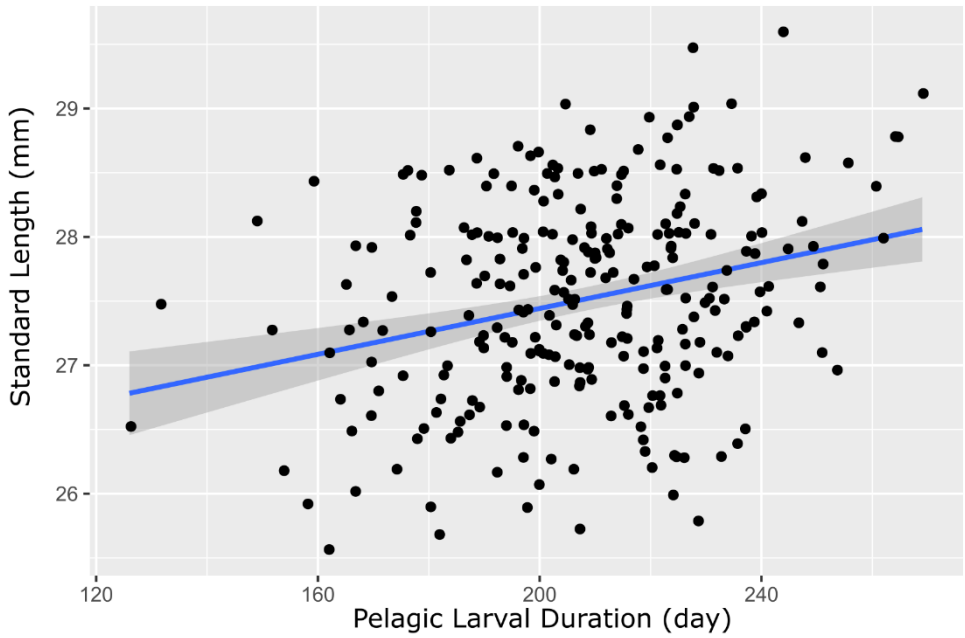


Fig. 4 Linear regression between the Pelagic Larval Duration (PLD) and the Standard Length (SL) all sites included, in February 2015

Discussion

Pelagic larval duration

Our results concerning *S. lagocephalus* average PLD, based on samples taken at two distinct dates during a single recruitment event in January 2015 at Langevin river, showed no significant difference. We also showed that the PLD did not differ significantly between distinct rivers in Reunion Island, for a given recruitment event (February 2015). Thus, the PLD seemed to be homogeneous within one recruitment event even if it lasted few days a month and occurred on different sectors of the Island. However, in both cases, we identified a large range of PLDs within each sample (126-269 days). The average PLD in our study was close to that described in previous studies at the St Etienne river (a range of 133-266 days) from the analyse of 2 recruitment events (December 2002 and September 2003) (Hoareau et al. 2007). Another study carried out in Reunion Island from November 2006 to March 2009 demonstrated that post-larvae recruited in January-March (summer) and hatched between June and August (winter) (Teichert et al. 2016). This corresponded to a larval stage lasting between 6 and 10 months, i.e. a time interval between 180 and 300 days. Both the results found in our study and that of Hoareau et al. (2007) fell in the same interval as the one assessed by Teichert et al. (2016). In regard to the range of PLD and the homogeneity of the PLD variability we found between sites, it was likely that the composition of the larval pool was from multiple sources. Indeed, it was possible that larvae from different origins, in terms of geographical origin or spawning event, gathered in the ocean before they supplied the different rivers of Reunion Island. A genetic study on *S. lagocephalus* populations described

a genetic homogeneity between rivers on Reunion Island (Berrebi et al. 2005) which also supports this hypothesis. Moreover, a recent study of genetics of populations allowed the identification of an isolated population of *S. lagocephalus* in the South-West Indian Ocean (SWIO), clustering most of the Mascarene and Comoros haplotypes (Lord et al. 2012). This population appeared to be isolated from the Pacific population. Thus, these results showed possible exchanges within the Mascarene islands (i.e. between Reunion Island and Mauritius Island), and between Reunion Island and Comoros. Regarding the orientation of the Southern Equatorial Current from east to west in the South West Indian ocean, it is unlikely that post-larvae arriving in rivers of Reunion Island were spawned in rivers of Comoros Archipelago (Fig. 5). On the other hand, larvae spawned in rivers of Reunion Island could recruit in the rivers of Comoros Archipelago leading to this genetic homogeneity at the scale of the South West Indian ocean. Thus, the hypothesis of a self-recruitment at the regional scale of the Mascarene Archipelago was conceivable, explaining both the homogeneity of the PLD and its large range, larvae from Mauritius Island being possibly spawned at a different time than those from Reunion Island. The spawning period of *S. lagocephalus* in Mauritius Island is actually unknown. In the same way, an increasing number of studies suggested that local and regional retention of larval pool close to the coast could occur frequently (Closs et al. 2013; Augspurger et al. 2017). These studies supported our hypothesis that larvae, gathering in a pool and supplying the different rivers of Reunion Island, could originate both from Reunion and Mauritius Island, and could remain some time in the vicinity of the island before returning to the rivers. Indeed these two islands are geographically close (226 km) and situated in the appropriate direction of the south-equatorial current.

We also determined that *S. lagocephalus* post-larvae caught in February 2015 hatched between May and October 2014, corresponding to the dry season in the Mascarene Archipelago. Hatching mode occurred in the middle of July 2014. Our results concerning the spawning date were consistent with others studies describing that the reproductive season in Reunion Island occurred mainly during the cool and dry season (austral winter from May to October) (Hoareau et al. 2007; Teichert et al. 2014). Even if the spawning period was not known for *S. lagocephalus* in Mauritius Island, it took place probably during the same season than in Reunion Island. During this cool and dry period, there was less water in the rivers. Although the rainy season should be favorable to the downstream migration of pro-larvae, by inducing faster currents in the river that could allow a faster migration of the pro-larvae to the sea (Lagarde et al.2016; Radtke et al. 1998), it has been shown, on the contrary, that the larvae lost too much energy to maintain position in the freshwater if the river flow was strong. Therefore shallow waters and weaker currents were more favorable to the pro-larvae survival, and reproduction occurred during austral winter in Reunion Island (Valade et al. 2009). Conversely, the main recruitment period took place between October and February, during the warm and wet season (austral summer from November to April) when the rivers currents were the strongest, and the rivers plume spread farthest in the Ocean. Then the freshwater signal might be perceived at a greater distance by the marine larvae, inducing a gathering of the cohorts and a migration towards the rivers. Post-larvae of many diadromous species,

whether of tropical decapod or tropical fish, were able to detect environmental cues like freshwater signal and might use this signal to move toward a suitable habitat (Arvedlund and Kavanagh 2009). Fishermen and scientists (e.g. Delacroix (1987)) agreed that recruitment was always stronger East of Reunion Island because of greater rainfall on this side of the island leading to a stronger river flow. However, within the framework of our study, we noticed a global recruitment occurring all over the rivers of the island in February 2015. This global recruitment at the scale of the island could be related to a stronger flow in all the rivers, since the wet season began in November 2014 and was characterised by strong rainfall, particularly since January 2015 (www.meteofrance.re). Thus, the results obtained in our study allowed us to draw the conclusion that several larval cohorts from different origins might gather in marine coastal waters and supplied the Reunion Island rivers. Such marine larval cohorts were usually visible from the land when they approached the rivers mouths, as confirmed by a study on a Japanese amphidromous goby describing post-larvae that gathered near the coast in a huge and active shoal just before recruiting in rivers (Oshiro & Nishizima 1978).

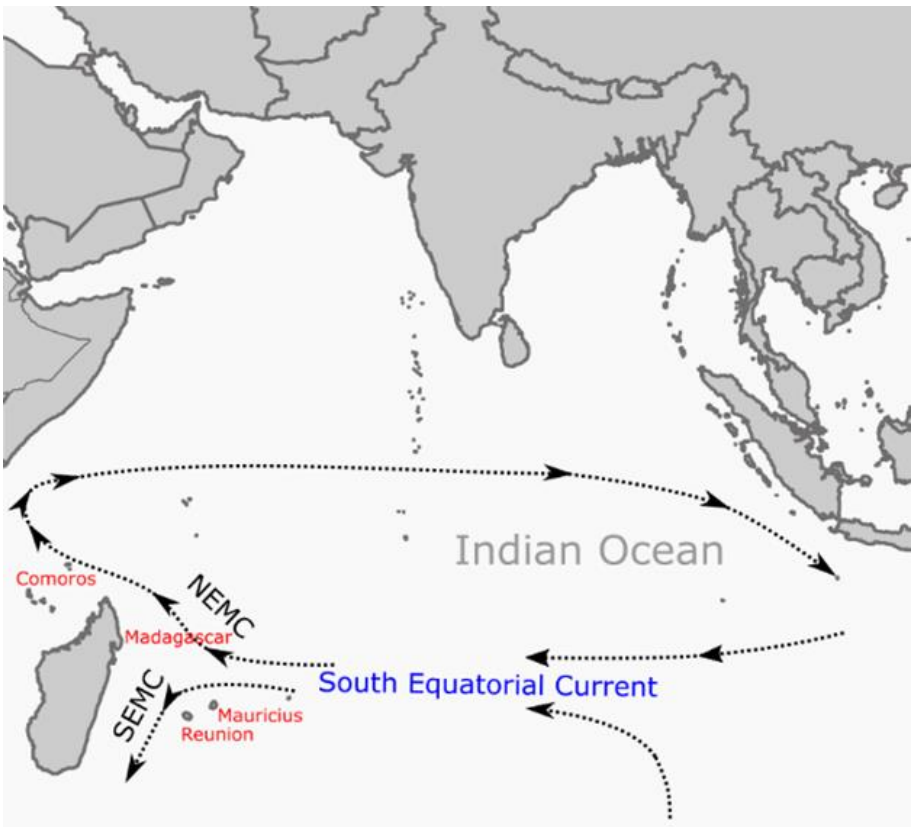


Fig. 5 Main surface currents in the Southwest Indian Ocean during austral summer (from Schott and McCreary 2001). The currents identified are: South Equatorial Current (SEC); North and South Equatorial Madagascar Current (NEMC and SEMC)

Variation of SL, BM and Condition factor between sites

Our results concerning the SL, measured on two samples taken at two distinct dates during a single recruitment event in January 2015 at Langevin River, showed no significant difference. However the SL revealed to be on average significantly different between the samples collected during the recruitment event in February 2015, in the 6 other rivers located around the Island (Galets, St Etienne, Roches, Mât, Pluies, Marsouins rivers). Post-larvae sampled in the Marsouins and Mât rivers, East of the island, were on average smaller than those sampled in the western rivers: St Etienne and Galets. According to the trend of post-larvae SL between East and West of Reunion Island, we supposed that the post-larvae collected in eastern rivers showed a more advanced stage of metamorphosis than in the West. This hypothesis was supported by two studies on the characterization of metamorphosis and post-larval stages of *S. lagocephalus*. First, Keith et al. (2008) observed biometrical changes of fish in a flume tank reproducing natural river conditions. Changes in the cranium shape and in the angle of the mouth corner determined the first step of the post-larvae metamorphosis. Taillebois et al. (2011) showed that these morphological modifications induced a decrease of the fish size, so that the SL of *S. lagocephalus* decreased by 8.7 % from day 0 (defined as the arrival of the post-larvae at the river mouth) to day 37 with a rapid decrease during the first 10 days of recruitment. After day 10, the post-larvae were considered to reach the juvenile stage 1. All post-larvae in our study had terminal mouth indicating they were in the first steps of their metamorphosis, even if the presence of a fully functional sucker and scales revealed that metamorphosis had started while the post-larvae were still in the sea, whatever the sector of the island where they were sampled. As explained by Keith et al. (2008), the sucker was completely formed before the larvae reached the rivers as it constituted one of the tools enabling their settlement in rivers. Moreover, post-larvae in the East were slightly more pigmented than in the West (personal observation). Keith et al. (2008) showed that individual progressively acquired pigmentation during metamorphosis. Following Keith et al. (2008) we assumed the post-larvae to be at post-larval stage 1 (PL1) (0-2 days from arrival). In a study on an amphidromous Sicydiinae *Sicyopterus japonicus*, Iida et al. (2015) divided the PL1 stage into two stages, PL1a and PL1b defined following pigmentation increase. So a stronger level of pigmentation, even subtle, could indicate a more advanced state of metamorphosis, and that is what we observed on post-larvae sampled at Marsouins and Mât rivers mouth. Besides, Briand et al. (2005) demonstrated on glass eels that salinity slowed the spread of the individual pigmentation down, whereas the temperature in rivers, generally lower than that in the sea, would stimulate it. Thus, our observations on post-larvae sampled on the Eastern rivers mouths converged and seemed to indicate that their metamorphosis was more advanced than this of post-larvae on the Western rivers. This was possible considering the island topography and the geographical disposing of the rivers. Indeed, the three Eastern rivers (Mât, Roches and Marsouins) were relatively close to each other, and their plume gathered in the ocean, making a lens of desalinated water in the sea. The post-larvae cohort arriving on this side of the Reunion Island remained longer in this broader less

saline water, and that resulted in a more advanced metamorphosis stage for the post-larvae when they reached the river mouth.Our results concerning the BM indicated also inter-site variability. The average body mass was higher in the East than in the West of the island, except for the Marsouins River (East), for which the average BM was not significantly different from these calculated on the samples from the western rivers. Thus, post-larvae sampled in Marsouins River were smaller and lighter (but not significantly different than those observed on the western river) than post-larvae from the other rivers, confirming the hypothesis that they presented a more advanced metamorphosis stage than those recruiting on other sites. Indeed, Taillebois et al. (2011) showed a progressive and significant loss of weight of 52.6 % between days 2 and 37 (day 0 being defined as the arrival of the post-larvae at the river mouth) and a progressive decrease of Fulton's K factor of 39.9 % between days 2 and 37. Two reasons were stated to explain this loss of weight and this decrease in condition factor: 1) the post-larvae stopped feeding when they entered freshwater until day 7 due to the diet transition (i.e. they were planktotrophic in the sea and became herbivorous grazers once in the river), and 2) the metamorphosis process required a large amount of energy, leading to a decrease in weight and condition factor (Taillebois et al. 2011). In Marsouins river, the post-larvae were caught higher in the river (600 m from the water mouth) compared to the other sites (100 m maximum). So, the post-larvae in Marsouins spent more time in the river before their capture, and that explained their more advanced metamorphosis stage, characterised by a smaller SL due to the modification of the body shape, and a smaller BM due to a longer period of starvation inherent to the metamorphosis process. Thus, this study also highlighted the role of the trap net location in the river on the development stage observed on the captured post-larvae. Indeed, the upper in the river the trap net was, the more advanced the fish metamorphosis level was. That was easily explained by a longer time spent by the juveniles in freshwater where they evolved from the post-larval to the juvenile stage.

At the other sites, the BM and condition factor (K) were higher in the East than in the West of the island. We assumed that for post-larvae collected on day 0 (when post-larvae enter the river; i.e. on all the sampling sites except Marsouins river), the loss of weight was not visible yet, as it started on day 2 according to Taillebois et al. (2011). This difference in body mass and condition factor between the East and West side of the island could be explained by better growth of the larvae eastwards, in the coastal marine environment, before their return to the river. If larvae remained some time in the coastal environment before entering the rivers as previously stated, then they might benefit from better growth on the eastern side of the island, compared to the western side. Indeed, as previously detailed, the rivers flow was stronger on the eastern side of the island, because of stronger rainfall on this sector. Then, nutrient input could be greater on the eastern side, leading to a better growth of the marine larvae, before they were sampled at the mouth of the rivers. A study by Sorensen and Hobson (2005), based on isotopic analysis, suggested that larvae of amphidromous species in Hawaii fed mostly on resources derived from terrigenous matter brought in the sea by the river. They also found evidences that the larvae spent some time in nearshore river plume before recruiting in the river. So, the stronger the river flow, the more

terrigenous matter arrived in the sea. Once in the sea, terrigenous matter constitutes the basis of a food web (Jenkins et al. 2010), benefiting ichthyplankton which include the amphidromous larvae. In particular, higher concentrations of zooplankton, which are prey for larval fish, were found at the location of salinity front in the St. Lawrence Middle Estuary, the Chesapeake Bay Estuary and the Chikugo Estuary (Sirois and Dodson 2000; North and Houde 2001, 2003). We can therefore imagine that the desalinated water lens, wich forms in east, could have favored the zooplankton concentration at its contact with sea-water. Moreover, a study on the rainbow smelt larvae demonstrated a lower energetic costs for larvae that exploited similar feeding conditions at higher turbidity (Sirois and Dodson 2000). And we know that the east coast of Reunion is exposed to trade winds favoring the turbidity of coastal waters. An increase in turbidity could decreased larval stress by reducing of predation risk (Bruton 1985). This link between river flow and trophic richness of marine coastal water explained also our results concerning the BM, measured on two samples taken at Langevin River. An increase in precipitation from 4 mm on January the 19th to 27.8 mm on January the 22nd was recorded, with a peak of 44 mm on January the 21st (www.meteofrance.re). So, even a short duration spent in a eutrophic environment could have significant growth of the post-larvae. On the contrary, the West side of Reunion Island was known to be more sunny therefore drier and featured only few perennial rivers. The presence of fringing reefs spreading over 25 km on the western coast of the island, protected the coastline from the swell, but also prevented the freshwater to mix with the sea in a sort of pool, as it is the case on the eastern side of the island. Consequently, post-larvae spent less time in desalinated water than on the eastern coast. Also, the plumes of the western rivers were constrained and broken by the coral reef, leading to a strong spatial variation of nutrient concentrations as observed into the Great Barrier Reef Lagoon (Devlin and Brodie 2005). So this coastal environment proved to be less favourable for larval retention, and so, larvae recruit faster in the river, at a less advanced metamorphosis stage. The phenotypic variability of post-larvae, in terms of SL, BM and condition factor, between eastern and western Reunion Island might also be explained by other bio-physical factors, like different migration routes, putting the larvae in different local environmental conditions during their marine dispersion (e.g. differences in water temperature encountered by the marine larvae, or different food abundance on their route), according to their river of departure and their spawning date. In this context, recent studies have emphasized the plasticity of PLD and size at recruitment for *S. lagocephalus* in Reunion Island, according to the spawning season (Teichert et al. 2012, 2016). Thus, larvae hatched in summer, dispersed in an oceanic environment characterised by high temperatures, and they exhibited faster growth, shorter PLD and smaller size at recruitment than those hatched in winter and dispersing in cooler water temperature (Teichert et al. 2016). In our study, the linear regressions revealed that SL at the time of the return in freshwater was a poor proxy of PLD. This observation reinforced our hypothesis that the recruitment cohort arriving in February 2015 on the different rivers of Reunion Island, came from the gathering of different larval cohorts that might have followed different migration routes, and then different life histories characterised by more or less favorable oceanic conditions. These different

oceanic conditions could have had consequences on the marine larvae growth, which would have resulted to the observed differences in SL, BM and conditions factor on the post-larvae between East and West of Reunion Island, even if their PLD were homogeneous.

To conclude, our results suggest that the phenotypic variability observed in some post-larvae traits (PLD, SL, BM and condition factor) between the eastern and western rivers of Reunion Island came mainly from the variability of local environmental conditions experienced by larvae before but also during their return to the rivers. Knowing that metamorphosis was energetically expensive, post-larvae in better condition were more likely to survive during their recruitment and to successfully complete their metamorphosis (Bergenius et al. 2002; Hamilton 2008). Thus, this study suggests that recruitment success would be higher in eastern rivers, based on the observation of post-larvae with better condition factors on that sector of the island. However, this should not imply that the protection of these rivers should be strengthened to the detriment of others. Indeed, although recruitment success seemed to be lower in the west, the water authority reported in 2012 good-quality adults standing upstream of the Galets river watershed (OCEA 2013). More generally, this species was found on all the watersheds of the island, although the general trend towards degradation of fish status continued on the island (OCEA 2013). Since the cycle of the species included a marine larval dispersal phase, all rivers on the island were potentially interconnected between them and with the Comoros Archipelago and Mauritius Island. Also we do not know to what extent the *S. lagocephalus* populations of the western rivers 1) contributed to self-recruitment on the island, and 2) provided the Comoros Archipelago and Mauritius Island with larvae. In this context, it is necessary to ensure the ecological continuity of all the rivers and to tend towards a good quality of the rivers, which is often held responsible in the mortality of larvae at recruitment. Finally, climate change and, on a shorter temporal scale, the high variability of local weather conditions and the water withdrawals in the east to cope with drought in the west (ILO project), could in the future, change the locality of favorable recruitment sectors.

Ethical approval: All applicable international guidelines for the care and use of animals were followed.

References

Aboussouan A (1969) Note sur les «bichiques» de l'île de la réunion. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Fascicule Hors Série Supplément

Allen LG, Pondella DJ II, Horn MH (2006) The Ecology of Marine Fishes California and Adjacent Waters. University of California Press, Berkeley.

Arvedlund M, Kavanagh K (2009) The Senses and Environmental Cues Used by Marine Larvae of Fish and Decapod Crustaceans to Find Tropical Coastal Ecosystems. Springer, New York

Augspurger JM, Warburton M, Closs GP (2017) Life-history plasticity in amphidromous and catadromous fishes: a continuum of strategies. Rev Fish Biol Fish 27:177–192. doi: 10.1007/s11160-016-9463-9

Bell KNI (1999) An overview of goby-fry fisheries. Naga 22:30–36.

Bergenius MA. J, Meekan MG, Robertson DR, McCormick MI (2002) Larval growth predicts the recruitment success of a coral reef fish. Oecologia 131:521–525. doi: 10.1007/s00442-002-0918-4

Briand C, Fatin D, Ciccotti E, Lambert P (2005) A stage-structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass eel Anguilla anguilla pigmentation development. J Fish Biol 67:993–1009. doi: 10.1111/j.1095-8649.2005.00798.x

Bruton MN (1985) The effects of suspensoids on fish. Hydrobiologia 125:221–241. doi: 10.1007/BF00045937

Castellanos-Galindo GA, Carlo Sanchez G, Beltran-Leon BS, Zapata L (2011) A goby-fry fishery in the northern Colombian Pacific Ocean. Cybium 35:391–395.

Closs GP, Hicks AS, Jellyman PG (2013) Life histories of closely related amphidromous and non-migratory fish species: a trade-off between egg size and fecundity. Freshw Biol 58:1162–1177. doi: 10.1111/fwb.12116

Cowen RK, Sponaugle S (2009) Larval Dispersal and Marine Population Connectivity. Annu Rev Mar Sci 1:443–466. doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163757

Cushing DH (1973) Recruitment and parent stock in fishes. Division of Marine Resources, University of Washington, Seattle

Delacroix P (1987) Etude des “bichiques”, juvéniles de Sicyopterus lagocephalus (Pallas), poisson Gobiidae migrateur des rivières de la Réunion (océan Indien): exploitation, répartition, biologie de la reproduction et de la croissance. PhD, Université de La Réunion.

Delacroix P, Champeau A (1992) Ponte en eau douce de Sicyopterus lagocephalus (Pallas) poisson Gobiidae amphibionte des rivières de la Réunion. Hydroécologie Appliquée 4:49–63. doi: 10.1051/hydro:1992105

Devlin MJ, Brodie J (2005) Terrestrial discharge into the Great Barrier Reef Lagoon: nutrient behavior in coastal waters. Mar Pollut Bull 51:9–22. doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.10.037

Doherty P, Fowler T (1994) An Empirical-Test of Recruitment Limitation in a Coral-Reef Fish. Science 263:935–939. doi: 10.1126/science.263.5149.935

Govoni JJ (2005) Fisheries oceanography and the ecology of early life histories of fishes: a perspective over fifty years. Sci Mar 69:125–137.

Hamilton SL (2008) Larval history influences post-metamorphic condition in a coral-reef fish. Oecologia 158:449–461. doi: 10.1007/s00442-008-1153-4

Hjort J (1914) Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe viewed in the light of biological research. Rapports et Procès Verbaux des Réunions du Conseil Permanent International pour l’Exploration de la Mer, 20: 1–228.

Hoareau T (2005) Dynamique structurale des populations de bichiques, Sicyopterus lagocephalus : gobiidés amphidromes des rivières de la Réunion. PhD, Université de La Réunion.

Hoareau TB, Lecomte-Finiger R, Grondin H-P, et al (2007) Oceanic larval life of La Reunion “bichiques”, amphidromous gobiid post-larvae. Mar Ecol Prog Ser 333:303–308. doi: 10.3354/meps333303

Houde ED (2008) Emerging from Hjort's shadow. J Northwest Atl Fish Sci 41:53–70.

Hughes TP (1990) Recruitment Limitation, Mortality, and Population Regulation in Open Systems: A Case Study. Ecology 71:12–20. doi: 10.2307/1940242

Iida M, Watanabe S, Tsukamoto K (2015) Oceanic larval duration and recruitment mechanism of the amphidromous fish Sicyopterus japonicus (Gobioidei: Sicydiinae). Reg Stud Mar Sci 1:25–33. doi: 10.1016/j.rsma.2015.03.001

Jenkins GP, Conron SD, Morison AK (2010) Highly variable recruitment in an estuarine fish is determined by salinity stratification and freshwater flow: implications of a changing climate. Mar Ecol Prog Ser 417:249–261. doi: 10.3354/meps08806

Keith P (2003) Biology and ecology of amphidromous Gobiidae of the Indo-Pacific and the Caribbean regions. J Fish Biol 63:831–847. doi: 10.1046/j.1095-8649.2003.00197.x

Keith P, Hoareau TB, Lord C, et al (2008) Characterisation of post-larval to juvenile stages, metamorphosis and recruitment of an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus (Pallas) (Teleostei : Gobiidae : Sicydiinae). Mar Freshw Res 59:876–889.

Keith P, Marquet G, Pouilly M (2009) Stiphodon mele n. sp., a new species of freshwater goby from Vanuatu and New Caledonia (Teleostei, Gobiidae, Sicydiinae), and comments about amphidromy and regional dispersion. Zoosystema 31:471–483. doi: 10.5252/z2009n3a5

Keith P, Vigneux E, Marquet G (2002) [Atlas of freshwater fish and crustaceans from French Polynesia.]. Museum National d'Histoire Naturelle, Keith, P.; Museum National d'Histoire Naturelle, 57 rue Cuvier, 75231 Paris cedex 05, France, France.

Lagarde R, Teichert N, Boussarie G, et al (2015) Upstream migration of amphidromous gobies of La Réunion Island: implication for management. Fish Manag Ecol 22:437–449. doi: 10.1111/fme.12142

Lagarde R, Teichert N, Grondin H, et al (2016) Temporal variability of larval drift of tropical amphidromous gobies along a watershed in Réunion Island 1. Can J Fish Aquat Sci 73:1–10.

Lord C, Lorion J, Dettai A, et al (2012) From endemism to widespread distribution: phylogeography of three amphidromous Sicyopterus species (Teleostei: Gobioidei: Sicydiinae). Mar Ecol Prog Ser 455:269–285. doi: 10.3354/meps09617

Manacop PR (1954) The life history and habits of the goby, Sicyopterus extraneus Herre (Anga) Gobiidae, with an account of the gobyfry fishery of Cagayan river, Oriental Misamis. Philipp J Fish 2:1–58.

Mcdowall R (1992) Diadromy - Origins and Definitions of Terminology. Copeia 248–251. doi: 10.2307/1446563

McDowall RM (2003) Hawaiian biogeography and the islands' freshwater fish fauna. J Biogeogr 30:703–710. doi: 10.1046/j.1365-2699.2003.00851.x

McDowall RM (2007) Hawaiian stream fishes: the role of amphidromy in history, ecology and conservation biology. Bish Mus Bull Cult Environ Stud 3:3–9.

Montilla J (1931) The Ipon fisheries of Northern Luzon. Philipp J Sci 45:61–74.

Murphy CA, Cowan JH (2007) Production, marine larval retention or dispersal, and recruitment of amphidromous Hawaiian gobioids: issues and implications. Biol Hawaii Streams Estuaries 3:63–74.

Nash RDM, Valencia AH, Geffen AJ (2006) The origin of Fulton's condition factor - Setting the record straight. Fisheries 31:236–238.

North EW, Houde ED (2001) Retention of white perch and striped bass larvae: Biological-physical interactions in Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum. Estuaries 24:756–769. doi: 10.2307/1352883

North EW, Houde ED (2003) Linking ETM physics, zooplankton prey, and fish early-life histories to striped bass Morone saxatilis and white perch M. americana recruitment. Mar Ecol Prog Ser 260:219–236. doi: 10.3354/meps260219

Oberhuber JM (1988) An atlas based on the "COADS" data set: The budgets of heat, buoyancy and turbulent kinetic energy at the surface of the global ocean. Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg

OCEA Consult (2013) Suivi 2012 des éléments biologiques "poissons et Macro-crustacés " des rivières du bassin Réunion. Rapport final. Office de l'Eau Réunion.

Pfeiffer M, Timm O, Dullo WC, Podlech S (2004) Oceanic forcing of interannual and multidecadal climate variability in the southwestern Indian Ocean: Evidence from a 160 year coral isotopic record (La Reunion, 55 degrees E, 21 degrees S). Paleoceanography 19:PA4006. doi: 10.1029/2003PA000964

Radtke RL, Kinzie RA, Folsom SD (1988) Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. Environ Biol Fishes 23:205–213. doi: 10.1007/BF00004911

Santos MB, González-Quirós R, Riveiro I, Cabanas JM, Pierce GJ (2011) Cycles, trends, and residual variation in the Iberian sardine (Sardina pilchardus) recruitment series and their relationship with the environment. ICES J Mar Sci J Cons fsr186. doi: 10.1093/icesjms/fsr186

Schott FA, McCreary JP (2001) The monsoon circulation of the Indian Ocean. Prog Oceanogr 51:1–123.

Shen KN, Tzeng WN (2002) Formation of a metamorphosis check in otoliths of the amphidromous goby Sicyopterus japonicus. Mar Ecol Prog Ser 228:205–211. doi: 10.3354/meps228205

Sirois P, Dodson JJ (2000) Influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt Osmerus mordax in an estuarine turbidity maximum. Mar Ecol Prog Ser 193:167–179. doi: 10.3354/meps193167

Smart TI, Duffy-Anderson JT, Horne JK, et al (2012) Influence of environment on walleye pollock eggs, larvae, and juveniles in the southeastern Bering Sea. Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr 65–70:196–207. doi: 10.1016/j.dsr2.2012.02.018

Smith BB, Walker KF (2003) Shrinkage of 0+ carp (Cyprinus carpio L.) after preservation in ethanol. Mar Freshw Res 54:113–116.

Soler O (1997) Atlas climatique de la Réunion. Météo-France, Direction interrégionale de la Réunion

Sorensen PW, Hobson KA (2005) Stable Isotope Analysis of Amphidromous Hawaiian Gobies Suggests Their Larvae Spend a Substantial Period of Time in Freshwater River Plumes. Environ Biol Fishes 74:31–42. doi: 10.1007/s10641-005-3212-6

Stige LC, Hunsicker ME, Bailey KM, et al (2013) Predicting fish recruitment from juvenile abundance and environmental indices. Mar Ecol Prog Ser 480:245–261. doi: 10.3354/meps10246

Taillebois L, Keith P, Valade P, et al (2011) Involvement of thyroid hormones in the control of larval metamorphosis in Sicyopterus lagocephalus (Teleostei: Gobioidei) at the time of river recruitment. Gen Comp Endocrinol 173:281–288. doi: 10.1016/j.ygcen.2011.06.008

Teichert N, Richarson M, Valade P, Gaudin P (2012) Reproduction and marine life history of an endemic amphidromous gobiid fish of Reunion Island. Aquat Biol 15:225–236. doi: 10.3354/ab00420

Teichert N, Valade P, Fostier A, et al (2013) Reproductive biology of an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus, in La Réunion Island. Hydrobiologia 726:123–141. doi: 10.1007/s10750-013-1756-6

Teichert N, Valade P, Grondin H, et al (2016) Pelagic larval traits of the amphidromous goby Sicyopterus lagocephalus display seasonal variations related to temperature in La Reunion Island. Ecol Freshw Fish 25:234–247. doi: 10.1111/eff.12205

Teichert N, Valade P, Lim P, et al (2014) Habitat selection in amphidromous Gobiidae of Reunion Island: Sicyopterus lagocephalus (Pallas, 1770) and Cotylopus acutipinnis (Guichenot, 1863). Environ Biol Fishes 97:255–266. doi: 10.1007/s10641-013-0148-0

Valade P, Lord C, Grondin H, et al (2009) Early life history and description of larval stages of an amphidromous goby, Sicyopterus lagocephalus (Gobioidei: Sicydiinae). Cybium 33:309–319.

Résumé de thèse : Les enjeux liés à la conservation des gobies amphidromes à La Réunion, sont de nature écologique mais également socio-économique. Les deux espèces concernées, *Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis* contribuent fortement à la diversité faunistique des rivières, en plus d'être la cible d'une pêche traditionnelle à forte valeur économique et patrimoniale. La pêche des « bichiques » fait localement référence aux deux espèces que l'on capture à l'état de post-larve lorsqu'elles entament leur recrutement dans les rivières. Dans un contexte où l'affaiblissement du recrutement larvaire est manifeste, cette thèse s'attache à décrire les enjeux qui gravitent autour de cette ressource, à travers l'étude de la variabilité du recrutement et de ses répercussions sur le socio-écosystème.

Les résultats s'appuient sur la collecte de données écologiques et la réalisation d'une enquête auprès des acteurs de la pêche, entre octobre 2014 et février 2016. L'étude de la variabilité spatio-temporelle des traits d'histoire de vie des post-larves au recrutement révèle que les rivières de l'est, pourraient être des « secteurs sources » essentiels au maintien des populations de Gobbidae. L'analyse des entretiens révèle que la pêche depuis qu'elle s'est organisée en filière informelle, a fortement contribué à l'affaiblissement du recrutement et s'enlise désormais dans des conflits pour le partage de l'eau et de la ressource, au détriment de l'environnement et des pratiques traditionnelles. Les services de l'Etat qui ont entamé une démarche de régularisation de l'activité depuis 2012, sont dans un processus de coopération avec les pêcheurs qui se voit menacé par le braconnage.

L'analyse croisée des connaissances acquises dans les deux volets de cette thèse, nous a permis de schématiser le socio-écosystème dans lequel s'insère le bichique et de communiquer sur le besoin de gérer les diverses pressions anthropiques à l'échelle des bassins versants, afin de préserver la fourniture durable de services écosystémiques dont dépend l'Homme.

Mots-clés : Gobies, Amphidromes, La Réunion, Enjeux, Conservation, Bichique, Socio-écosystème

Studing the "bichique" on Reunion Island: from the recruitment of an amphidromous species to the socio-ecological system

Abstract: The issues related to the conservation of amphidromous gobies in Reunion Island are ecological but also socio-economic. The two species concerned, Sicyopterus lagocephalus and Cotylopus acutipinnis, contribute greatly to the faunistic diversity of the rivers, in addition to being the target of a traditional fishery of high economic and patrimonial value. The "bichic" fishery locally refers to the two species that are caught at the post-larva stage when they start recruiting in the rivers. In a context where the decline in larval recruitment is evident, this thesis attempts to describe the issues surrounding this resource through the study of recruitment variability and its impact on the socio-ecosystem.

The results are based on the collection of ecological data and the completion of a survey of fishery stakeholders between October 2014 and February 2016. The study of the spatial and temporal variability of post-larval life history traits at recruitment reveals that the eastern rivers could be "source sectors" essential to the conservation of Gobbidae populations. The analysis of the interviews reveals that the fishery since it was organized in the informal sector has contributed strongly to the weakening of recruitment and is now stuck in conflicts for the sharing of water and resources, to the detriment of the environment and traditional practices. The State services, which have initiated a process to regularize the activity since 2012, are in a process of cooperation with fishermen who are threatened by poaching.

The cross-analysis of the knowledge acquired in the two parts of this thesis allowed us to outline the socio-ecosystem in which the bichic is inserted and to communicate the need to manage the various anthropogenic pressures at the watershed scale, in order to preserve the sustainable supply of ecosystem services on which man depends.

Keywords: Gobies, Amphidromous, Reunion Island, Stakes, Conservation, Bichique, Socio-ecosystem