



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID : 14582](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints/14582)

To cite this version :

Hirschinger, Julien. *Données nouvelles sur le cycle biologique et les infestations parasitaires des anguilles de Polynésie française*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2015, 130 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr.

DONNEES NOUVELLES SUR LE CYCLE BIOLOGIQUE ET LES INFESTATIONS PARASITAIRES DES ANGUILLES DE POLYNESIE FRANÇAISE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

HIRSCHINGER Julien
Né, le 24 Août 1988 à Bordeaux (33)

Directeur de thèse : M. Philippe JACQUIET

JURY

PRESIDENT :
M. Gérard CAMPISTRON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Philippe JACQUIET
M. Emmanuel LIENARD

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mlle **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
- Mlle **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mlle **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Elevage et Santé avicoles et cunicoles*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mlle **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
- Mlle **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
- Mlle **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mlle **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- Mme **PRADIER Sophie**, *Médecine interne des équidés*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
- M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

MAITRES DE CONFERENCES et AGENTS CONTRACTUELS

- M. **DAHAN Julien**, *Médecine Interne*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- M. **TANIS Jean-Benoît**, *Anatomie – Imagerie Médicale*

Remerciements

Aux membres du jury de thèse :

A Monsieur Gérard CAMPISTRON

Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse et Praticien hospitalier,
Physiologie et Hématologie,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.
Hommage respectueux.

A Monsieur Philippe JACQUIET

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Parasitologie et Maladies parasitaires,
Qui m'a guidé tout au long de l'élaboration de ce travail.
Pour sa patience et ses conseils.
Sincères remerciements.

A Monsieur Emmanuel LIENARD

Maitre de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Parasitologie et Maladies parasitaires,
Qui a aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse.
Sincère reconnaissance.

Table des matières

Introduction	p13
I. Lieu d'étude	p15
1. La Polynésie française	p15
2. Moorea	p20
3. Le CRIOBE	p22
i. Mission d'observatoire de l'écosystème corallien du Pacifique Sud	p23
ii. Mission d'accueil et d'accompagnement de la recherche	p23
iii. Mission de communication, d'expertise et de formation	p24
II. Modèle d'étude	p25
1. Anguilles	p25
2. Cycle de vie	p27
3. Anguilles de Polynésie française	p30
4. Menaces	p33
III. Etude de la dynamique du recrutement	p35
1. Introduction	p35
2. Matériel et Méthodes	p36
i. Echantillonnage	p36
ii. Otolithométrie	p39
iii. Variables environnementales	p40
iv. Analyses statistiques	p41
3. Résultats	p42
i. Composition en espèces	p42
ii. Saisonnalité	p44
iii. Variations de taille	p44

iv.	Microstructure des otolithes	p45
v.	Modèle multifactoriel	p50
vi.	Arbres de régression	p54
4.	Discussion	p59
5.	Conclusion	p62

IV. Etude des populations en place

1.	Introduction	p65
2.	Matériel et Méthodes	p66
i.	Caractérisation des stations	p66
ii.	Echantillonnage et Manipulation	p68
3.	Résultats	p70
i.	Résultats généraux	p70
ii.	Résultats par stations	p71
iii.	Espèces	p72
iv.	Caractéristiques des stations	p72
v.	Biomasse et Densité	p76
vi.	Croissance	p82
4.	Discussion	p83
5.	Conclusion	p86

V. Etude des infestations parasitaires

1.	Introduction	p89
2.	Matériel et Méthodes	p90
i.	Stations	p90
ii.	Echantillonnage	p91
3.	Résultats	p92
4.	Discussion	p98

Conclusion p105

Références bibliographiques

Annexes

Table des illustrations

• Figures

Figure 1. Carte géographique du Pacifique Sud.	p15
Figure 2. Carte géographique de la Polynésie Française.	p17
Figure 3. Image satellite des îles de Moorea et Tahiti.	p20
Figure 4. Image satellite de l'île de Moorea.	p21
Figure 5. Larve leptocéphale d' <i>Anguilla sp.</i>	p28
Figure 6. Cycle biologique des anguilles.	p29
Figure 7. <i>Anguilla marmorata</i>	p30
Figure 8. <i>Anguilla megastoma</i>	p31
Figure 9. <i>Anguilla obscura</i>	p31
Figure 10. Aire de répartition géographique de <i>A. marmorata</i>	p32
Figure 11. Aire de répartition géographique de <i>A. megastoma</i>	p32
Figure 12. Aire de répartition géographique de <i>A. obscura</i>	p33
Figure 13. Schéma général du filet utilisé pour la capture des civelles.	p37
Figure 14. Schéma détaillé des différents éléments du filet utilisé pour la capture des civelles.	p37
Figure 15. Schéma illustrant la méthode du calcul du ratio dorso-anal.	p38
Figure 16. Photographie par microscope électronique à balayage d'un otolithe sagittal d' <i>A. marmorata</i>	p39
Figure 17. Composition en espèces de l'échantillon total.	p43
Figure 18. Composition hebdomadaire en espèces de l'échantillon total.	p43

Figure 19. Nombre de civelles capturées en fonction du jour de l'année pour les 3 espèces confondues.	p44
Figure 20. Histogrammes de la taille totale pour chacune des 3 espèces.	p46
Figure 21. Relation entre l'âge au recrutement et la taille totale des civelles chez l'espèce <i>A. marmorata</i>	p48
Figure 22. Relation entre l'âge au recrutement et la taille totale des civelles chez l'espèce <i>A. obscura</i>	p48
Figure 23. Relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocephale des civelles chez l'espèce <i>A. marmorata</i>	p49
Figure 24. Relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocephale des civelles chez l'espèce <i>A. obscura</i>	p50
Figure 25. Arbre de régression de base relatif au recrutement des civelles.	p54
Figure 26. Nombre d'embranchements et erreur relative associée pour le premier arbre de régression.	p55
Figure 27. Arbre de régression corrigé relatif au recrutement des civelles.	p56
Figure 28. Deuxième arbre de régression relatif au recrutement des civelles.	p57
Figure 29. Nombre d'embranchements et erreur relative associée pour le deuxième arbre de régression.	p57
Figure 30. Arbre de régression final relatif au recrutement des civelles.	p58
Figure 31. Image satellite de l'île de Moorea avec détail des cours d'eau.	p67
Figure 32. Image satellite de la vallée d'Opunohu avec détail des cours d'eau.	p67
Figure 33. Evolution du CPUE au cours des campagnes de pêche.	p70
Figure 34. Taux de recouvrement des différents substrats minéraux sur les différentes stations de prélèvement.	p73
Figure 35. Taux de recouvrement des différents substrats végétaux sur les différentes stations de prélèvement.	p74

Figure 36. Taux de recouvrement en substrat végétal, tous types de substrat confondus, sur les différentes stations de prélèvement.	p75
Figure 37. Taux de couverture ombrageuse sur les différentes stations de prélèvement.	p75
Figure 38. Biomasse globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement.	p77
Figure 39. Variations de la biomasse obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives.	p78
Figure 40. Densité globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement.	p79
Figure 41. Variations de la densité obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives.	p80
Figure 42. Relation entre biomasse globale et densité globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement.	p81
Figure 43. Variations de la relation entre biomasse et densité obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives.	p82
Figure 44. Sites d'échantillonnage.	p91
Figure 45. Photographie du parasite <i>Anguillicola spp</i> au microscope optique.	p93
Figure 46a. Photographie du parasite <i>Lernaea spp</i> au microscope optique, vue d'ensemble.	p94
Figure 46b. Photographie du parasite <i>Lernaea spp</i> au microscope optique, détail de la tête.	p95
Figure 47. Photographie du parasite Trématode au microscope optique.	p96
Figure 48a. Photographie du parasite Tetrphyllidea au microscope optique, plusieurs individus.	p97
Figure 48b. Photographie du parasite Tetrphyllidea au microscope optique, vue d'ensemble.	p97

Figure 49. Schéma du cycle biologique des parasites du genre *Anguillicola*. p99

Figure 50. Schéma du cycle biologique des parasites du genre *Lernaea*. p100

Figure 51. Schéma du cycle biologique des parasites de l'ordre des Tetracystida. p102

- **Tableaux**

Tableau 1. Résultats des analyses otolithométriques. p47

Tableau 2. Résultats des ANOVA sur le modèle de base. p51

Tableau 3. Résultats des ANOVA sur les modèles épurés. p52

Tableau 4. Résultats des calculs de biomasse en fonction des stations et des campagnes de pêche. p76

Tableau 5. Résultats du test de Mann-Whitney-Wilcoxon sur les valeurs de biomasse par station. p77

Tableau 6. Résultats des calculs de biomasse en fonction des stations et des campagnes de pêche. p79

- **Annexes**

Annexe 1. Caractéristiques des stations de prélèvement.

Annexe 2. Tableau des captures Populations adultes.

Annexe 3. Tableau des recaptures Populations adultes.

Annexe 4. Tableau des captures Parasitologie.

Liste des acronymes et abréviations

AIC = Akaike Information Criterion

ANOVA = ANalysis Of VAriance

CITES = Convention of International Trade of Endangered Species

CNRS = Centre National de la Recherche Scientifique

CPUE = Catch Per Unit Effort

CRIOBE = Centre de Recherches Insulaires et OBservatoire de l'Environnement

EPHE = Ecole Pratique des Hautes Etudes

FAO = Food and Agriculture Organization for the United Nations

GLM = Generalized Linear Model

IATOS = Personnels Ingénieurs, Administratifs, Techniques, Ouvriers et de Services

INSU = Institut National des Sciences de l'Univers

ITA = Personnels Ingénieurs, Techniciens et Administratifs

IUCN = International Union for Conservation of Nature

ONG = Organisation Non Gouvernementale

UMR = Unité Mixte de Recherche

UMS = Unité Mixte de Service

USR = Unité de Service et de Recherche

Lexique

Bionomique, adjectif : Relatif à la bionomie, pan de la biologie qui a pour objet l'étude des relations des êtres vivants entre eux et avec leur milieu.

Catadrome, adjectif : Se dit des poissons d'eaux douces qui, comme l'anguille, descendent en mer pour se reproduire.

Dévalaison, nom féminin : Action, pour un poisson migrateur, de descendre un cours d'eau pour retourner dans un lieu nécessaire à son développement ou à sa reproduction. Synonyme : Avalaison.

Hôte définitif : Hôte chez lequel le parasite atteint sa maturité et effectue sa reproduction sexuée. Synonyme : Hôte primaire.

Hôte intermédiaire : Hôte chez lequel le parasite va subir une évolution larvaire et/ou effectuer sa reproduction asexuée. Synonyme : Hôte secondaire.

Hôte paraténique : Hôte facultatif dans le cycle de vie d'un parasite qui héberge les formes larvaires sans développement, favorise la dispersion et permet l'accumulation.

Marnage, nom masculin : Différence de hauteur d'eau mesurée entre les niveaux d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives. Synonyme : hauteur de marée.

Monogène, adjectif : Se dit des parasites à cycle de vie direct (œuf, larve, adulte) et hôte unique.

Ontogénie : Développement progressif d'un organisme depuis sa conception jusqu'à sa forme mûre, voire jusqu'à sa mort. Synonyme : Ontogénèse.

Panmixie, non féminin : Principe de génétique des populations qui considère que les individus sont répartis de manière homogène au sein de la population et se reproduisent tous aléatoirement.

Phylum, nom masculin : Deuxième niveau de classification classique des êtres vivants. Synonyme : Embranchement.

Recrutement, nom masculin : Arrivée d'organismes juvéniles au sein d'une population.

Résilience, nom féminin : Capacité d'un écosystème, d'une espèce ou d'un individu à récupérer un fonctionnement ou un développement normal après avoir subi une perturbation.

Introduction

Le genre *Anguilla*, les anguilles, de la famille des *Anguillidae*, contient 19 espèces et sous-espèces (Silfvergrip, 2009). On les retrouve dans la plupart des eaux tempérées et tropicales à l'exception de l'Est de l'océan Pacifique et du Sud-Ouest de l'océan Atlantique (Watanabe, 2003).

En tant que poissons catadromes, les anguilles migrent entre leur habitat d'eau douce et leur zone de reproduction en haute mer (Tesch, 2007). Les adultes se reproduisent en pleine mer, quelque part dans les profondeurs, puis meurent. Les œufs libèrent des larves translucides en forme de feuilles appelées leptocéphales, remarquablement adaptées à la vie planctonique. Puis, ces larves sont passivement portées vers leur zone de recrutement par les courants océaniques. A proximité du littoral, elles se métamorphosent en civelles et migrent activement vers leur habitat d'eau douce. Dès qu'elles rencontrent l'eau douce, elles se pigmentent puis atteignent le stade adulte immature appelé « anguille jaune ». Après plusieurs années, une certaine proportion d'entre elles se métamorphose une nouvelle fois, en adultes matures appelés « anguilles argentées ». Ces adultes matures entreprennent la migration retour vers l'océan et bouclent ainsi leur cycle biologique.

Parmi toutes les espèces d'anguilles, l'anguille européenne (*A. anguilla*), l'anguille américaine (*A. rostrata*) et l'anguille japonaise (*A. japonica*) sont les principales espèces exploitées économiquement (FAO, 2009). Malheureusement, nous observons depuis environ 35 ans, un déclin drastique de ces populations (Casselman & Cairns, 2009) dû à une multitude de facteurs. Une législation restrictive s'applique maintenant à leur commerce.

Le résultat final de ce déclin des stocks des espèces tempérées et de cette réglementation stricte s'observe sous la forme d'une pression économique de plus en plus importante sur les espèces tropicales.

En Polynésie Française, les anguilles sont considérées comme sacrées et associées à des légendes et traditions liées à la création de la vie. Trois espèces d'anguilles sont présentes : il s'agit de la grande anguille marbrée *A. marmorata* (Giant Marbled eel), l'anguille de montagne *A. megastoma* (Pacific Long-finned eel) et l'anguille de vase *A. obscura* (Pacific Short-finned eel) (Marquet & Galzin, 1991).

Si le cycle biologique des anguilles tempérées est relativement bien connu, on ne sait que très peu de choses sur celui des anguilles tropicales.

Concernant les 3 espèces présentes en Polynésie Française, une étude récente en génétique des populations suspecte l'existence de 4 populations d'*A. marmorata*, issues de différentes zones de reproduction, deux dans l'océan Pacifique Nord et une ou plus dans le Nord-Ouest de l'océan Pacifique et l'océan Indien (Minegishi et al, 2008). Ce résultat conforte l'hypothèse de panmixie locale formulée par Robinet et al dans les études menées sur l'île de la Réunion (Robinet et al, 2007). Malheureusement, seulement une zone de reproduction a été identifiée à ce jour (Kuroki et al, 2006). Les données concernant les deux autres espèces sont encore plus rares et le statut génétique d'*A. megastoma* et *A. obscura* est toujours flou (Watanabe et al, 2011).

Encore plus problématique, il n'existe que très peu d'informations disponibles concernant le cycle biologique de ces espèces, les mécanismes du recrutement et de la dévalaison restent inconnus (Marquet, 1987 ; Marquet, 1988 ; Budimawan, 1997).

En considérant à la fois le fait qu'il existe une menace commerciale potentielle sur les espèces d'anguilles du Pacifique Sud et que l'on ne sait que peu de chose sur leur biologie, il apparaît primordial d'accumuler des connaissances sur leur cycle biologique pour pouvoir donner aux preneurs de décisions les informations nécessaires à la protection de ces espèces et à leur potentielle exploitation durable.

Le but de cette étude est donc d'investiguer pour la première fois depuis le travail de Marquet en 1988, le cycle biologique des trois espèces d'anguilles de Polynésie Française, sur l'île de Moorea, dans l'archipel de la Société.

Cette étude se divise en trois axes : un axe consacré à la compréhension de la dynamique du recrutement et des facteurs environnementaux associés, un autre axe consacré à la description des caractéristiques démographiques des populations en place et des caractéristiques physiques de leur habitat et enfin un dernier axe consacré à l'identification de la faune parasitaire portée par les individus adultes.

I. Lieu d'étude

1. La Polynésie française

La Polynésie française est située dans l'hémisphère sud, au milieu de l'océan Pacifique, aux antipodes de la France métropolitaine et à environ 6 000 kilomètres à l'Est de l'Australie (Fig 1).



Figure 1. Carte géographique du Pacifique Sud. Cerclée de rouge, la Polynésie Française.

Source : Centre de Traitement de l'Information Géoréférencée.

C'est une collectivité d'outre-mer de la République française composée de 118 îles (34 îles hautes et 84 atolls) dont 67 habitées.

Les îles de la Polynésie française sont regroupées en cinq archipels dont l'individualité physique et culturelle est bien marquée.

Le premier, l'archipel de la Société, compte 14 îles (9 îles hautes, 5 atolls), divisées en îles du Vent (Tahiti, Moorea, Tetiaroa) et îles Sous-le-Vent (Huahine, Raiatea, Taha'a, Bora Bora, Maupiti). A 300 km au Nord-Est de Tahiti, 76 atolls, égrenés sur 1600 km², composent l'archipel des Tuamotu, prolongé au Nord-Est par l'archipel des Gambier (8 îles hautes, 1 atoll). A 600 km au Sud de Tahiti, l'archipel des Australes est formé de 6 îles hautes et d'un atoll. Enfin, à 1500 km au Nord de Tahiti, 12 îles (11 îles hautes, 1 atoll) se rassemblent pour constituer l'archipel des Marquises (Fig 2).

La Zone Economique Exclusive de la Polynésie française a une superficie de 5,5 millions de km² soit une superficie aussi importante que celle de l'Europe et possède environ la moitié des eaux marines françaises. En revanche, la Polynésie française totalise une superficie émergée d'à peine 3 521 km² (soit la moitié de la superficie de la Corse), dont 80% sur les îles hautes. Tahiti, avec 1 042 km², occupe à elle seule plus du quart de cette surface. Les 84 atolls, quant à eux, ne représentent que 660 km². Pour finir, la Polynésie française ne compte pas moins de 2 525 km de littoral.

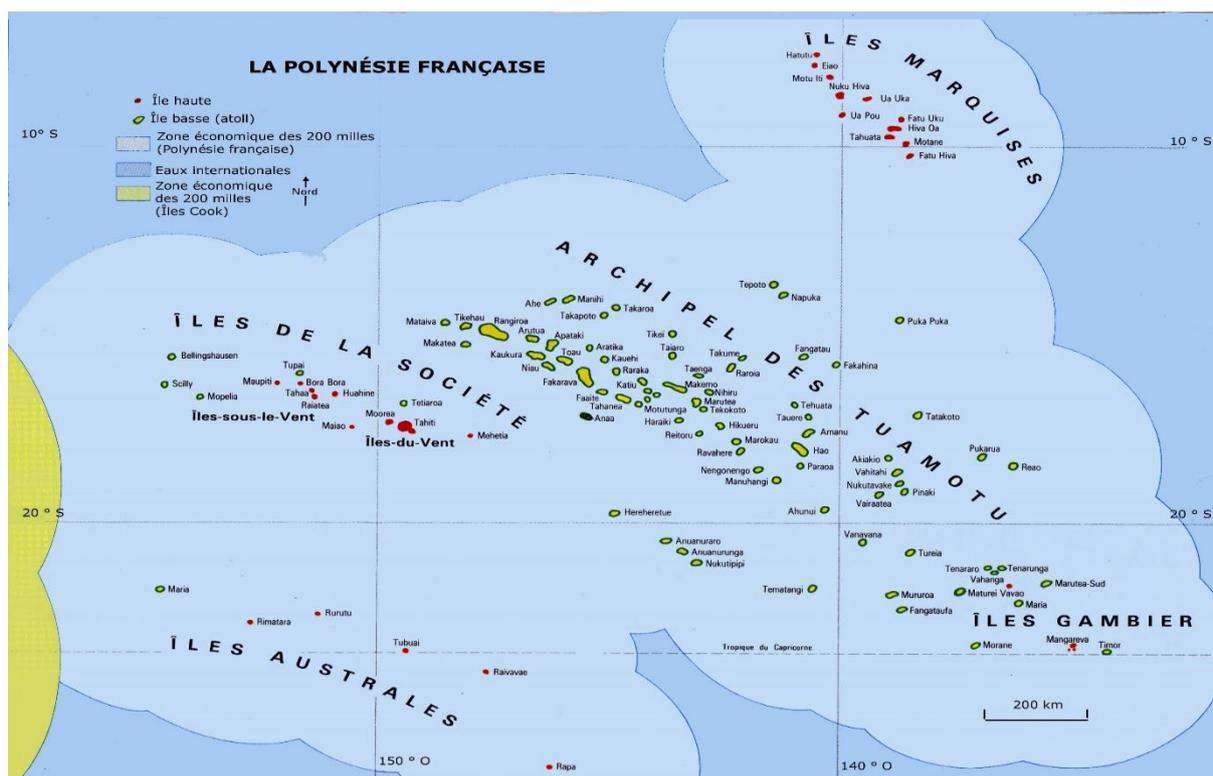


Figure 2. Carte géographique de la Polynésie Française.

Source : Direction Générale de l'Éducation et des Enseignements.

La Polynésie française comptait 270 500 habitants au 1er janvier 2014, ce qui représente moins de 0,5 % de la population française, mais 10 % de la France d'outre-mer. Trois communautés ethniques principales peuvent être distinguées : les Polynésiens, 78 %, les Européens, 12 % et les Asiatiques (pour la plupart d'origine chinoise), 10 %. La capitale, Papeete, située sur l'île de Tahiti, la plus grande et la plus peuplée des îles de Polynésie française, comptait 25 769 habitants en 2012.

À titre de comparaison, la France métropolitaine a une superficie de 551 000 km² et compte plus de 65 millions d'habitants.

Toutes les îles de Polynésie française, y compris les atolls, sont d'origine volcanique. L'ensemble de la Polynésie française repose sur la plaque Pacifique. Elle est engendrée à l'Est par la dorsale du Pacifique. Elle se déplace vers le Nord-Ouest, comme un tapis roulant, à raison de 11 cm par an pour replonger ensuite dans les entrailles de la terre sous la plaque eurasiennne au niveau des grandes fosses du Pacifique.

Les massifs volcaniques engendrés s'enfoncent progressivement (du fait de leur poids et du phénomène de subsidence), jusqu'à disparaître de la surface. La seule trace visible en est alors le récif corallien s'il a pu se développer, dont la croissance continue compense l'affaissement du support : les îles sont alors appelées atolls, par opposition aux îles hautes qui, elles, sont montagneuses.

Nombre d'atolls, à la surface émergée très réduite, sont inhabités, ou seulement utilisés pour la pêche et la perliculture. Leur lagon est alimenté en eau océanique par quelques passes (des ruptures de la barrière corallienne), et les profonds cratères offrent des eaux froides et limpides qui abritent une faune et une flore marines riches. Par contre, sur les parties émergées, le manque ou parfois l'absence totale d'eau douce ne permet qu'une flore terrestre très pauvre, et ces atolls souvent très désolés ne sont peuplés que de crustacés et d'oiseaux.

Les îles hautes sont caractérisées par un relief montagneux dont la partie centrale est souvent effondrée. Plus les îles sont anciennes, plus leur relief est atténué par l'érosion : érosion aérienne qui s'attaque aux sommets et érosion marine qui ronge les côtes. Sur Tahiti, les vestiges des deux volcans continuent à culminer à des hauteurs respectables autour de larges vallées et plaines alluvionnaires fertiles. Les côtes, protégées par les massifs coralliens sont faiblement érodées par la mer en raison d'un très faible marnage, et offrent de longues plages basaltiques. Tahiti et les autres îles du Vent voisines sont situées, de façon unique au monde, sur un point océanique où l'effet de marée causé par la lune est quasiment nul sauf en début d'été austral.

Du fait de la situation dispersée des différents archipels, entre le 8^e et le 27^e degré de latitude sud, la Polynésie française ne peut pas être résumée à une seule zone climatique. Ainsi, le Nord de l'archipel des Marquises connaîtra plutôt un type de temps tropical aride alors que le Sud de l'archipel des Australes est plutôt soumis à un type de temps des moyennes latitudes. Deux grandes saisons se distinguent néanmoins : de Novembre à Avril, une saison dite « chaude » ou « humide » ou été austral et de Mai à Octobre une saison dite « fraîche » ou « sèche » ou hiver austral.

En raison de son isolement géographique, la Polynésie française offre une flore terrestre et une faune relativement limitées, mais souvent spécifiques.

Avec seulement un millier d'espèces indigènes la flore de la Polynésie française est d'une relative pauvreté si on la compare à celle d'autres îles du Pacifique, notamment plus à l'Ouest.

L'originalité et l'intérêt de sa flore résident dans la présence de nombreuses espèces uniques au monde, souvent confinées à une seule île, voire une seule vallée. Sur les 959 espèces dénombrées en Polynésie (dont 560 endémiques), l'île de Tahiti compte à elle seule près de 495 espèces indigènes dont 225 endémiques. Cela représente un taux d'endémisme de 45 %, le plus élevé du territoire français.

La faune terrestre est aussi assez pauvre. L'avifaune comporte toutefois des caractères originaux et une grande richesse en espèces endémiques, notamment d'oiseaux de mer. 112 espèces d'oiseaux ont ainsi été recensées. L'avifaune marine, avec 27 espèces nicheuses, place la Polynésie française parmi les régions tropicales les plus riches. L'avifaune terrestre, en revanche, est l'une des plus pauvres du monde avec 30 espèces seulement. Mais cette pauvreté cache un taux d'endémisme très élevé de 32 %. Ensuite, les reptiles sont la composante la plus représentative de la faune locale des vertébrés terrestres, repartis en 7 espèces dans 2 familles. Les gastéropodes terrestres présentent une étonnante diversité et la majorité sont endémiques. En revanche, il n'y a pas de mammifères autochtones en Polynésie française. Tous ont été introduits volontairement ou non par l'homme. Enfin, on compte près de 625 espèces d'insectes dont les plus répandus sont les moustiques.

Contrairement à la faune terrestre, la faune marine est très riche : les lagons polynésiens comptent plus de 800 espèces de poissons. Les espèces les plus imposantes se rencontrent au voisinage des passes, sur les versants extérieurs du lagon et au large.

Les îles hautes de la Société accueillent la plus grande diversité en faune et flore marines du fait de la conjugaison du lagon, du milieu récifal, et milieux saumâtre. Malheureusement, la Polynésie française est aussi l'une des collectivités d'outre-mer comportant le plus grand nombre d'espèces animales et végétales déjà éteintes ou menacées (IUCN, 2013).

2. Moorea

Moorea fait partie des Îles du Vent dans l'archipel de la Société. Située à 17 kilomètres au Nord-Ouest de Tahiti, Moorea en est séparée par un profond chenal dépassant par endroit les 1 500 mètres de profondeur. De forme triangulaire, « l'île sœur » de Tahiti possède deux baies principales : la baie d'Opunohu (du tahitien 'ōpū, le ventre et nohu, le poisson-pierre) et la baie de Cook (du nom du célèbre navigateur) (Fig 3 et 4).



Figure 3. Image satellite des îles de Moorea et Tahiti. Source : Google Maps.



Figure 4. Image satellite de l'île de Moorea. Source : www.tefenua.gov.pf.

D'une superficie de 133,50 km², elle compte plus de 16 000 habitants regroupés dans plusieurs villages, principalement sur le littoral d'une longueur de 63 km. Elle est entourée par une barrière de corail ouverte sur l'océan Pacifique en 12 passes.

Les principales activités pratiquées y sont le tourisme, la culture de l'ananas et la pêche.

Moorea est également réputée comme l'« île des chercheurs » de Polynésie française par la présence de deux stations de recherche internationales: la station Richard B. Gump, station de terrain de l'université de Californie à Berkeley en baie de Cook, et le Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement (CRIOBE) en baie d'Opunohu.

3. Le CRIOBE

Le Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement est une station de terrain pour tous les chercheurs français et étrangers.

Situé en Polynésie française sur l'île de Moorea, il est rattaché à l'École Pratique des Hautes Études (EPHE) et fait partie du Réseau National des Stations Marines françaises du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et du réseau Observatoire de l'Environnement de l'Institut National de Sciences de l'Univers (INSU). L'Unité de Services et de Recherche 3278 a été créée en 2010, à partir de la fusion de l'équipe « Récifs Coralliens » de l'Unité Mixte de Recherche 5244 « Biologie et écologie tropicale et méditerranéenne » et de l'Unité Mixte de Service 2978 « Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement ». Elle est le fruit de 40 ans de recherche, d'enseignement et de formation sur cet écosystème littoral présent sur plus de 110 pays tropicaux dans les 3 océans du monde.

La direction du centre est assurée par Serge Planes, Directeur de Recherches CNRS et Directeur d'Études cumulant EPHE. L'unité comprend 28 personnes qui sont basées en Polynésie française ou à Perpignan, dont 9 enseignants-chercheurs et 6 IATOS EPHE, 7 chercheurs et 4 ITA CNRS et 3 chargés de conférences EPHE.

Les missions du CRIOBE se déclinent en trois axes :

- une mission d'observatoire de l'écosystème corallien du Pacifique Sud,
- une mission d'accueil et de promotion de la recherche sur les milieux terrestres et marins et les sociétés insulaires du Pacifique Sud
- une mission de communication et de vulgarisation autour de l'écosystème corallien, d'expertise sur les questions d'environnement relatives aux milieux coralliens et de formation.

i. Mission d'observatoire de l'écosystème corallien du Pacifique Sud

Le principal objectif du service d'observation est l'acquisition de connaissances à long terme sur les systèmes physiques et biologiques. Ainsi, l'observatoire de l'environnement du CRIOBE a pour but de mieux comprendre les processus écologiques et environnementaux de régulation des écosystèmes dans l'espace et dans le temps.

En effet, seules les longues séries de mesures de variables caractéristiques permettent de décrire l'évolution naturelle ou non d'un système présentant une variabilité spatiale, saisonnière et/ou interannuelle importante.

À ce titre, depuis son implantation en 1971, le CRIOBE a pour mission essentielle la surveillance de l'écosystème corallien à long terme, pour mieux comprendre sa résilience face aux impacts naturels et anthropiques, c'est-à-dire sa capacité à se régénérer après perturbation. C'est grâce à cette volonté de suivi à long terme que le CRIOBE peut aujourd'hui afficher les séries de données temporelles de l'écosystème corallien les plus longues de la zone Pacifique.

ii. Mission d'accueil et d'accompagnement de la recherche

Il s'agit d'accompagner la recherche nationale et internationale en Polynésie et dans le Pacifique. Dans ce contexte, le CRIOBE est une importante base d'accueil pour les chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, étudiants qui souhaitent développer des programmes de recherche dans le Pacifique Sud. Au cours des 2 années écoulées, le CRIOBE a accueilli des programmes internationaux tels que BIOCOTE (Inventaire de la biodiversité terrestre et marine de la Polynésie française), BIOAQUA (Inventaire et suivi de la biodiversité aquatique), PERDUR (Etat de la Polynésie française), LTER-MOOREA (Etude sur le long terme du récif corallien de Moorea), CRISP (Protection et gestion des récifs coralliens du Pacifique) et d'autres programmes de plus petite envergure.

La thématique de recherche principale de l'équipe est l'étude de la structure et du fonctionnement des écosystèmes récifaux coralliens. Après une phase descriptive obligatoire (systématique des principaux phyla, schémas bionomiques), puis explicative (dynamique des populations des principales espèces, variabilité spatiale et temporelle des peuplements, étude des flux de matières et d'énergie, biologie intégrative, biologie évolutive), les chercheurs interviennent maintenant dans les processus de gestion durable de cet écosystème (biologie de la conservation). En somme, mieux connaître et mieux comprendre pour mieux gérer.

iii. Mission de communication, d'expertise et de formation

L'un des rôles majeurs du CRIOBE concerne la communication et la vulgarisation. Cela se traduit par la participation à des articles de presse et de vulgarisation scientifique.

Par ailleurs, le CRIOBE joue un rôle d'expertise dans le domaine de l'écologie tropicale pour les différents Ministères de la Polynésie Française, mais aussi pour certaines institutions régionales du Pacifique sud (Programme Régional Océanien de l'Environnement, Secretariat of the Pacific Community) ou internationales (Global Coral Reef Monitoring Network, International Coral Reef Initiative). Enfin le CRIOBE accueille chaque année des étudiants en formation à la recherche par la recherche, lors de stages d'initiation à l'écologie tropicale, de formation aux techniques de suivi de l'environnement, ou de stages de recherche dans le cadre de diplômes universitaires.

Le Centre est à l'origine de plus de 1100 publications, 210 rapports et 170 thèses ou diplômes depuis 1971, dans une dynamique de recherche qui se poursuit encore aujourd'hui.

II. Modèle d'étude

1. Anguilles

Les anguilles sont des poissons au corps allongé qualifié de serpentiforme, sans nageoires pelviennes et possédant une nageoire continue réunissant les nageoires dorsale, caudale et anale. Elles appartiennent à l'ordre des anguilliformes. Cet ordre comporte 15 familles, dont les *Murenidae* (murènes), les *Congridae* (congres) et les *Anguillidae* (anguilles).

Parmi ces 15 familles, celle des *Anguillidae* compte un seul genre, *Anguilla*. Toutes les espèces de ce genre portent une peau épaisse recouverte de minuscules écailles ovales et d'un mucus abondant, possèdent des nageoires pectorales bien développées et une bouche largement fendue.

On les retrouve dans la plupart des eaux tropicales et tempérées à l'exception de l'Est de l'océan Pacifique et du Sud de l'océan Atlantique (Watanabe, 2003).

Il est actuellement admis que cette famille se compose de 19 espèces et sous-espèces (Silfvergrip, 2009), bien qu'il existe des controverses à ce sujet. En effet, si l'existence des 2 espèces atlantiques ne fait aucun doute, la séparation des 17 espèces indo-pacifiques est moins sûre, et leurs aires de ponte ne sont pas toutes localisées avec certitude. Les distinctions s'appuient sur la distribution géographique, sur la longueur de la nageoire dorsale, le nombre de vertèbres et la couleur de la peau. L'identification est maintenant possible aussi grâce aux techniques biomoléculaires.

On peut répartir ces espèces selon les océans qu'elles occupent.

Dans l'océan Atlantique, on trouve deux espèces : l'anguille européenne, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), et l'anguille américaine, *Anguilla rostrata* (Lesueur, 1817). Elles se reproduisent toutes deux dans la mer des Sargasses. Seul le nombre des vertèbres les distingue : 115 en moyenne (111-119) chez l'euro-péenne, 107 (103-111) chez l'américaine.

Dans l'océan Indien, on trouve trois espèces. Dans les eaux africaines, *Anguilla mossambica* (Peters, 1852), à la peau unie, et *Anguilla bengalensis* (synonyme *Anguilla nebulosa*) sous-espèce *labiata* (Peters, 1852), à la peau marbrée, se reproduisent dans les fosses abyssales à

l'Est de Madagascar et croissent dans les eaux continentales de la grande île et dans celles du Sud-Est du continent africain, depuis le Kenya jusqu'au Cap. En Asie, les eaux intérieures de l'Inde et du Sri Lanka abritent également *Anguilla bengalensis* sous-espèce *bengalensis* (Gray, 1831), à dos marbré et longue nageoire dorsale. On y trouve également l'espèce *Anguilla bicolor* (McClelland, 1844), à dos uni et sombre et dorsale courte, qui se reproduit à l'Ouest de Java.

Enfin, dans l'océan Pacifique, on compte plus d'une dizaine d'espèces, ce qui s'explique probablement par la multitude des aires de reproduction possibles.

Une seule espèce, *Anguilla japonica* (Temminck & Schlegel, 1846), se reproduit dans les régions tempérées du Pacifique Nord, puis colonise le Japon et la Chine. Très semblable à l'anguille européenne, elle fait l'objet d'un élevage intensif au Japon.

Anguilla marmorata (Quoy & Gaimard, 1824), à peau marbrée et dorsale longue, se reproduit dans l'océan Pacifique, à l'Ouest de la Nouvelle-Guinée, mais de nombreux courants dispersent ses larves leptocéphales, d'où sa vaste répartition depuis l'Est africain jusqu'au Japon. Rare à ces deux extrémités, elle est commune depuis l'Inde jusqu'à Tahiti et dans les îles de la Société.

La plupart des autres espèces vivent dans les eaux intertropicales du Pacifique, où les nombreuses fosses marines et les températures élevées fournissent autant de sites favorables à la reproduction et où les populations sont réparties selon trois grands groupes.

Trois espèces semblent se reproduire dans la mer des Célèbes et colonisent les eaux intérieures des îles comprises entre les îles de la Sonde, Bornéo, les Philippines et la Nouvelle-Guinée. Il s'agit d'*Anguilla celebesensis* (Kaup, 1856) (synonyme *Anguilla ancestralis*), qui est l'ancêtre probable de toutes les anguilles actuelles, d'*Anguilla bicolor pacifica* (Schmidt, 1928) et d'*Anguilla borneensis* (Pošta, 1924).

Trois espèces semblent se reproduire à l'Est de la Papouasie-Nouvelle-Guinée et ont une répartition plus orientale : *Anguilla interioris* (Whitley, 1938), en Papouasie, *Anguilla obscura* (Günther, 1872), jusqu'à Tahiti et *Anguilla megastoma* (Kaup, 1856), que l'on rencontre notamment aux îles Salomon et Cook et en Nouvelle-Calédonie.

Enfin, quatre espèces beaucoup plus méridionales dont on ne connaît pas les aires de reproduction pour la plupart, peuplent les mers tempérées : *Anguilla australis australis* (Richardson, 1841) et *Anguilla reinhardti* (Steindachner, 1867) qui semblent se reproduire près des îles Fidji et vivent uniquement sur les côtes orientales australiennes ; *Anguilla australis schimidti* (Phillips, 1925) qui fréquente les côtes de la Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie et les îles Fidji ; et enfin *Anguilla dieffenbachi* (Gray, 1842) qui est exclusivement néo-zélandaise.

En ce qui concerne son régime alimentaire, l'anguille est un prédateur vorace et opportuniste. Pendant sa croissance, ce poisson peut avaler quotidiennement jusqu'à 25 % de son poids. Le régime alimentaire de l'anguille se compose de toutes les espèces animales aquatiques – marines ou d'eaux douces – surtout celles vivant à proximité du fond, puisque c'est là que l'anguille évolue le plus souvent (larves d'insectes, crustacés, poissons). Les grosses anguilles, à l'occasion, dévorent même leurs congénères de plus petite taille. Il peut être complété par des apports terrestres (insectes, petits mammifères). Les anguilles se nourrissent surtout de nuit.

En ce qui concerne leur habitat, leur grande tolérance vis-à-vis des conditions de température et de salinité des eaux permet aux anguilles de coloniser tous les milieux aquatiques continentaux : lagunes, marais littoraux, estuaires et tout le long des cours d'eau jusqu'à leurs sources, à condition que ces derniers débouchent sur l'océan. Selon les espèces, on observe une prédilection pour les eaux stagnantes (saumâtres ou douces), de faible profondeur, ou pour des eaux plus vives avec un courant fort et des températures plus froides.

2. Cycle de vie

En tant que poisson catadrome, l'anguille passe la plus grande partie de sa vie dans les eaux douces des rivières ou dans des eaux saumâtres, mais doit impérativement gagner la pleine mer pour frayer (Tesch, 2007). Les adultes matures se reproduisent en plein océan, quelque part dans les profondeurs, dans des conditions particulières de température, de salinité et de pression, puis meurent. Les œufs libèrent ensuite des larves translucides en forme de feuilles appelées leptocéphales (Fig 5). Ces larves, carnivores, se nourrissent de zooplancton. Après leur éclosion, elles se laissent porter par les courants marins, entre 200 et 300 m de profondeur en journée, remontant la nuit à 25 m environ de la surface.

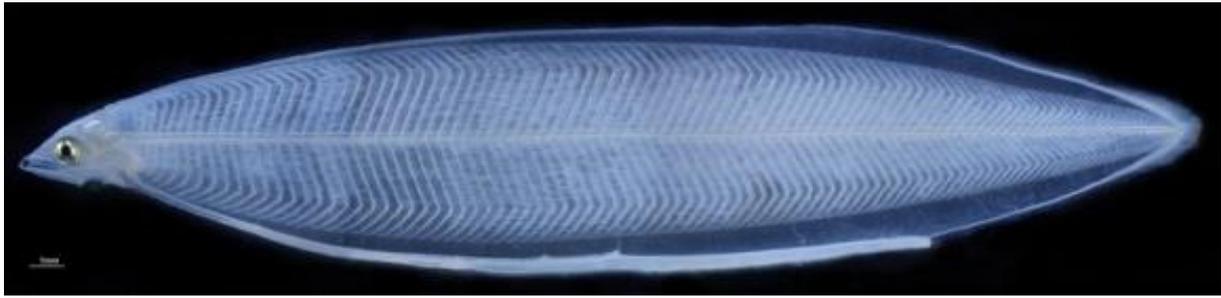


Figure 5. Larve leptocephale d'*Anguilla sp.*

Source : La vie mystérieuse des anguilles, E. Feunteun.

À l'approche du talus continental, les leptocephales cessent de se nourrir et entament leur métamorphose en civelles. Leur peau est encore transparente mais leur corps devient serpentiforme. Pendant cette métamorphose commence la migration des civelles vers les côtes et les estuaires. Les civelles progressent alors près de la surface, portées par le flot de la marée montante. À marée descendante, elles rejoignent le fond pour ne pas se faire entraîner en aval. Certaines restent sur les côtes, où elles deviendront des anguilles, mais la plupart continuent leur progression (Harrison et al, 2014).

À l'issue de la première phase de leur migration, les civelles sont arrivées près du littoral. Au contact de l'eau douce, leur peau se pigmente progressivement. À leur arrivée dans l'estuaire, les civelles se préparent au passage en eau douce en restant quelques semaines dans la zone d'influence des marées. Certaines y resteront toute leur vie mais la plupart choisissent de remonter ensuite fleuves et rivières. La remontée des cours d'eau, contrairement à la migration océanique passive, est active et dite « migration nagée ». Les civelles, devenues anguillettes, progressent de nuit et près des rives en général, où le courant est moins fort qu'au milieu du fleuve. Cette migration amont rassemble des animaux de tout âge, anguillettes fraîchement arrivées et anguilles plus âgées poursuivant leur route.

La remontée n'est pas continue : les anguilles s'arrêtent épisodiquement pour se reposer et se nourrir. Certaines s'établissent, mais beaucoup repartent. Cette migration nagée peut s'étaler sur plusieurs années, surtout pour les individus qui choisissent de remonter très en amont.

Au cours de cette migration, les anguillettes atteignent progressivement le stade adulte immature ou « anguille jaune ». Après plusieurs années, une certaine proportion de la population adulte se métamorphose en adultes matures ou « anguilles argentées ».

Ce sont ces individus qui vont entreprendre la migration retour vers l'océan et leur lieu de reproduction et fermer ainsi la boucle de leur cycle de vie (Fig 6).

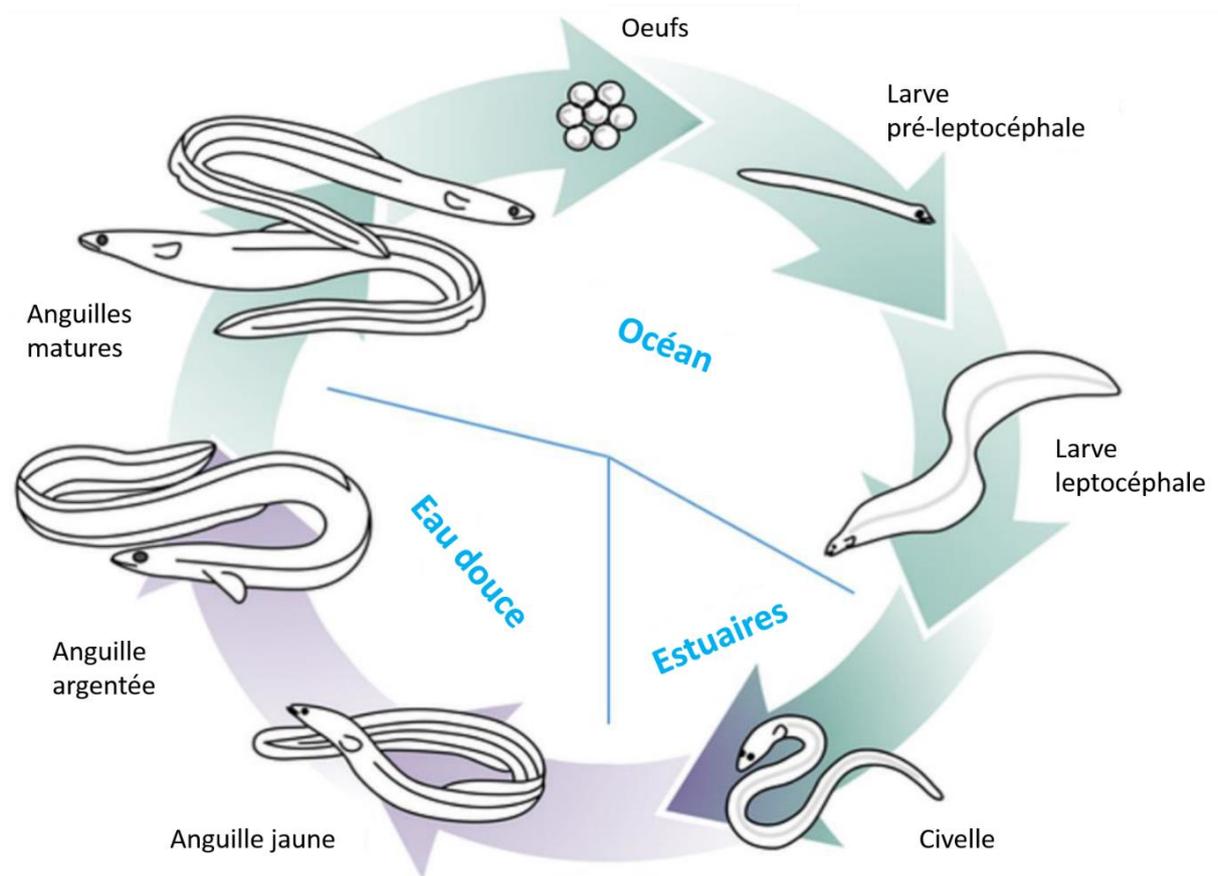


Figure 6. Cycle biologique des anguilles. Source : Henkel et al, 2012, modifié.

Un grand mystère entoure la reproduction des anguilles. En effet de nombreuses études ont réussi à collecter de très jeunes larves à différents endroits du globe mais, à notre connaissance, une seule étude a réussi à collecter des individus matures en pleine mer (Tsukamoto, 1992).

Si les zones de reproduction des espèces américaine, européenne et japonaise ont été clairement identifiées, mer des Sargasses pour *A. rostrata* et *A. anguilla* (Schmidt, 1922) et Ouest des îles Mariannes pour *A. japonica* (Tsukamoto, 1992), il n'en est rien pour la plupart des espèces tropicales.

Par exemple, malgré de nombreuses preuves supportant l'hypothèse de l'existence d'au moins quatre populations différentes d'*A. marmorata*, provenant donc de zones de reproduction différentes, deux dans l'océan Pacifique Nord et une ou plus dans l'océan Pacifique Nord-Ouest et l'océan Indien (Minegishi et al, 2008), seulement une zone de reproduction a été clairement identifiée à ce jour (Kuroki et al, 2006), elle aussi située à l'Ouest des îles Mariannes.

3. Anguilles de Polynésie française

Parmi toutes les espèces citées précédemment, trois sont présentes en Polynésie française.

Il s'agit de la grande anguille marbrée *A. marmorata* (Giant Marbled eel), l'anguille de montagne *A. megastoma* (Pacific Long-finned eel) et l'anguille de vase *A. obscura* (Pacific Short-finned eel) (Marquet & Galzin, 1991) (Fig 7,8 et 9).



Figure 7. *Anguilla marmorata*.

Source : B. Seret, Muséum National d'Histoire Naturelle de Nouvelle Calédonie, Laboratoire d'Ichtyologie.



Figure 8. *Anguilla megastoma*.

Source : B. Seret, Muséum National d'Histoire Naturelle de Nouvelle Calédonie, Laboratoire d'Ichtyologie.



Figure 9. *Anguilla obscura*.

Source : B. Seret, Muséum National d'Histoire Naturelle de Nouvelle Calédonie, Laboratoire d'Ichtyologie.

A. marmorata est l'espèce la plus largement distribuée avec une répartition Indo-Pacifique, des côtes de l'Afrique du Sud à l'extrême Est de la Polynésie Française (Fig 10). Les aires de répartition des deux autres espèces, *A. megastoma* et *A. obscura*, sont plus limitées (Fig 11 et 12).

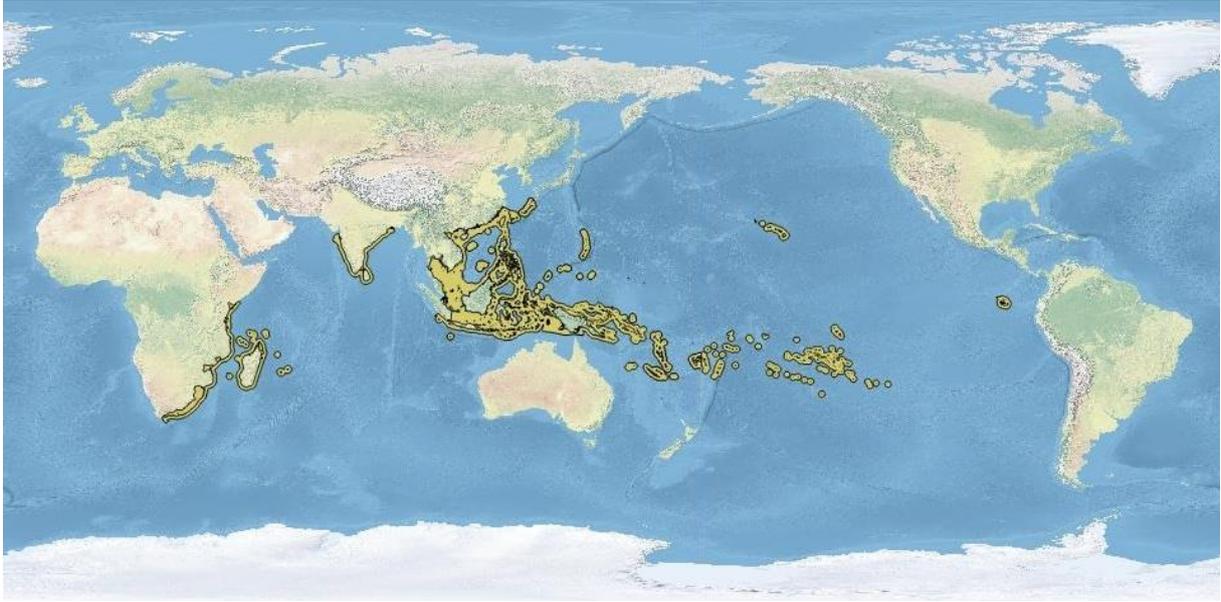


Figure 10. Aire de répartition géographique de *A. marmorata*.

Source : Liste rouge IUCN des espèces menacées.

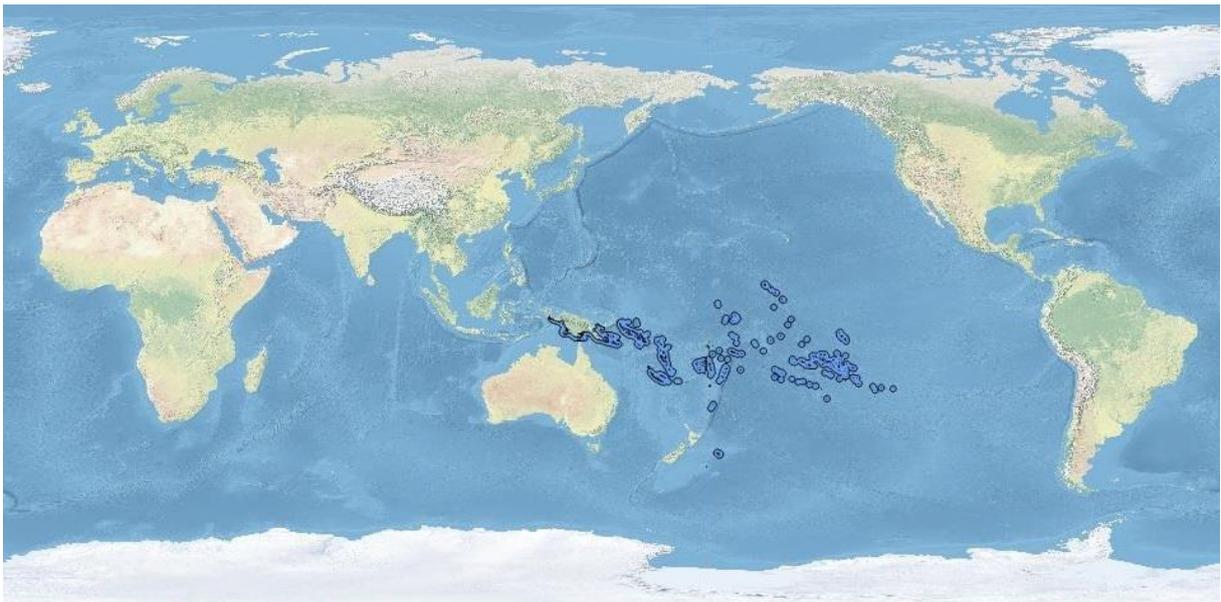


Figure 11. Aire de répartition géographique de *A. megastoma*.

Source : Liste rouge IUCN des espèces menacées.

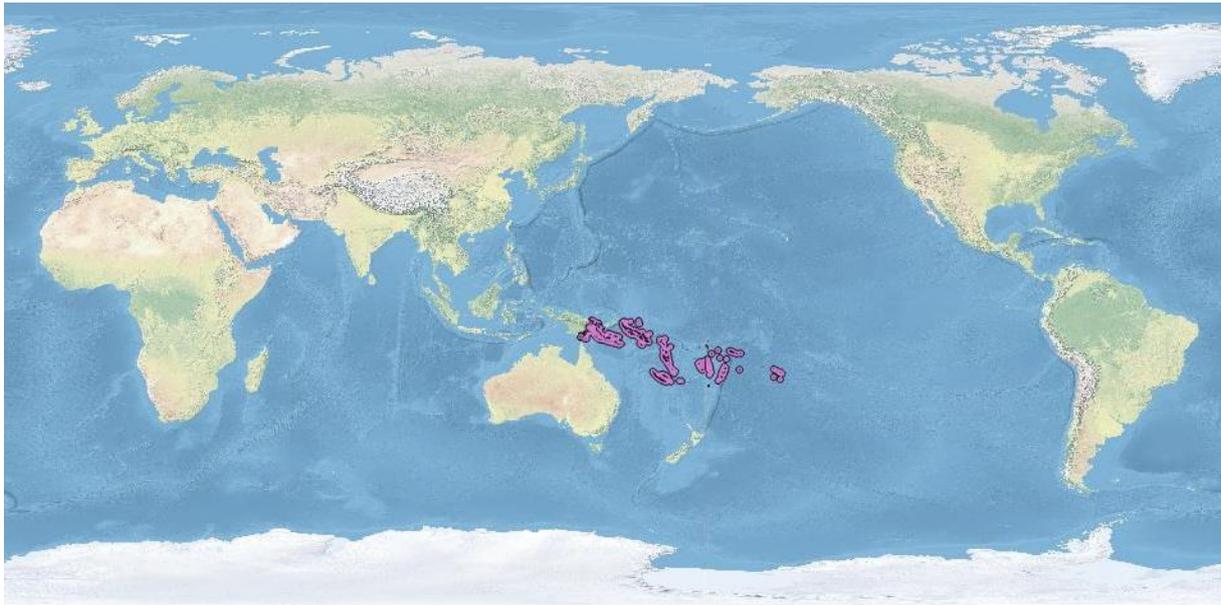


Figure 12. Aire de répartition géographique de *A. obscura*.

Source : Liste rouge IUCN des espèces menacées.

Les trois espèces d'anguilles polynésiennes se retrouvent selon un gradient altitudinal.

A. obscura est l'espèce présente le plus en aval des cours d'eau. Elle affectionne les eaux troubles, stagnantes et saumâtres. On la retrouve à proximité de l'océan, dans les fossés, marais et cours d'eau lents. *A. marmorata* est l'espèce la plus abondante en Polynésie Française. On la retrouve principalement au niveau intermédiaire des cours d'eau, là où l'eau est douce, claire et vive. Enfin, *A. megastoma* occupe l'habitat le plus en amont. On la retrouve dans les cours d'eau ou les lacs d'altitude. C'est l'espèce la moins abondante en Polynésie Française.

4. Menaces

Parmi toutes les espèces d'anguilles, l'anguille européenne (*A. anguilla*), l'anguille américaine (*A. rostrata*) et l'anguille japonaise (*A. japonica*) sont les principales espèces exploitées économiquement (FAO, 2009). Malheureusement, nous observons depuis environ 35 ans, un déclin drastique de ces populations (Casselman & Cairns, 2009).

Récemment, mais de manière répétée, ces espèces ont été classifiées respectivement comme « En danger critique » (*A. anguilla*) et « En danger » (*A. rostrata* et *A. japonica*) sur la Liste

Rouge de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) (Hoffman et al, 2010 ; Jacoby & Gollock, 2014 ; Jacoby et al, 2014). Le stock d'anguilles européennes a été qualifié « d'inférieur au niveau biologique de sureté » et « nécessitant une action urgente de l'Union Européenne » (ICES, 1999 et suivants). Son commerce est maintenant sévèrement encadré depuis son inscription à l'appendice II de la CITES (Convention of International Trade of Endangered Species) en 2009 (CITES, 2007).

Ce déclin massif est dû à une multitude de facteurs parmi lesquels la surpêche (Dekker, 2004), la dégradation de l'habitat avec notamment la présence d'obstacles à la migration (McCleave, 2001), les changements globaux des conditions océaniques (dus au réchauffement climatique) (Miller et al, 2009), l'émergence de pathogènes (Palstra et al, 2007 ; Fazio et al, 2012) et la pollution (van Ginneken et al, 2009).

Malheureusement, quand une espèce ou une population d'anguille devient menacée, l'industrie de la pêche reporte son intérêt sur la suivante afin de satisfaire la demande (Crook, 2010 ; Crook & Nakamura 2013). C'est pourquoi, en réponse au déclin des stocks des espèces tempérées et à la réglementation stricte imposée concernant leur commerce, on observe une pression économique de plus en plus importante sur les espèces tropicales.

III. Etude de la dynamique du recrutement

1. Introduction

Le premier axe de cette étude est consacré à l'étude de la dynamique du recrutement. Le recrutement se définit comme l'arrivée de juvéniles dans une population. C'est un des mécanismes majeurs contribuant à l'équilibre d'une population puisque la qualité du recrutement va directement impacter la composition et la dynamique de cette population. La compréhension de ses rouages revêt donc une importance capitale à la compréhension globale du cycle biologique. De plus, si une exploitation commerciale de la ressource voit éventuellement le jour, il est certain que les civelles auront à subir une pression de pêche importante. Malheureusement, si les études consacrées aux anguilles tropicales sont rares en général, les études consacrées au recrutement de ces mêmes espèces le sont encore plus. De plus, les rares études qui s'y rapportent ont souligné un déclin du recrutement des civelles des anguilles tropicales, qui même s'il n'est pas du niveau de celui que connaissent les anguilles tempérées (Wirth & Bernatchez, 2003 ; Bark et al, 2007 ; MacGregor et al, 2008 ; Gollock et al, 2011 ; Matters & Pratt, 2011), coïncide avec le récent démarrage de leur exploitation commerciale (Doole, 2005 ; Jellyman, 2007). Pour toutes ces raisons, l'étude de la dynamique du recrutement était primordiale.

En raison de leur cycle biologique catadrome, les premières étapes de la vie des anguilles (ontogénie, migration larvaire, survie) sont sous l'influence de facteurs climatiques et océaniques qui ne sont pas sous notre contrôle (Gagnaire et al, 2012; Côté et al, 2013). En revanche, le stade civelle est directement affecté par une des principales pressions anthropiques : l'exploitation commerciale (Briand et al, 2012). De plus, cette tendance est encore accentuée par le fait que même si on est actuellement techniquement capable d'obtenir des civelles artificiellement à partir d'adultes maintenus en captivité (Okamura et al, 2014; Mordenti et al., 2014), les coûts de production prohibitifs interdisent toute utilisation en aquaculture. Les civelles utilisées par l'industrie de la pêche sont donc toujours pêchées dans leur milieu naturel et leur valeur ne cesse d'augmenter en parallèle à la demande, en particulier en provenance de Chine et du Japon ((Briand et al, 2008 ; Briand et al, 2012).

Dans ses études (Marquet, 1987 ; Marquet, 1988), Marquet avait démontré que le recrutement des trois espèces polynésiennes était globalement faible en comparaison des observations effectuées en zones tempérées et se concentrait entre les mois d'Octobre et Avril et plus précisément entre Janvier et Février. Il avait de plus essayé d'établir une relation entre l'abondance du recrutement et le niveau de précipitations mais n'avait pas réussi. Concernant des aspects purement morphologiques, il avait établi qu'il n'y avait pas de variations de taille durant la période de recrutement, contrairement aux observations faites sur les espèces tempérées (Lecomte-Finiger, 1983). Grâce à l'étude de la taille au recrutement, il avait proposé des zones potentielles de reproduction, situées près des îles de Tahiti et de Moorea, à l'Est des îles des Tuamotu. De la même façon, Budimawan avait décrit le recrutement d'*A. marmorata* comme irrégulier et en déclin depuis quelques années (Budimawan, 1996). L'âge des civelles collectées avait été estimé à environ 3-4 mois, résultat assez similaire à ceux obtenus chez les espèces tempérées (Lecomte-Finiger & Yahyaoui, 1989 ; Tsukamoto, 1990). De plus, il avait vérifié l'hypothèse d'une zone de reproduction située à l'Est des îles des Tuamotu suggérée par Marquet.

Pour compléter ces études déjà anciennes, nous avons choisi de tenter de capturer des civelles lors de leur recrutement dans l'estuaire afin d'en connaître la temporalité (variations saisonnières et mensuelles).

En parallèle, nous avons essayé d'identifier les facteurs climatiques qui influençaient le recrutement.

2. Matériel et Méthodes

i. Echantillonnage

Les civelles ont été collectées dans l'estuaire de la rivière Opunohu dans la baie du même nom à l'aide d'un filet de type Fyke (1 mètre de haut, 20 mètres de long, 35 centimètres de diamètre à l'entrée, 4 centimètres à la sortie, mailles de diamètre 1 millimètre) (Fig 13 et 14) en compilant les résultats de cinq périodes d'échantillonnage entre Décembre 2009 et Février 2015. Pendant les périodes d'échantillonnage, les civelles étaient collectées une fois par jour, chaque matin. À cause des forts courants et des crues qui ont eu lieu pendant la saison des pluies, le filet n'a pas pu être laissé en place tous les jours.

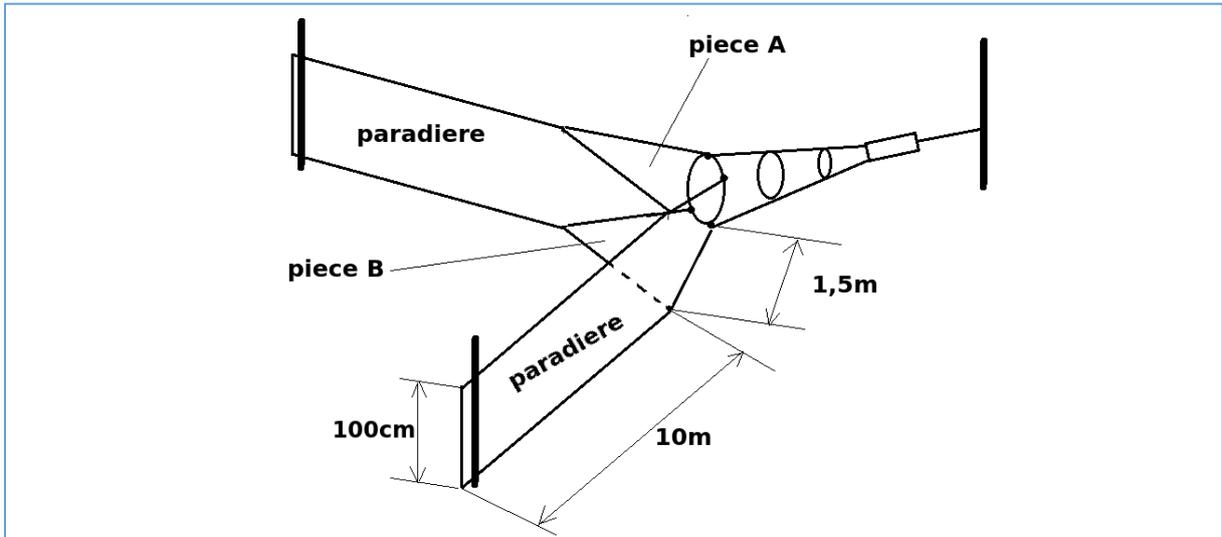


Figure 13. Schéma général du filet utilisé pour la capture des civelles.

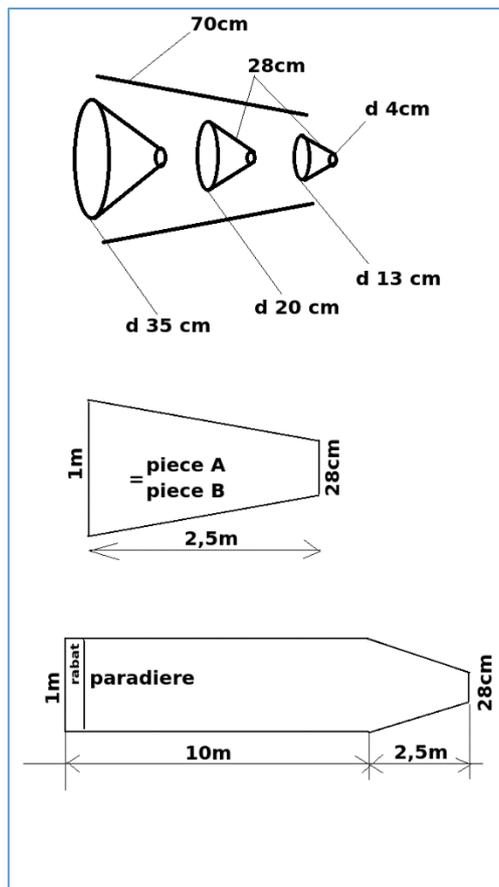


Figure 14. Schéma détaillé des différents éléments du filet utilisé pour la capture des civelles.

Les poissons capturés étaient ensuite transportés vivants au laboratoire, anesthésiés à l'aide d'eugénol (quelques gouttes mélangées à un fond d'eau dans une boîte de Pétri) puis observés sous la loupe binoculaire afin de mesurer au millimètre près leur longueur totale, leur longueur de la tête à l'insertion de la nageoire dorsale et leur longueur de la tête à l'insertion de la nageoire caudale. L'identification de l'espèce a été faite selon Ege, 1939, en considérant la coloration de l'arrière du corps et le ratio entre l'extrémité antérieure de la nageoire anale (LA) et de la nageoire dorsale (LD) et la longueur totale (LT) (Ratio = $[(LA-LD) / LT] \times 100$) (Fig 15).

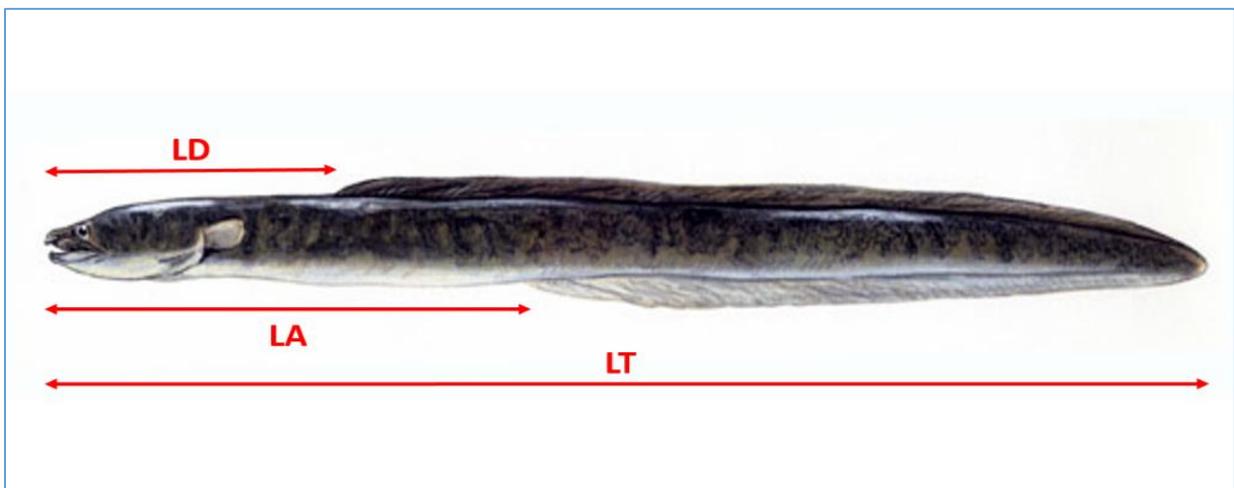


Figure 15. Schéma illustrant la méthode du calcul du ratio dorso-anal.

Ce ratio est particulièrement important quand les individus capturés sont particulièrement petits ou quand la coloration de l'arrière du corps n'est pas assez marquée. Il permet la différenciation entre les espèces à nageoire courte (ratio <8% pour *A. obscura*) et les espèces à nageoire longue (ratio [11-13%] pour *A. megastoma* et >14% for *A. marmorata*) (Ege, 1939 ; Tesch, 2003 ; Watanabe et al, 2004b). Les civelles dont le ratio était compris entre 8 et 11% ainsi qu'entre 13 et 14% étaient définis respectivement comme *A. obscura/A. megastoma* et *A. megastoma/A. marmorata*. Le nombre d'individus de chaque espèce capturés était soigneusement enregistré chaque jour.

ii. Otolithométrie

Durant la période d'échantillonnage 2009-2010, des analyses otolithométriques ont été réalisées sur 51 civelles de l'espèce *A. marmorata*, 4 civelles de l'espèce *A. megastoma* et 19 civelles de l'espèce *A. obscura*.

L'otolithe est une concrétion minérale trouvée dans le système vestibulaire de l'oreille interne des vertébrés, très développée chez les poissons téléostéens. Les otolithes apparaissent dès le début de l'ontogenèse et leur croissance se poursuit durant toute la vie de l'individu par formation successive de couches concentriques en périphérie. En observant ces couches, on peut visualiser des variations structurales et chimiques en fonction de la physiologie du poisson et de son environnement mais on peut surtout, et c'est ce qui nous intéresse ici, mesurer l'âge du poisson (Fig 16).

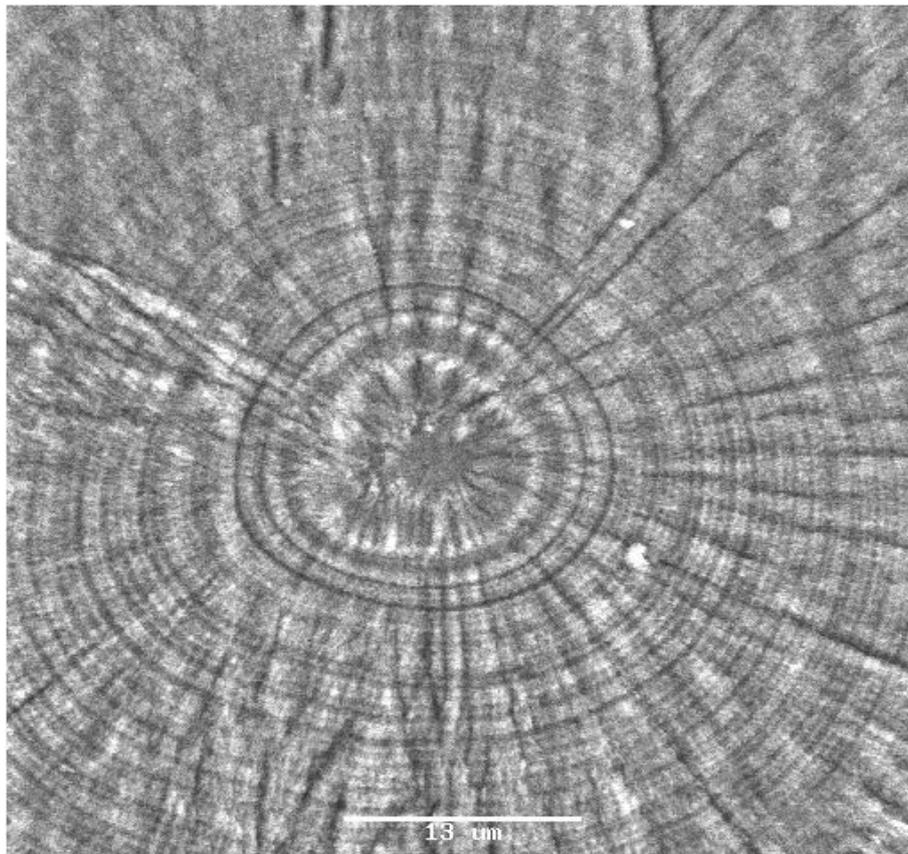


Figure 16. Photographie par microscope électronique à balayage d'un otolithe sagittal d'*A. marmorata*. Source : P. Sasal.

Les otolithes sagittaux ont été extraits et fixés dans de la résine époxy. Ils ont ensuite été poncés avec du papier de verre de grain décroissant pour en exposer le cœur, puis polis. Après polissage, les échantillons ont été humidifiés avec une goutte d'EDTA pendant 1 minute afin de mieux visualiser les couches concentriques. Ensuite, les échantillons ont été observés sous le microscope électronique à balayage (Sugeha et al, 2001).

iii. Variables environnementales

En accord avec la littérature, nous avons choisi de nous concentrer sur certaines variables connues pour influencer le recrutement. Ainsi, chaque jour de pêche, la température de l'air (en degrés Celsius), le niveau de précipitations (en millimètres), la phase lunaire, la hauteur de houle (en mètres) et sa direction ainsi que la vitesse du vent (en nœuds marins) et sa direction ont été enregistrés.

La température de l'air et le niveau de précipitations ont été mesurés par la station météorologique du CRIOBE. Les valeurs de hauteur de houle et sa direction ainsi que les valeurs de vitesse du vent et sa direction ont été enregistrés sur le site internet WindGURU, sur la page dédiée à la Polynésie Française et à l'île de Moorea (<http://www.windguru.cz/fr/index.php?sc=62510>). Pour toutes ces variables, à l'exception du niveau de précipitations, nous avons ensuite utilisé une moyenne journalière pour nos analyses statistiques.

La phase lunaire a été enregistrée sur un autre site internet (<http://kalender-365.de/>). Pour rendre les analyses statistiques ultérieures plus aisées, nous avons transformé les données obtenues en données numériques avec une valeur 0 correspondant à la nouvelle lune. Avec cette méthode, le premier quartier correspond à la valeur 7 ± 1 , la pleine lune à la valeur 14 ± 1 et le troisième quartier à la valeur 21 ± 1 .

iv. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2007).

Dans un premier temps, nous avons exploré la saisonnalité du recrutement en représentant graphiquement le nombre de civelles capturées comme une fonction du mois de l'année pour chaque période d'échantillonnage.

Ensuite, nous nous sommes intéressés aux différences de taille au recrutement entre espèces en utilisant le test de Kruskal-Wallis. Nous avons aussi exploré les variations de taille au recrutement des civelles capturées en fonction du temps en représentant graphiquement la taille au recrutement comme une fonction de la semaine de l'année pour chaque période d'échantillonnage et pour chaque espèce.

Puis, nous avons étudié la corrélation entre l'âge et la taille au recrutement en représentant graphiquement l'âge au recrutement comme une fonction de la taille au recrutement pour chaque espèce. Nous avons réalisé les mêmes analyses pour l'âge au recrutement et la durée de vie leptocephale. De plus, nous nous sommes intéressés aux différences d'âge entre espèces en utilisant le test de Kruskal-Wallis.

Ensuite, nous avons essayé d'étudier l'effet de chaque variable environnementale sur le recrutement des civelles. Parce que nos données ne suivaient pas une distribution normale, nous ne pouvions pas réaliser de régressions linéaires ou d'ANOVA. C'est pourquoi nous avons choisi d'établir un Modèle Linéaire Généralisé (GLM) (Wajnberg, 2011). Cette approche nous a semblé plus pertinente, car plus sensible, que l'utilisation de tests non paramétriques qui génèrent une perte d'information (Rakotomalala, 2008).

Parce que nos données étaient basées sur une distribution de Poisson avec de la surdispersion, nous avons d'abord essayé d'utiliser un GLM basé sur une loi de Quasi-Poisson pour tester la significativité de la corrélation entre les données de capture et les données environnementales. Après quoi, parce que cette approche s'est montrée plus efficace, nous avons choisi d'utiliser un GLM basé sur une loi binomiale négative (donnant la probabilité de devoir attendre n répétitions (ici les jours de pêche) pour avoir k succès (ici un nombre de civelle capturées supérieur à zéro)).

Le modèle a été construit en utilisant le nombre de civelles capturées comme variable réponse et les variables environnementales, et leurs interactions, comme facteurs explicatifs.

Le modèle a ensuite été lancé sans certains termes, lorsque ces termes se sont avérés non significatifs, en utilisant la méthode de régression pas à pas (exclusion progressive des variables qui contribuent le moins au modèle).

Nous avons dans un premier temps analysé les données dans leur ensemble puis chaque espèce individuellement.

Enfin, afin de représenter graphiquement nos résultats, nous avons construit des arbres de régression.

3. Résultats

Au total, nous avons collecté 3249 civelles en 192 jours de pêche répartis sur les six années. Le maximum journalier a été atteint le 5 Janvier 2014 avec 432 civelles capturées, le minimum journalier a été de 0. Le CPUE moyen (Catch Per Unit Effort) a été de 17.8 civelles/jour avec une valeur minimale pour la campagne 2009/2010 (CPUE = 6.8 civelles/jour) et une valeur maximale pour la campagne 2013/2014 (CPUE = 34.8 civelles/jour). Les civelles n'ont pas été collectées en 2011 et 2012. Le CPUE a été de 8.7 civelles/jour pour la campagne 2014/2015.

i. Composition en espèces

Après avoir identifié les espèces en présence, selon Ege, 1939, nous avons analysé la composition en espèces de notre échantillon total. Les résultats ont montré environ 84% d'*A. marmorata*, 10% d'*A. obscura*, 3% d'*A. megastoma* et environ 3% d'individus non identifiés (Fig 17).

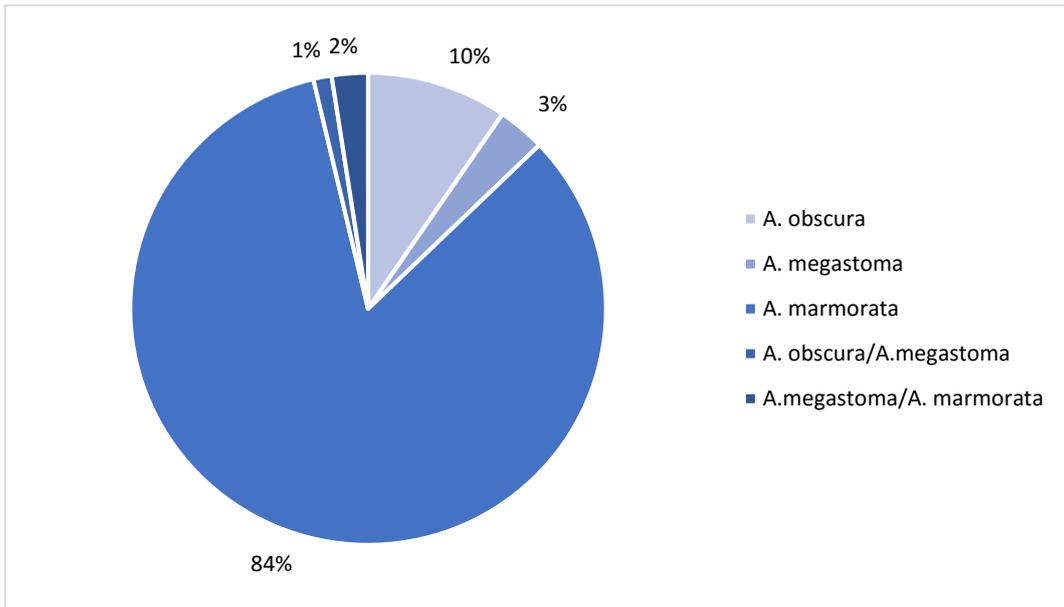


Figure 17. Composition en espèces de l'échantillon total.

Néanmoins, nous avons observé des variations hebdomadaires concernant cette composition. La figure 18 présente la composition hebdomadaire en espèces pour l'ensemble de la période d'échantillonnage.

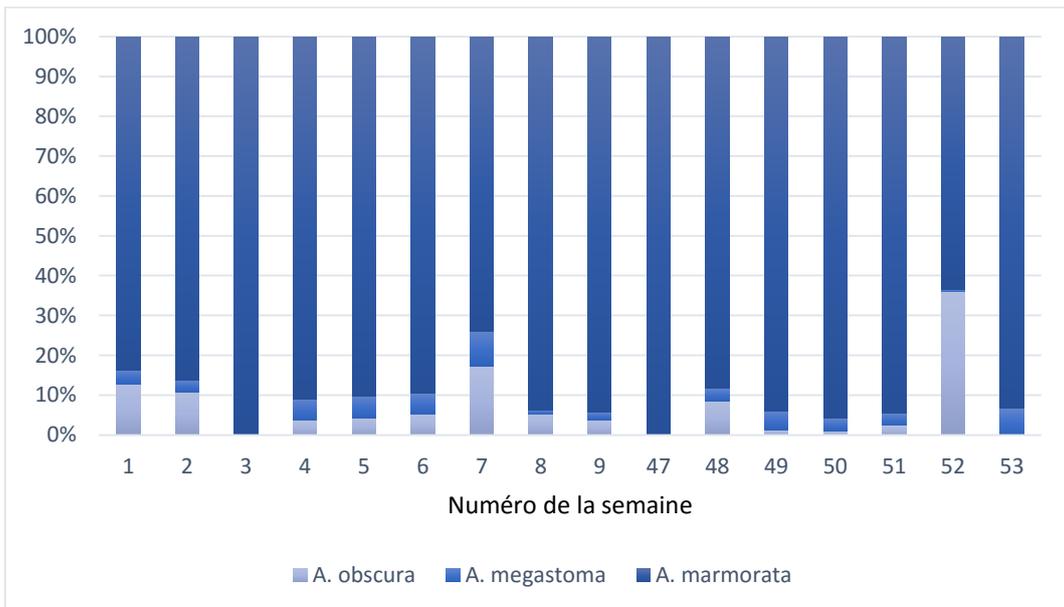


Figure 18. Composition hebdomadaire en espèces de l'échantillon total.

ii. Saisonnalité

En dépit d'une absence de données conséquentes entre Avril et Septembre, nous avons observé une variation saisonnière dans le recrutement des civelles avec une période de recrutement significatif centrée sur les mois de Décembre et Janvier (Fig 19)

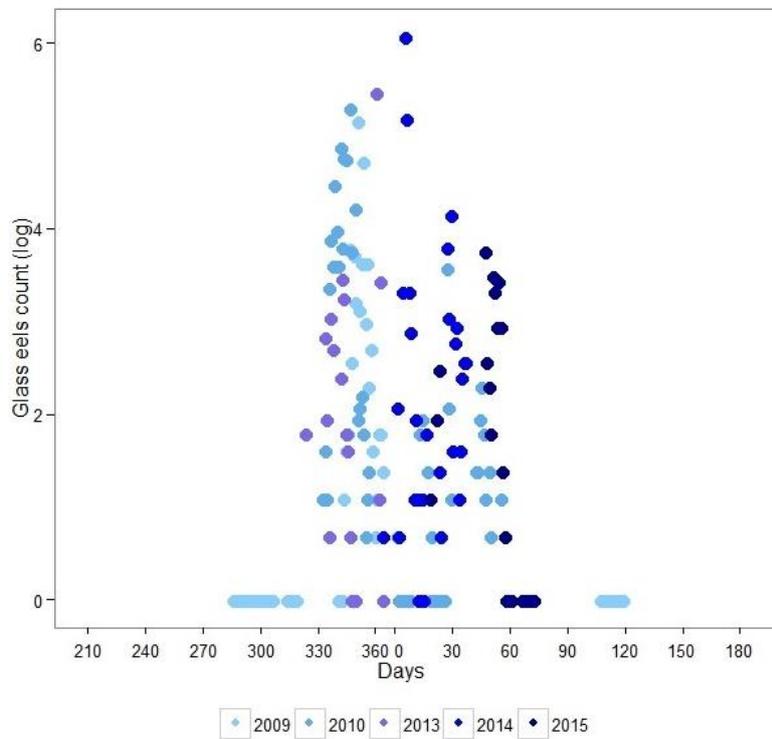


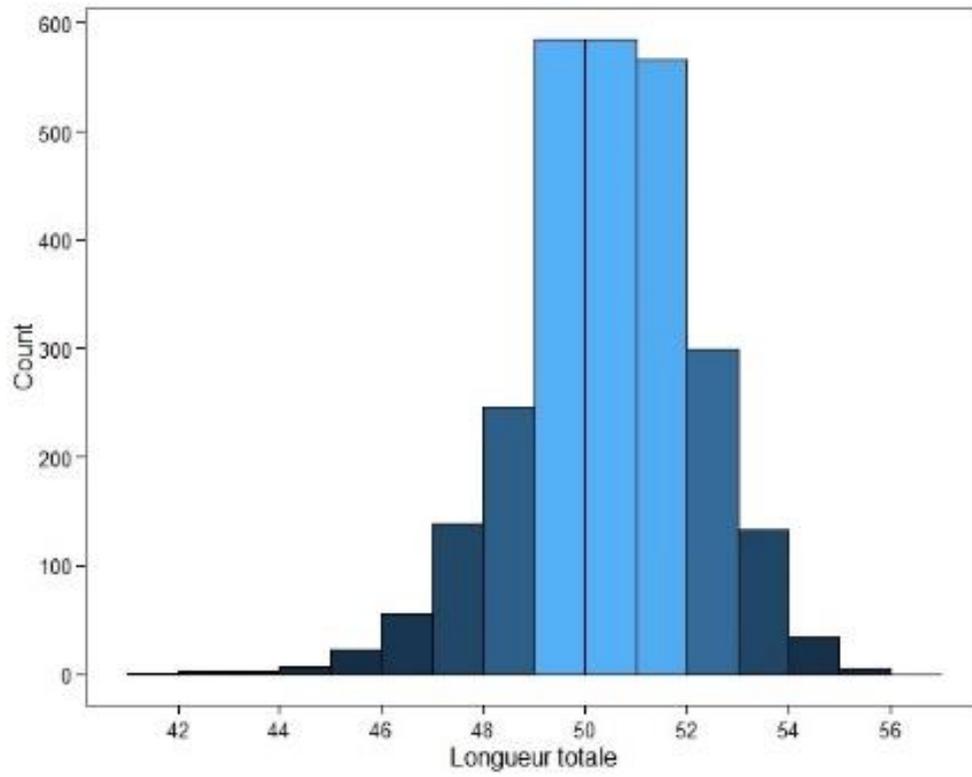
Figure 19. Nombre de civelles capturées en fonction du jour de l'année pour les 3 espèces confondues.

En observant chaque espèce séparément, nous avons retrouvé cette tendance.

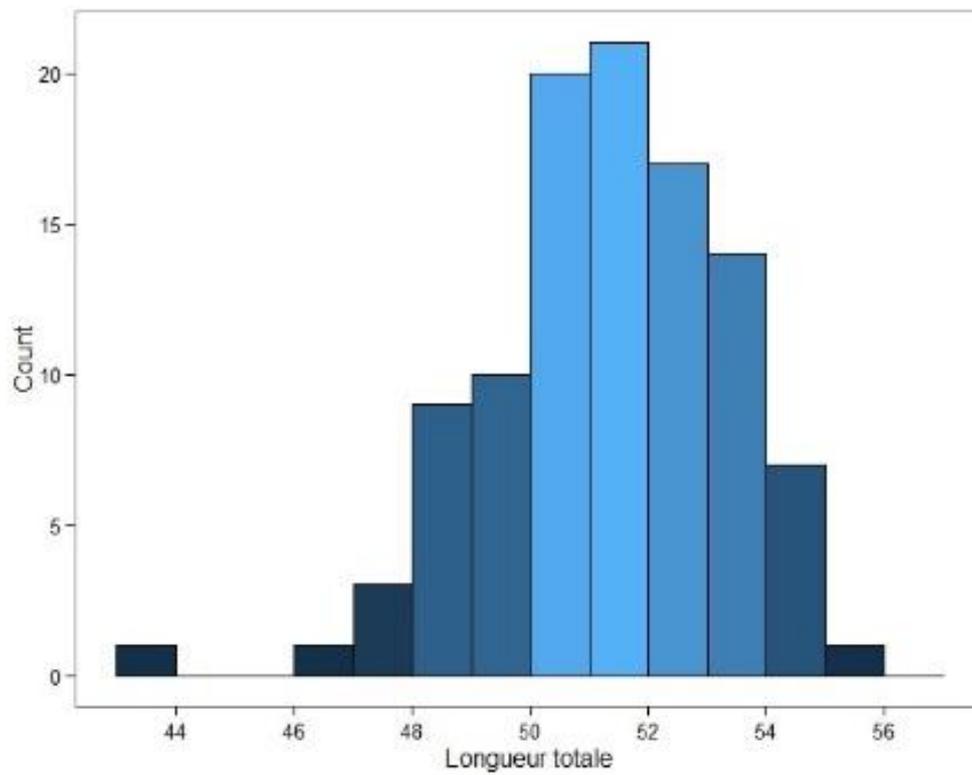
iii. Variations de taille

Nous avons observé des différences significatives concernant la taille totale entre les trois espèces d'anguilles. *A. megastoma* s'est avérée être l'espèce la plus grande au recrutement ($n=104$; moyenne(en mm)= 51.72 ± 2.02), devant *A. marmorata* ($n=2681$; moyenne(en mm)= 50.84 ± 1.76) et *A. obscura* ($n=307$; moyenne(en mm)= 49.35 ± 1.73) (Fig 20). Ces différences ont été testées avec le test de Kruskal-Wallis, elles sont toutes fortement significatives ($\chi^2=43.36$, ddl=2, p-value<0.001).

A. marmorata



A. megastoma



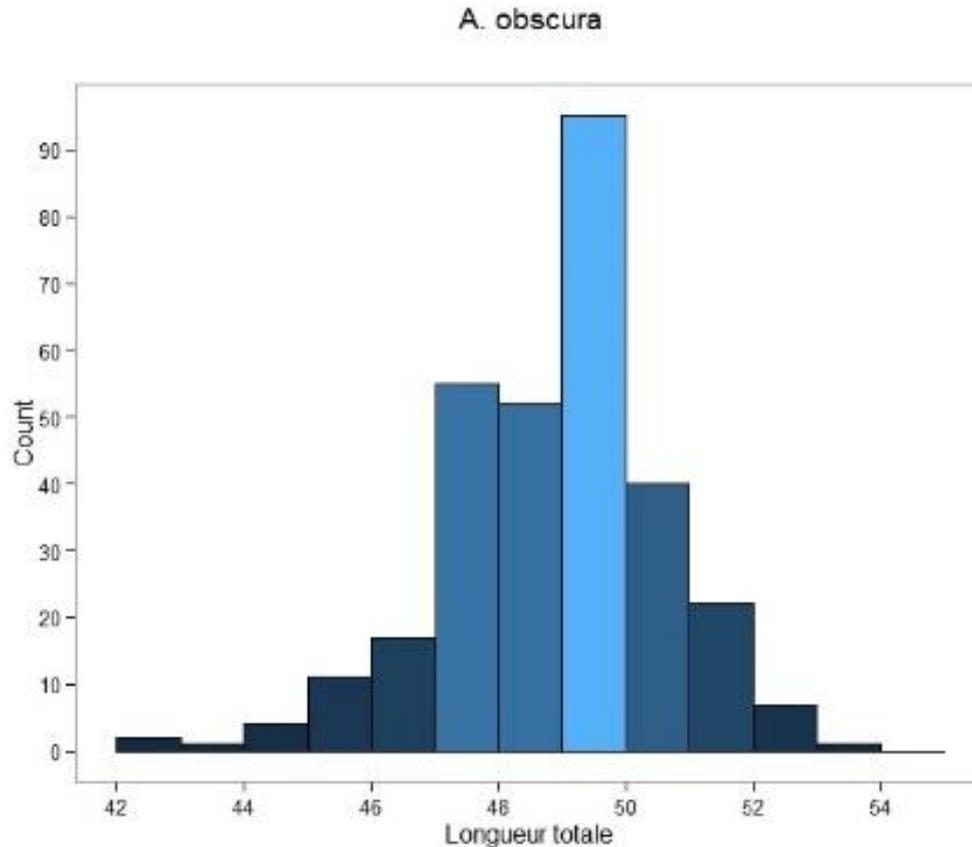


Figure 20. Histogrammes de la taille totale pour chacune des 3 espèces.

En revanche, en observant chaque espèce séparément, la taille totale ne semblait pas présenter de variations significatives durant l’année et entre années.

iv. Microstructure des otolithes

Les analyses otolithométriques nous ont permis d’estimer l’âge au recrutement des civelles capturées. Il était plus élevé pour *A. megastoma* (110.3 ± 6.4 jours) que pour *A. obscura* (105.3 ± 16.6 jours) ou *A. marmorata* (99.4 ± 19.3 jours) (Tab 1). Les tests de Kruskal-Wallis ont révélé que cette différence d’âge au recrutement entre espèces n’était pas significative ($\chi^2=3.07$, $ddl=2$, $p\text{-value}=0.21$). Les analyses otolithométriques nous ont aussi permis d’estimer le temps passé en eau salée et le temps passé en tant que larve leptocéphale. Malheureusement, là non plus nous n’avons pas trouvé de différences significatives concernant le temps passé en eau salée ($\chi^2=3.19$, $ddl=2$, $p\text{-value}=0.20$) ou le temps passé en tant que larve leptocéphale ($\chi^2=4.48$, $ddl=2$, $p\text{-value}=0.10$).

Les analyses otolithométriques nous ont enfin permis d'estimer une date d'éclosion pour nos trois espèces. Elle se situe entre Août et Décembre 2009 pour *A. marmorata*, entre Août et Novembre 2009 pour *A. megastoma* et entre Août et Octobre 2009 pour *A. obscura* (Tab 1).

Résultats	<i>A. marmorata</i>	<i>A. megastoma</i>	<i>A. obscura</i>
Taille de l'échantillon	51	4	18
Période de capture	12 Dec. 2009 21 Dec. 2009	20 Dec. 2009 13 Feb. 2010	15 Dec. 2009 27 Jan. 2010
Longueur totale des civelles (en mm)	49.6 ± 1.4 (46 - 52)	47.8 ± 1.7 (46 - 50)	47.1 ± 2.5 (43 - 52)
Âge au recrutement (en jours)	99.4 ± 19.3 (65 - 144)	110.3 ± 6.4 (102 - 117)	105.3 ± 16.6 (81 - 124)
Période d'éclosion	03 Aug. 2009 03 Dec. 2009	25 Aug. 2009 03 Nov. 2009	17 Aug. 2009 22 Oct. 2009

Tableau 1. Résultats des analyses otolithométriques.

Nous avons ensuite exploré la relation entre l'âge au recrutement et la taille totale des civelles pour les trois espèces. Malgré une tendance négative pour *A. marmorata* et une tendance positive pour *A. megastoma* et *A. obscura*, aucune des corrélations ne s'est avérée significative ($p > 0.05$ pour les trois espèces) (Fig 21 et 22).

Nous avons réalisé la même étude concernant la relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocephale. Nous avons cette fois trouvé des relations positives significatives pour *A. marmorata* ($p < 0.001$) et *A. obscura* ($p < 0.001$). En revanche, aucune relation significative n'a pu être mise en évidence pour *A. megastoma* ($p > 0.05$) (Fig 23 et 24).

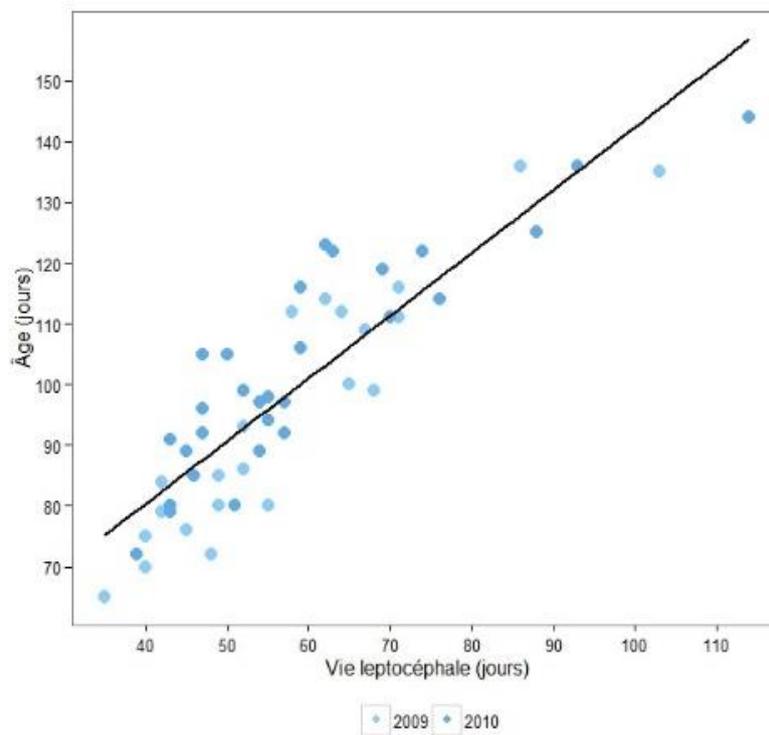


Figure 23. Relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocephale des civelles chez l'espèce *A. marmorata*.

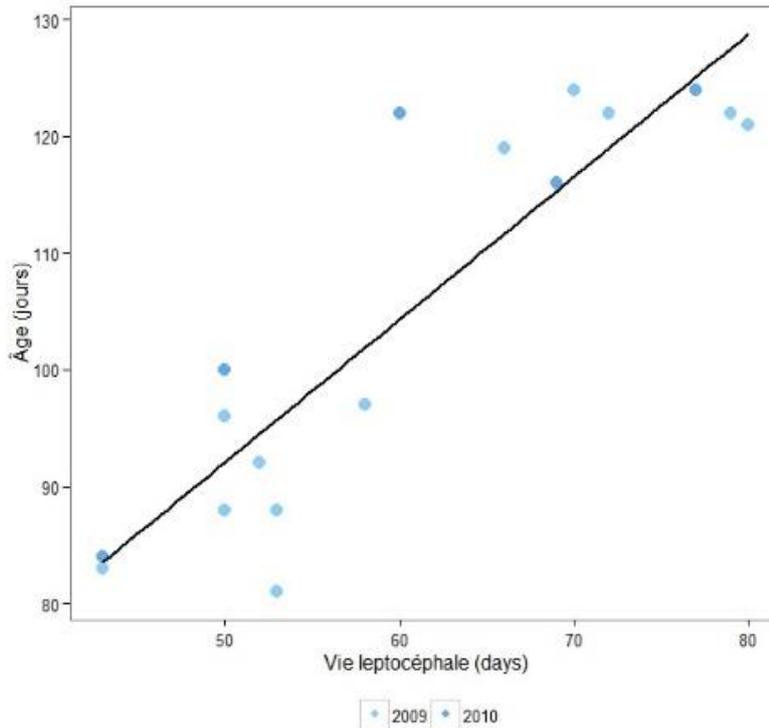


Figure 24. Relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocéphale des civelles chez l'espèce *A. obscura*.

v. Modèle multifactoriel

En utilisant la loi binomiale négative, nous avons réussi à établir un modèle multifactoriel prenant en compte les variables explicatives significatives. Le modèle de base était le suivant: Civelles ~ Température + (Précipitations + Phase lunaire + Hauteur de la houle + Vitesse du vent)².

(L'indice « ^2 » signifie ici que ce modèle prend en compte les interactions entre les variables entre parenthèse.)

En réalisant des ANOVA sur ce modèle, nous avons obtenu des résultats significatifs concernant l'influence de la phase lunaire (p-value=0.037) et de la vitesse du vent (p-value<0.001). Nous avons aussi obtenu des résultats significatifs concernant l'influence de l'interaction de ces deux variables (p-value=0.031) (Tab 2).

Les paramètres de ce modèle étaient une AIC=1177, 191 degrés de liberté, une variance nulle=232.65 et une variance résiduelle=195.96.

Variables	General
Température	0.17
Précipitations	0.055
Phase lunaire	0.037 *
Hauteur de la houle	0.52
Direction de la houle	/
Vitesse du vent	0.00011 ***
Direction du vent	/
Précipitations:Phase lunaire	0.64
Précipitations:Hauteur de la houle	0.075
Précipitations:Vitesse du vent	0.094
Phase lunaire:Hauteur de la houle	0.57
Phase lunaire:Vitesse du vent	0.031 *
Hauteur de la houle:Vitesse du vent	0.65
Hauteur de la houle:Direction de la houle	/
Vitesse du vent:Direction du vent	/
AIC	1177
Degrés de liberté	191
Variance nulle	232.65
Variance résiduelle	195.96

Codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 2. Résultats des ANOVA sur le modèle de base.

Après avoir enlevé de ce modèle les termes les moins significatifs, le modèle était celui-ci: Civelles ~ Précipitations + Phase lunaire + Hauteur de la houle + Vitesse du vent + Précipitations:Vitesse du vent + Hauteur de houle:Phase lunaire + Phase lunaire:Vitesse du vent (Le signe « : » signifie ici l'interaction entre les deux variables accolées)

Les paramètres de ce modèle étaient une AIC=1168.19, 191 degrés de liberté, une variance nulle=213.3 et une variance résiduelle=196.1.

Dans ce modèle, d'après les résultats de l'ANOVA, seulement deux variables exerçaient une influence significative : la phase lunaire (p-value=0.015) et la vitesse du vent (p-value<0.001). Il y avait de plus 2 interactions significatives : la première entre les précipitations et la vitesse du vent (p-value=0.017) et la deuxième entre la phase lunaire et la vitesse du vent (p-value=0.030) (Tab 3).

Variabes	General	<i>A. marmorata</i>	<i>A. megastoma</i>	<i>A. obscura</i>
Température	/	/	/	0.00023 ***
Précipitations	0.12	0.042 *	/	0.56
Phase lunaire	0.015 *	0.0014 **	/	0.0018 **
Hauteur de la houle	0.83	0.62	0.81	0.00042 ***
Direction de la houle	0.033 *	0.0097 **	0.069	0.00021 ***
Vitesse du vent	0.00011 ***	0.0019 **	0.017 *	0.0016 **
Direction du vent	0.38	0.55	0.89	0.084
Précipitations:Phase lunaire	/	/	/	0.0079 **
Précipitations:Hauteur de la houle	/	/	/	1.0
Précipitations:Vitesse du vent	0.017 *	0.019 *	/	/
Phase lunaire:Hauteur de la houle	0.23	/	/	/
Phase lunaire:Vitesse du vent	0.030 *	0.091	/	0.0043 **
Hauteur de la houle:Vitesse du vent	/	/	/	0.19
Hauteur de la houle:Direction de la houle	0.0019 **	0.0021 **	0.10	0.00029 ***
Vitesse du vent:Direction du vent	0.033 *	0.12	0.90	0.52
AIC	1168.19	1078.41	340.96	393.86
Degrés de liberté	191	191	191	191
Variance nulle	231.3	215.9	111.6	168.2
Température	196.1	183.3	105.9	105.6

Codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tableau 3. Résultats des ANOVA sur les modèles épurés.

De plus, nous avons établi deux autres modèles pour essayer de tester l'influence de la direction de la houle et du vent. Ces modèles étaient les suivants : Civelles ~ (Hauteur de la houle + Direction de la houle)² (AIC=1181.18, 191 degrés de liberté, variance nulle=230.8, variance résiduelle=194.6) et Civelles ~ (Vitesse du vent + Direction du vent)² (AIC=1185.51, 191 degrés de liberté, variance nulle=230.8, variance résiduelle=195).

Dans le modèle consacré à la houle, la direction de la houle s'est avérée une variable significative seule (p-value=0.033). De plus, l'interaction entre la hauteur de la houle et sa direction était aussi significative (p-value=0.002). Dans le modèle consacré au vent, la vitesse du vent s'est avérée être une variable hautement significative seule (p-value<0.001). L'interaction entre la vitesse du vent et sa direction était aussi significative (p-value=0.033) (Tab 3).

En étudiant chaque espèce séparément, les modèles épurés obtenus étaient assez différents.

Pour *A. marmorata*, le modèle était le suivant : Civelles ~ Précipitations + Phase lunaire + Hauteur de la houle + Vitesse du vent + Précipitations:Vitesse du vent + Phase lunaire:Vitesse du vent (AIC=1078.41, 191 degrés de liberté, variance nulle=215.9, variance résiduelle=183.3).

Pour *A. megastoma*, le modèle était beaucoup plus simple : Civelles ~ Vitesse du vent (AIC=340.96, 191 degrés de liberté, variance nulle=111.6, variance résiduelle=105.9).

Pour finir, pour *A. obscura*, le modèle était le suivant : Civelles ~ Température + Précipitations + Phase lunaire + Hauteur de la houle + Vitesse du vent + Précipitations:Hauteur de la houle + Précipitations:Phase lunaire + Hauteur de la houle:Vitesse du vent + Phase lunaire:Vitesse du vent (AIC=393.86, 191 degrés de liberté, variance nulle=168.2, variance résiduelle=105.6) (Tab 3)

vi. Arbres de régression

Les résultats obtenus dans l'étude de l'influence des variables environnementales nous ont permis de construire un arbre de régression en utilisant la méthode RPart (Recursive Partitioning) (Atkinson et al, 2012). Le premier arbre obtenu prenait en compte toutes les variables environnementales (Fig 25)

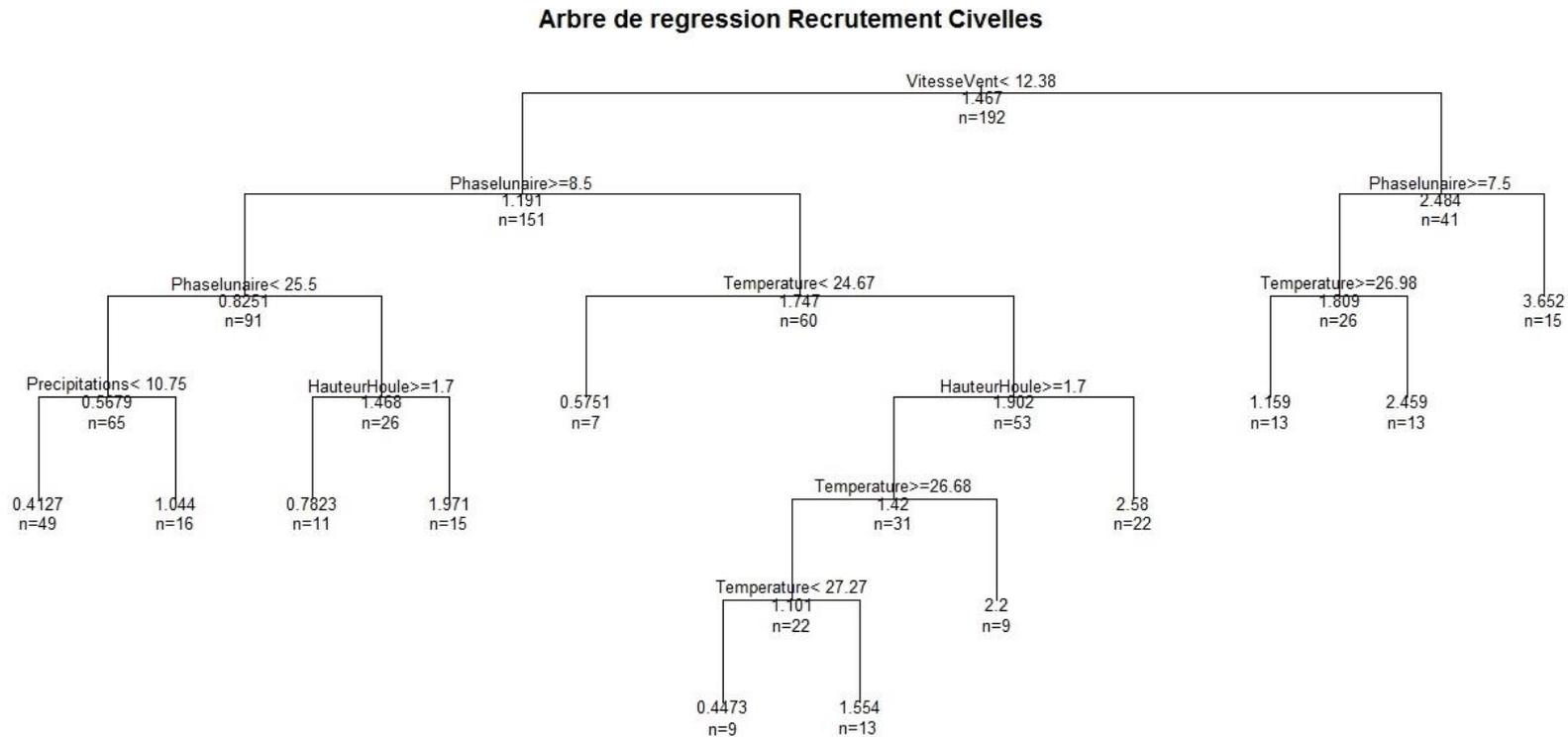


Figure 25. Arbre de régression de base relatif au recrutement des civelles.

Pour lire cet arbre, il faut procéder de la manière suivante : On part d'un effectif n=192 jours de pêche. A chaque nœud, on pose la question indiquée (exemple du sommet : la vitesse du vent est-elle inférieure à 12,38 nœuds) et on descend à gauche si la réponse est « Oui » et à droite si la réponse est « Non ». Ainsi à chaque nœud, deux groupes distincts sont définis selon la variable considérée, un vérifiant le critère (à gauche) et un autre non (à droite). Ces groupes sont caractérisés par un nouvel effectif n ainsi que par une valeur moyenne prédite de la variable d'intérêt, ici le logarithme népérien du nombre de civelles capturées.

Ce sont ces valeurs qui nous permettent de visualiser l'influence de chaque variable et d'utiliser l'arbre en tant qu'outil prédictif.

Au sommet de cet arbre, on trouve les variables les plus significatives définies précédemment comme la vitesse du vent et la phase lunaire. Ensuite viennent les variables moins significatives comme la température, les précipitations et la hauteur de la houle.

Malheureusement, parce que cet arbre s'appuyait parfaitement sur les données utilisées, il donnait lieu au phénomène de sur-apprentissage ce qui se traduisait par l'augmentation de l'erreur relative à partir du troisième embranchement depuis le sommet (Fig 26).

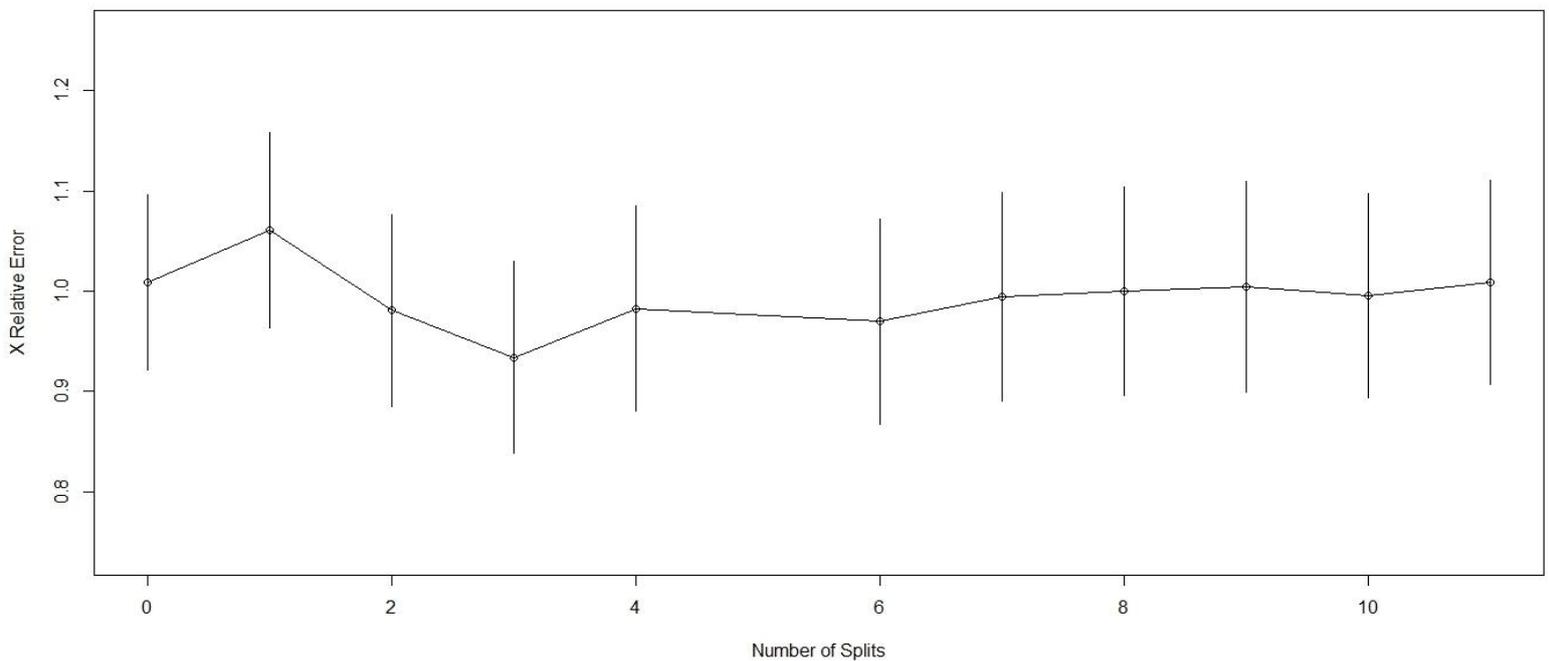


Figure 26. Nombre d'embranchements et erreur relative associée pour le premier arbre de régression.

En d'autres termes, cet arbre explique parfaitement le recrutement des civelles sur la période d'échantillonnage considérée mais ne peut en aucun cas être utilisé tel quel pour prédire le recrutement futur.

C'est pourquoi nous avons choisi de le corriger afin de minimiser le phénomène de sur-apprentissage. Sur l'arbre corrigé, on trouve uniquement les variables les plus significatives définies précédemment : vitesse du vent et phase lunaire (Fig 27).

Arbre de regression Recrutement Civelles

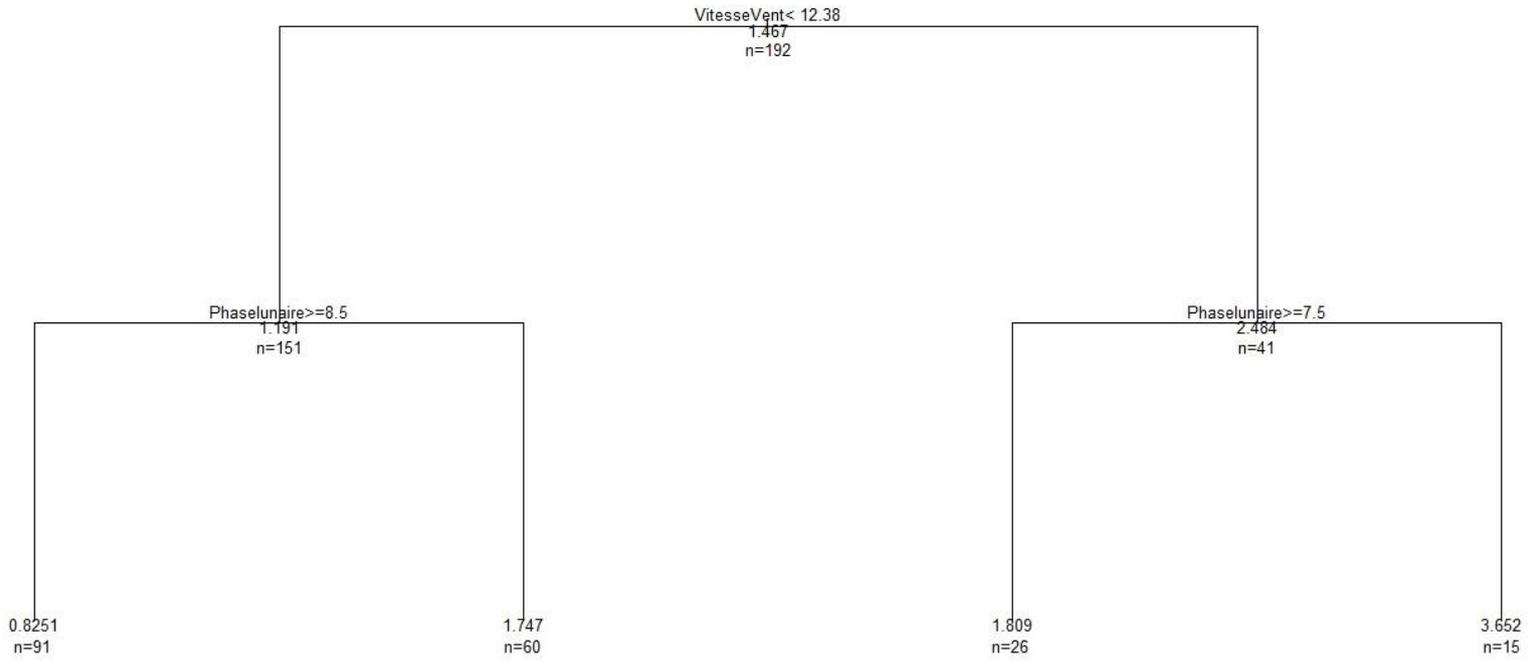


Figure 27. Arbre de régression corrigé relatif au recrutement des civelles.

Nous avons donc ensuite construit un troisième arbre qui ne prenait en compte que les variables phase lunaire et vitesse du vent (Fig 28).

Arbre de regression Recrutement Civelles

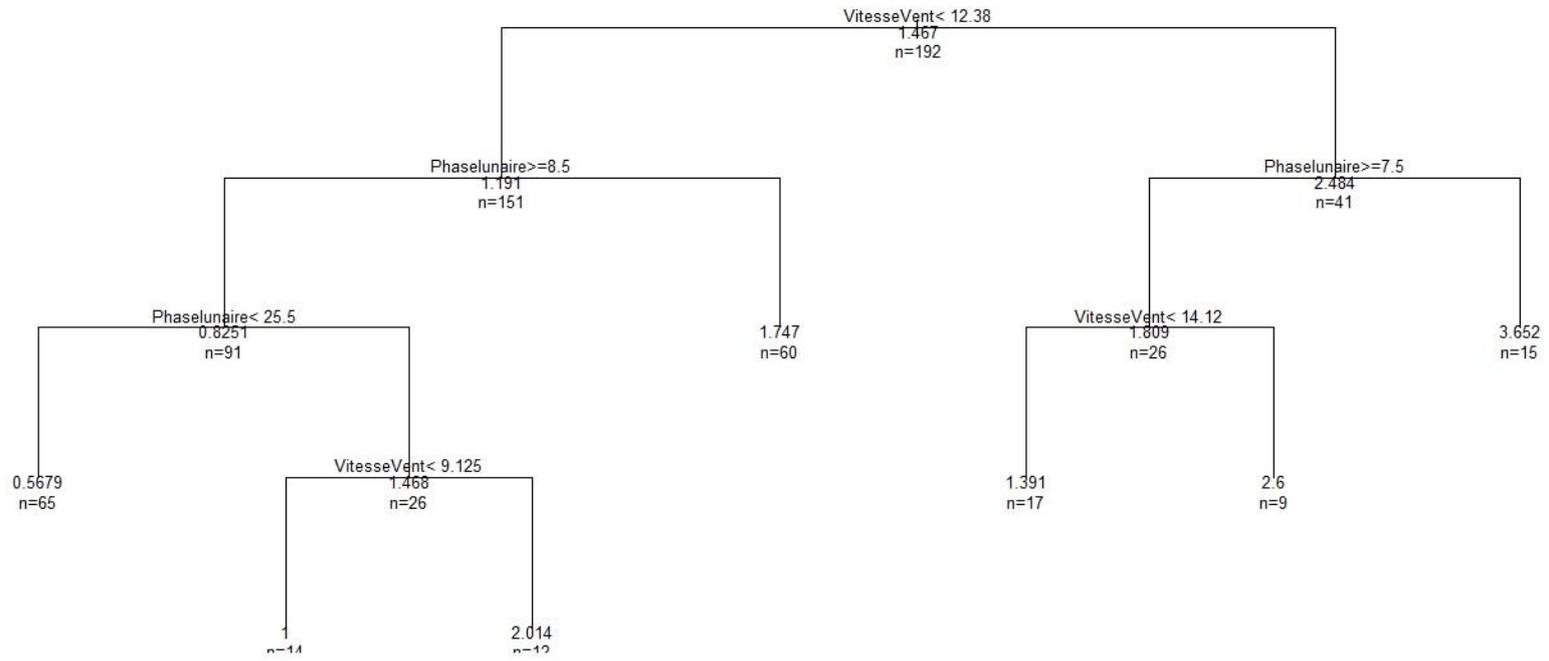


Figure 28. Deuxième arbre de régression relatif au recrutement des civelles.

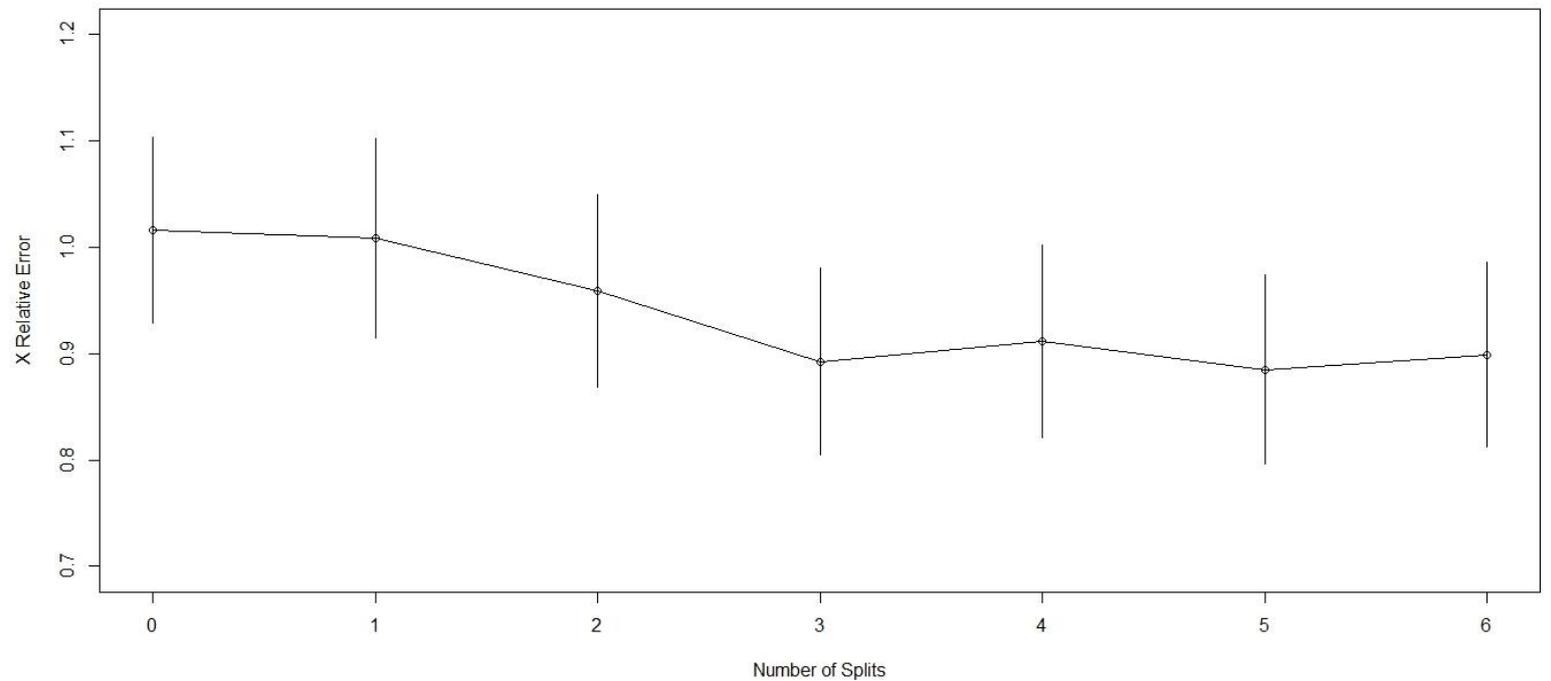


Figure 29. Nombre d’embranchements et erreur relative associée pour le deuxième arbre de régression.

Une fois corrigé, en fonction de l'erreur relative (Fig 29), l'arbre final était uniquement basé sur la phase lunaire et la vitesse du vent et était composé de seulement 5 embranchements et de 10 branches (Fig 30).

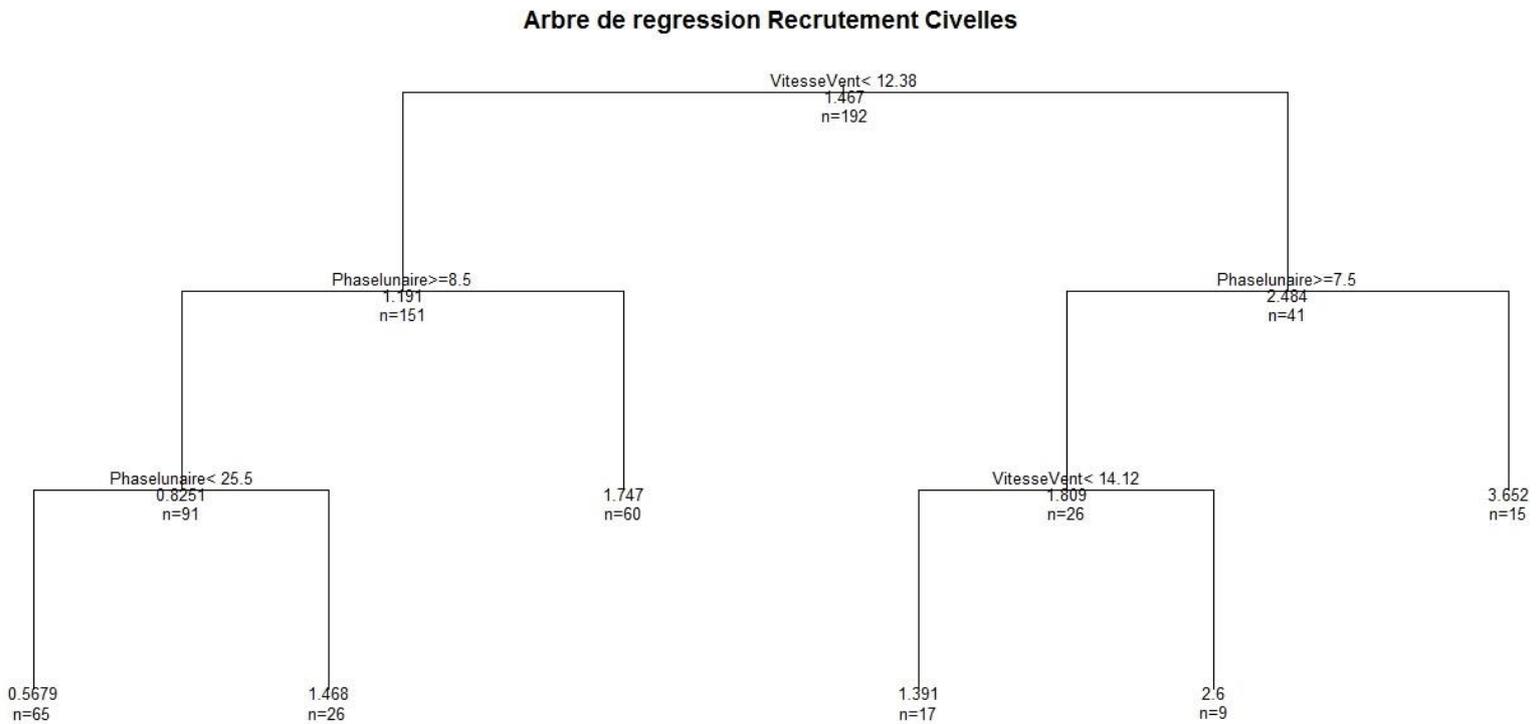


Figure 30. Arbre de régression final relatif au recrutement des civelles.

D'après cet arbre, on comprend que le recrutement des civelles est en premier lieu influencé par la vitesse du vent. On obtient la plus haute valeur moyenne prédite pour une vitesse du vent supérieure à 12.38 nœuds (1^{er} nœud à droite). Ensuite, on visualise l'influence de la phase lunaire. On obtient la plus haute valeur moyenne prédite pour une phase lunaire inférieure à 7.5 (2^e nœud à droite) ce qui correspond environ à la période comprise entre la nouvelle lune et le premier quartier. On retrouve cette influence de la phase lunaire sur la gauche de l'arbre avec des valeurs moyennes prédites maximales pour une phase lunaire inférieure 8.5 (2^e nœud à gauche) ou supérieure 25.5 (3^e nœud à gauche) ce qui correspond environ à la période comprise entre le troisième quartier et le premier quartier, en passant par la nouvelle lune.

4. Discussion

Cette étude est la première à s'intéresser au recrutement des civelles des trois espèces d'anguilles de Polynésie française, *A. marmorata*, *A. megastoma* et *A. obscura*, sur l'île de Mooera, dans l'archipel de la Société, depuis les recherches menées par Marquet en 1988.

Les trois espèces connues en Polynésie française, *A. marmorata*, *A. megastoma* et *A. obscura*, ont été échantillonnées dans la rivière Opunohu. Néanmoins, l'identification morphologique basée sur le ratio des nageoires ne nous a pas permis d'identifier tous les spécimens collectés. En effet, environ 3% des individus capturés n'ont pas été assignés à une espèce précise et l'identification moléculaire est requise pour l'identification de l'espèce dans ces cas.

Tous les spécimens capturés durant cette étude étaient au stade précoce de pigmentation, ce qui indique que les civelles recrutent dans l'estuaire de la rivière Opunohu probablement assez rapidement après leur métamorphose. En Europe, la métamorphose des larves leptocéphales de *A. anguilla* a lieu quand les larves arrivent au niveau du plateau continental (Harrison et al, 2014). A cause de la conformation des fonds marins très profonds en Polynésie française, nous pouvons penser que la métamorphose en civelles a lieu lorsque les fonds marins sont plus proches de la surface ou que l'eau douce est détectée, c'est-à-dire à proximité des côtes. Ceci expliquerait les stades précoces observés dans notre échantillon.

Nos résultats montrent que les 3 espèces recrutent à la même période et ce dans des proportions identiques en terme d'espèce à celles observées dans les populations adultes (Marquet, 1987 and unpublished data). *A. marmorata* est de loin l'espèce la plus abondante (84% des captures). Chose intéressante, malgré un nombre d'individus capturés moindre, nous avons observé un pic de recrutement pour l'espèce *A. obscura* au cours du mois de Décembre (semaine 52). Enfin, la faible proportion d'*A. megastoma* (autour des 5%) semble être stable au cours de la saison.

Malgré un effort d'échantillonnage plus faible d'Avril à Septembre, nos résultats révèlent un recrutement saisonnier pour les trois espèces d'anguilles de Polynésie française. Ce résultat est en contradiction avec la tendance détectée dans plusieurs études (Marquet and Galzin, 1991 ; Sugeha et al, 2001 ; Sugeha et al, 2010) dans lesquelles le recrutement est observé toute l'année.

De la même manière, l'anguille européenne semble entrer dans les estuaires toute l'année avec cependant des pics de recrutement marqués en fonction des régions (Harrison et al., 2014). Il est probable qu'à cause du climat tropical, caractérisé par une saison humide de Novembre à Mars et une saison sèche d'Avril à Octobre, l'aspect saisonnier du recrutement soit accentué en Polynésie française.

Après avoir exploré la variation intra-annuelle, nous nous sommes intéressés à la variation intra-mensuelle, en accordant un intérêt particulier à la phase lunaire. Nos résultats mettent en évidence une forte influence du cycle lunaire sur le recrutement, comme dans d'autres études avant celle-ci, consacrées aux anguilles tempérées comme tropicales (Sugeha et al, 2001; Adam et al, 2008 ; Harrison et al, 2014). Nos résultats montrent une augmentation du nombre de civelles capturées durant la nouvelle lune et une diminution du nombre de civelles capturées durant la pleine lune, et ce, même durant la période de recrutement. Ce résultat est indépendant du phénomène des marées mais peut en revanche être expliqué par l'effet de la phase lunaire sur la luminosité. En effet, les civelles sont connues pour être lucifuges et donc très influencées dans leur activité par l'intensité lumineuse (Fontaine, 1950). Il est donc possible qu'en l'absence d'autre condition favorable (couverture nuageuse ou turbidité de l'eau), les civelles préfèrent rester enfouies dans le substrat pendant la pleine lune plutôt que d'entamer leur migration quand la lumière est susceptible de faciliter la prédation.

Dans les régions tempérées, la température est un facteur qui affecte la migration des civelles. Plus précisément, la diminution de la température peut provoquer la diminution de l'activité des civelles et impacter leur migration (Harrison et al, 2014). Dans les régions tropicales comme la Polynésie française, les variations de température au cours de l'année sont assez faibles et les températures les plus hautes sont fréquemment associées à la saison humide. Dans notre étude, nous n'avons pas trouvé d'influence significative de la température sur le recrutement des civelles. Néanmoins, nous pouvons faire l'hypothèse que le début de la période de recrutement (Octobre/Novembre) coïncide avec l'augmentation des températures dans les rivières.

Nous n'avons montré aucun effet significatif du niveau de précipitations sur l'abondance du recrutement. Il semble donc que l'effet attractif de l'eau douce ne soit pas le principal facteur influençant le recrutement des civelles en Polynésie française. Dans des études antérieures, les précipitations, assimilées au débit des rivières, ont été identifiées comme un élément attractif pour les civelles (Crivelli et al, 2008 ; Arribas et al, 2012) et notamment en tant que preuve olfactive d'un habitat potentiel (Tesh, 2003 ; Edeline et al , 2009; Bru et al, 2009).

Au cours de la saison humide, le débit des rivières augmente et avec lui l'effet attractif de l'eau douce sur les civelles. En revanche, dans des conditions tropicales comme dans notre étude, avec l'augmentation du débit vient l'augmentation de la turbidité avec des sédiments en suspension qui peuvent venir troubler la progression des civelles (de Casamajor et al, 2006). De plus, on peut facilement imaginer qu'un débit très important peut avoir un effet négatif purement mécanique sur la progression des civelles vers l'amont.

Dans les zones tropicales comme la Polynésie française, le phénomène des marées est très limité en comparaison avec les régions tempérées. Nos résultats ont montré que la hauteur de la houle n'était pas le facteur principal influençant le recrutement des civelles. Nous pouvons faire l'hypothèse que la houle facilite la progression des civelles puisque les vagues sont censées « pousser » les civelles dans l'estuaire. Nos résultats ont montré que plutôt que la hauteur de la houle, sa direction était bien plus importante. L'embouchure de la baie d'Opunohu est dirigée vers le Nord/Nord-Ouest, ce qui signifie que la houle dirigée vers le Sud a un effet positif sur le recrutement des civelles. La comparaison de nos données avec celles obtenues sur d'autres estuaires permettrait l'acquisition d'informations complémentaires sur l'importance réelle de la houle mais aussi sur l'origine potentielle des civelles et donc des informations très intéressantes sur la zone potentielle de reproduction. Ce résultat est renforcé par la relation significative trouvée entre la vitesse du vent et sa direction sur le recrutement. Le recrutement est en effet plus important lorsque le vent souffle, et en particulier lorsqu'il souffle en direction du Sud, en aidant les civelles à entrer dans la baie puis dans l'estuaire.

Au final, notre modèle a révélé que la phase lunaire et la vitesse du vent étaient les facteurs principaux influençant le recrutement des civelles dans la rivière Opunohu. De manière plus surprenante, nous avons trouvé que la hauteur de la houle et le niveau de précipitations n'avaient pas d'effet significatif. Néanmoins, la hauteur de la houle, associée à sa direction, doit avoir un rôle dans les baies profondes comme celle d'Opunohu, sachant que les civelles ont d'abord à traverser la baie avant d'atteindre l'estuaire, plus de 2 kilomètres plus loin.

Nous avons de plus observé que *A. megastoma* était l'espèce la plus grande, devant *A. marmorata* et *A. obscura*. Nous avons aussi observé que les civelles des espèces tropicales étaient plus petites que leurs homologues tempérées : entre 10 et 20 millimètres de moins par rapport à la taille moyenne des civelles d'*A. anguilla* (de Casamajor et al, 2001). La taille est, chez les anguilles, proportionnelle à la distance entre le lieu d'éclosion et la zone de recrutement.

Donc, nous pouvons supposer, en accord avec plusieurs études, que la zone de reproduction est ici plus proche de la zone de recrutement qu'elle ne l'est pour les espèces tempérées (Aoyama et al, 2003 ; Minegishi et al, 2008).

Ce résultat a été corroboré et détaillé par les analyses otolithométriques. Nous avons observé que *A. obscura* était plus âgée au recrutement que ne l'était *A. marmorata* ce qui nous permet de supposer que la zone de reproduction d'*A. marmorata* est plus proche que celle d'*A. obscura*. De plus, en considérant la relation entre l'âge au recrutement et la durée de vie leptocéphale, il semble qu'on peut distinguer deux groupes séparés à la fois chez *A. marmorata* et *A. obscura*. On peut supposer que ces groupes proviennent en fait de deux évènements de reproduction différents, et peut être, de deux zones de reproduction différentes. Concernant l'espèce *A. marmorata*, ce résultat vient corroborer les hypothèses avancées par Minegishi proposant une structure en métapopulations au niveau du Pacifique Sud (Minegishi et al, 2008) avec une ou plusieurs zones de reproduction. Concernant *A. obscura*, son statut génétique est encore flou, de nouvelles études sont nécessaires. Ensuite, nous avons aussi observé que la période d'éclosion d'*A. obscura* était beaucoup plus courte que celle d'*A. marmorata*. Donc, la période de reproduction l'est peut être aussi. Au final, de nouvelles études sont nécessaires pour comprendre la relation qui existe entre les zones de reproduction et la structure des populations

5. Conclusion

En conclusion, les résultats de notre étude confirment qu'il ne semble y avoir que trois espèces d'anguilles tropicales qui recrutent dans la rivière Opunohu, baie d'Opunohu, île de Moorea, Polynésie française : *Anguilla marmorata*, *Anguilla megastoma* et *Anguilla obscura*. *A. marmorata* est de loin l'espèce la plus abondante.

Le recrutement des civelles dans l'estuaire de la rivière Opunohu a lieu durant la saison humide, entre les mois d'Octobre et Mars. Il est fortement influencé par le cycle lunaire ainsi que par d'autres facteurs environnementaux comme le vent, les précipitations ou la houle. L'effet de la phase lunaire est probablement à associer avec l'intensité lumineuse et le phénomène des marées. Celui des précipitations est quant à lui à associer avec l'attraction olfactive et l'augmentation de la turbidité. Enfin, l'intensité du vent et de la houle semblent faciliter la progression des civelles vers la rivière.

Des études complémentaires sont toujours nécessaires pour compléter l'effort d'échantillonnage, notamment durant la saison sèche pour confirmer l'absence totale de recrutement à cette période. Ce résultat semble néanmoins hautement probable aussi du fait du niveau très limité des cours d'eau à cette saison. Une variabilité interannuelle au sein d'une même espèce et entre les espèces est aussi attendue, du fait de la situation géographique de la Polynésie française, à l'extrême limite Est de la répartition des trois espèces, mais seules des études sur le long terme pourront apporter assez d'éléments pour mettre en évidence cette variabilité. De plus, cette étude, uniquement menée sur l'estuaire de la rivière Opunohu, doit être élargie à d'autres estuaires sur l'île de Moorea et même à d'autres îles de Polynésie française afin de généraliser au maximum les résultats obtenus. Une étude de ce type est d'ailleurs en cours sur l'estuaire de la rivière Punaruu sur l'île de Tahiti.

Le mécanisme comportemental, les variables environnementales et les facteurs hydrodynamiques qui gouvernent le recrutement des civelles sont clairement extrêmement complexes, avec de nombreuses interactions entre ces différentes variables. Appliquer le même modèle de recrutement à différents estuaires en Polynésie française est de plus problématique à cause de variations des conditions environnementales. Néanmoins, il est important de comprendre le mécanisme du recrutement dans son ensemble pour permettre d'obtenir une estimation fiable du recrutement annuel des civelles dans la population adulte. Pour répondre à cet objectif, des études de recrutement site par site sont requises dans le but d'élucider les patterns de distribution temporelle et spatiale. Si on considère à la fois le déclin des trois principales espèces d'anguilles exploitées commercialement et la régulation imposée au commerce de ces espèces par la communauté européenne et les ONG internationales (IUCN, CITES, ...), la collecte de connaissances sur le cycle biologique des espèces tropicales apparaît primordiale pour donner aux décideurs les informations nécessaires à la mise en place d'une exploitation durable des anguilles en Polynésie française.

IV. Etude des populations en place

1. Introduction

Un autre axe de cette étude a été consacré à la caractérisation des populations en place. En effet, le stade anguille jaune constitue le stade majoritaire dans le cycle de vie des anguilles, l'étude de ces populations est donc requise à la compréhension globale du cycle. De plus, ces populations constituent une partie du stock de reproducteurs potentiels, les futures anguilles argentées, et sont à ce titre d'une importance capitale. Enfin, si une exploitation commerciale de la ressource voit éventuellement le jour, le suivi sur le long terme de cette phase du cycle pourra mettre en évidence une diminution du stock. Malheureusement, si les études consacrées au recrutement des anguilles tropicales sont rares, les études consacrées aux populations en place de ces mêmes anguilles le sont encore plus. Pour toutes ces raisons, l'étude des populations en place était primordiale.

Dans cette optique, nous avons mis en place une approche capture-marquage-recapture.

Cette approche devait tout d'abord nous permettre de connaître les caractéristiques démographiques des populations étudiées et de visualiser leurs éventuelles variations spatiales et temporelles.

Deuxièmement, cette approche devait nous permettre d'appréhender les caractéristiques physiques de leur habitat ainsi que l'utilisation spatiale et temporelle que ces populations en font. Certaines études bio-téléométriques réalisées sur les anguilles de l'Atlantique, *A. anguilla* et *A. rostrata*, ont réussi à décrire leur utilisation temporelle et spatiale de leur habitat en eau douce (McGovern & McCarthy, 1992; Baras et al, 1998). Elles ont notamment mis en évidence le fait que les anguilles étaient plus actives la nuit, préférant rester cachées dans leurs refuges le jour. Elles ont aussi mis en évidence un caractère sédentaire avec des zones d'exploration assez réduites. Elles ont enfin montré que l'activité des anguilles était dépendante de la température de l'eau et du cycle lunaire. D'autres études, cette fois sur l'anguille japonaise *A. japonica* sont venues corroborer ces résultats (Aoyama et al, 2002; Aoyama et al, 2005). Enfin, toujours concernant *A. japonica*, une étude a souligné l'influence de l'habitat sur les caractéristiques démographiques et notamment sur la structure de la population et la vitesse de croissance (Yokouchi et al, 2008).

Ensuite, les recaptures successives devaient nous permettre de suivre la croissance individuelle des individus marqués et d'en visualiser les éventuelles variations.

Enfin, cette approche devait nous permettre de caractériser une autre phase majeure du cycle de vie des anguilles, la période de dévalaison. En effet, lors de captures mensuelles successives nous devons capturer les anguilles argentées lors de leur descente vers l'océan, et pouvoir ainsi identifier la période de dévalaison, les caractéristiques physiques des individus ainsi que les facteurs environnementaux associés, comme cela a déjà été réalisé dans d'autres études (Miyai et al, 2004).

2. Matériels et Méthodes

i. Caractérisation des stations

Au total, nous avons défini 5 stations de prélèvement (Fig 31 et 32). Ces stations, toutes situées dans la vallée d'Opunohu, étaient réparties le long d'un gradient altitudinal afin d'appréhender l'ensemble des habitats disponibles, du torrent d'altitude en fond de vallée à la rivière large proche de l'estuaire. De l'amont vers l'aval, ces stations ont respectivement été nommées Mara'e, RDA2, RDA1, Pont2 et Pont1.



Figure 31. Image satellite de l'île de Moorea avec détail des cours d'eau.

Source : www.tefenua.gov.pf



Figure 32. Image satellite de la vallée d'Opunohu avec détail des cours d'eau. Indiquées en orange, les différentes stations de prélèvement. Source : www.tefenua.gov.pf

Ces stations ont ensuite été cartographiées et les habitats caractérisés. Nous en avons d'abord mesuré la longueur totale (en m). Ensuite, tous les dix mètres, nous avons mesuré la largeur du cours d'eau (en m) ainsi que sa profondeur (en m) de façon à obtenir une largeur et une profondeur moyenne pour la station. Ces données nous ont permis de calculer des valeurs de surface (en m²) et de volume (en m³).

Nous nous sommes ensuite attachés à décrire la composition du substrat, là aussi tous les dix mètres. Tout d'abord, nous avons observé le type de substrat présent dans la zone. Le substrat minéral était divisé en cinq types : rochers (plus de 100 cm), blocs (entre 20 cm et 100 cm), pierres (entre 4 cm et 20 cm), gravier (entre 2 mm et 4 cm) et sable (entre 0,2 mm et 2 mm) (Malavoi & Souchon, 2002). Le substrat végétal était quand à lui divisé en trois types : feuilles, branches et racines. Nous avons ensuite estimé le pourcentage de recouvrement moyen de chaque type de substrat, minéral et végétal, pour la station.

Nous avons ensuite caractérisé la force du courant à chaque point de mesure. L'échelle utilisée était purement visuelle et comptait quatre niveaux : faible, moyen, fort, cascade. Ces mesures nous ont permis d'estimer une force moyenne du courant pour chaque station. Malheureusement cette technique d'estimation visuelle moyenne ne nous a pas permis de discriminer efficacement les stations puisque pour toutes les stations la vitesse du courant se situait entre moyenne et moyenne/rapide.

Enfin, nous avons caractérisé le niveau d'ombre présent à chaque point de mesure. L'échelle utilisée était là aussi purement visuelle, allant de 0% pour un ensoleillement complet à 100% pour une couverture ombrageuse complète par pas de 25%. Ces mesures nous ont permis d'estimer une couverture ombrageuse moyenne pour chaque station.

ii. Echantillonnage et Manipulation

Les anguilles ont été collectées par pêche électrique (appareil Martin Pêcheur). La pêche s'effectuait par équipe de deux ou trois personnes, évoluant de l'aval vers l'amont, en remontant le courant afin de ne pas nuire à la visibilité en troublant le moins possible l'eau.

Les stations ont été prospectées à raison d'une fois par mois. Dans la mesure du possible, la pêche s'effectuait le matin à raison d'une station par matinée, soit 5 jours de pêche pour l'ensemble des stations. Dans la mesure du possible là encore, les 5 stations étaient prospectées consécutivement pour minimiser la variabilité.

Une fois capturées, les anguilles étaient anesthésiées à l'aide d'eugénol. Une fois anesthésiés, les individus collectés étaient pesés à l'aide d'une balance électronique précise au gramme près ou à l'aide d'un peson précis à la dizaine de gramme près pour les plus gros individus. Puis, une série de mesures morphométriques étaient réalisées afin de déterminer l'espèce et le stade de développement (Watanabe et al, 2004b). Longueur totale, longueur de l'insertion de la tête à la nageoire dorsale et longueur de la tête à la nageoire caudale étaient mesurées à l'aide d'un ichtyomètre précis au millimètre près. La longueur des nageoires pectorales et le diamètre de l'œil étaient mesurés à l'aide d'un pied à coulisse électronique précis au dixième de millimètre près, uniquement chez les plus gros individus. Ces deux dernières mesures permettent d'évaluer l'état d'avancement de l'argenture chez les individus en cours de dévalaison.

Enfin, les individus dont le poids était égal ou supérieur à 25 grammes étaient individuellement identifiés à l'aide d'un émetteur PIT Tag (Passive Integrated Transpondeur) (Gibbons and Andrews, 2004). Ces émetteurs étaient implantés dans la cavité abdominale à l'aide d'une seringue de gros calibre selon la technique décrite par Cook et collaborateurs (Cook et al, 2014) en accord avec les considérations éthiques requises. Un suivi de la cicatrisation et de la survie a été réalisé en aquarium au préalable sur quelques individus. Le succès de l'implantation était contrôlé par lecture de l'émetteur et le numéro de l'émetteur était soigneusement enregistré. A noter qu'après la première campagne de marquage, tous les individus candidats au marquage étaient préalablement scannés à la recherche d'un émetteur posé antérieurement afin de ne pas poser deux émetteurs sur le même animal.

Une fois toutes ces manipulations effectuées, les anguilles étaient ensuite placées dans un bac de réveil afin de s'assurer de leur bonne récupération puis relâchées une fois parfaitement réveillées.

La même opération était ensuite renouvelée tous les mois afin de marquer le plus possible d'individus et de re-capturer les individus déjà marqués pour permettre un suivi de croissance et un suivi des processus d'argenture et de dévalaison.

3. Résultats

i. Résultats généraux

Nous avons effectué 3 campagnes de pêche sur chacune des 5 stations, du mois de Février au mois d'Avril 2015. A noter qu'une quatrième campagne de pêche a été réalisée au niveau de la station Pont2 au mois de Janvier 2015 car du fait de ses caractéristiques, cette station avait été choisie comme lieu d'entraînement à la maîtrise de la technique de pêche électrique.

Au total, nous avons effectué 291 captures (Annexe 2), soit un CPUE (Catch Per Unit Effort) de 18.2 anguilles capturées par jour de pêche.

De plus, comme présenté sur la figure 33, on peut voir que les valeurs de CPUE global n'ont cessé d'augmenter au cours des campagnes de pêche successives.

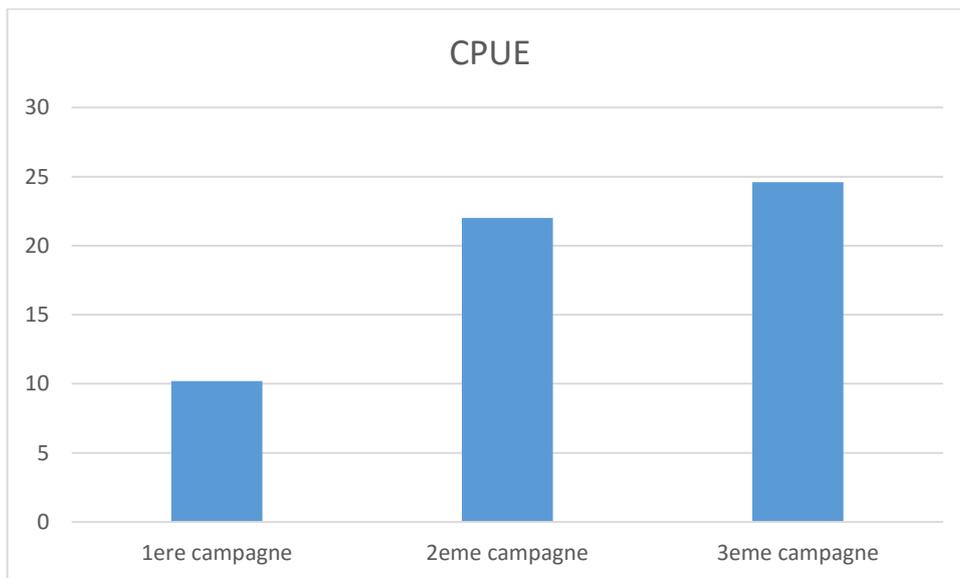


Figure 33. Evolution du CPUE au cours des campagnes de pêche

La taille moyenne des individus capturés était de 353 ± 237 mm avec un maximum atteint de 1580 mm et un minimum atteint de 102 mm. Le poids moyen des individus capturés était de 330 ± 973 g avec un maximum atteint de 10325 g et un minimum atteint de 2 g.

Parmi ces 291 captures, 24 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 8.2%.

Pour finir, parmi les 267 anguilles capturées, nous en avons équipé 159 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 59.6%.

ii. Résultats par stations

Si on considère maintenant chaque station indépendamment, les résultats sont assez variables.

Sur la station Mara'e, nous avons effectué 29 captures soit un CPUE de 9.7 anguilles capturées par jour de pêche. La taille moyenne des individus capturés était de 383 ± 217 mm avec un maximum atteint de 1050 mm et un minimum atteint de 183 mm. Le poids moyen des individus capturés était de 253 ± 531 g avec un maximum atteint de 2270 g et un minimum atteint de 10 g. Parmi ces 29 captures, 3 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 10.3%. Pour finir, parmi les 26 anguilles capturées, nous en avons équipé 22 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 84.6%.

Sur la station RDA2, nous avons effectué 35 captures soit un CPUE de 11.6 anguilles capturées par jour de pêche. La taille moyenne des individus capturés était de 384 ± 208 mm avec un maximum atteint de 1090 mm et un minimum atteint de 190 mm. Le poids moyen des individus capturés était de 174 ± 382 g avec un maximum atteint de 1685 g et un minimum atteint de 15 g. Parmi ces 35 captures, 2 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 5.7%. Pour finir, parmi les 33 anguilles capturées, nous en avons équipé 27 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 81.8%.

Sur la station RDA1, nous avons effectué 57 captures soit un CPUE de 19 anguilles capturées par jour de pêche. La taille moyenne des individus capturés était de 408 ± 320 mm avec un maximum atteint de 1580 mm et un minimum atteint de 102 mm. Le poids moyen des individus capturés était de 567 ± 1518 g avec un maximum atteint de 10325 g et un minimum atteint de 2 g. Parmi ces 57 captures, 6 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 10.5%. Pour finir, parmi les 51 anguilles capturées, nous en avons équipé 40 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 78.4%.

Sur la station Pont2, nous avons effectué 47 captures soit un CPUE de 11.8 anguilles capturées par jour de pêche. La taille moyenne des individus capturés était de 386 ± 242 mm avec un maximum atteint de 1100 mm et un minimum atteint de 138 mm. Le poids moyen des

individus capturés était de 416 ± 892 g avec un maximum atteint de 4585 g et un minimum atteint de 5 g. Parmi ces 47 captures, 7 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 14.9%. Pour finir, parmi les 40 anguilles capturées, nous en avons équipé 24 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 60%.

Enfin, sur la station Pont1, nous avons effectué 120 captures soit un CPUE de 40 anguilles capturées par jour de pêche. La taille moyenne des individus capturés était de 284 ± 180 mm avec un maximum atteint de 1150 mm et un minimum atteint de 105 mm. Le poids moyen des individus capturés était de 206 ± 864 g avec un maximum atteint de 6960 g et un minimum atteint de 2 g. Parmi ces 120 captures, 6 d'entre elles étaient des recaptures, soit un taux de recapture de 5%. Pour finir, parmi les 114 anguilles capturées, nous en avons équipé 54 d'émetteurs, soit un taux de marquage de 47.4%.

iii. Espèces

Du fait des caractéristiques des zones de pêches choisies, l'immense majorité des individus collectés appartenaient à l'espèce *A. marmorata*. Seuls 2 individus, pêchés respectivement le 13/04/2015 sur la station Mara'e (longueur totale 42 cm, poids 105 g) et le 17/04/2015 sur la station Pont1 (longueur totale 38 cm, poids 69 g) n'appartenaient pas à cette espèce mais à l'espèce *A. megastoma*. A noter que ces 2 individus présentaient tous les signes de l'argenture : nageoires caudale et pectorales développées, yeux développés, couleur argentée.

iv. Caractéristiques des stations

Les résultats généraux sont présentés dans l'annexe 1.

Concernant le substrat minéral, on s'aperçoit sur la figure 34 que le taux de recouvrement des différents types de substrat varie en fonction des stations.

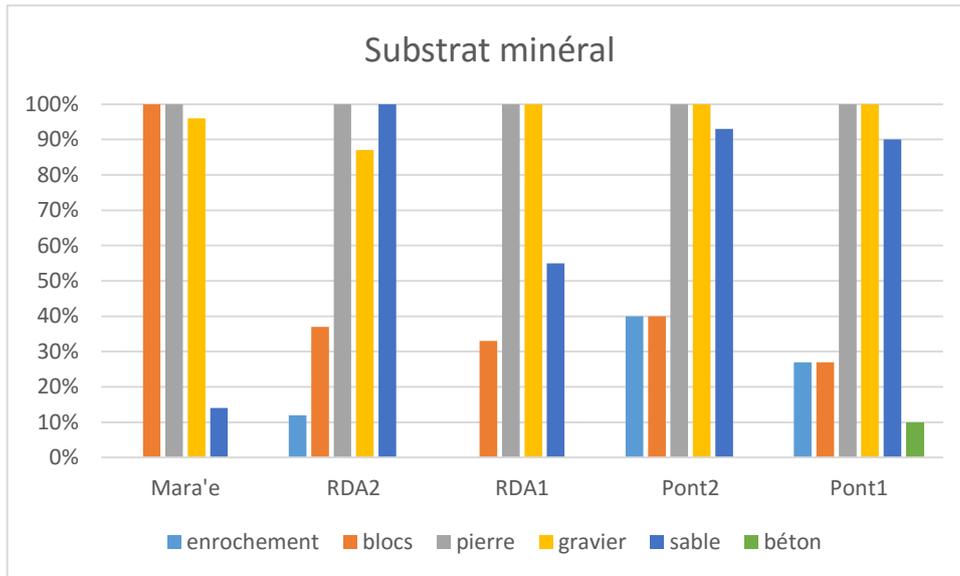


Figure 34. Taux de recouvrement des différents substrats minéraux sur les différentes stations de prélèvement

La station située la plus en amont, la station Mara'e, est celle pour laquelle les éléments grossiers sont majoritaires (100% de blocs et pierres). Au contraire, les stations situées le plus en aval, les stations Pont2 et Pont1, semblent être celles pour lesquelles les éléments fins sont majoritaires (100% de gravier et environ 90% de sable). Les stations situées entre ces deux extrêmes, RDA2 et RDA1, présentent une composition en substrat intermédiaire.

Concernant le substrat végétal, là aussi des différences concernant les taux de recouvrement des différents types de substrat sont observables (Fig 35).

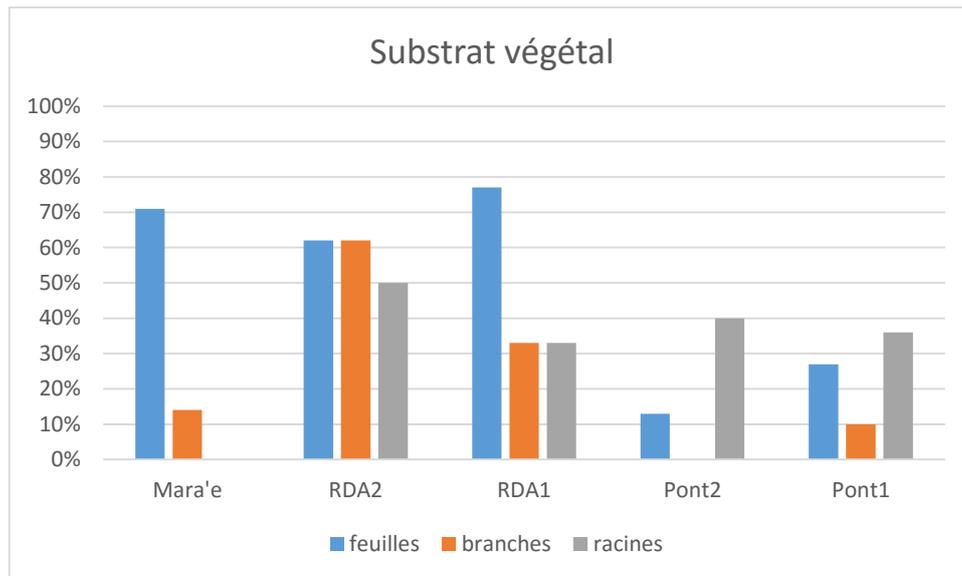


Figure 35. Taux de recouvrement des différents substrats végétaux sur les différentes stations de prélèvement

On observe que les stations situées à une altitude intermédiaire, les stations RDA2 et RDA1, sont celles pour lesquelles on observe la plus grande diversité concernant le type de substrat végétal.

De plus, comme le montre la figure 36, ces stations sont aussi celles pour lesquelles on observe le plus fort taux de recouvrement en substrat végétal, tous types de substrat confondus. A noter que les stations aval, Pont2 et Pont1, présentent des valeurs nettement inférieures à celles des stations situées plus en amont.

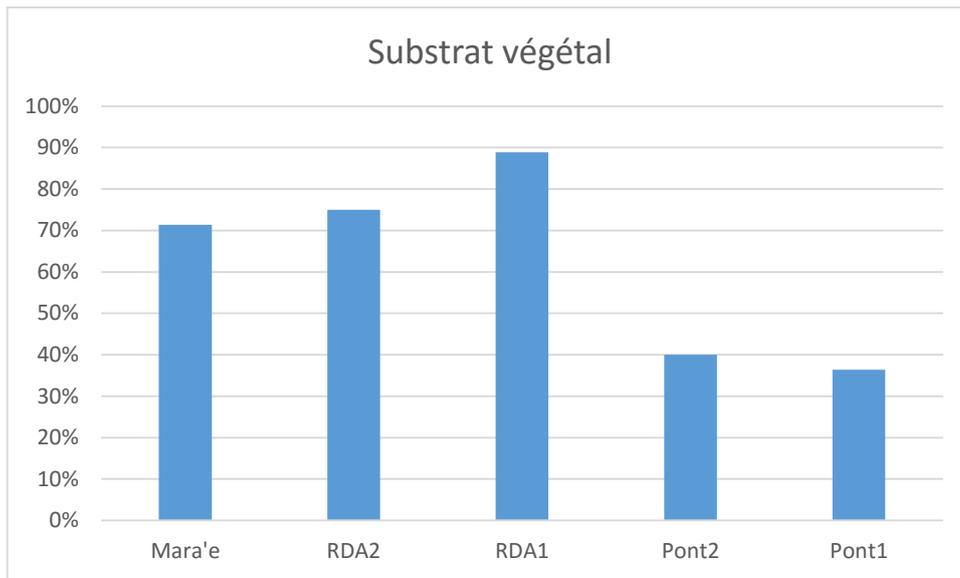


Figure 36. Taux de recouvrement en substrat végétal, tous types de substrat confondus, sur les différentes stations de prélèvement

Pour finir, concernant la couverture ombrageuse, les résultats sont présentés sur la figure 37.

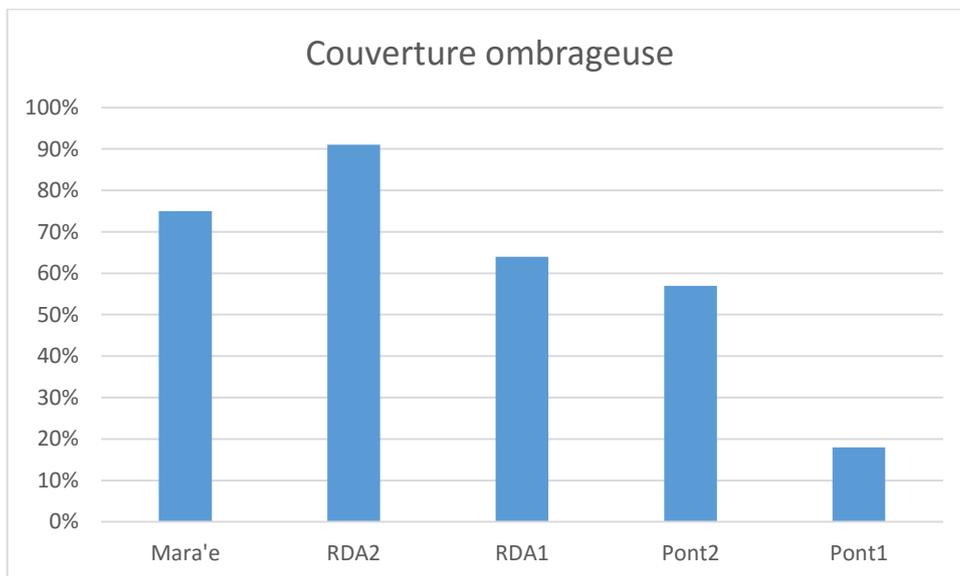


Figure 37. Taux de couverture ombrageuse sur les différentes stations de prélèvement

On observe une diminution générale de la couverture ombrageuse de l'amont vers l'aval avec néanmoins un maximum atteint sur la station RDA2.

v. Biomasse et Densité

Les valeurs de biomasse sont calculées en faisant la somme des poids des individus capturés sur une station donnée et en divisant cette somme par la surface de cette station. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 4.

Stations	Biomasse globale (kg/hectare)	Biomasse 1ere campagne	Biomasse 2eme campagne	Biomasse 3eme campagne
Mara'e	279.1 ± 20.2	191.4 ± 27.9	75.8 ± 15.8	12.0 ± 1.1
RDA2	516.0 ± 21.5	110.4 ± 14.5	225.6 ± 28.6	180.0 ± 16.6
RDA1	1682.9 ± 79.1	729.7 ± 167.2	441.7 ± 39.5	511.6 ± 42.3
Pont2	223.2 ± 11.3	69.7 ± 20.9	43.4 ± 4.9	110.1 ± 11.6
Pont1	507.3 ± 17.7	208.7 ± 34.6	177.0 ± 17.9	121.6 ± 6.6

Tableau 4. Résultats des calculs de biomasse en fonction des stations et des campagnes de pêche

Si on s'intéresse à la biomasse globale, on s'aperçoit que les stations présentent des différences (Fig 38).

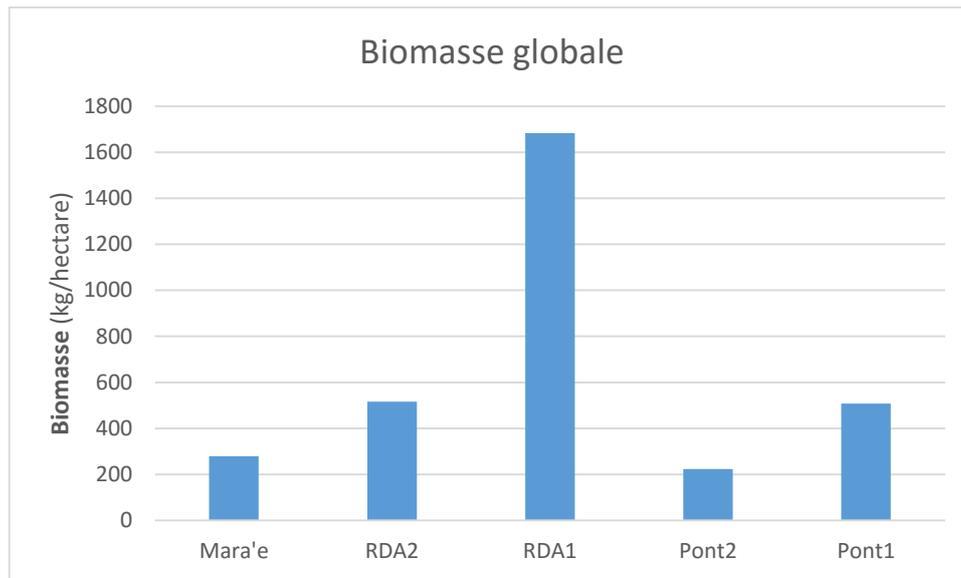


Figure 38. Biomasse globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement

Les stations situées aux deux extrêmes, Mara'e en amont et Pont2 et Pont1 en aval, semblent présenter des valeurs de biomasse inférieures aux stations situées entre ces deux extrêmes, RDA2 et RDA1. La valeur maximale de biomasse est atteinte sur la station RDA1, la valeur minimale sur la station Pont2.

Ces différences ont été testées avec le test de Kruskal-Wallis, elles sont fortement significatives ($\chi^2=68.32$, $ddl=4$, $p\text{-value}=5.133e-14$). Pour finir, nous avons testé ces différences deux à deux avec le test de Mann-Whitney-Wilcoxon en appliquant la correction de Bonferroni. Les valeurs de p-value obtenues sont présentées dans le tableau 5.

	RDA2	RDA1	Pont2	Pont1
Mara'e	0.0504	0.8838	0.003497 .	2.815e-07 ***
RDA2	/	0.08812	1.537e-05 ***	1.792e-12 ***
RDA1	/	/	0.002091 **	6.383e-07 ***
Pont2	/	/	/	0.4536

Codes: 0 '***' 0.0001 '**' 0.001 '*' 0.0033 '.' 0.05

Tableau 5. Résultats du test de Mann-Whitney-Wilcoxon sur les valeurs de biomasse par station. Ici, à cause de la correction de Bonferroni, le risque seuil est fixé à 0.0033.

Si on s'intéresse maintenant aux variations de la biomasse au cours des campagnes de pêche successives, on obtient les résultats suivants (Fig 39).

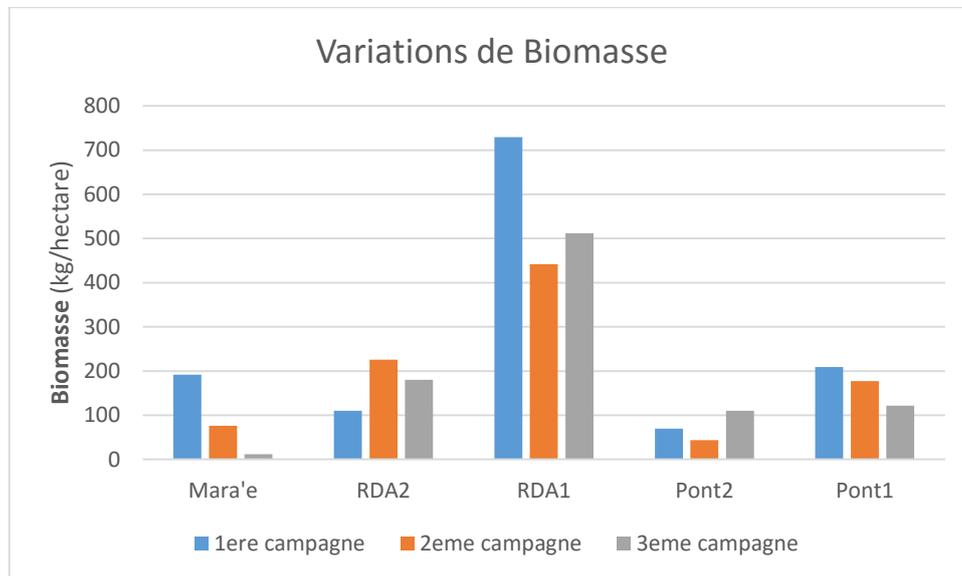


Figure 39. Variations de la biomasse obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives

Sur la station Mara'e, la tendance semble être une diminution de la biomasse. La même tendance semble être observée sur la station Pont1.

En revanche, sur les autres stations, aucune tendance n'a pu être mise en évidence.

Les différences entre campagnes de pêche successives ont été testées séparément pour chaque station. Elles sont significatives pour les stations Mara'e ($\chi^2=6.46$, ddl=2, p-value=0.040) et Pont2 ($\chi^2=7.30$, ddl=2, p-value=0.026). En revanche, elles ne sont pas significatives pour les stations RDA1, RDA2 et Pont1.

Les différences entre campagnes de pêche successives toutes stations confondues sont, elles, hautement significatives ($\chi^2=14.36$, ddl=2, p-value<0.001).

Les valeurs de densité sont calculées en faisant la somme du nombre d'individus capturés sur une station donnée et en divisant cette somme par la surface de cette station. Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 6.

Stations	Densité globale (ind/hectare)	Densité 1ere campagne	Densité 2eme campagne	Densité 3eme campagne
Mara'e	1104	419	419	267
RDA2	1709	244	635	830
RDA1	2969	521	1198	1250
Pont2	473	71	225	177
Pont1	2459	369	861	1230

Tableau 6. Résultats des calculs de biomasse en fonction des stations et des campagnes de pêche

En ce qui concerne la densité globale, là aussi les stations présentent des différences (Fig 40).

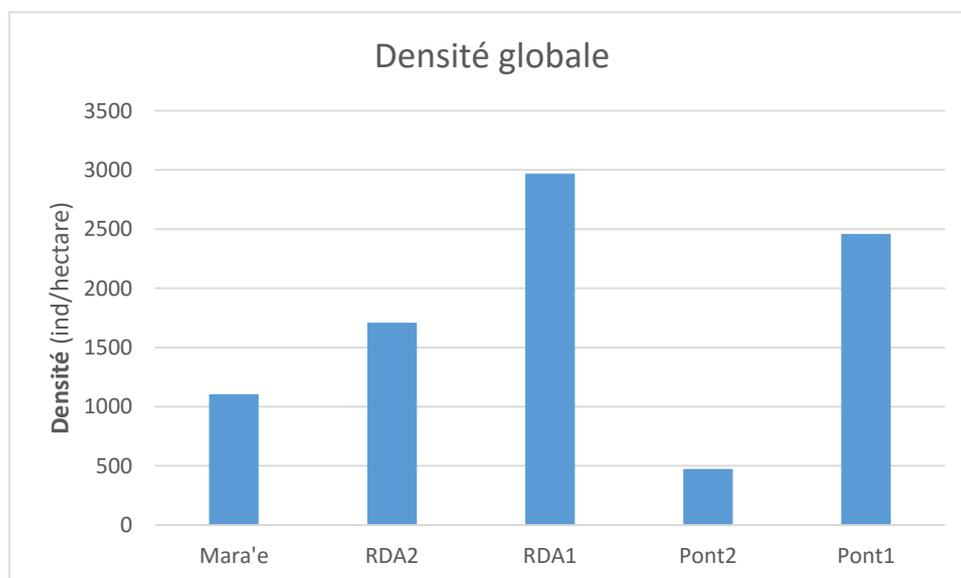


Figure 40. Densité globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement

Là encore, les stations situées aux deux extrêmes, Mara'e en amont et Pont2 et Pont1 en aval, semblent présenter des valeurs de densité inférieures aux stations situées entre ces deux extrêmes, RDA2 et RDA1. La valeur maximale de densité est atteinte sur la station RDA1, la valeur minimale sur la station Pont2.

Si on s'intéresse maintenant aux variations de la densité au cours des campagnes de pêche successives, on obtient les résultats suivants (Fig 41).

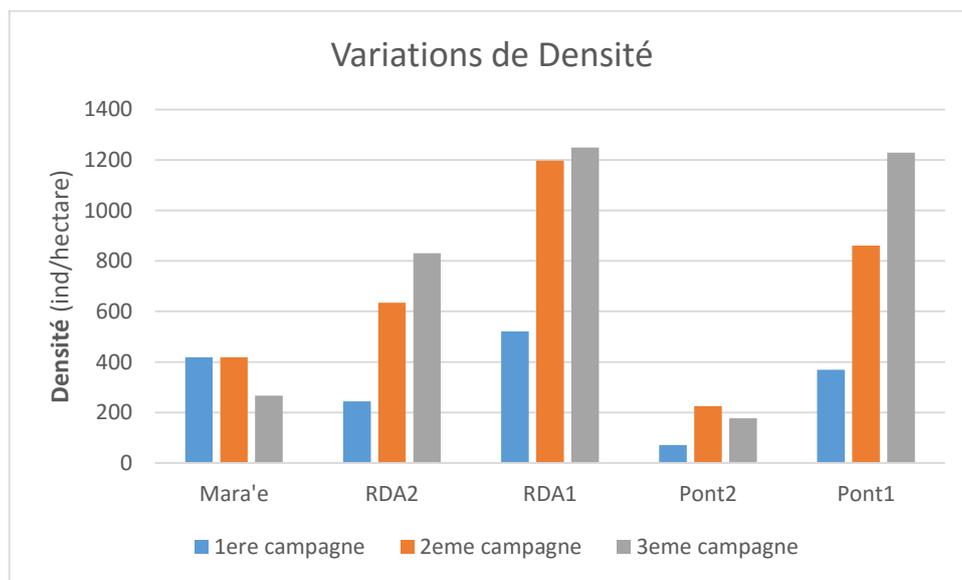


Figure 41. Variations de la densité obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives

Sur la station Mara'e, la tendance semble être une diminution de la densité.

Au contraire, sur les stations RDA2, RDA1 et Pont1, la tendance semble être une augmentation de la densité.

Sur la station Pont2, aucune tendance n'a pu être mise en évidence.

Si on croise maintenant les résultats de biomasse et de densité, on obtient les résultats suivants (Fig 42).

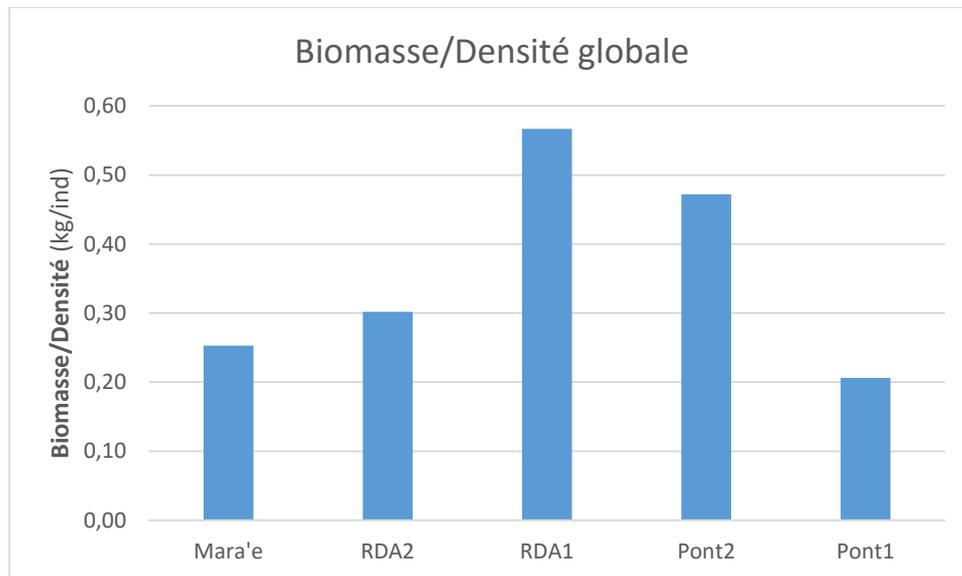


Figure 42. Relation entre biomasse globale et densité globale obtenue sur les différentes stations de prélèvement

De nouveau, les stations situées aux deux extrêmes, Mara'e en amont et Pont1 en aval, présentent des valeurs inférieures aux stations situées entre ces deux extrêmes. La valeur maximale de densité est atteinte sur la station RDA1, la valeur minimale sur la station Pont1

Enfin, si on s'intéresse maintenant aux variations au cours des campagnes de pêche successives, on obtient les résultats suivants (Fig 43).

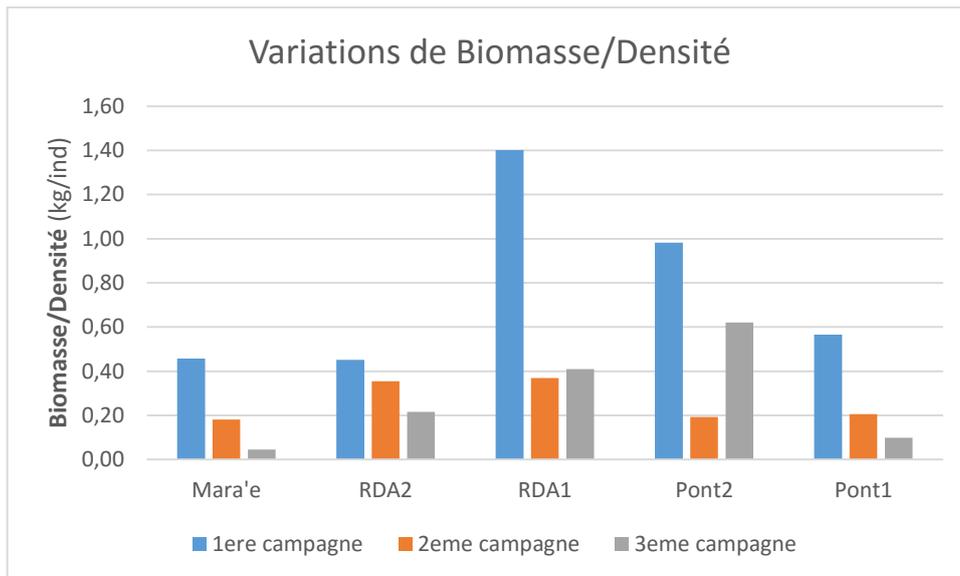


Figure 43. Variations de la relation entre biomasse et densité obtenue sur les différentes stations de prélèvement au cours des campagnes de pêche successives

Sur 3 des 5 stations, Mara'e, RDA2 et Pont1, la tendance semble être à la diminution.

Sur les stations RDA1 et Pont2, aucune tendance n'a pu être mise en évidence.

vi. Croissance

Concernant la partie « suivi de croissance », aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur notre jeu de données (Annexe 3)

4. Discussion

Cette étude est la première à s'intéresser aux caractéristiques démographiques des populations adultes d'*A. marmorata* et à leurs éventuelles variations spatiales et temporelles sur l'île de Mooera, dans l'archipel de la Société. De plus cette étude est aussi la première consacrée aux caractéristiques physiques de l'habitat de ces populations ainsi qu'à l'utilisation spatiale et temporelle qu'elles en font.

Pour commencer, la valeur de CPUE global obtenue est encourageante. De plus, l'augmentation de cette valeur au fur et à mesure des campagnes de pêche successives tend à prouver que nous avons amélioré notre maîtrise de la technique de pêche électrique durant cette étude ainsi que notre connaissance des stations et des refuges potentiels qu'elles offrent aux anguilles.

Par ailleurs, la valeur obtenue de 8.2% pour le taux de recapture est correcte, bien qu'assez basse, si l'on se réfère aux valeurs fournies par d'autres études de type capture-recapture menées sur les anguilles, comprises entre 9 et 46% (Laffaille et al, 2005 ; Chadwick et al, 2007 ; Imbert et al, 2010). Ceci peut s'expliquer d'une façon très encourageante concernant l'état de santé des populations en place. En effet, cela peut être dû au fait que la taille de la population totale dans ce bassin versant est important, voire très importante. Cela voudrait donc dire qu'en poursuivant l'effort de pêche, nous pouvons espérer atteindre une proportion conséquente d'individus marqués et donc faire augmenter notre taux de recapture de façon substantielle. Ce qui permettra à long terme d'optimiser le suivi de croissance. En revanche, cela peut aussi s'expliquer par une utilisation de l'espace supérieure à la taille des stations, ce qui rendrait la taille fixée de nos stations insuffisante pour recapturer efficacement les individus marqués.

Concernant le suivi de croissance, le manque de résultat est imputable à la très faible échelle temporelle de notre étude associée au faible taux de recapture. Cet aspect de l'étude reste néanmoins largement envisageable, sur une plus longue période de temps et avec une population marquée plus conséquente. Nos résultats, bien que préliminaires, ont néanmoins corroboré le caractère sédentaire des anguilles, puisque l'immense majorité des individus recapturés l'ont été sur la station sur laquelle ils avaient été capturé la première fois, ce qui est en accord avec les résultats obtenus dans les autres études de ce type (Laffaille et al, 2005 ; Chadwick et al, 2007 ; Imbert et al, 2010).

De telles études sont à mener sur le long terme afin d'établir une taille relative de la population en place mais aussi afin d'avoir des pas de temps suffisants pour établir des taux de croissance.

En ce qui concerne la sur-représentativité de l'espèce *A. marmorata* dans l'échantillonnage total, ceci s'explique de deux façons. Tout d'abord, de par les valeurs de recrutement obtenues dans l'estuaire : *A. marmorata* est largement majoritaire, loin devant *A. obscura* et *A. megastoma*. Ensuite et assez aisément, par les préférences écologiques de chacune des trois espèces de Polynésie française. En effet, si *A. marmorata* est inféodée aux eaux vives des cours d'eau de moyenne altitude, *A. megastoma* préfère quant à elle les cours d'eau et les lacs de haute altitude et *A. obscura* est inféodée à un tout autre type d'écosystème, les eaux saumâtres et stagnantes, plutôt en basse vallée. Faute de moyens logistiques et de temps, nous n'avons pas pu réaliser le même type d'étude dans des sites propres à héberger *A. megastoma* et *A. obscura*, ceci constitue donc une perspective de recherche intéressante dans un futur proche.

Les deux individus appartenant à l'espèce *A. megastoma*, capturés courant Avril, présentaient les signes caractéristiques de l'argenteur : nageoires caudale et pectorales développées, yeux développés, couleur argentée. De plus, la dissection d'un des deux individus a montré des organes sexuels développés. D'autres individus de ce type n'ayant jamais été rencontrés plus tôt dans la saison, nous pensons que le début de la dévalaison pourrait avoir lieu pour cette espèce courant Avril-Mai, ce qui vient corroborer des résultats obtenus précédemment sur l'âge des civelles (Sasal, unpublished data).

Ensuite, concernant les deux paramètres de biomasse et de densité, l'étude de leurs variations spatiales et temporelles apporte des éléments nouveaux dans la connaissance du cycle de vie de ces espèces en Polynésie française.

Tout d'abord, l'étude conjointe de la composition du substrat minéral et de la variation spatiale de la biomasse montre que les gros individus préfèrent un substrat plus grossier, de type enrochement, blocs et pierres pouvant leur servir de refuge, alors que les petits individus préfèrent un substrat plus fin, de type gravier et sable. De plus, le même type de résultat est observé avec l'étude conjointe du substrat végétal et de la variation spatiale de la biomasse avec des gros individus semblant préférer les sites avec un taux de recouvrement en substrat végétal important.

Ensuite, l'étude de la variation temporelle de la biomasse semble montrer, du moins pour les stations où une tendance est visualisable, une diminution au fur et à mesure des campagnes de pêche. On peut tenter d'expliquer ce résultat de deux façons. Tout d'abord, d'un point de vue biologique : les connaissances sur le cycle biologique de ces espèces sont encore parcellaires, néanmoins, si l'on émet l'hypothèse que les adultes matures débutent leur migration retour vers l'océan à cette période (d'après les données otolithométriques du recrutement), il y aurait dévalaison des individus participant à la reproduction, c'est-à-dire des individus de plus grande taille. Ensuite, d'un point de vue purement physique : avec l'arrivée de la saison sèche, les individus les plus imposants ne trouvent plus des niveaux d'eau suffisants dans les stations les plus en amont et vont donc se réfugier dans des zones plus profondes dans lesquelles l'eau demeure toute la saison sèche. Cette modification d'habitat pendant la saison sèche entraînerait une diminution des biomasses et densités dans les stations échantillonnées.

Si on s'intéresse maintenant à l'étude de la variation spatiale de la densité, on observe une augmentation des valeurs de densité de l'amont vers l'aval. C'est-à-dire que plus on s'éloigne de l'estuaire, moins on trouve d'individus. Ce résultat peut s'expliquer assez aisément par la biologie des anguilles : les anguillettes, il y a peu civelles recrutantes, choisissent de s'installer dès qu'elles trouvent un habitat favorable. Ce qui, pour la majorité d'entre elles, ne nécessite pas de remonter les cours d'eau jusqu'au fond de la vallée (Ibbotson et al, 2002).

Enfin, concernant l'étude de la variation temporelle de la densité, on observe une diminution de la densité au cours du temps sur la station la plus en amont, Mara'e, alors que l'on observe l'exact contraire sur les stations situées plus en aval, RDA2, RDA1 et Pont1 avec une tendance nette à l'augmentation sur la station Pont1. Le résultat obtenu sur la station Mara'e s'explique par la fuite des individus provoquée par la diminution du niveau de l'eau. Ce même phénomène explique les résultats obtenus sur les stations RDA2 et RDA1, avec l'arrivée de nouveaux individus descendant de l'amont. Enfin, pour expliquer le résultat obtenu sur la station Pont1, il convient cette fois-ci de faire appel au cycle biologique des anguilles : l'augmentation de densité observée peut en effet cette fois s'expliquer assez logiquement par l'arrivée et l'installation des anguillettes plutôt que par la migration saisonnière d'individus adultes.

Ces résultats et les explications associées sont corroborés par les résultats obtenus avec le couplage des données de biomasse et de densité. La migration retour vers l'océan et la migration saisonnière due à la baisse du niveau de l'eau d'une part (flux descendant) et l'installation des anguillettes d'autre part (flux montant) expliquent parfaitement les résultats obtenus : une diminution nette sur les stations situées aux deux extrêmes, soumises à un seul des deux flux et

des patterns plus compliqués pour les stations situées entre les deux, résultant du croisement des flux montant et descendant.

5. Conclusion

Grace à cette étude, nous avons pu identifier certaines caractéristiques démographiques de la population adulte de l'espèce *A. marmorata* installée dans le bassin versant Opunohu. Ainsi, des premières valeurs de densité et de biomasse ont été collectées. De plus, des variations spatiales et temporelles ont été observées, liées principalement à des phénomènes climatiques saisonniers comme la baisse du niveau de l'eau induite par la saison sèche ou à des phénomènes biologiques inhérents au cycle biologique des anguilles comme la dévalaison des adultes matures ou l'installation des anguillettes.

Ensuite, nous avons pu identifier certaines caractéristiques physiques de l'habitat de ces mêmes anguilles et déceler certaines particularités dans l'utilisation de l'habitat en lien avec les différences morphologiques des individus. Ainsi, les gros individus semblent affectionner les substrats grossiers, avec un taux de recouvrement en substrat végétal important, alors que les petits individus semblent préférer les substrats fins.

Enfin, nous avons pu collecter des données préliminaires relatives à la migration retour vers l'océan des individus de l'espèce *A. megastoma*.

En revanche, en raison de la très faible échelle temporelle dont nous disposons et du faible taux de recapture initial, nous n'avons pas pu obtenir de résultats concernant la croissance des populations. Cet aspect de l'étude est donc à poursuivre sur le plus long terme.

Pour finir, cette étude, essentiellement menée sur *A. marmorata*, doit être élargie aux deux autres espèces de Polynésie française, *A. megastoma* et *A. obscura* en mettant en place les moyens logistiques requis. De la même façon, cette étude, uniquement menée sur le bassin versant de la rivière Opunohu, doit être élargie à d'autres bassins versants sur l'île de Moorea et même à d'autres îles de Polynésie française afin de généraliser au maximum les résultats obtenus. Une étude de ce type est d'ailleurs en cours sur le bassin versant de la Punaruu sur l'île de Tahiti.

Enfin, il serait intéressant d'inclure à cette étude une dimension génétique des populations afin d'affirmer ou d'infirmier, le caractère panmictique des populations d'anguilles de Polynésie française.

V. Etude des infestations parasitaires

1. Introduction

Le dernier axe de cette étude a été consacré à la faune parasite des populations adultes. Comme nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, les anguilles européennes, américaines et japonaises sont, du fait de leur importance économique, les espèces les plus étudiées. Il en va de même pour leurs parasites. Concernant les trois espèces *A. marmorata*, *A. megastoma* et *A. obscura*, les données étaient tout simplement inexistantes en Polynésie française. Compte tenu de l'importance actuelle de l'impact de certains parasites sur les stocks d'anguilles, cet axe se devait de figurer dans notre étude.

En effet, au cours des 25 dernières années, plusieurs parasites d'origine japonaise ont suscité un grand intérêt après leur introduction en Europe, en Afrique du Nord et enfin en Amérique du Nord suite à l'importation d'individus de l'espèce *A. japonica*, leur hôte originel. Les nouveaux hôtes *A. anguilla* et *A. rostrata* se sont avérés particulièrement sensibles et vulnérables, notamment aux infections par le nématode *Anguillicola crassus*, parasite de la vessie natatoire (Kirk, 2003 ; Knopf, 2006 ; Taraschewski, 2006 ; Moravec, 2006 ; Pastra et al, 2007) et le monogène *Pseudodactylogyrus spp.*, parasite des branchies (Fang et al, 2008 ; Gérard et al, 2013). Cette introduction de parasites est un des nombreux facteurs impliqués dans le déclin drastique des stocks d'anguilles des régions tempérées.

Nous ne savons que peu de choses sur les anguilles tropicales et encore moins sur leurs parasites. Néanmoins, des études antérieures, menées dans l'océan Indien et dans l'océan Pacifique Sud, plus particulièrement sur l'île de Futuna, les îles Fiji et l'île de la Réunion, ont mis en évidence certains parasites ayant pour hôte *A. marmorata*. Entre autres, *Pseudodactylogyrus spp.* (*P. anguillae* [Yin and Sproston, 1948] et *P. bini* [Kikuchi, 1929]) est un parasite des branchies. D'autres parasites, plus diversifiés, ont été identifiés dans le tractus digestif : *Paraquimperia africana* (Moravec et al, 2000), *Cucullanus oceaniensis* (Moravec et al, 2005), *Procallamanus pacificus* (Moravec et al, 2006) and *Bothriocephalus claviceps* (Goetze, 1782). Plus curieusement, l'examen des vessies natatoires a montré la présence d'*Anguillicola crassus* (Kuwahara et al, 1974).

Ce parasite, natif du Japon et maintenant présent abondamment en Europe, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord, n'avait jamais été décrit sous de telles latitudes (Kirk, 2003).

De plus, d'autres études ont mis en évidence des parasites ayant pour hôte *A. obscura* tel que *Stegodexamene anguillae*, parasite intestinal décrit en Nouvelle Zélande (Moravec & Justine, 2007).

Le but de notre étude était donc d'explorer pour la première fois la communauté macroparasitaire de deux des trois espèces d'anguilles de Polynésie française, *A. marmorata* et *A. obscura*, dans le but d'établir un « point zéro » pour prévenir les éventuelles introductions d'espèces non natives.

2. Matériel et Méthodes

i. Stations

Pour ne pas interférer avec l'étude consacrée aux populations en place en prélevant des individus potentiellement marqués, nous avons choisi de prélever notre échantillon sur des stations situées loin de la rivière Opunohu. De plus, en raison de leur spécificité d'habitat, nous avons dû multiplier le nombre de sites afin de collecter un nombre suffisant d'individus pour les deux espèces *A. marmorata* et *A. obscura*. Pour les raisons logistiques évoquées précédemment, il ne nous a pas été possible d'échantillonner l'espèce *A. megastoma*.

Les individus de l'espèce *A. marmorata* ont été collectés dans la rivière Paopao située dans la baie de Cook (17°51'158"S, 149°82'136"W). Les individus de l'espèce *A. obscura* ont été collectés dans les fossés du golf de Moorea (17°47'871"S, 149°77'633"W), les fossés du village de Paopao (17°47'871"S, 149°77'633"W) et les fossés aux alentours du CRIOBE (17°51'879"S, 149°85'022"W) (Fig 44).



Figure 44. Sites d'échantillonnage. Source : www.tefenua.gov.pf.

ii. Echantillonnage

Les anguilles ont été collectées par pêche électrique (appareil Martin Pêcheur). La pêche s'effectuait par équipe de deux ou trois personnes, évoluant de l'aval vers l'amont, en remontant le courant afin de ne pas nuire à la visibilité en troublant le moins possible l'eau.

Les poissons capturés étaient ensuite transportés vivants au laboratoire et stockés dans des bacs oxygénés. Ils étaient ensuite euthanasiés par surdosage d'eugénol afin de procéder aux dissections et aux examens parasitologiques. Les dissections étaient réalisées immédiatement après euthanasie afin de minimiser la dégradation des tissus et la perte des éventuels parasites.

Les individus ont d'abord été mesurés au millimètre près (longueur totale, longueur pré-dorsale, longueur pré-annale, diamètre moyen de l'œil, longueur moyenne de la nageoire pectorale, en millimètre) et pesés aux 5 grammes près (poids, en gramme). L'identification de l'espèce a été faite selon Ege, 1939, en considérant le ratio entre l'extrémité antérieure de la nageoire anale et de la nageoire dorsale et la longueur totale comme expliqué précédemment.

Ensuite, nous avons procédé aux dissections. Les branchies ont été enlevées par une incision continue de l'avant des nageoires pectorales à l'extrémité de la bouche. Puis, la cavité abdominale a été ouverte par une incision continue le long du ventre.

Le tractus digestif a été sectionné à ses deux extrémités et retiré. La vessie natatoire, accolée au tractus digestif, a été enlevée avec lui. Les branchies ont été examinées sous la loupe binoculaire. La vessie natatoire et le tractus digestif ont d'abord été ouverts avant d'être examinés sous la loupe binoculaire.

Les parasites collectés ont été fixés dans de l'éthanol à 70% avant d'être identifiés sous la loupe binoculaire en accord avec la littérature.

Pour chaque parasite rencontré, nous avons ensuite réalisé une série de mesures morphométriques et évalué la prévalence (Nombre d'individus parasités/Nombre total d'individus *100), l'abondance (Nombre total de parasites/Nombre total d'individus *100) et l'intensité (Nombre maximum de parasites chez un même individu).

3. Résultats

Au total, nous avons échantillonné 75 anguilles, 46 *A. marmorata* et 29 *A. obscura*.

Concernant *A. marmorata*, la taille et le poids moyen étaient respectivement de 436.5 ±168.58 millimètres et 298.04 ±420.28 grammes. Les valeurs maximales étaient respectivement de 890 millimètres et de 1875 grammes. Les valeurs minimales étaient respectivement de 255 millimètres et de 35 grammes. Concernant *A. obscura*, la taille et le poids moyen étaient respectivement de 328.81 ±121.33 millimètres et 157.65 ±192.07 grammes. Les valeurs maximales étaient respectivement 717 millimètres et 842 grammes. Les valeurs minimales étaient respectivement 250 millimètres et 20 grammes. Tous les individus semblaient en bonne santé avant leur euthanasie (Annexe 4).

Au total, une espèce de nématode, une espèce de trématode, une espèce de cestode au stade larvaire et une espèce de copépode ont été collectées dans les anguilles échantillonnées.

Nous avons identifié un nématode parasite de la vessie natatoire chez un des 46 individus de l'espèce *A. marmorata* collectés. La prévalence était de 2.17%, l'abondance de 2.17% et l'intensité n'excédait pas un individu.

Le parasite a été identifié sous la loupe binoculaire selon Moravec & Taraschewski, 1988. Il était de relativement petite taille (longueur totale 5.970mm, largeur maximale 0.294mm), avec un corps filiforme/fusifforme de couleur marron. L'épicuticule était entièrement lisse, sans aucune spinose ni excrescence (reliefs caractéristiques sur l'épicuticule de ce genre de parasite). La queue était relativement longue (longueur 0.085mm) et effilée. L'extrémité antérieure était enflée en une sorte de bulbe sphérique (longueur 0.089mm, largeur 0.095mm) avec une constriction marquée au niveau du cou (largeur 0.043mm). La partie postérieure de l'œsophage n'était pas étendue. La papille était absente (Fig 45).



Figure 45. Photographie du parasite *Anguillicola spp* au microscope optique.

Toutes ces observations nous ont permis de supposer, en accord avec Moravec & Taraschewski, 1988, que ce parasite était un individu de l'espèce *Anguillicola australiensis* (Spirurida).

Nous n'avons trouvé ni œufs ni larves dans la lumière des vessies natatoires.

Enfin, nous n'avons pas retrouvé ce parasite chez les individus de l'espèce *A. obscura* échantillonnés.

Nous avons aussi identifié un copépode parasite chez 6 des 46 individus de l'espèce *A. marmorata* collectés. Ces copépodes étaient présents sur les branchies et dans la cavité buccale des anguilles parasitées. La prévalence était de 13.04%, l'abondance de 117.39% et l'intensité a atteint 25 individus.

Le parasite a été identifié sous la loupe binoculaire. Il était de petite taille (longueur totale 6.381mm, largeur maximale 0.329mm), avec un corps tubulaire translucide. La tête était enfoncée dans les tissus branchiaux alors que l'extrémité postérieure, portant une paire de sacs ovigères, était libre. Le cou était fin et cylindrique (longueur 3.363mm, largeur 0.125mm). L'abdomen était court et arrondi aux extrémités (longueur 1.238mm, largeur 0.329mm). Les sacs ovigères étaient longs et minces (longueur 1.162mm, largeur 0.138mm). La tête (longueur 0.323mm, largeur 0.303mm), de forme triangulaire, portait 2 paires de crochets (figure 46a et 46b).

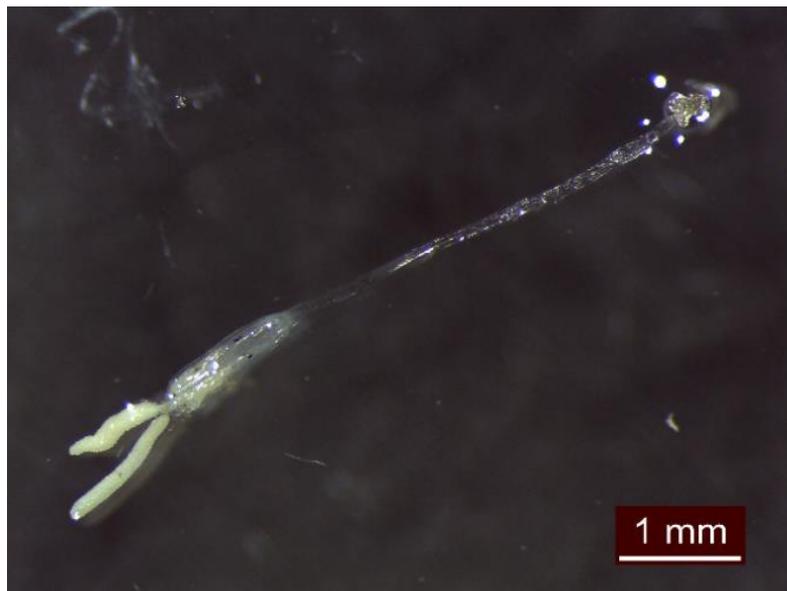


Figure 46a. Photographie du parasite *Lernaea* spp au microscope optique, vue d'ensemble.

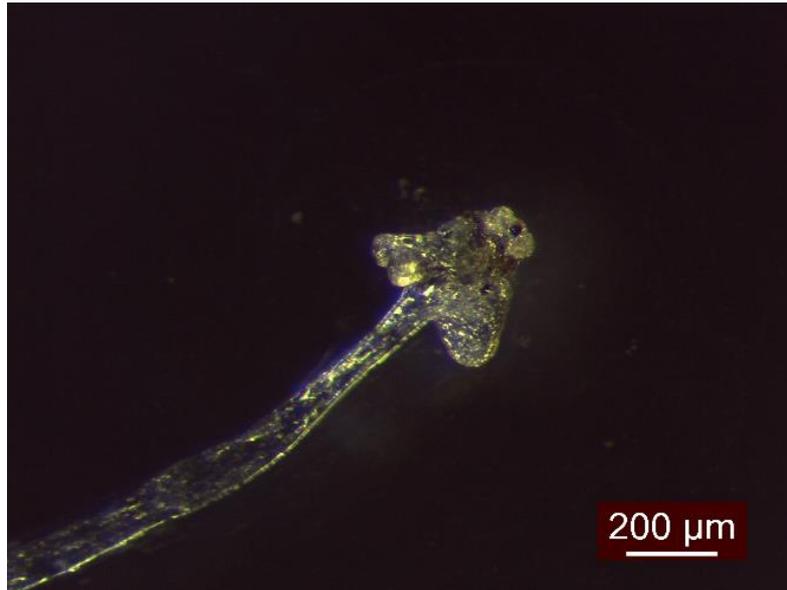


Figure 46b. Photographie du parasite *Lernaea spp* au microscope optique, détail de la tête

Toutes ces observations nous ont permis de supposer, en accord avec Kabata, 1983, que ce parasite appartenait au genre *Lernaea* (Copepoda). Nous n'avons pas été capables de déterminer avec plus de précision l'espèce.

Nous n'avons trouvé aucun stade immature sur les hôtes.

Enfin, nous n'avons pas retrouvé ce parasite chez les individus de l'espèce *A. obscura* échantillonnés.

Ensuite, nous avons identifié deux parasites présents dans le tractus digestif de deux anguilles, un individu de l'espèce *A. marmorata* et un individu de l'espèce *A. obscura*.

Le premier parasite a été identifié dans l'estomac d'un des 29 individus de l'espèce *A. obscura* collectés. La prévalence était de 3.45%, l'abondance de 3.45% et l'intensité n'excédait pas un individu.

Le parasite a été observé sous la loupe binoculaire. Il était de petite taille (longueur totale 1.933mm, largeur maximale 0.497mm), avec un corps ovoïde translucide et rougeâtre, effilé à l'extrémité antérieure. Il possédait deux ventouses, une en position orale et une en position ventrale. La ventouse orale était circulaire, sub-terminale, longue de 133µm et large de 145µm.

La ventouse ventrale était légèrement ovale, située approximativement au tiers antérieur du corps, longue de 267 μ m et large de 282 μ m (Fig 47).



Figure 47. Photographie du parasite Trématode au microscope optique.

Toutes ces observations nous ont permis de supposer que ce parasite appartenait à la classe des Trématodes. Nous n'avons pas été capables de déterminer avec plus de précision ni le genre ni l'espèce.

Enfin, nous n'avons pas retrouvé ce parasite chez les individus de l'espèce *A. marmorata* échantillonnés.

Le second parasite a été identifié dans les intestins du même individu de l'espèce *A. obscura* et d'un individu de l'espèce *A. marmorata*. La prévalence était de 3.45% chez *A. obscura* et de 2.17% chez *A. marmorata* et l'abondance de 3.45% chez *A. obscura* et de 2.17% chez *A. marmorata*. L'intensité a atteint 8 individus.

Le parasite a été observé sous la loupe binoculaire. Il était de petite taille (longueur totale 1.668mm, largeur maximale 0.217mm), avec un corps ovoïde, effilé à son extrémité postérieure. La tête était développée (longueur 0.307mm, largeur 0.380mm) et portait quatre appendices. À l'extrémité postérieure, on discernait un début de segmentation externe (figure 48a et 48b).



Figure 48a. Photographie du parasite Tetrphyllidea au microscope optique, plusieurs individus.



Figure 48b. Photographie du parasite Tetrphyllidea au microscope optique, vue d'ensemble.

Toutes ces observations nous ont permis de supposer que ce parasite était un stade larvaire d'une espèce appartenant à l'ordre des Tetrphyllidea (Cestodes). Nous n'avons pas été capables de déterminer avec plus de précision ni le genre ni l'espèce.

Pour tous ces parasites, nous n'avons pas été en mesure de réaliser l'identification moléculaire directement au laboratoire pour confirmer notre identification visuelle mais l'extraction et le séquençage de l'ADN de ces échantillons sont prévus à court terme

4. Discussion

Cette étude parasitologique est la première du genre concernant les anguilles de Polynésie française.

Les communautés parasitaires d'*A. marmorata* et d'*A. obscura* ont révélé une richesse spécifique assez faible puisque seulement 4 espèces ont été identifiées : *Anguillicola sp*, *Lernaea sp*, un représentant de la classe des Trématodes et un stade larvaire d'un représentant de l'ordre de Tétraphyllidea. La prévalence était faible pour toutes ces espèces avec un maximum de 13.04% pour l'espèce *Lernaea*. De plus, l'intensité était aussi assez faible pour toutes les espèces avec un maximum de 25 individus pour l'espèce *Lernaea*.

Les parasites du genre *Anguillicola* sont des nématodes parasites de la vessie natatoire des anguilles. Leur cycle biologique commence quand la femelle adulte relâche des milliers d'œufs dans la vessie natatoire. Ces œufs passent ensuite dans le tractus digestif de l'anguille avant d'être expulsés dans le milieu extérieur. Les larves émergent ensuite dans l'eau et se posent sur le substrat. Elles sont ensuite ingérées par leur hôte intermédiaire, qui est souvent un copépode ou un autre type de crustacé mais parfois aussi un poisson. La larve atteint le stade infectant au sein de l'hôte intermédiaire. Cet hôte est ensuite ingéré par une anguille. Le nématode migre du tractus digestif de l'anguille à la vessie natatoire où il s'installe (Fig 49).

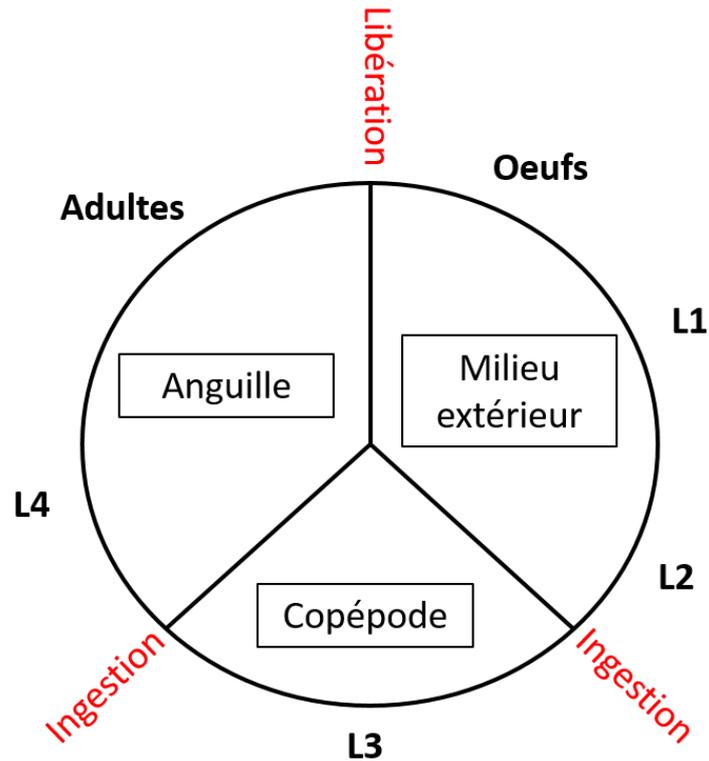


Figure 49. Schéma du cycle biologique des parasites du genre *Anguillicola*.

Une anguille avec une charge parasitaire élevée présente des lésions sévères au niveau de la vessie natatoire ce qui conduit à une dégradation de sa fonction. La vessie natatoire étant l'organe permettant aux poissons de s'équilibrer pour nager, une infestation sévère peut donc impacter sa capacité à rejoindre sa zone de reproduction (Pastra et al, 2007). De plus, l'anguille devient plus sensible aux infections opportunistes, sa croissance est ralentie et, si l'infection est suffisamment sévère, peut en mourir.

L'identification d'une espèce d'*Anguillicola* chez *A. marmorata* en Polynésie française constitue une donnée nouvelle en termes d'hôte et de répartition géographique.

Les parasites du genre *Lernaea* sont des copépodes parasites, communément appelés « vers ancre », qui vivent sur la peau, les nageoires et les branchies des poissons d'eau douce et des amphibiens. Les espèces du genre ont neuf stades dans leur cycle biologique, incluant trois stades libres appelés nauplius, cinq stades libres appelés copepodidés et un stade adulte. Après s'être accouplé sur l'hôte, les mâles meurent et les femelles se métamorphosent. Le corps typique des copépodes devient non-segmenté et prend la forme d'un ver. Sur la tête apparaissent des « cornes », responsables du qualificatif de « ver ancre », qui permettent à la femelle de rester accrochée aux tissus de l'hôte. Deux sacs ovigères se développent à l'extrémité postérieure. De ce fait, tous les individus observés sur nos échantillons étaient des femelles matures (Fig 50).

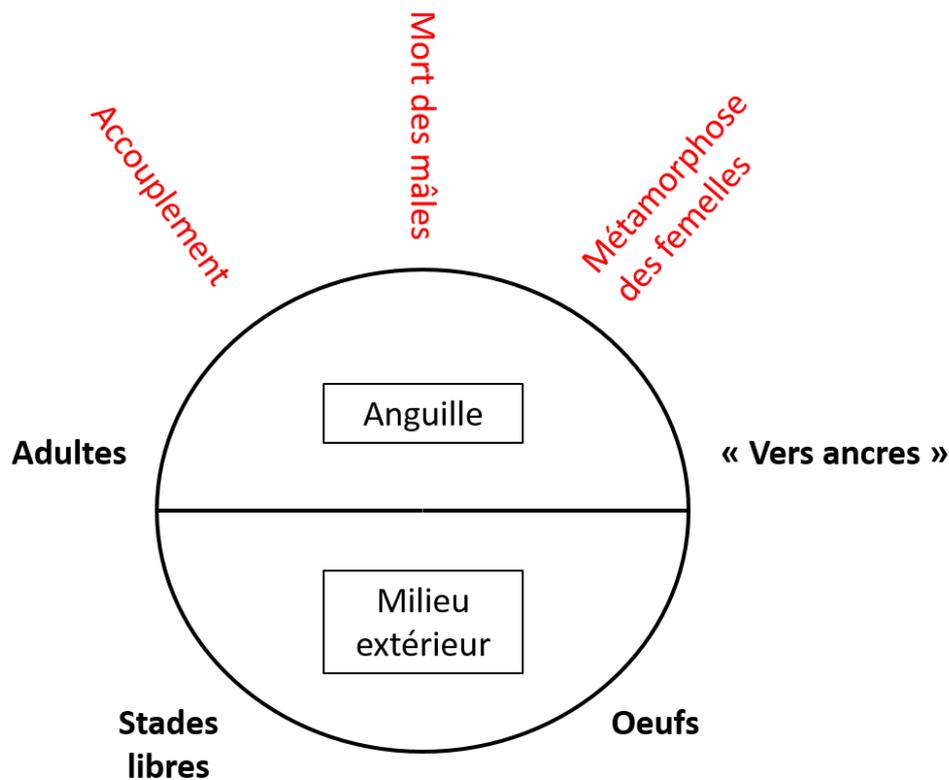


Figure 50. Schéma du cycle biologique des parasites du genre *Lernaea*.

Les vers ancrés sont responsables de la lernaeose, aussi connue sous le nom de « maladie du ver ancre », caractérisée par des ulcères hémorragiques au niveau des sites d'attachement. De plus, cette maladie peut aussi entraîner la mort du poisson à cause des infections secondaires ou de l'hémorragie massive (Wellborn & Lindsey 1970, Khalifa & Post 1976, Kabata 1985, Hoffman 1999, Kupferberg et al. 2009).

Après revue de la littérature, nous n'avons connaissance d'aucune espèce de *Lernaea* qui infecte les anguilles du Pacifique Sud à l'exception d'*Abergassilus amplexus* chez *A. australis* et *A. dieffenbachii* en Nouvelle Zélande (Hine, 1978). L'identification d'une espèce de *Lernaea* chez *A. marmorata* en Polynésie française constitue donc une donnée nouvelle en termes d'hôte et de répartition géographique. En revanche, nous savons que plusieurs espèces de *Lernaea* sont présentes dans le Pacifique Sud (Ho, 1998). Nous savons aussi que leurs hôtes de prédilection sont les représentants des familles de poissons *Cichlidae* et *Cyprinidae*, dont nombre de représentants ont été introduits dans les eaux douces de Polynésie française. Il faut donc ici envisager la possibilité d'un lien entre l'introduction d'espèces non natives de poissons et l'infestation des anguilles, et notamment l'introduction de différentes espèces de *Tilapia* à but économique.

Les Tetraphyllidea sont un large ordre de cestodes contenant plus de 60 genres et environ 800 espèces décrites. Ils sont caractérisés par un scolex comportant 4 bothridies (structure musculueuses en forme de feuille). Le stade procercoïde parasite probablement des copépodes, premiers hôtes intermédiaires, qui sont ensuite ingérés par les deuxièmes hôtes intermédiaires : poissons, décapodes ou céphalopodes, qui peuvent occasionnellement servir d'hôte paraténiques. Les hôtes définitifs sont différentes espèces de requins, de raies ou même parfois de cétacés (Fig 51).

Les effets délétères principaux de ces parasites sont la spoliation de nutriments et donc, le ralentissement de la croissance.

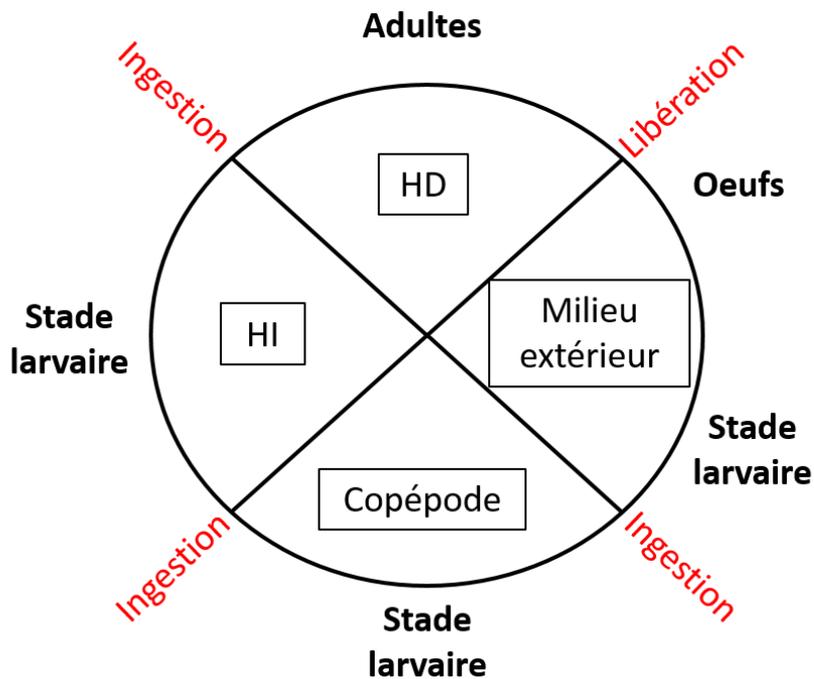


Figure 51. Schéma du cycle biologique des parasites de l'ordre de Tetracystida.

HI : hôte intermédiaire et HD : hôte définitif.

L'identification d'une larve de Tetracystida chez un poisson d'eau douce peut s'expliquer par la connexion étroite qu'il existe entre le lagon (océan) et les cours d'eau (eau douce) sur l'île de Moorea. Nous pensons néanmoins que la présence d'une larve de Tetracystida peut être ici considérée comme une impasse, sauf si l'anguille est ingérée par un requin lors de sa migration transocéanique. L'identification d'un représentant de l'ordre de Tetracystida chez *A. marmorata* et *A. obscura* en Polynésie française constitue une donnée nouvelle en termes d'hôte et de répartition géographique.

Enfin, après revue de la littérature, il apparaît qu'il existe plusieurs espèces de trématodes parasites d'anguilles dans le Pacifique Sud, et notamment en Nouvelle Zélande (Hine, 1978) et en Nouvelle Calédonie (Moravec & Justine, 2007).

Néanmoins, l'identification d'un représentant de la classe des Trématodes chez *A. obscura* en Polynésie française semble là aussi constituer une donnée nouvelle en termes d'hôte et de répartition géographique.

Ces résultats sont en contradiction avec une étude précédente menée sur l'île de la Réunion (Sasal et al, 2008). Dans cette étude, six espèces d'helminthes avaient été décrites sur les 4 espèces d'anguilles présentes. Parmi ces six parasites, quatre semblaient provenir d'espèces d'anguilles tempérées. Il s'agissait de *Pseudodactylogyrus anguillae*, *Pseudodactylogyrus bini*, *Anguillicola crassus* et *Bothriocephalus claviceps*. De plus, les analyses génétiques ont montré que le scénario le plus probable pour l'introduction d'*A. crassus* était le commerce d'anguilles vivantes en provenance de pays d'Europe du Nord.

Cet exemple d'île océanique révèle que, à notre époque, la colonisation des milieux insulaires par les parasites ne dépend pas de la distance qui sépare l'île du continent ou de sa taille, mais est plutôt le reflet de ses connections territoriales, de ses principales routes commerciales et d'autres caractéristiques anthropogéniques. Ainsi, l'hypothèse de colonisation insulaire, élaborée il y a plus de 30 ans (MacArthur & Wilson 1967) à une époque où les échanges internationaux à large échelle n'avaient pas encore vu le jour et où les introductions d'espèces invasives n'étaient pas encore un problème écologique majeur, ne suffit plus à expliquer les résultats observés.

Heureusement, notre étude révèle que les anguilles de Polynésie française ne semblent pas encore être contaminées par des espèces non natives, à l'exception peut-être de l'espèce du genre *Lernaea*. Néanmoins, la Polynésie française entretient des échanges avec de nombreux pays économiquement bien plus développés : Amérique du Nord, Chine, Europe, Australie ... En parfaite connaissance de cause, et dans le but de prévenir les anguilles de Polynésie française, ainsi que tous les autres espèces de poissons de Polynésie française, d'être affectées par des parasites invasifs, il convient de porter la plus grande attention à toutes les voies d'introduction, et notamment l'introduction d'espèces de poissons exotiques et les échanges d'espèces commerciales.

Conclusion

Cette étude a permis d'apporter de nombreuses connaissances nouvelles concernant le cycle biologique des anguilles de Polynésie française.

Notamment, le mécanisme du recrutement des civelles est moins obscur, on en connaît maintenant la saisonnalité (Octobre à Mars) et on a identifié certains des facteurs environnementaux qui l'influencent (cycle lunaire, vent, houle, précipitations).

De même, on possède maintenant certaines informations démographiques relatives aux populations adultes en place, notamment en termes de densité et de biomasse. Des variations spatiales et temporelles ont été aussi observées, liées principalement à des phénomènes climatiques saisonniers comme la baisse du niveau de l'eau induite par la saison sèche ou à des phénomènes biologiques inhérents au cycle biologique des anguilles comme la dévalaison des adultes matures ou l'installation des anguillettes. Ensuite, nous avons pu identifier certaines caractéristiques physiques de l'habitat et déceler certaines particularités dans l'utilisation de l'habitat en lien avec les différences morphologiques des individus. Ainsi, les individus de grande taille semblent affectionner les substrats grossiers, avec un taux de recouvrement en substrat végétal important, alors que les individus de plus petite taille semblent préférer les substrats fins.

Enfin, l'étude de la faune parasitaire a révélé une richesse spécifique assez faible puisque seulement 4 espèces de parasites ont été identifiées : *Anguillicola* sp, *Lernaea* sp, un représentant de la classe des Trématodes et un stade larvaire d'un représentant de l'ordre de Tétraphyllidea. De plus, prévalence et intensité étaient faibles pour toutes ces espèces. Heureusement, cette étude a aussi révélé que les anguilles de Polynésie française ne semblent pas encore être contaminées par des espèces non natives.

Pour chacun de ces trois axes, des études complémentaires restent cependant nécessaires pour compléter l'effort d'échantillonnage. Notamment, les études sur les populations en place ou sur les communautés parasitaires, menées respectivement uniquement sur *A. marmorata* et à la fois sur *A. marmorata* et *A. obscura*, doivent être élargies à toutes les espèces d'anguilles de Polynésie française.

De la même façon, cette étude, menée majoritairement sur le bassin versant de la rivière Opunohu, doit être élargie à d'autres bassins versants de l'île de Moorea et même à d'autres îles de Polynésie française afin de généraliser au maximum les résultats obtenus. De plus, certains aspects de l'étude, tels que le suivi de croissance des populations adultes en place, ne trouveront de réponse qu'avec la poursuite des recherches sur le long terme.

Il convient donc de mettre plus de moyens humains et matériels à disposition de ce projet et de s'y consacrer sur le long terme si on veut remplir pleinement l'objectif fixé, à savoir la connaissance et la compréhension complète du cycle biologique des anguilles de Polynésie française. Et donner ainsi aux preneurs de décisions les informations nécessaires à la mise en place d'une exploitation durable de cette ressource, qui comme beaucoup d'autres, n'est pas infinie.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Philippe JACQUIET, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **HIRSCHINGER Julien** intitulée « **Données nouvelles sur le cycle biologique et les infestations parasitaires des anguilles de Polynésie française.** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 5 novembre 2015
Professeur Philippe JACQUIET
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN



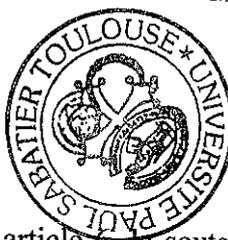
Vu :
Le Président du jury :
Professeur Gérard CAMPISTRON



Vu et autorisation de l'impression :
Administrateur Provisoire de
l'Université
Paul Sabatier
Monsieur Amal SAYAH

L'Administrateur Provisoire

Amal SAYAH



Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

Références bibliographiques

- ADAM G, FEUNTEUN E, PROUZET P, RIGAUD C, 2008, L'anguille européenne: indicateurs d'abondance et de colonisation. Coll. Savoir-faire, éditions Quae, Versailles.
- AOYAMA, J, SASAI, S, MILLER, M J, SHINODA, A, NAKAMURA, A, KAWAZU, K and TSUKAMOTO, K, 2002, A preliminary study of the movements of yellow and silver eels, *Anguilla japonica*, in the estuary of the Fukui River, Japan, as revealed by acoustic tracking. *Hydrobiologia* 470, 1-3, 31–36.
- AOYAMA, J, WOUTHUYZEN, S, MILLER, M J., INAGAKI, T, TSUKAMOTO, K, 2003, Short-distance spawning migration of tropical freshwater eels. *The Biological Bulletin* 204, 1, 104–108.
- AOYAMA, J, SHINODA, A, SASAI, S, MILLER, M J and TSUKAMOTO, K, 2005, First observations of the burrows of *Anguilla japonica*. *Journal of Fish Biology* 67, 6, 1534–1543.
- ARRIBAS C, FERNANDEZ-DELGADO C, OLIVIA-PATERNA F J, DRAKE P, 2012, Oceanic and local environmental conditions as forcing mechanisms of the glass eel recruitment to the southernmost European estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science Journal* 107, 45–57.
- ATKINSON E.J., THERNEAU T.M., 2000, An introduction to Recursive Partitioning using the RPART routines.
- BARAS, E, JEANDRAIN, D, SEROUGE, B and PHILIPPART, J-C, 1998, Seasonal variations in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry*, 187–198.
- BARK A, WILLIAMS B, KNIGHTS B, 2007, Current status and temporal trends in stocks of European eel in England and Wales. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 64, 7, 1368–1378.
- BRIAND C, BONHOMMEAU S, BEAULATON L, CASTELNAUD G, 2008, An appraisal of historical glass eel fisheries and markets: landings, trade routes and future prospects for management. In: MORIARTY C (ed) The Institute of Fisheries Management Annual Conference 2007.
- BRIAND C, SAUVAGET B, GIRARD P, FATIN D, BEAULATON L, 2012, Push net fishing seems to be responsible for injuries and post fishing mortality in glass eel in the Vilaine estuary (France) in 2007. *Knowledge Management Aquatic Ecosystem* 404, 02.
- BRU N, PROUZET P, LEJEUNE M, 2009, Daily and seasonal estimates of the recruitment and biomass of glass eels runs (*Anguilla anguilla*) and exploitation rates in the Adour open estuary (Southwestern France). *Aquatic Living Resources* 22, 509–523.
- BUDIMAWAN, 1996, Contribution à la connaissance des phases marines du développement larvaire de cinq espèces d'anguilles atlantiques et indo-pacifiques: Etude otolithométrique. Thèse de Doctorat en Océanologie.
- BUDIMAWAN, 1997, The early life history of the tropical eel *Anguilla marmorata* (Quoy and Gaimard 1824) from four Pacific estuaries, as revealed from otolith microstructural analysis. *Journal of Applied Ichthyology* 13, 57–62.

- CASSELMAN J.M., CAIRNS D.K. (Eds.), 2009, Eels at the Edge: Science Status and Conservation Concerns. *American Fisheries Society*.
- CHADWICK, S, KNIGHTS, B, THORLEY, J L and BARK, A, 2007, A long-term study of population characteristics and downstream migrations of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) and the effects of a migration barrier in the Girnock Burn, north-east Scotland. *Journal of Fish Biology* 70, 5, 1535–1553.
- CONVENTION ON INTERNATIONAL TRADE IN ENDANGERED SPECIES of Wild Fauna and Flora (CITES), 2007, Inclusion of *Anguilla anguilla* (L.) in Appendix II in accordance with Article II s2(a). 37 pp.
- COOK, K V, BROWN, R S, DANIEL DENG, Z, KLETT, R S, LI, H, SEABURG, A G and BRAD EPPARD, M, 2014, A comparison of implantation methods for large PIT tags or injectable acoustic transmitters in juvenile Chinook salmon. *Fisheries Research* 154, 213–223.
- COTE C L, GAGNAIRE P-A, BOURRET V, VERREAULT G, CASTONGUAY M, BERNATCHEZ L, 2013, Population genetics of the American eel (*Anguilla rostrata*): $F_{ST} = 0$ and North Atlantic Oscillation effects on demographic fluctuations of a panmictic species. *Molecular Ecology* 22, 1763–1776
- CRIVELLI A J, AUPHAN N, CHAUVELON P, SANDOZ A, MENELLA J-Y, POIZAT G, 2008, Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches. *Hydrobiologia* 602, 1, 79–86
- CROOK, V, 2010, Trade in *Anguilla* species, with a focus on recent trade in European eel, *Anguilla*. *TRAFFIC report* prepared for the European Commission.
- CROOK, V and NAKAMURA, M, 2013, Glass eels: Assessing supply chain and market impacts of a CITES listing on *Anguilla* species. *TRAFFIC Bulletin* 25, 1, 24-30.
- DE CASAMAJOR, M. N., LECOMTE-FINIGER, R., PROUZET, P., 2001, Determination of the state of emaciation of eel (*Anguilla anguilla*) in migration in coastal and estuary zones. *Comptes rendus de l'Academie des sciences Serie III, Sciences de la vie* 324, 4, 345–353.
- DE CASAMAJOR, M. N., LECOMTE-FINIGER, R., PROUZET, P., 2006, Marine larval past of glass eel *Anguilla anguilla* migrating in the Adour estuary. *Life And Environment* 56, 1, 1-8.
- DEKKER W., 2004, Slipping through our hands. Population of the European Eel, Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics (IBED), PhD Thesis.
- DOOLE G J, 2005, Optimal management of the New Zealand longfin eel (*Anguilla dieffenbachii*). *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 4, 395–411.
- EDELIN E, DUFOUR S, ELIE P, 2009, Proximate and ultimate control of eel continental dispersal. In: VAN DEN THILLART G, DUFOUR S, RANKIN JC (eds) Spawning migration of the european eel: reproduction index, a useful tool for conservation management. *Fish and Fisheries Series* 30, 433–461.
- EGE V, 1939, A revision of the Genus *Anguilla*, Shaw: Systematic, phylogenetic and geographical study. *Dana Report* 16, 3, 8-256.

- FANG J, SHIRAKASHI S, OGAWA K, 2008, Comparative Susceptibility of Japanese and European Eels to Infections with *Pseudodactylogyus* spp. (Monogenea). *Fish Pathology* 43, 4, 144-151.
- FAO, 2009, EIFAC Report of the 2009 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. Goteborg, Sweden, 7-12 September 2009.
- FAZIO, G, SASAL, P, MOUAHID, G, LECOMTE-FINIGER, R, MONÉ, H, 2012, Swim Bladder Nematodes (*Anguillicoloides crassus*) Disturb Silvering In European Eels (*Anguilla anguilla*). *Journal of Parasitology* 98, 4, 695–705.
- FONTAINE M, 1950, Facteurs externes et internes régissant les migrations chez les poissons. *Annales de Biologie* 27, 7, 337–348.
- GAGNAIRE P-A, NORMANDEAU E, COTE C, HANSEN M M, BERNATCHEZ L, 2012, The genetic consequences of spatially varying selection in the Panmictic American Eel (*Anguilla rostrata*). *Genetics* 190, 725–736.
- GERARD C, TRANCART T, AMILHAT E, FALIEUX E, VIRAG L, FEUNTEUN E, ACOU A, 2013, Influence of introduced vs. native parasites on the body condition of migrant silver eels. *Parasite* 20, 38.
- GIBBONS, W J and ANDREWS, K M, 2004, PIT tagging: simple technology at its best. *Bioscience* 54, 5, 447–454.
- GOLLOCK M, CURNICK D, DEBNEY A, 2011, Recent recruitment trends of juvenile eels in tributaries of the River Thames. *Hydrobiologia* 672, 1, 33–37.
- HARRISON, A J., WALKER, A M., PINDER, A C., BRIAND, C, APRAHAMIAN, M W., 2014, A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24, 4, 967–983.
- HENKEL, C V., BURGERHOUT, E, DE WIJZE, D L., DIRKS, R P., MINEGISHI, Y, JANSEN, H J., SPAINK, H P., DUFOUR, S, WELTZIEN, F-A, TSUKAMOTO, K, VAN DEN THILLART, G E. E. J. M., 2012, Primitive Duplicate Hox Clusters in the European Eel's Genome. *PLoS ONE*. 7, 2, p. e32231.
- HINE PM, 1978, Distribution of some parasites of freshwater eels in new-zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 12, 2, 179-187.
- HO, J S, 1998, Cladistics of the *Lernaeidae* (Cyclopoida) a major family of freshwater fish. *Journal of Marine Systems* 15, 177-183.
- HOFFMAN GL, 1999, Parasites of North American freshwater fishes. Second edition. Ithaca (NY): Comstock Publishing Associates, Cornell University Press. 539 p.
- HOFFMANN M, 2010, The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates, *Science* 330, 1503.
- IBBOTSON, A, SMITH, J, SCARLETT, P and APRHAMIAN, M, 2002, Colonisation of freshwater habitats by the European eel *Anguilla anguilla*. *Freshwater Biology* 47, 9, 1696–1706.
- IMBERT, H, LABONNE, J, RIGAUD, C and LAMBERT, P, 2010, Resident and migratory tactics in freshwater European eels are size-dependent: Stage-dependent tactics in freshwater eels. *Freshwater Biology* 55, 7, 1483–1493.

- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA (ICES), 1999, Report of the Advisory Committee on Fisheries Management. In ICES (ed) Cooperative Research Report 229 part 2. pp 393–405.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA (ICES), 2006, Report of the 2006 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels, Rome, 23–27 January 2006. ICES CM 2006/ACFM: 16.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA (ICES), 2011a, Report of the study group on international postevaluation on eels (SGIPEE), ICES SGIPEE Report 2011, SCICOM steering group on ecosystems function. ICES CM 2011/SSGEF: 13.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA (ICES), 2011b, Report of the 2011 session of the Joint EIFAAC/ ICES working group on eels (WGEEL), Lisbon, Portugal.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR THE EXPLORATION OF THE SEA (ICES), 2012, Report of the 2012 session of the Joint EIFAAC/ ICES Working Group on Eels (WGEEL). Denmark, Copenhagen 828 pp.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN), 2013, Espèces menacées dans les collectivités d'Outre-Mer, The IUCN Red List for Threatened Species.
- JACOBY, D. & GOLLOCK, M., 2014, *Anguilla marmorata*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3.
- JACOBY, D. & GOLLOCK, M. 2014. *Anguilla megastoma*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3.
- JACOBY, D. & GOLLOCK, M. 2014. *Anguilla obscura*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3.
- JELLYMAN D, 2007, Status of New Zealand fresh-water eel stocks and management initiatives. *ICES Journal of Marine Science* 64, 1379–1386.
- KABATA Z, 1983, Two new genera of the family *Lernaeidae* (Copepoda: Cyclopoida) parasitic on freshwater fishes of India. In Selected Papers on Crustacea Rabindranath Krishna Pillai Farewell Committee pp. 69-76.
- KABATA Z, 1985, Parasites and diseases of fish cultured in tropics. London and Philadelphia PA: Taylor & Francis.
- KHALIFA K A & Post G, 1976, Histopathological effect of *Lernaea cyprinacea* (a copepod parasite) on fish. *The progressive fish-culturist* 38, 110-113.
- KIRK, R S, 2003, The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fisheries Management and Ecology* 10, 385–394.
- KNIGHTS B, 2003, A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. *Science of the Total Environment* 310, 1–3, 237–244.
- KNOFF K, 2006, The swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in the European eel *Anguilla anguilla* and the Japanese eel *Anguilla japonica*: differences in susceptibility and immunity between a recently colonized host and the original host. *Journal of Helminthology* 80, 2, 129-136.

- KUPFERBERG SJ, CATENAZZI A, LUNDE K, LIND AJ, PALEN WJ, 2009, Parasitic copepod (*Lernaea cyprinacea*) outbreaks in foothill yellow-legged frogs (*Rana boylii*) linked to unusually warm summers and amphibian malformations in Northern California. *Copeia*, 529–537.
- KUROKI M, AOYAMA J, MILLER M J, WOUTHUYZEN S, ARAI T, TSUKAMOTO K, 2006, Contrasting patterns of growth and migration of tropical anguillid leptocephali in the western Pacific and Indonesian Seas. *Marine Ecology Progress Series* 309, 233-246.
- KUWAHARA A, NIIMI A, ITAGAKI H, 1974, Studies on the nematode parasitic on the air bladder of eel. Description of *Anguillicola crassa* n. Sp. (Philometridae, Anguillicolidae). *Japanese Journal of Parasitology* 23, 275–279.
- LAFFAILLE P, ACOU A & GUILLOUET J, 2005, The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish* 14, 191–196.
- LECOMTE-FINIGER, R, 1983, Diet of elvers and small eels (*Anguilla anguilla*) in three brackish lagoons from Roussillon Province. *Bulletin Ecologie* 14, 4, 297-306.
- LECOMTE-FINIGER R, YAHYAOLJI A, 1989, La microstructure de l'otolithe au service de la connaissance du développement larvaire de l'anguille européenne. C.R. Acad. Sci. Paris, 308, 1-7.
- MACARTHUR R H & WILSON E O, 1967, The Theory of Island Biogeography. Monographs in Population Biology, Princeton University Press, I.
- MACGREGOR R, MATHERS A, THOMPSON P, CASSELMAN J M, LAPAN S, PRATT T C, ALLEN B, 2008, Declines of American eel in North America: complexities associated with bi-national management. In: SCHECHTER M G, LEONARD N J, TAYLOR W W (eds) International governance of fisheries ecosystems: learning from the past, finding solutions for the future. *American Fisheries Society*, Bethesda, 357–381.
- MALAVOI, J R, SOUCHON, Y, 2002, Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 365-366, p. 357–372.
- MATHERS A, PRATT T C, 2011, Update on the status and progress on management goals for American Eel in Ontario. DFO *Canadian Science Advisory Secretariat Research Document* 46.
- MARQUET G, 1987, Périologie des anguilles de Tahiti-Moorea en Polynésie Française, PhD Thesis.
- MARQUET G, 1988, Les eaux intérieures de la Polynésie française: Principales caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Thèse 3ème cycle, Université de PARIS VI, 188 p.
- MARQUET G, GALZIN R, 1991, The eels of French Polynesia : Taxonomy, Distribution and Biomass. *La Mer* 29, 8-17.
- MCCLEAVE, J D, 2001, Simulation of the impact of dams and fishing weirs on reproductive potential of silver-phase American eels in the Kennebec River basin, Maine. *North American Journal of Fisheries Management* 21, 3, 592-605.

- MCGOVERN P, MCCARTHY TK, 1992, Elver migration into the Corrib system, Western Ireland. *Irish Fisheries Investigations* 36, 25–31.
- MILLER, M J., KIMURA, S, FRIEDLAND, K D., KNIGHTS, B, KIM, H, JELLYMAN, D J., TSUKAMOTO, K, 2009, Review of ocean-atmospheric factors in the Atlantic and Pacific oceans influencing spawning and recruitment of anguillid eels. In : *American Fisheries Society Symposium*, 231–249.
- MINEGISHI, Y, AOYAMA, J, TSUKAMOTO, K, 2008, Multiple population structure of the giant mottled eel, *Anguilla marmorata*. *Molecular Ecology* 17, 13, 3109–3122.
- MIYAI, T, AOYAMA, J, SASAI, S, INOUE, J G, MILLER, M J and TSUKAMOTO, K, 2004, Ecological aspects of the downstream migration of introduced European eels in the Uono River, Japan. *Environmental biology of fishes* 71, 1, 105–114.
- MORAVEC F, BOOMKER J, TARASCHEWSKI H, 2000, *Paraquimperia africana* n. sp (Nematoda : Quimperidae), a new intestinal parasite of the eel *Anguilla mossambica* Peters, in South Africa. *Journal of Parasitology* 86, 1, 113-117.
- MORAVEC F, SASAL P, WURTZ J, et al., 2005, *Cucullanus oceaniensis* sp n. (Nematoda : Cucullanidae) from Pacific eels (*Anguilla* spp.). *Folia Parasitologica* 52, 4, 343-348.
- MORAVEC F, JUSTINE J-L, 2007, *Stegodexamene anguillae* (Digenea : Lepocreadiidae), an intestinal parasite of eels (*Anguilla* spp.) in New Caledonia. *Parasitology Research* 100, 5, 1047-1051.
- MORAVEC F, TARASCHEWSKI H, 1988, Revision of the genus *Anguillicola* Yamaguti, 1935 (nematoda, anguillicolidae) of the swimbladder of eels, including descriptions of 2 new species, *Anguillicola novaezelandiae* sp-n and *Anguillicola papernai* sp-n. *Folia Parasitologica* 35, 2, 125-146.
- MORDENTI, O, CASALINI, A, MANDELLI, M, DI BIASE, A, 2014, A closed recirculating aquaculture system for artificial seed production of the European eel (*Anguilla anguilla*): Technology development for spontaneous spawning and eggs incubation. *Aquacultural Engineering* 58, 88–94.
- OKAMURA, A, HORIE, N, MIKAWA, N, YAMADA, Y and TSUKAMOTO, K, 2014, Recent advances in artificial production of glass eels for conservation of anguillid eel populations. *Ecology of Freshwater Fish* 23, 1, 95–110.
- PALSTRA, A.P., HEPPENER, D.F.M., VAN GINNEKEN, V.J.T., SZÉKELY, C. and VAN DEN THILLART, G.E.E.J.M., 2007, Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swim-bladder parasite *Anguillicola crassus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352, 1, 244–256.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RAKATOMALALA R, 2008, Comparaison de populations, Tests non paramétriques.
- ROBINET T, FEUNTEUN E , KEITH P, MARQUET G , OLIVIER J.M., REVEILLAC E. AND VALADE P, 2007, Eel community structure, fluvial recruitment of *Anguilla marmorata* and indication for a weak local production of spawners from rivers of Réunion and Mauritius islands. *Environmental Biology of Fishes* 78, 93-105.

- SASAL P, TARASCHEWSKI H, VALADE P et al., 2008, Parasite communities in eels of the Island of Reunion (Indian Ocean): a lesson in parasite introduction. *Parasitology Research* 102, 6, 1343-1350.
- SILFVERGRIP A M C, SWEDEN and STATENS NATURVÅRDSVERK, 2009, CITES identification guide to the freshwater eels (Anguillidae): with focus on the European eel, *Anguilla anguilla*. Stockholm, Sweden : Swedish Environmental Protection Agency.
- SCHMIDT J, 1922, The Breeding Places of the Eel. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 211, 178-208.
- SUGEHA, H Y, SHINODA, A, MARUI, M, ARAI, T, TSUKAMOTO, K, 2001, Validation of otolith daily increments in the tropical eel *Anguilla marmorata*. *Marine Ecology Progress Series* 220, 291–294.
- SUGEHA, H Y., 2011, Recruitment mechanism of the tropical glass eels genus *anguilla* in the poso estuary, central sulawesi island, indonesia. *Journal of Fisheries Sciences* 12, 2, 86–100.
- TARASCHEWSKI H, 2006, Hosts and parasites as aliens. *Journal of Helminthology* 80, 2, 99-128.
- TEIXERA A, 2004, Analyse discriminante par arbre de décision binaire. *Revue des Maladies Respiratoires* 21, 1174-6.
- TESCH, 2003, The eel, 5th edn. Wiley, NY.
- TESCH, 2007, Developmental Stages and Distribution of the Eel Species 773–117.
- TSUKAMOTO K, 1990, Recruitment mechanism of the eel, *Anguilla japonica* to Japanese coast. *Journal of Fish Biology* 36, 659-471.
- TSUKAMOTO, K, 1992, Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature* 356, 6372, 789-791.
- VAN GINNEKEN, V, PALSTRA, A, LEONARDS, P, NIEVEEN, M, VAN DEN BERG, H, FLIK, G, SPANINGS, T, NIEMANTSVERDIET, P, VAN DEN THILLART, G and MURK, A, 2009, PCBs and the energy cost of migration in the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Aquatic Toxicology* 92, 4, 213–220.
- WAJNBERG E, 2011, Introduction au Modèle Linéaire Généralisé.
- WATANABE S, 2003, Taxonomy of the Freshwater Eels, Genus *Anguilla* Schrank, 1798. In : *Eel Biology*, Springer Japan, 3–18.
- WATANABE S, AOYAMA J, TSUKAMOTO K, 2004b, Reexamination Of Ege's (1939) Use Of Taxonomic Characters Of The Genus *Anguilla*. *Bulletin of Marine Science* 74, 2, 337–351.
- WATANABE, S, MILLER, M J., AOYAMA, J and TSUKAMOTO, K, 2011, Analysis of vertebral counts of the tropical anguillids, *Anguilla megastoma*, *A. obscura*, and *A. reinhardtii*, in the western South Pacific in relation to their possible population structure and phylogeny. *Environmental Biology of Fishes* 91, 3, 353–360.
- WELLBORN TL, LINDSEY RD, 1970, Occurrence of anchor parasites (*Lernaea cyprinacea*) on adult bullfrogs (*Rana catesbeiana* shaw). *Transactions of the American Fisheries Society* 99, 2, 443-&.

WIRTH T, BERNATCHEZ L, 2003, Decline of North Atlantic eels: a fatal synergy?
Proceedings of the Royal Society of London B 270, 681–688.

YOKOUCHI, K, AOYAMA, J, OKA, H P and TSUKAMOTO, K, 2008, Variation in the demographic characteristics of yellow-phase Japanese eels in different habitats of the Hamana Lake system, Japan. *Ecology of Freshwater Fish* 17, 4, 639–652.

Annexe 1. Caractéristiques des stations de prélèvement

Station	Longueur	Largeur moyenne	Largeur maximum	Largeur minimum	Profondeur moyenne	Profondeur maximum	Profondeur minimum	Surface	Volume
Mara'e	65	4	6.8	2	0.4	1.2	0.1	262.6	110.3
RDA2	75	2.7	3.4	1	0.35	0.15	0.55	204.75	71.7
RDA1	60	3.2	1.6	5.2	0.2	0.45	0.1	192	38.4
Pont2	140	6	12	3.25	0.4	1.3	0.1	845.6	355.15
Pont1	100	4.9	5.9	2.4	0.9	1.95	0.1	488	434.3

Station	Substrat minéral	Substrat végétal	Courant	Ombre
Mara'e	enrochement 0%, blocs 100%, pierres 100%, gravier 86%, sable 14%	feuilles 71%, branches 14%	moyen/rapide	75%
RDA2	enrochement 12%, blocs 37%, pierres 100%, gravier 87%, sable 100%	feuilles 62%, branches 62%, racines 50%	moyen/rapide	91%
RDA1	enrochement 0%, blocs 33%, pierres 100%, gravier 100%, sable 55%	feuilles 77%, branches 33%, racines 33%	moyen	64%
Pont2	enrochement 40%, blocs 40%, pierres 100%, gravier 100%, sable 93%	feuilles 13%, branches 0%, racines 40%	moyen	57%
Pont1	enrochement 27%, blocs 27%, pierres 100%, gravier 100%, sable 90% + béton 10%	feuilles 27%, branches 10%, racines 36%	moyen/rapide	18%

Annexe 2. Tableau des captures Populations adultes

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	374	100	167	17.9	21	4	105	114189
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	280	71	117	16.4	18		40	113687
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	626	165	282	18.7	34	7	410	112786
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	352	131	151	5.7	18	4	80	113292
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	234	60	95	15.0	11		20	112692
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	244	63	105	17.2	12		25	113003
14/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	170	46	68	12.9	6		10	113835
23/01/2014	Pont2	1	A. marmorata	330	90	150	18.2	15	3		113367
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	580	150	245	16.4	25		470	113688
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	470	120	200	17.0	20		260	112325
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	360	100	160	16.7	13		110	114244
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	480	130	210	16.7	20		280	113825
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	410	105	180	18.3	15		190	113217
02/02/2015	Pont2	1	A. marmorata	1100	320	535	19.5	60		4585	112344
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	365	95	155	16.4	16	3	100	112415
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	377	97	165	18.0			110	113043
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	900	230	390	17.8	35	7	1420	112279
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	350	90	150	17.1			100	113046
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	420	70	110	9.5			145	113244
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	370	95	160	17.6			105	113924
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	680	160	285	18.4	24	5	640	112619
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	1050	265	445	17.1	55	8	2270	112644
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	290	75	120	15.5			50	112522
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	300	75	125	16.7			60	114259
03/02/2015	Marae	1	A. marmorata	235	60	95	14.9			25	113829
04/02/2015	RDA2	1	A. marmorata	630	160	280	19.0	30	4	730	112512
04/02/2015	RDA2	1	A. marmorata	242	55	100	18.6			30	
04/02/2015	RDA2	1	A. marmorata	630	170	280	17.5	32	4	740	114037
04/02/2015	RDA2	1	A. marmorata	490	125	280	31.6	28	3	335	113569
04/02/2015	RDA2	1	A. marmorata	540	145	240	17.6	30	5	425	114245
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	985	275	420	14.7	44	7	2120	113433
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	720	190	320	18.1	32	5.5	1120	112291
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	1580	430	700	17.1	80	14	10325	113917
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	325	80	140	18.5	12		70	113568
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	440	110	190	18.2	21	4	190	112993
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	285	65	115	17.5	11		40	112822
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	285	75	120	15.8	9		45	113331
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	210	55	90	16.7			15	
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	185	50	80	16.2			5	
05/02/2015	RDA1	1	A. marmorata	350	85	150	18.6	15		80	113587

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	915	250	420	18.6	50.8	8.1	2390	113035
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	400	110	175	16.3	17.2		155	107908
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	365	100	160	16.4	15.9		85	113549
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	330	160	170	3.0	17.2		85	113859
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	260	110	130	7.7	12.2		35	112446
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	215	60	90	14.0	9.3		15	
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	280	70	125	19.6	10.5		35	112535
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	240	60	100	16.7			15	
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	300	90	130	13.3	9		60	113913
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	165	40	70	18.2			10	
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	340	85	140	16.2	18.7		80	107007
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	170	40	75	20.6			10	
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	170	50	70	11.8			10	
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	1150	300	600	26.1	85	7.8	6960	112685
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	315	75	135	19.0	10.5		65	113054
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	345	70	145	21.7			85	113323
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	335	85	135	14.9			70	113815
11/02/2015	Pont1	1	A. marmorata	222	70	92	9.9			20	113794
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	254	65	105	15.7			25	112412
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	355	105	175	19.7	24.54	9.99	105	112581
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	480	124	195	14.8	24.81	9.81	205	112955
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	211	54	125	33.6			10	
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	200	50	75	12.5			10	
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	183	45	75	16.4			10	
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	270	70	120	18.5			20	114073
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	294	73	123	17.0			45	112466
09/03/2015	Marae	1	A. marmorata	281	75	125	17.8			35	113994
09/03/2015	Marae	2	A. marmorata	382	100	170	18.3	16.38	5.81	110	113924
09/03/2015	Marae	2	A. marmorata	850	235	395	18.8	41.68	6.62	1415	112279
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	1090	270	425	14.2	47.34	8.67	1685	112907
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	870	260	520	29.9	44.37	7.77	1590	112503
10/03/2015	RDA2	2	A. marmorata	540	145	245	18.5	26.6	5	425	114245
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	305	82	125	14.1			60	112818
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	300	75	135	20.0			60	114107
10/03/2015	RDA2	2	A. marmorata	500	130	265	27.0	22.29	5.37	360	113569
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	470	135	215	17.0	20.58	4.2	265	112861
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	310	75	130	17.7			60	113948
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	280	70	105	12.5			40	113831
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	235	60	100	17.0			25	113550
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	225	60	95	15.6			20	
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	193	53	80	14.0			15	
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	190	45	77	16.8			15	
10/03/2015	RDA2	1	A. marmorata	148	40	60	13.5			5	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	350	105	155	14.3	15.4		90	114225

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	450	117	195	17.3	20.6		205	112828
11/03/2015	RDA1	2	A. marmorata	347	85	155	20.2	15.5		80	113587
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	1000	300	500	20.0	68.6	10.33	2270	113408
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	715	195	330	18.9	45.7	8.25	920	112839
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	390	95	168	18.7	23.83		115	112964
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	308	80	135	17.9	13.43		60	112437
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	945	285	465	19.0	60	9.95	2465	113178
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	255	68	106	14.9			35	114114
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	368	91	155	17.4	17.25		105	113429
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	301	80	130	16.6			50	113257
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	193	50	76	13.5			10	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	905	260	430	18.8	55.11	8.55	1905	113771
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	230	60	98	16.5			20	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	242	60	100	16.5			25	113518
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	300	80	126	15.3			55	113187
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	198	50	77	13.6			10	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	260	50	85	13.5			15	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	235	60	97	15.7			20	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	197	49	76	13.7			10	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	144	35	57	15.3			5	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	125	30	50	16.0			5	
11/03/2015	RDA1	1	A. marmorata	140	35	55	14.3			5	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	215	55	85	14.0			20	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	138	38	50	8.7			5	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	149	37	60	15.4			5	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	177	57	77	11.3			10	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	178	51	70	10.7			10	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	200	52	80	14.0			15	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	177	50	70	11.3			10	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	178	51	71	11.2			10	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	145	34	58	16.6			5	
12/03/2015	Pont2	2	A. marmorata	470	123	205	17.4	18.8	3.26	255	112325
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	295	80	120	13.6			50	114177
12/03/2015	Pont2	2	A. marmorata	370	100	150	13.5	16.33		110	114244
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	282	78	110	11.3			40	112593
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	235	75	90	6.4			20	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	820	242	385	17.4	50.9	5.5	1635	113025
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	310	90	125	11.3			60	114104
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	230	60	95	15.2			20	
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	290	80	140	20.7			30	113571
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	560	150	250	17.9	25.43	3.49	460	113444
12/03/2015	Pont2	1	A. marmorata	710	185	320	19.0	31.94	5.11	920	113413
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	375	97	165	18.1			100	113852
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	216	55	93	17.6			15	

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	165	40	65	15.2			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	156	40	67	17.3			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	140	35	60	17.9			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	155	50	65	9.7			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	160	37	70	20.6			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	151	38	58	13.2			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	170	40	80	23.5			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	156	35	71	23.1			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	180	40	80	22.2			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	162	45	60	9.3			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	227	60	95	15.4			20	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	168	45	72	16.1			10	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	240	60	100	16.7			25	113477
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	253	71	105	13.4			30	112841
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	290	77	126	16.9			45	113943
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	245	66	111	18.4			30	113282
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	241	63	106	17.8			25	113052
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	281	85	120	12.5			45	113463
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	1068	360	580	20.6	72.39	12.59	5610	113546
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	620	155	280	20.2	34.3		570	113998
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	235	35	55	8.5			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	223	58	95	16.6			20	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	213	54	90	16.9			20	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	196	51	84	16.8			15	
13/03/2015	Pont1	2	A. marmorata	365	94	160	18.1			105	113328
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	285	72	120	16.8			45	114131
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	546	132	238	19.4			415	112350
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	309	83	130	15.2			60	114114
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	282	65	120	19.5			45	112697
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	231	61	103	18.2			20	
13/03/2015	Pont1	2	A. marmorata	336	80	146	19.6			75	107007
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	298	74	135	20.5			45	113286
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	312	78	136	18.6			55	113695
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	200	46	88	21.0			15	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	225	54	97	19.1			20	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	700	175	315	20.0	33.12	7.71	1000	113732
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	247	61	105	17.8			30	113953
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	155	45	63	11.6			5	
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	266	71	113	15.8			30	113970
13/03/2015	Pont1	1	A. marmorata	187	39	84	24.1			15	
13/04/2015	Marae	1	A. marmorata	260	65	105	15.4			30	112293
13/04/2015	Marae	1	A. marmorata	250	65	115	20.0			30	113938
13/04/2015	Marae	1	A. marmorata	300	80	125	15.0			45	107643
13/04/2015	Marae	2	A. marmorata	280	75	115	14.3			40	113994

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
13/04/2015	Marae	1	A. marmorata	310	80	125	14.5			55	112940
13/04/2015	Marae	1	A. megastoma	420	115	160	10.7	17.71	5.18	105	113974
13/04/2015	Marae	1	A. marmorata	185	45	75	16.2			10	
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	430	118	190	16.7			145	112739
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	550	140	245	19.1	28.55	5.67	440	113382
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	550	140	250	20.0	30.03	4.43	420	112445
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	265	63	108	17.0			35	114086
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	302	75	134	19.5			55	113146
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	314	72	128	17.8			65	112869
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	312	80	131	16.3			60	112879
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	200	49	76	13.5			15	
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	308	82	136	17.5			60	113415
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	360	95	159	17.8			95	113910
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	275	70	103	12.0			40	113861
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	281	72	116	15.7			45	112962
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	416	105	182	18.5			165	113062
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	333	84	138	16.2			75	113004
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	470	119	208	18.9			280	114128
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	471	122	215	19.7			255	113202
14/04/2015	RDA2	1	A. marmorata	875	240	400	18.3			1435	113527
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	1005	300	480	17.9	58.22	12.42	1800	113110
15/04/2015	RDA1	2	A. marmorata	716	198	330	18.4	47.27	9.04	700	112839
15/04/2015	RDA1	2	A. marmorata	900	255	420	18.3	55.08	9.48	1000	112503
15/04/2015	RDA1	2	A. marmorata	945	270	465	20.6	62.07	11.11	2000	113178
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	380	90	160	18.4			112	113764
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	362	100	155	15.2			101	112895
15/04/2015	RDA1	2	A. marmorata	386	100	170	18.1			185	112964
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	425	110	195	20.0			256	113610
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	102						2	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	282	72	120	17.0			41	113896
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	170						4	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	310	78	130	16.8			55	113199
15/04/2015	RDA1	2	A. marmorata	460	118	210	20.0			231	112823
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	280	72	122	17.9			40	113336
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	130						3	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	120						4	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	170	45	90	26.5			10	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	142	38					4	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	135						3	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	150						8	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	310	80	140	19.4			52	113115
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	152						5	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	128						6	
15/04/2015	RDA1	1	A. marmorata	1130	315	510	17.3	55.27	10.43	3200	113767

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
16/04/2015	Pont2	2	A. marmorata	487	128	215	17.9	18.4	5.98	274	113825
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	426	103	180	18.1	163		153	112803
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	310	80	134	17.4			62	112480
16/04/2015	Pont2	2	A. marmorata	381	99	171	18.9	18.3		120	114189
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	158	39	66	17.1			8	
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	161	42	67	15.5			6	
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	166	40	65	15.1			7	
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	225	55	96	18.2			21	
16/04/2015	Pont2	2	A. marmorata	285	72	113	14.4			36	112593
16/04/2015	Pont2	2	A. marmorata	249	65	102	14.9			27	112692
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	834	245	400	18.6	63.37	8.57	2760	113009
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	918	275	426	16.4	54.97	9.88	2000	112991
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	886	270	426	17.6	55.97	10.86	2280	112384
16/04/2015	Pont2	2	A. marmorata	816	240	390	18.4	51.19	14.59?	1534	113025
16/04/2015	Pont2	1	A. marmorata	228	55	96	18.0			20	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	927	255	443	20.3	57.98	8.86	1600	113108
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	916	258	437	19.5	50.13	9.53	1900	113155
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	196	53	82	14.8			15	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	250	65	107	16.8			22	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	139	46	56	7.2			5	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	187	48	79	16.6			11	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	155	39	62	14.8			7	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	114	32	47	13.2			2	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	175	67	75	4.6			9	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	112	23	45	19.6			2	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	105	25	44	18.1			2	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	186	47	74	14.5			11	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	209	50	82	15.3			16	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	171	43	68	14.6			9	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	145	35	54	13.1			6	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	212	54	91	17.5			19	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	161	44	71	16.8			6	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	210	55	90	16.7			16	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	191	46	82	18.8			12	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	203	50	82	15.8			14	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	173	43	74	17.9			8	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	223	59	94	15.7			20	
17/04/2015	Pont1	2	A. marmorata	249	63	99	14.5			25	112841
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	187	47	80	17.6			11	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	246	65	104	15.9			26	112706
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	236	58	100	17.8			20	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	200	50	86	18.0			14	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	200	47	86	19.5			13	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	204	53	85	15.7			14	

Date	Station	Cap	Espèce	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Tag
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	207	51	86	16.9			15	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	216	55	89	15.7			17	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	211	51	90	18.5			17	
17/04/2015	Pont1	2	A. marmorata	250	61	100	15.6			30	113953
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	209	56	87	14.8			15	
17/04/2015	Pont1	2	A. marmorata	280	69	120	18.2			43	112697
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	256	68	112	17.2			33	114028
17/04/2015	Pont1	1	A. megastoma	380	103	149	12.1			69	113260
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	199	49	85	18.1			13	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	183	44	80	19.7			10	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	260	70	115	17.3			34	113714
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	205	50	86	17.6			15	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	310	82	130	15.5			52	112491
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	243	64	104	16.5			27	112747
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	215	51	80	13.5			17	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	312	79	135	17.9			59	114206
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	267	70	116	17.2			34	114262
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	362	90	154	17.7			102	113519
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	320	80	140	18.8			60	112655
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	220	56	96	18.2			19	
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	293	78	120	14.3			54	113474
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	319	84	140	17.6			63	113886
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	252	66	107	16.3			29	114000
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	485	135	220	17.5			256	112807
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	290	73	122	16.9			40	113840
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	345	90	155	18.8			89	112817
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	270	68	115	17.4			34	107855
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	307	84	130	15.0			57	113529
17/04/2015	Pont1	2	A. marmorata	625	163	275	17.9			576	113529
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	408	102	175	17.9			149	114142
17/04/2015	Pont1	1	A. marmorata	355	90	142	14.6			70	112327

Annexe 3. Tableau des recaptures Populations adultes

Date	Station	Cap	LT	Poids	Tag
03/02/2015	Marae	1	370	105	113924
09/03/2015	Marae	2	382	110	113924
03/02/2015	Marae	1	900	1420	112279
09/03/2015	Marae	2	850	1415	112279
04/02/2015	RDA2	1	540	425	114245
10/03/2015	RDA2	2	540	425	114245
04/02/2015	RDA2	1	490	335	113569
10/03/2015	RDA2	2	500	360	113569
05/02/2015	RDA1	1	350	80	113587
11/03/2015	RDA1	2	347	80	113587
02/02/2015	Pont2	1	470	260	112325
12/03/2015	Pont2	2	470	255	112325
02/02/2015	Pont2	1	360	110	114244
12/03/2015	Pont2	2	370	110	114244
11/02/2015	Pont1	1	340	80	107007
13/03/2015	Pont1	2	336	75	107007
09/03/2015	Marae	1	281	35	113994
13/04/2015	Marae	2	280	40	113994
11/03/2015	RDA1	1	715	920	112839
15/04/2015	RDA1	2	716	700	112839
10/03/2015	RDA2	1	870	1590	112503
15/04/2015	RDA1	2	900	1000	112503
11/03/2015	RDA1	1	945	2465	113178
15/04/2015	RDA1	2	945	2000	113178
11/03/2015	RDA1	1	390	115	112964
15/04/2015	RDA1	2	386	185	112964
02/02/2015	Pont2	1	480	280	113825
16/04/2015	Pont2	2	487	274	113825
14/01/2014	Pont2	1	374	105	114189
16/04/2015	Pont2	2	381	120	114189
12/03/2015	Pont2	1	282	40	112593
16/04/2015	Pont2	2	285	36	112593
14/01/2014	Pont2	1	234	20	112692
16/04/2015	Pont2	2	249	27	112692
12/03/2015	Pont2	1	820	1635	113025
16/04/2015	Pont2	2	816	1534	113025
13/03/2015	Pont1	1	253	30	112841
17/04/2015	Pont1	2	249	25	112841
13/03/2015	Pont1	1	247	30	113953
17/04/2015	Pont1	2	250	30	113953

Date	Station	Cap	LT	Poids	Tag
13/03/2015	Pont1	1	282	45	112697
17/04/2015	Pont1	2	280	43	112697
17/04/2015	Pont1	1	307	574	113529
17/04/2015	Pont1	2	625	576	113529

Annexe 4. Tableau des captures Parasitologie

Date	Espèce	Station	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Branchies	Contenu stomacal	Estomac	Tube digestif	Vessie natatoire
14/01/2015	A. marmorata	Pont2	725	197	324	17.52	35	7	945	rien	1 limace	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	555	225	238	2.34	23.8		360	rien	1 poisson	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	355	145	160	4.23	13.22	3.17	95	rien	poissons	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	317	120	144	7.57	13.99	2.91	60	rien	crevette	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	350	140	155	4.29	13.86	3.2	90	rien	non identifiable	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	275	110	120	3.64	7.33	2.13	35	rien	non identifiable	rien	rien	rien
24/02/2015	A. obscura	Golf	305	115	135	6.56	10.48	3.6	55	rien	non identifiable	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	495	125	225	20.20	19.47	4.95	275	rien	non identifiable	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	705	195	315	17.02	33	6.43	895	rien	1 crevette	rien	rien	1 ver
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	630	160	260	15.87	23.82	5.68	440	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	540	150	250	18.52	17.43	5.33	395	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	700	180	310	18.57	29.93	6.43	910	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	720	180	310	18.06	30.39	6.14	630	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	303	80	130	16.50	17.55	2.73	50	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	347	95	155	17.29	13.07	2.88	75	rien	vide	rien	rien	rien
04/03/2015	A. marmorata	Paopao	315	85	135	15.87	12.4	3.11	60	rien	vide	rien	rien	rien
11/03/2015	A. marmorata	RDA1	255	68	106	14.90	8.36	2.02	35	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	337	90	146	16.62	13.41	3.88	75	rien	5 poissons	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	358	92	155	17.60	12.71	3.58	80	rien	crevettes, débris végétaux	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	315	81	136	17.46	14.02	3.14	60	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	372	100	160	16.13	14.94	4.3	90	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	270	70	117	17.41			35	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	318	85	137	16.35			55	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	373	102	170	18.23			105	rien	vide	rien	rien	rien
18/03/2015	A. marmorata	Paopao	890	250	425	19.66	44	7	1875	rien	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	725	200	350	20.69	35.92	7.87	1260	18 copépodes	vide	rien	rien	rien

Date	Espèce	Station	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Branchies	Contenu stomacal	Estomac	Tube digestif	Vessie natatoire
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	780	210	360	19.23	39.67	8.95	1295	1 copépode	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	640	170	285	17.97	28.14	6.28	715	4 copépodes	2 poissons	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	420	110	185	17.86	15.95	4.07	155	3 copépodes	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	355	100	165	18.31	15.13	3.67	95	rien	1 poisson	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	385	105	170	16.88	15.92	3.74	115	rien	non identifiable	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	280	80	125	16.07	10.12	3.14	40	rien	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	530	140	235	17.92	22.34	5.97	330	rien	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	420	110	185	17.86	18.76	4.72	155	rien	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	285	75	125	17.54	12.26	2.7	40	rien	vide	rien	rien	rien
26/03/2015	A. marmorata	Paopao	282	75	125	17.73	12.3	2.57	40	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	293	115	130	5.12	11.39	2.94	35	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	250	95	110	6.00	8.23	2.26	20	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	263	100	115	5.70	9.51	2.28	25	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	310	120	137	5.48	12.31	3.24	45	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	250	95	110	6.00	9.15	2.14	25	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	427	170	192	5.15	16.47	4.95	160	rien	vide	rien	rien	rien
02/04/2015	A. obscura	Golf	374	145	161	4.28	14.77	4.72	80	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. obscura	CRIOBE	398	160	185	6.28	15.18	4.99	145	rien	vide	1 ver	8 vers	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	339	85	147	18.29	13.55	3.14	75	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	310	80	135	17.74	11.88	3.11	55	rien	non identifiable	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	273	70	120	18.32	10.7	3.03	35	rien	non identifiable	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	712	190	320	18.26	30.94	5.51	985	1 copépode	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	292	75	127	17.81	11.7	3.05	45	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	285	75	123	16.84	6.63	2.49	40	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	335	85	145	17.91	12.54	3.59	65	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	330	85	142	17.27	12.72	3.74	60	rien	vide	rien	rien	rien

Date	Espèce	Station	LT	ND	NA	Ratio	NP	Œil	Poids	Branchies	Contenu stomacal	Estomac	Tube digestif	Vessie natatoire
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	305	80	130	16.39	11.72	3.33	50	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	383	95	165	18.28	16.61	4.09	95	25 copépodes	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	385	100	167	17.40	15.42	4.1	110	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	370	95	165	18.92	14.55	3.74	95	rien	vide	rien	1 ver	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	500	130	221	18.20	23.41	4.49	305	2 copépodes	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	390	110	180	17.95	14.87	3.9	120	rien	vide	rien	rien	rien
06/04/2015	A. marmorata	Paopao	401	105	177	17.96	16.15	4.1	125	rien	vide	rien	rien	rien
08/04/2015	A. marmorata	Golf	399	101	177	19.05	14.87	4.26	125	rien	vide	rien	rien	rien
08/04/2015	A. obscura	Golf	403	165	182	4.22	16.46	4.21	120	rien	vide	rien	rien	rien
08/04/2015	A. obscura	Golf	497	200	225	5.03	19.58	4.84	255	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	622	245	276	4.98	26.7	6.41	478	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	425	170	190	4.71	17.31	3.71	122	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	393	150	175	6.36	13.21	4.53	99	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	277	111	122	3.97	8.95	2.4	36	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	328	125	146	6.40	11.52	3.12	57	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	330	130	147	5.15	14.72	3.21	59	rien	vide	rien	rien	rien
14/04/2015	A. obscura	CRIOBE	359	143	160	4.74	13.24	3.26	80	rien	vide	rien	rien	rien
20/04/2015	A. obscura	Paopao	580	225	262	6.38	23	6	502	rien	vide	rien	rien	rien
20/04/2015	A. obscura	Paopao	482	200	217	3.53	19	6	219	rien	vide	rien	rien	rien
20/04/2015	A. obscura	Paopao	717	290	335	6.28	33	7	842	rien	vide	rien	rien	rien
24/04/2015	A. obscura	CRIOBE	435	170	192	5.06	18.45	3.96	149	rien	vide	rien	rien	rien
24/04/2015	A. obscura	CRIOBE	332	126	185	17.77	11.44	3.5	64	rien	1 poisson	rien	rien	rien
24/04/2015	A. obscura	CRIOBE	291	115	130	5.15	11.52	3.42	50	rien	1 crevette	rien	rien	rien