

Département Ressources Biologiques et Environnement -RBE  
Délégation Ifremer Océan Indien - DOI  
Station de La Réunion

David ROOS  
Yoann AUMOND  
Jérôme HUET  
Franck BRUCHON

Juillet 2015 – RST/RBE-DOI/ 2015-11



**ifremer**



## Indicateurs biologiques et écologiques pour une gestion durable des stocks de poissons démersaux profonds d'intérêt halieutique (100-700 m) à La Réunion





# **PROJET ANCRE-DMX2**

**Connaissances et gestion des stocks de poissons démersaux à La Réunion (DMX2)**



## Fiche documentaire

<b>Numéro d'identification du rapport</b> : RST/RBE-DOI/2015-11 <b>Diffusion</b> : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		<b>date de publication</b> : 01/07/2015 <b>nombre total de pages</b> : 270 <b>dont annexes</b> : 130 <b>illustration(s)</b> : 112 <b>langue du rapport</b> : Français
<b>Validé par</b> : DUVAL Magali (Délégué Ifremer La Réunion) & BISEAU Alain (Coordinateur des expertises halieutiques – Ifremer)		
<b>Titre de l'article</b> : PROJET ANCRE-DMX2 : Indicateurs biologiques et écologiques pour une gestion durable des stocks de poissons DémersauxX profonds (100–700 m) d'intérêt halieutique à La Réunion		
Contrat n°40055/DMSOI/2013      Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Auteurs principaux</b> :  David ROOS <sup>1</sup> Yoann AUMOND <sup>1</sup> Jérôme HUET <sup>1</sup> Franck BRUCHON <sup>1</sup>  Contact : <a href="mailto:David.Roos@ifremer.fr">David.Roos@ifremer.fr</a>		<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> : <sup>1</sup> IFREMER ; Département Ressources Biologiques et Environnement ; Délégation Océan Indien <sup>2</sup> IFREMER ; pôle de Sclérochronologie à Boulogne sur Mer <sup>3</sup> UMR9220 ENTROPIE, Université de La Réunion (laboratoire ECOMAR) <sup>4</sup> Pêcheurs professionnels <sup>5</sup> CRPME de La Réunion
<b>Partenaires scientifiques</b> :  Sébastien JAQUEMET <sup>3</sup> Anaïs SADEYEN <sup>3</sup> Clément TRYSTRAM <sup>3</sup>  Natacha NIKOLIC <sup>1</sup>  Kelig MAHE <sup>2</sup> Khalef RABHI <sup>2</sup> Elise BELLAMY <sup>2</sup> Romain ELLEBOODE <sup>2</sup>	<b>Partenaires professionnels</b> :  Jean BOUTILLON <sup>4</sup> Patrick CONSTANT <sup>4</sup> Sébastien CONSOLI <sup>4</sup> Pascal ENILORAC <sup>4</sup> Jean-Marc HOARAU <sup>4</sup> Expedit HUET <sup>4</sup> Expedit LACAILLE <sup>4</sup> Joseph Alix PAYET <sup>4</sup> David RAKOTOMALALA <sup>4</sup> Jean-Yves VISNELDA <sup>4</sup> Sandra HOHMANN <sup>5</sup>	<b>Collaborateurs</b> :  Magali DUVAL <sup>1</sup> Annie PERRINE <sup>1</sup> Gaëtan HERVE <sup>1</sup> Victor MARTIN-BAILLET <sup>1</sup> Edouard COLLIN <sup>1</sup> Alexis PUECH <sup>1</sup> Ludovic HOARAU <sup>1</sup> Sandra FAURE <sup>1</sup> Ambre MALET <sup>1</sup> Hugues EVANO <sup>1</sup>
Cadre de la recherche : Projet ANCRE-DMX2, Mesure n°3.6 du volet Réunion du P.P FEP 2007-2013, Convention n° 40055/DMSOI/2013.		
Destinataire : DMSOI		
<b>Mots-clés</b> : Poissons démersaux, pêche profonde, La Réunion, pêche artisanale côtière, indicateurs biologiques et écologiques, stock halieutique, <i>Lutjanidae</i> , <i>Bramidae</i> , <i>Epinephelidae</i> , <i>Squalidae</i> , ligne à main mécanisée, isotopes stables, contenus stomacaux, génétique, sclérochronologie		
<b>Words keys</b> : Demersal fish, deepwater fishery, Reunion island, artisanal fishery, bio-ecological indices, fish stock, <i>Lutjanidae</i> , <i>Bramidae</i> , <i>Epinephelidae</i> , <i>Squalidae</i> , electric reel fishing gear, isotopic analyses, stomach contents, genetic, sclerochronology		

### Résumé

L'usage de la ligne à main mécanisée (moulinet électrique) s'est développé à La Réunion au cours des années 2000. Ce métier s'est développé à la suite d'une campagne de prospection des ressources halieutiques profondes (200-700m), menée conjointement par le CRPMEM et l'Ifremer en 2000. L'objectif de cette campagne par pêche au moulinet électrique visait à identifier de nouvelles ressources démersales à des fins de diversification pour la petite pêche artisanale côtière professionnelle réunionnaise. Ainsi, les premiers résultats de cette étude avaient mis en évidence l'existence de nouvelles espèces et des stocks encore peu exploités à l'époque.

Leur exploitation par la pêche professionnelle mais aussi par la pêche plaisancière s'est dès lors développée rapidement, sans aucun contrôle. En l'absence de cadre juridique et de mesures de gestion appropriés, la baisse rapide des rendements et les conflits pour l'accès à ces ressources profondes limitées et réputées sensibles à l'exploitation avaient motivé un précédent projet d'étude pour caractériser l'état de ces ressources (ANCRE-DMX, nommé DMX1, Ifremer 2011). Ce premier diagnostic réalisé à peine 10 ans après le début de l'exploitation des principales espèces avait mis en évidence des premiers signes d'une exploitation non soutenable des ressources dans l'ouest et le nord de La Réunion.

Il avait été alors préconisé de lever des lacunes importantes concernant la biologie et l'écologie des espèces, d'évaluer l'état de ces stocks et enfin, de définir des indicateurs biologiques et halieutiques permettant de suivre l'évolution de ces différents stocks. En effet, les stocks de poissons démersaux profonds sont connus pour leur vulnérabilité (croissance lente, maturité sexuelle tardive, recrutement aléatoire...), et ce d'autant plus que leurs habitats sont particulièrement restreints à La Réunion.

Le présent projet DMX2 a donc eu pour principal objectif d'établir, à partir d'une approche « indicateur », les bases des connaissances halieutiques, biologiques et écologiques manquantes sur les 6 principales espèces ciblées par la pêcherie à la ligne mécanisée. Le plan d'échantillonnage mis en place a couvert des profondeurs comprises entre 80 et 700 mètres, intégrant pour la première fois les zones de transition plus côtières. La période d'échantillonnage s'est déroulée sur un cycle annuel complet, soit d'avril 2014 à mai 2015, avec le concours de 10 pêcheurs professionnels répartis tout autour de l'île. Ainsi, 143 marées ont permis d'échantillonner 3984 individus et plus de 60 espèces différentes. Pour les principales espèces retenues, le suivi des captures en mer et les prélèvements biologiques réalisés ont permis d'appréhender leur rendement, leur structure démographique, leurs relations biométriques, l'étude de leur croissance, leur cycle de reproduction, leur taille de première maturité, la composition relative de leur alimentation ainsi que la variabilité de leur condition corporelle selon les saisons et en fonction des secteurs géographiques de l'île. Pour certaines espèces, les paramètres biologiques et écologiques obtenus n'avaient jamais été étudiés à ce jour.

A partir des indicateurs populationnels et bio-écologiques retenus dans le projet, il a été possible d'évaluer l'état de santé des principaux stocks exploités et de les confronter à la situation et à l'évolution de la pêcherie ciblant ces espèces. Sur la base d'une approche de précaution, les diagnostics rendus sont variables selon l'état de santé de chacun des stocks et de leur sensibilité à l'exploitation.

L'approche « indicateur » développée dans le cadre de ce projet a été appliquée aux données historiques disponibles. Ces indicateurs seront désormais proposés dans le cadre des suivis qui devront être mis en place dans la définition d'un plan de gestion des ressources démersales profondes à La Réunion. La définition du plan de gestion devra être discutée et validée auprès des différents usagers pêcheurs ainsi que des gestionnaires scientifiques, professionnels et administratifs.

# sommaire

<b>CONTRIBUTEURS AU PROJET DMX2 .....</b>	<b>11</b>
<b>Coordination.....</b>	<b>11</b>
<b>Partenaires.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Contexte et objectifs du projet DMX2.....</b>	<b>13</b>
1.1. Des ressources démersales profondes fragiles et peu connues.....	13
1.2. Enjeux et originalité du projet DMX2 .....	16
1.2.1. Un projet orienté vers une approche écosystémique des pêches .....	16
1.2.2. De la gestion rationnelle des pêches à la mise en place d'indicateurs populationnels pour la durabilité des écosystèmes exploités à La Réunion .....	16
1.3. Objectifs du projet DMX2.....	17
<b>VOLET A : CAMPAGNES A LA MER .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Méthodologies mises en œuvre .....</b>	<b>19</b>
2.1. Stratégie d'échantillonnage des captures par unité d'effort .....	19
2.2. Réalisation et organisation des campagnes à la mer .....	20
2.3. Réalisation et organisation de l'échantillonnage biologique en mer .....	21
2.4. Matériels et conditions de pêche .....	23
2.4.1. Description de l'engin et de la technique de pêche.....	23
2.4.2. Conditions influençant la pêche et la capturabilité des espèces ciblées .....	24
2.5. Spatialisation de l'étude et des résultats.....	25
2.6. Caractérisation des sorties, des filages et des captures en mer.....	26
2.7. Gestion et exploitation des données collectées .....	28
2.7.1. La base de données DMX2.....	28
2.7.2. Intégration des données DMX 2000 et 2011.....	30
2.7.3. Validation des données .....	30
2.7.4. Outils et méthodes d'analyses graphiques et statistiques .....	31
<b>3. Bilan global de l'échantillonnage .....</b>	<b>31</b>
3.1. Bilan des sorties .....	31
3.2. Bilan des filages .....	32
3.3. Bilan des captures.....	34
<b>4. Choix des espèces commerciales retenues dans le cadre du projet.....</b>	<b>37</b>
<b>5. ACTION 1 – Analyses des indicateurs halieutiques pour les espèces retenues</b>	<b>39</b>
5.1. Distribution en taille par espèce .....	39
5.2. La capture par unité d'effort (CPUE) .....	42
5.2.1. Analyse descriptive des CPUE par sortie .....	42
5.2.1.1. Résultats descriptifs de la CPUE-sortie par secteur .....	43
5.2.1.2. Résultats descriptifs de la CPUE-sortie par mois .....	44
5.2.2. Analyse descriptive de la CPUE par filage.....	44
5.2.2.1. Résultats descriptifs de la CPUE-filage par secteur.....	45
5.2.2.2. Résultats descriptifs de la CPUE-filage par mois .....	46
5.2.3. Discussion sur la sensibilité de l'indicateur CPUE-sortie et filage.....	47
5.3. Calcul de l'estimateur CPUE-filage standardisé par espèce. ....	48
5.3.1. Effets de l'habitat et du rythme circadien sur les CPUE-filage par espèce. ....	48
5.3.2. Estimation de l'indicateur CPUE-filage par espèce en 2014 .....	52
5.3.3. Evolution de l'indicateur CPUE-filage spécifique de 2000 à 2014 .....	53
<b>6. ACTION 2 – Analyses des données de captures des pêcheurs plaisanciers ...</b>	<b>56</b>

## **VOLET B : BIOLOGIE-ECOLOGIE DES PRINCIPALES ESPECES CAPTUREES .....57**

### **7. ACTION 3– Cycle biologique et croissance .....57**

7.1. Mesures et matériels biologiques prélevés .....	57
7.1.1. Mesures biométriques .....	58
7.1.2. Prélèvements et observations réalisés .....	58
7.1.2.1. Prélèvements pour l'étude de croissance .....	59
7.1.2.2. Prélèvements pour l'analyse des contenus stomacaux .....	60
7.1.2.3. Prélèvements pour analyse des signatures isotopiques .....	60
7.1.2.4. Prélèvements pour l'analyse génétique .....	61
7.2. Méthodologie d'analyse des données biologiques.....	61
7.2.1. Relations biométriques.....	61
7.2.2. Age et modèle de croissance.....	62
7.2.3. Sexe et maturité sexuelle.....	63
7.2.3.1. Observations macroscopiques des sexes et des stades de maturité.....	63
7.2.3.2. Indice gonado-somatique (IGS).....	65
7.2.3.3. Taille de première maturité sexuelle.....	65
7.2.3.4. Sex-ratio.....	65
7.2.4. Indice de condition corporel relatif (Kn).....	66
7.3. Analyse des résultats biologiques par espèce.....	66
7.3.1. Le vivaneau gros-tête (ETA) .....	66
7.3.1.1. Relations biométriques .....	67
7.3.1.2. Modèle de croissance.....	67
7.3.1.3. Biologie de la reproduction.....	69
7.3.1.3..1 Sex-ratio.....	69
7.3.1.3..2 Cycle de reproduction.....	69
7.3.1.3..3 Taille de première maturité sexuelle (L <sub>50</sub> ) .....	70
7.3.1.4. Indice de condition.....	71
7.3.2. Le vivaneau la flamme (ETC).....	72
7.3.2.1. Relations biométriques .....	72
7.3.2.2. Modèle de croissance.....	73
7.3.2.3. Biologie de la reproduction.....	74
7.3.2.3..1 Sex-ratio.....	74
7.3.2.3..2 Cycle de reproduction.....	74
7.3.2.3..3 Taille de première maturité sexuelle (L <sub>50</sub> ) : .....	75
7.3.2.4. Indice de condition.....	76
7.3.3. Le requin zépine (DOP) .....	77
7.3.3.1. Relations biométriques .....	77
7.3.3.2. Modèle de croissance.....	78
7.3.3.3. Biologie de la reproduction.....	78
7.3.3.3..1 Sex-ratio.....	78
7.3.3.3..2 Cycle de reproduction.....	78
7.3.3.3..3 Taille de première maturité sexuelle (L <sub>50</sub> ) .....	79
7.3.3.4. Indice de condition.....	81
7.4. Discussion .....	81

### **8. ACTION 4 : Contenus stomacaux et écologie trophique .....85**

8.1. Matériel et Méthodes .....	85
8.1.1. Bilan des prélèvements et des traitements d'échantillons.....	85
8.1.2. Méthodes d'analyse .....	86
8.1.2.1. Analyse des contenus stomacaux .....	86
8.1.2.1..1 Traitement des échantillons pour les analyses isotopiques .....	87
8.2. Résultats et discussion .....	89
8.2.1. Analyse du régime alimentaire des poissons .....	89
8.2.2. Analyses isotopiques .....	91
8.2.2.1. La matière organique .....	91



8.2.2.2.	Les proies.....	93
8.2.2.3.	Les poissons.....	94
8.2.2.4.	Approche spatiale.....	96
8.2.2.5.	Approche ontogénique.....	98
8.3.	Conclusion.....	100

## **9. ACTION 5 : Différenciation d'espèces de vivaneaux rouges à l'aide de l'outil génétique à La Réunion..... 101**

9.1.	Matériel et Méthode.....	101
9.1.1.	Echantillonnage.....	101
9.1.2.	Marqueur génétique.....	101
9.1.3.	Extraction d'ADN et PCR.....	101
9.1.4.	Analyses génétiques.....	102
9.2.	Résultats.....	103
9.2.1.	Marqueur génétique.....	103
9.2.2.	Séquences.....	104
9.2.3.	Analyses génétiques.....	104
9.3.	Conclusion.....	109
9.4.	Perspectives.....	110

## **VOLET C : TENTATIVE DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE SANTE ET DE LA SENSIBILITE DES 7 PRINCIPAUX STOCKS A L'EXPLOITATION ET PROPOSITIONS DE MESURES DE GESTION..... 111**

### **10. Evolution des indicateurs d'efforts et de captures de la pêche professionnelle ..... 112**

10.1.	Evolution de l'effort de pêche nominal.....	112
10.2.	Evolution de l'effort de pêche effectif et des productions associées.....	114

### **11. Diagnostics sur les sept stocks étudiés ..... 116**

11.1.	Le vivaneau gros-tête ( <i>Etelis carbunculus</i> ).....	117
11.2.	Le vivaneau la flamme ( <i>Etelis coruscans</i> ).....	118
11.3.	Le vivaneau cerf-volant ( <i>Pristipomoides argyrogrammicus</i> ).....	119
11.4.	Le vivaneau gros-écale ( <i>Pristipomoides multidentis</i> ).....	120
11.5.	Le cabot rayé ( <i>Epinephelus radiatus</i> ).....	121
11.6.	Le zambas ( <i>Eumegistus illustris</i> ).....	122
11.7.	Le requin zépine ( <i>Squalus megalops</i> ).....	123

### **12. Éléments de gestion et procédures de suivi à pérenniser ..... 124**

### **13. Références bibliographiques ..... 127**

### **14. Liste des figures..... 136**

### **15. Liste des tableaux ..... 138**

### **16. Liste des annexes ..... 140**



---

# CONTRIBUTEURS AU PROJET DMX2

## Coordination



**La Délégation IFREMER Océan Indien** est à l'initiative du projet DMX2. Elle a mené et coordonné le projet dans sa globalité. Ses responsabilités en tant que maître d'ouvrage sont les suivantes :

- La définition des objectifs scientifiques du projet ainsi que la sélection des partenaires qui sont intervenus lors des phases d'échantillonnage. Lorsque nécessaire, les termes des partenariats ont été contractualisés.
- La coordination des actions avec les différents partenaires lors des phases d'échantillonnage ou d'analyses des échantillons.
- La réalisation des actions : 1 (campagne à la mer) ; 3 (cycle biologique et croissance) ; 5 (génétique) ; 6 (caractérisation et suivi des stocks) ; 7 (mesures de gestion).

## Partenaires

**Le pôle de Sclérochronologie de l'Ifremer à Boulogne sur Mer** est le laboratoire français de référence pour l'estimation d'âge des poissons marins. Il a eu en charge, sous la direction de Monsieur Kelig MAHE, les lectures d'âge des poissons et la modélisation des courbes de croissance des 6 espèces retenues dans le projet DMX2 (Action 3, volet croissance). Les résultats et les analyses ont fait l'objet d'un rapport fourni en Annexe 2, à partir duquel les principaux résultats ont été extraits pour chacune des espèces étudiées.



**Le laboratoire ECOMAR** est le laboratoire d'Ecologie Marine de l'Université de La Réunion. Depuis, le 1<sup>er</sup> janvier 2015, sa dénomination officielle est l'UMR 9220 Entropie (Ecologie marine Tropicale des Océans Pacifique et IndiEn). C'est une unité mixte de recherche de l'Université de La Réunion, de l'IRD et du CNRS-INEE qui travaille sur les aspects évolutifs et fonctionnels de la biodiversité marine tropicale et sur l'impact des activités humaines sur les écosystèmes marins.



Dans le cadre du projet DMX2, l'équipe a été en charge du volet sur l'écologie trophique (action 4), qui comprend l'analyse des contenus stomacaux, l'analyse des signatures isotopiques des captures et des proies, ainsi que le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'eau et de sédiments. Cette action a été menée sous la responsabilité de Monsieur Sébastien JAQUEMET, enseignant-chercheur de l'université de La Réunion, rattaché à l'UMR ENTROPIE. Les principaux résultats concernant cette action font l'objet des résultats de l'action 4.



## 1. Contexte et objectifs du projet DMX2

Les politiques internationales sont de plus en plus favorables à un retour et à un maintien des pêcheries artisanales, et notamment des pêcheries aux petits métiers (Sommet de Reykjavik (2002)). Si ces pêcheries sont difficiles à définir dans leur ensemble, tant elles s'avèrent uniques de par leur système naturel et social, elles apparaissent ainsi comme des modes d'exploitation potentiellement durables des ressources halieutiques. Le nombre d'emplois concernés, la consommation énergétique, la distribution des revenus, la qualité et la valorisation des produits de la pêche, ainsi que la diversité culturelle et l'importance sociale et économique des pêcheries artisanales sont autant d'arguments qui plaident pour le maintien et le développement de cette composante importante de la pêche (Proude 1973 ; Béné 2003 ; Chuenpagdee et al. 2003 ; Mathew 2003 ; Griffiths et al. 2007 ; Jacquet et Pauly 2008, Carvalho et al. 2011). Ces pêcheries sont souvent considérées comme étant « le meilleur espoir » pour une utilisation raisonnée des ressources marines, et en particulier côtières, même si leur évolution se doit d'être suivie (Pauly 2006 ; Alfaro-Shigueto et al. 2010).

### 1.1. Des ressources démersales profondes fragiles et peu connues

L'exploitation mondiale des populations de poissons démersaux tropicaux dits « profonds » est globalement peu documentée et peu valorisée sur le plan scientifique. Les informations disponibles sont très disparates selon les pays et bien souvent agrégées entre les espèces, de telle sorte qu'il est difficile de retracer les débarquements spécifiques dans le temps et selon les territoires. Ainsi, le rapport annuel 2013 de la FAO regroupe l'ensemble de ces captures sous le terme générique de « demersal fishes », soit un regroupement d'espèces qui semble inclure nos espèces profondes, tels que les vivaneaux, mais aussi d'autres espèces telles que les grenadiers. Les espèces étudiées dans le cadre de ce projet ne sont donc pas distinguées, alors que leur répartition semble plutôt ubiquiste au sein des zones Indopacifiques. Leurs exploitations y sont réalisées par des pêcheries de types artisanales, voire semi industrielles, généralement à la palangre de fond et au moulinet électrique.

Dans le Pacifique, les espèces profondes tropicales et subtropicales profondes ont fait l'objet d'exploitation soutenues depuis plusieurs générations (Williams et al, 2013). Les déplétions locales des stocks dans plusieurs pêcheries ont soulevé des inquiétudes quant à la durabilité de ces dernières. Les évaluations quantitatives des stocks profonds dans cette région ont été limitées par le manque de données biologiques et le suivi adéquat des captures. Le programme ZONECO, mené en Nouvelle-Calédonie, a permis de préciser différents éléments pour une gestion durable des stocks de vivaneaux profonds (Loeun et al, 2012). Ainsi la biologie et la vulnérabilité à la pêche des deux principales espèces de vivaneaux profonds ont été traitées, le vivaneau rouge gros-tête (*Etelis carbunculus*) et le vivaneau la flamme (*E. coruscans*) (Williams et al, 2013). Les résultats des campagnes scientifiques et l'analyse de séries historiques de données de pêche ont permis de préciser les paramètres de croissance de ces deux principales espèces, la caractérisation génétique des populations, les biomasses de reproducteurs par

recrue et les taux de mortalité par pêche. L'analyse par modèle de la biomasse par recrue de reproducteurs a démontré que le vivaneau flamme est bien plus sensible à l'exploitation que le vivaneau rouge gros-tête pour le maintien d'un stock de reproducteurs. Ainsi il serait plus opportun de mettre en place des mesures de gestion visant à la régulation de la mortalité par pêche plutôt que de la sélectivité des engins pour les deux espèces. Le maintien de la mortalité par pêche  $< 0,1$  pour les deux espèces serait alors recommandé comme une approche prudente de la gestion, compte tenu de l'incertitude des estimations des paramètres de la mortalité (naturelle et pêche).

A Hawaï, les pêcheries commerciales et récréatives des espèces démersales profondes (100-400 m) sont suivies depuis le début des années 1900 (Haight et al, 1993). Les espèces appartenant à la famille des lutjanidés composent l'essentiel des captures. Toutefois peu de données existent sur les traits d'histoire de vie de ces espèces. Les recherches menées à Hawaii et plus globalement dans le Pacifique suggèrent que la plupart de ces espèces ont une croissance lente, une vie longue, et un âge de première maturité tardif. Les analyses menées sur les données de pêcheries commerciales indiquent que la plupart des stocks seraient surexploités. Les programmes menés à ce jour ont visé à déterminer l'efficacité des mesures de gestion mises en place telles que la taille minimale de capture ou encore les fermetures saisonnières ou spatiales de la pêche pour maintenir une biomasse optimale de géniteurs pour chacune des espèces concernées.

L'étude de la vulnérabilité à l'exploitation des stocks quasi vierge de poissons démersaux profonds en Papouasie nouvelle Guinée (1999-2002) à partir de campagnes de pêche à la palangre verticale a permis d'estimer les taux de capture et les paramètres de croissances des principales espèces (Fry et al, 2006). Cette étude a évalué la productivité du système en biomasse et a mis en évidence la variabilité géographique des rendements obtenus selon le type d'habitat et préconisé une approche de précaution, incluant un suivi à long terme des captures si ces stocks devaient être exploités commercialement.

A l'échelle régionale, une prospection des ressources côtières démersales profondes autour de Mayotte à l'aide de palangre verticale a été réalisée de juillet 2004 à juin 2005 (Herfault et al, 2005). Cette étude a permis de déterminer les principales espèces capturées mais n'a pas permis de déterminer l'état de ces ressources. Les principales espèces capturées concernent les vivaneaux rouges gros-tête (60% des prises) et flamme (20% des prises). Sans connaissance sur l'état des stocks, le principe de précaution a été préconisé avec la recommandation de ne pas exploiter de manière soutenue ces stocks réputés sensibles à l'exploitation.

A La Réunion, le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CRPMEM), appuyé par l'Ifremer, avait initié en 2000, une étude prospective sur le potentiel halieutique des ressources démersales profondes comprises entre 200 et 700 mètres de profondeur (ici nommé projet DMX0, Roos et al., 2001). L'objectif était de mettre en évidence des ressources complémentaires pour la pêcherie démersale côtière professionnelle et tester une nouvelle méthode de pêche au moulinet électrique. Les relations biométriques (tailles et poids), la structuration en taille ainsi que des observations sur la maturité des poissons, avaient été collectées en complément de l'objectif principal de prospection. Les principaux résultats avaient mis en avant le potentiel d'exploitation du vivaneau flamme et d'une espèce peu connue, le zambas

(*Eumegistus illustris*) (aussi nommé monchong ou castagnole), comme espèce d'intérêt majeur. Au-delà de l'intérêt halieutique dégagé et des suggestions de cartographie des habitats autour de l'île, il avait été recommandé une approche de précaution. Cette dernière visait à ne pas favoriser la mise en exploitation d'unités de pêche performantes ciblant principalement ces ressources sensibles à l'exploitation, mais plutôt de la considérer comme une activité complémentaire potentielle pour les seules unités de la flottille de petite pêche professionnelle.

Suite à cette étude, l'usage du vire-ligne ou du moulinet électrique s'est développé exponentiellement à La Réunion dès le début des années 2000, permettant une diversification sur de nouvelles ressources halieutiques pour les professionnels, mais aussi pour les pêcheurs récréatifs. Ces espèces étaient jusqu'alors peu exploitées car difficilement accessibles aux lignes à main des professionnels ou des plaisanciers.

Cette diversification vers les zones plus profondes a permis d'alléger *a priori* la pression de pêche sur les espèces récifales et démersales des zones récifales. Cependant, ce développement n'a pas été accompagné de mesures de gestion et de suivi, telles que préconisées dans le rapport initial (Roos et al, 2001). L'équilibre entre les différents métiers et pratiques est apparu rapidement instable, voire conflictuel, sur ces stocks de poissons démersaux profonds sensibles et vulnérables à l'exploitation, particulièrement à La Réunion, du fait de leurs habitats restreints et facilement accessibles.

Le développement rapide et non encadré de leur exploitation a suscité des inquiétudes sur la durabilité et le partage des ressources. Les conflits et les craintes engendrés par l'absence de processus de régulation et de contrôles réguliers sur les pratiques et les captures ont motivé un précédent projet d'étude de ces ressources, réalisé par Ifremer en 2011 et financé par les Fonds Européens à la Pêche (FEP), l'Etat et l'Ifremer (projet ANCRE-DMX, nommé DMX1, Fleury et al. 2011 & 2012, ). Ce projet n'était pas une étude d'évaluation des stocks (pas d'évaluation de la biomasse des démersaux profonds autour de La Réunion) mais le suivi d'indicateurs halieutiques sur deux séries de campagnes de pêche successives. Sur la base des protocoles déployés, des premiers signes de non durabilité de l'exploitation des ressources, dans l'ouest et le nord de La Réunion, avaient été mis en évidence (baisse de 90% des rendements sur les principales espèces commerciales). De même, les lacunes sur la biologie et l'écologie des espèces et la faible consistance dans les données de statistiques de pêches démersales avaient été pointées. Il convenait donc d'estimer à nouveau les indicateurs et d'analyser leur évolution. Les enseignements tirés des précédentes études s'avéraient être insuffisants pour pouvoir cerner convenablement l'état de santé des stocks et les mesures de gestion les plus adaptés à mettre en œuvre.

Dans ce contexte, la Direction de la Mer du Sud de l'Océan Indien (DMSOI), appuyée par le CRPMEM, a souhaité la poursuite des suivis des indicateurs halieutiques afin de préciser les avis et diagnostic ainsi que les recommandations pour une gestion durable des ressources démersales profondes à La Réunion.

## 1.2. Enjeux et originalité du projet DMX2

### 1.2.1. Un projet orienté vers une approche écosystémique des pêches

« L'approche écosystémique des pêches a pour objet de planifier, de valoriser et de gérer les pêches, en tenant compte de la multiplicité des aspirations et des besoins sociaux actuels et sans remettre en cause les avantages que les générations futures doivent pouvoir tirer de l'ensemble des biens et services issus des écosystèmes marins » (Sommet de Reykjavik, 2002). Cette démarche intègre les dimensions biologiques, environnementales, économiques et sociales du « système pêche » et place les activités humaines au centre de l'écosystème (FAO). Les principes du développement durable sont ainsi appliqués au secteur de la pêche. Elle cherche à maximiser la fonctionnalité écosystémique pour que les différents usages et services des milieux marins puissent perdurer. L'empreinte écologique de la pêche sur les écosystèmes est donc une préoccupation majeure dans le cadre d'une approche écosystémique. L'évaluation et la modélisation des ressources halieutiques et des pêcheries ainsi qu'une meilleure compréhension des écosystèmes sont devenues aujourd'hui des outils essentiels pour l'aide à la décision des gestionnaires (Forest 2009).

La première démarche vise à la conservation des écosystèmes, qui tend vers l'objectif de préserver leur structure, leur diversité et leur fonctionnement sur la base de connaissances scientifiques solides et par la mise en œuvre de mesures de gestion portant sur ses composantes biologiques et physiques (par exemple la mise en place de zones protégées). La seconde est celle de la gestion des pêches, qui tend vers l'objectif de satisfaire durablement les besoins de nourriture et de bienfaits économiques pour la société et les usagers, par des mesures de gestion portant sur l'activité de pêche et les ressources ciblées.

### 1.2.2. De la gestion rationnelle des pêches à la mise en place d'indicateurs populationnels pour la durabilité des écosystèmes exploités à La Réunion

Un indicateur est une variable, un signal ou un indice se rapportant à un critère donné. L'usage d'indicateurs permet d'offrir une base commune et facilement interprétable des résultats pour les divers acteurs concernés par cette problématique.

La question de la pertinence des indicateurs retenus reste ouverte et devra certainement être affinée au cours du temps et des résultats. Mais en l'état des connaissances et des suivis, les indicateurs populationnels et écosystémiques qui sont proposés dans la présente étude permettront à terme de diagnostiquer l'évolution des systèmes exploités à travers l'analyse des tendances multiples des métriques étudiées (poissons & habitat). L'évolution des indicateurs écosystémiques ainsi recueillis permettra de mieux décrire les habitats de vie de chacune des espèces ainsi que leur comportement, leur abondance et leur structuration. Cela permettra de proposer des analyses factuelles de type « expert », appuyées dans la mesure du possible de modèles génériques, pour évaluer l'état de santé et la sensibilité de l'écosystème exploité, ainsi que les causes possibles de l'évolution des stocks halieutiques observés.

Les critères de qualité des indicateurs portent essentiellement sur trois aspects de leur pertinence, respectivement scientifique, pragmatique et sociale (UVED<sup>a</sup>):

<sup>a</sup> [http://www.uved.fr/fileadmin/user\\_upload/modules\\_introductifs/module3/risques/2.2.5/html/4.html](http://www.uved.fr/fileadmin/user_upload/modules_introductifs/module3/risques/2.2.5/html/4.html)



- Être robuste (l'indicateur devrait simplifier la réalité qu'il représente sans la déformer) : solidité scientifique, validité statistique, sensibilité aux changements dans le temps et dans l'espace ;
- offrir une information factuelle et quantitative ;
- permettre la comparaison avec une situation de référence ;
- être réalisable techniquement et optimisation du rapport coût-efficacité ;
- être pertinent pour l'objectif visé ;
- être facile à comprendre et pertinent de gestion, facile d'usage ;
- permettre l'agrégation entre des échelles différentes.

La plupart des indicateurs sont développés avec l'objectif de mesurer l'état (de santé) de la biodiversité et du système pêche dans son ensemble (viabilité, résilience, productivité), afin d'offrir une information pertinente pour définir des mesures de gestion. Les résultats qui suivent seront critiqués selon ces principes. Toutes les données disponibles n'ont pas été traitées; seules celles disposant de qualités statistiques, spatio-temporelles ou descriptives suffisantes sont présentées. Des analyses complémentaires seront toujours possibles pour tenter de répondre à des questions spécifiques.

### 1.3. Objectifs du projet DMX2

Dans ce contexte, le projet DMX2 est un projet complémentaire du projet DMX1 (2011-2012). Il permet de compléter les informations qualifiées de manquantes ou incomplètes lors des études précédentes, notamment celles sur la situation d'exploitation des stocks de poissons démersaux profonds et les données biologiques et écologiques des principales espèces exploitées. Le plan d'échantillonnage mis en place couvre des profondeurs comprises entre 80 et 700 mètres, intégrant pour la première fois les zones de transition plus côtières, pour lesquelles nous ne disposons pas à ce jour d'indicateurs halieutiques.

#### – Objectifs poursuivis :

- 1) Etablir les connaissances de base non disponibles à ce jour, sur la croissance, la reproduction, et l'alimentation des principales espèces démersales exploitées à La Réunion. Par le biais des campagnes de prélèvement à la mer, cette étude vise à définir les indicateurs biologiques et écologiques d'au moins 6 espèces parmi les principales observées dans les débarquements (source : SIHR).
- 2) Conforter les indicateurs halieutiques obtenus lors des campagnes précédentes (rendements spécifiques, structuration en taille). Le suivi spatio-temporel de ces indicateurs permet de déterminer l'évolution des rendements de la flottille de pêche profonde réunionnaise (indicateur de pression).
- 3) Vérifier l'hypothèse de la présence d'une seconde espèce cryptique de vivaneau rubis (*Etelis carbunculus*) à La Réunion. Cette question de l'unicité ou non de l'espèce « Vivaneau rubis » est essentielle dans les études menées sur la biologie de l'espèce. Selon les critères macroscopiques définis par la

Commission du Pacifique Sud, les photos des marées DMX1 (2011) montreraient que ces 2 espèces seraient présentes à La Réunion.

- 4) Proposer un premier diagnostic sur l'état de santé des principaux stocks exploités et de leur sensibilité à l'exploitation.
- 5) Elaborer des aides à la décision pour la mise en place d'un plan de gestion des ressources démersales.

A ce titre, le présent projet s'articule autour de 3 axes :

**A) Campagnes à la mer :**

**Action 1** – Marées de pêche mensuelles, pour l'obtention de nouveaux indicateurs halieutiques et le prélèvement des échantillons biologiques.

**Action 2** – Analyse des données de captures déclaratives des pêcheurs plaisanciers.

**B) Biologie-écologie des principales espèces capturées :**

**Action 3** – Cycle biologique annuel et croissance des individus.

**Action 4** – Contenus stomacaux et écologie trophique.

**Action 5** – Génétique: différenciation des 2 espèces hypothétiques de vivaneaux rubis.

**C) Tentative de diagnostic de l'état et de la sensibilité des stocks à l'exploitation et propositions de mesures de gestion :**

**Action 6** – Selon les données existantes et disponibles à la Réunion, tenter un premier diagnostic visant à caractériser l'état de santé des stocks, leur sensibilité à l'exploitation et préciser les éléments manquants et les procédures de suivi à pérenniser localement pour une évaluation régulière du niveau d'exploitation des espèces ciblées dans le cadre de cette étude.

**Action 7** – Proposer des mesures d'accompagnement pour la gestion durable de ces ressources à La Réunion.

## VOLET A : CAMPAGNES A LA MER

### 2. Méthodologies mises en œuvre

#### 2.1. Stratégie d'échantillonnage des captures par unité d'effort

Le projet DMX2 s'inscrit pleinement dans la caractérisation des stocks de poissons démersaux profonds exploités par une pêcherie à la ligne mécanisée électrique.

Dans ce cadre, l'obtention de l'indicateur « capture par unité d'effort (CPUE) » doit représenter au mieux, l'abondance du stock pour chaque espèce dans les différents habitats et au cours du temps. En complément, les indicateurs de structuration démographique (taille/âge), de sex-ratio, d'indices de condition et de reproduction sont étudiés.

La stratégie d'échantillonnage des captures a donc été construite de manière à obtenir une image la plus fidèle possible de l'état des stocks, en se basant sur la connaissance et l'expérience des pêcheurs sur les différents sites. Comme tous « prédateurs » d'un système, les pêcheurs expérimentés ont la capacité à identifier les habitats de vie et les espèces ciblées qui y sont inféodées. Cette nouvelle approche stratifiée par espèce et selon les grandes classes de profondeur a permis d'éviter les pêches à « l'aveugle » dans les habitats très contrastés de La Réunion (pente, plat, sableux, vaseux, roche, coraux...). En effet, les approches par pêche aléatoire sur points fixes ou transects, peuvent favoriser des pêches nulles simplement par l'absence des habitats privilégiés et des espèces recherchées de facto. Cela influencerait négativement les valeurs de CPUE et des erreurs non négligeables peuvent être commises dans le calcul de cet indicateur.

De plus, bien que non documentées localement, des dynamiques spatio-temporelles se mettent en place pour les différentes espèces en fonction des heures du jour, de la lune, des saisons et de leur état physiologique. L'expérience du pêcheur prend également en compte ces différents aspects et permet de maximiser la capture des poissons.

Chaque pêcheur impliqué dans l'étude a donc pratiqué sa pêche sur les zones favorables à la capture selon le protocole décrit au chapitre 2.4.1 et ses connaissances des sites et des espèces recherchées. Les contraintes initiales imposées ont été :

- un minimum de 3 filages par tranche bathymétrique de 100 mètres de profondeur lorsque les conditions environnementales le permettaient ; ceci afin de pouvoir évaluer *a minima* la variabilité de l'estimateur CPUE par profondeur ;
- s'adapter aux conditions environnementales rencontrées (échantillonner uniquement certaines zones si aucune possibilité pour d'autres) ;
- équiper les lignes de pêche de capteur de température et de pression à la demande ;
- standardiser le montage du bas de ligne de pêche (voir § 2.4.1) ;
- respecter le calendrier d'échantillonnage mensuel arrêté contractuellement.

## 2.2. Réalisation et organisation des campagnes à la mer

Les sorties journalières à la mer du projet DMX2 ont pu être réalisées grâce à la contribution de 10 pêcheurs professionnels pratiquant le métier de la pêche profonde aux moulinets électriques (Tableau 1). La sélection des pêcheurs a été opérée sur la base :

- de leurs compétences reconnues dans le métier (mise à disposition d'une liste de pêcheurs professionnels par le CRPMEM),
- de leur habilitation à embarquer du personnel scientifique,
- de l'acceptation des conditions et des contraintes protocolaires du projet DMX2,
- de leur motivation, de leur disponibilité ainsi que de leur capacité à mettre à disposition un navire opérationnel et le matériel de pêche (§ 2.4.1)

Tableau 1 : Liste des navires sélectionnés dans le projet DMX2.

Nom Prénom	Port d'exploitation	Navire	Immatriculation	longueur (m)
BOUTILLON Jean	Saint-Pierre	EROS	436 396	6.30
LACAILLE Expédit	Etang-Salé	MIROU	926 294	6.27
PAYET Joseph Alix	Etang-Salé	MARYLOU	899 815	5.96
CONSTANT Patrick	Saint-Leu	NOUH	926 317	6.27
ENILORAC Pascal	Saint-Gilles	RAPACE	899 790	7.64
RAKOTOMALALA David	Saint-Gilles	BIG EYE	909 652	6.85
CONSOLI Sébastien	Saint-Gilles	GALION 4	899 780	5.85
VISNELDA Jean-Yves	Le Port	AUDACIEUX	926 293	6.27
HOARAU Jean-Marc	Sainte-Marie	RENARD2	909 667	6.85
HUET Expédit	Sainte-Rose	ELIOS	909 682	5.69

La répartition des sorties par port a été établie sur la base des efforts nominaux respectifs (nombre de navires professionnels en activité par port) et de l'activité de pêche profonde connue du secteur (données issues du Système d'Information Halieutique de La Réunion (SIHR)).

Les contraintes logistiques liées à l'obtention des permis d'embarquement des personnels scientifiques, de la mise en place des budgets et des conventions avec les pêcheurs professionnels (mise à disposition de leur navire et à l'achat des poissons), ont déterminé le début des sorties en mer, soit à partir du 15 avril 2014 pour se terminer le 23 avril 2015. Sur 144 marées prévues initialement, seule une sortie en mer n'a pas été réalisée. Ces marées ont été réparties dans les différents ports selon le Tableau 2.

Tableau 2 : Répartition des marées réalisées par port de pêche.

Port d'exploitation	Nombre de navires	Nombre de marées
Saint Pierre	1	12
Etang Salé	2	20
Saint Leu	1	9
Saint Gilles	3	32
Le Port	1	19
Sainte Marie	1	26
Sainte Rose	1	25
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>143</b>

### 2.3. Réalisation et organisation de l'échantillonnage biologique en mer

L'échantillonnage porte sur toutes les espèces capturées lors des sorties DMX2. Cependant une attention et un effort d'échantillonnage particulier ont été portés sur les espèces de poissons démersaux à intérêt commercial majeur (espèces principales ciblées), appartenant aux familles des *Lutjanidae*, des *Epinephelidae*, des *Bramidae* et des *Berycidae*. Ces espèces font l'objet d'un effort d'échantillonnage systématique.

Si le nombre de marées prévues a été réalisé, le plan d'échantillonnage réalisé a été fortement contraint par différents aléas logistiques et météorologiques. Il a suivi le processus décrit à la Figure 1.

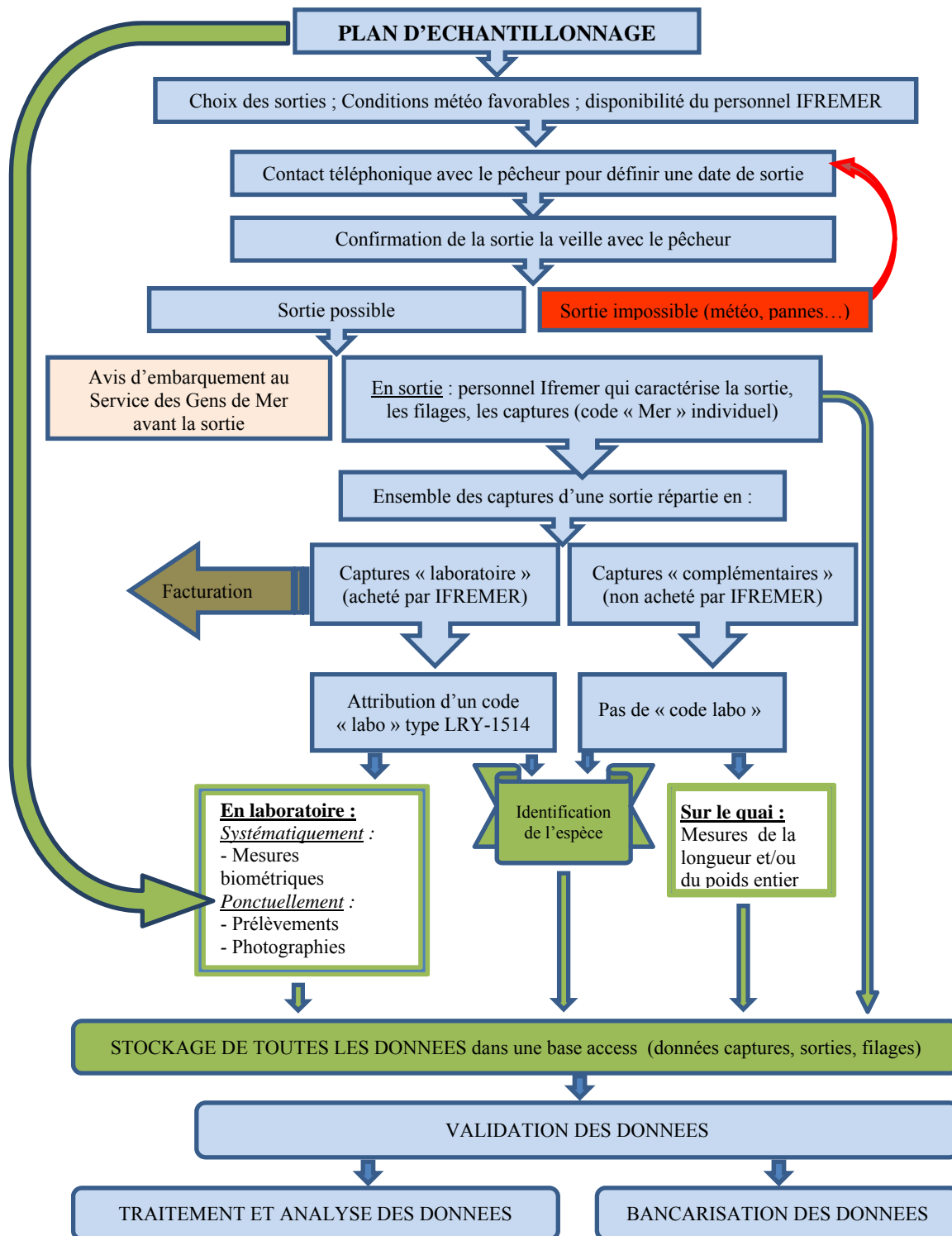


Figure 1 : Schéma général du processus permettant l'acquisition de la donnée.

## 2.4. Matériels et conditions de pêche

### 2.4.1. Description de l'engin et de la technique de pêche

Le métier de ligne à main électrique ou ligne mécanisée à poissons démersaux (dénomination utilisée dans le référentiel SIH-Harmonie), consiste à immerger une ligne de type « tresse », sur laquelle est monté un bas de ligne en mono filament (fluorocarbone) de 60 à 100/100ème de diamètre, plombée selon la profondeur et le courant et la dérive, équipée de 5 à 10 hameçons, avec ou non un système lumineux (emploi de flash ou de cyalume (Figure 2)).

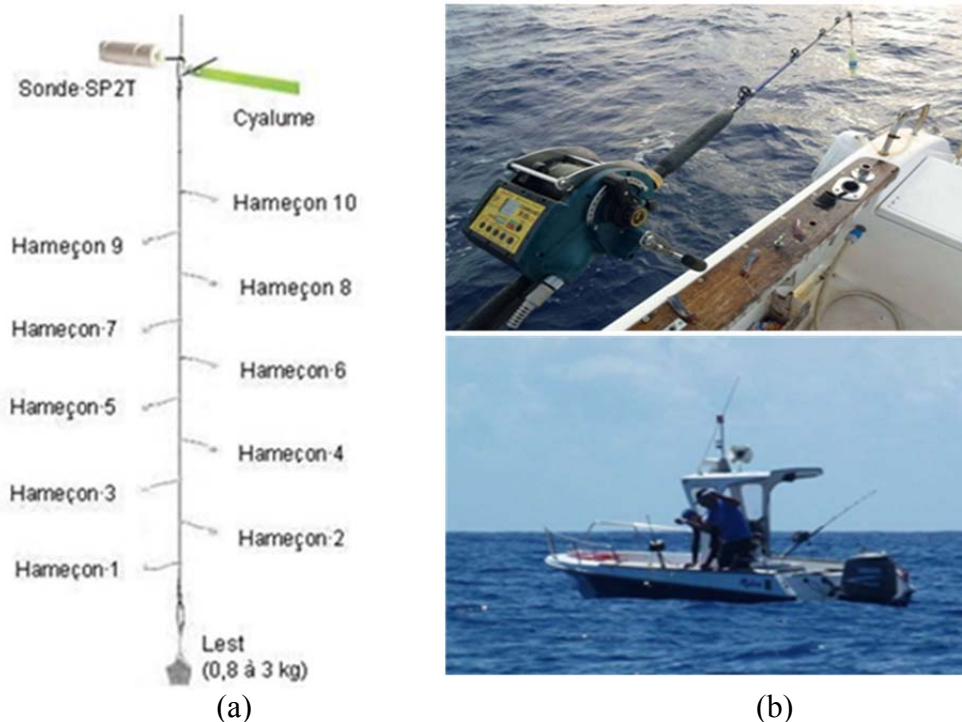


Figure 2 : Schéma du montage classique de bas de ligne (a), et photographies (b) d'un moulinet électrique et d'une embarcation de pêche (photos Ifremer).

La ligne mère (tresse) est stockée sur un moulinet électrique (12v), lui-même monté généralement sur une canne de type « Stand up » (de 30 à 80 livres). L'ensemble est fixé à un porte canne.

La pêche au moulinet électrique se pratique généralement à partir d'unités de pêche de petites tailles (5 à 8 mètres), du type barque ou vedette (Figure 2). Différents montages ont été employés en fonction des pêcheurs et des espèces recherchées, faisant varier : le nombre, la taille (n°14 à 22) et la forme des hameçons (généralement de type circle mais aussi droit avec la pointe rentrante ou pas), ainsi que l'appât utilisé. Les pêcheurs ont libre choix d'opter pour un type d'hameçon et d'appât (choix parmi 4 genres d'appâts imposés, voir paragraphe suivant), avec toutefois la contrainte d'équiper de la même manière l'ensemble du bas de ligne. Le choix du bas de ligne et de l'appât peut varier au cours d'une même sortie. La plupart des pêcheurs utilisent un hameçon de type circle (Figure 3) dont la pointe rentre vers l'intérieur et permet de ferrer le poisson passivement. Ces informations font partie des données collectées pour caractériser chaque filage (§2.6).

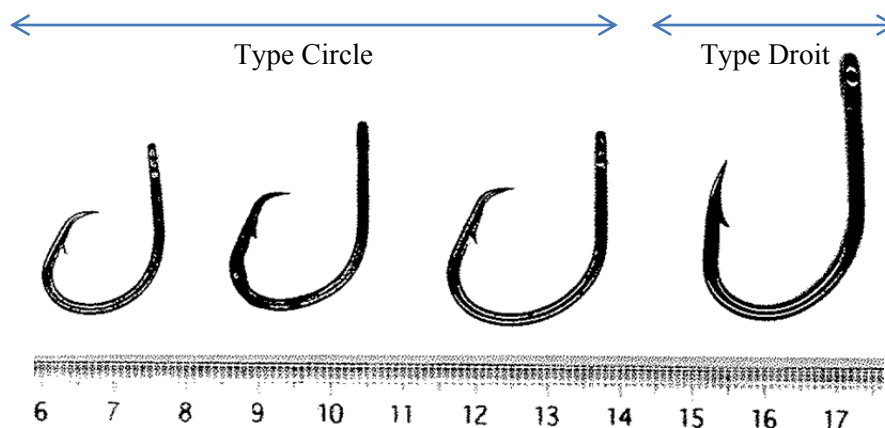


Figure 3 : Illustration de différents types et tailles d'hameçons.

Lorsque le plomb arrive au fond, le moulinet ne délivre plus de tresse. A ce moment, le pêcheur prend la tresse entre ses doigts pour ressentir les touches ou les croches. La décision de remonter la ligne est prise par le pêcheur selon l'intensité de la « touche ». La durée en pêche, une fois la ligne filée, n'excède généralement pas 15 minutes.

#### 2.4.2. Conditions influençant la pêche et la capturabilité des espèces ciblées

La pratique de ce métier est très dépendante des conditions de mer, notamment du courant et/ou du vent qui provoquent des dérives souvent importantes du bateau et/ou de la ligne par rapport au point de pêche identifié par le pêcheur. L'interprétation des données de sondeur, l'expérience des pêcheurs et les informations empiriques sur la présence et le comportement des espèces ciblées a orienté les pêches sur des zones de substrats durs, de type roche, affleurements rocheux, dalle, tombant, faille, voire massif corallien profond. Les positions de filage tiennent donc compte de ces paramètres et tentent ainsi d'anticiper la dérive du bateau et/ou de la ligne en opération de pêche.

Les navires sont équipés de GPS et de sondeur qui permettent au pêcheur de rejoindre des points de pêche connus ou d'identifier de nouveaux points de pêche grâce à la lecture en direct du relief du fond et des profondeurs. Ces outils sont indispensables pour la pratique de ce métier.

L'action du vent et de la houle va aussi entraîner la formation de clapotis et de vagues. Ces phénomènes augmentent le roulis du bateau et occasionnent des décrochages plus nombreux des poissons lors de leur remontée, sous l'effet des brusques modifications dans la tension de la ligne.

La notion de capturabilité est un facteur important à signaler dans ce métier. En effet, quels que soient l'espèce et le site de pêche, la capacité à capturer le poisson est très variable, à la fois en nombre, en taille et en diversité. Les paramètres qui influencent cette capturabilité sont très nombreux, plus ou moins connus par les pêcheurs les plus expérimentés. Mais il n'y a pas de règles précises pour une espèce donnée. En fonction des conditions environnementales, les pêcheurs ont donc préconisé des ciblage d'espèces, voire même d'annuler des sorties lorsque les conditions minimales de pêche n'étaient pas réunies. Ces paramètres environnementaux concernent généralement la force et l'orientation du vent et du courant, la lune, l'heure de pêche et la profondeur. La technique de pêche, l'appât utilisé selon les conditions du jour et la saison mais aussi l'appétibilité des poissons influencent également la capturabilité.



L'ensemble de ces paramètres influence la capacité du pêcheur à capturer et à ramener un poisson à bord du bateau. Il existe donc de fortes variabilités naturelles de la capturabilité des espèces ciblées avec cette technique de pêche à l'hameçon. Un travail spécifique a été réalisé et présenté dans le cadre de cette étude pour tenter de diminuer la variabilité du calcul de la CPUE (§ 5.3).

## 2.5. Spatialisation de l'étude et des résultats

De manière à pouvoir tester la variabilité spatiale des résultats à l'échelle de La Réunion, des secteurs et zones géographiques (Figure 4 et Tableau 3) ont été définis préalablement. Ces entités géographiques ont été délimitées sur la base :

- de la caractérisation des masses d'eau côtières (Mablouke, 2013 ; Jaquemet, 2015),
- de la nature des fonds (fonds durs ou meubles, fonds coralliens ou basaltique),
- de la géomorphologie des fonds (présence de grands secs sous-marins comme à St Gilles et St Leu, Figure 4),
- de la géomorphologie de la côte (frontière naturelle due à la présence de grands caps rocheux (Atlas des Départements Français d'Outre-Mer, 1975),
- des arrivées d'eau douce et des apports terrigènes.

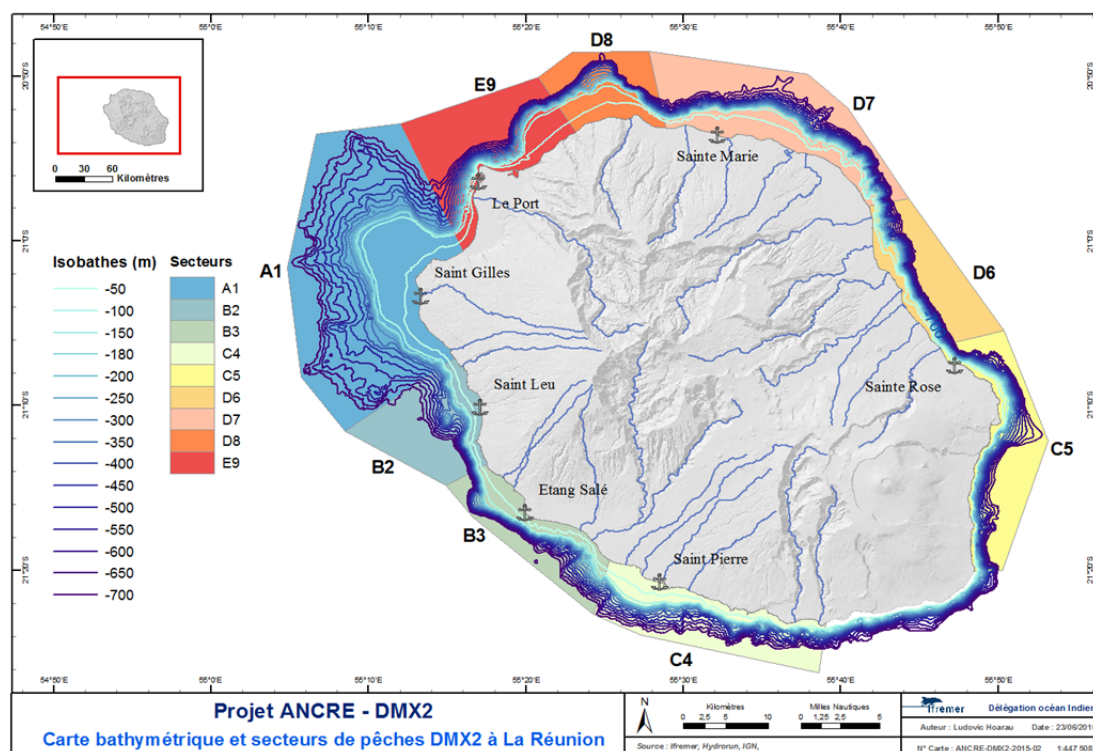


Figure 4 : Carte bathymétrique de La Réunion et découpage des eaux marines côtières en unités spatiales.

Tableau 3 : Description des zones et des secteurs définis pour le plan d'échantillonnage DMX2.

<u>Grandes caractéristiques des zones selon le faciès côtiers et la typologie d'habitat</u>	<u>Limites des secteurs d'échantillonnage (zone + numérotation)</u>
<p><b>A : Haut fond, formation ancienne, influencée par la rivière des galets, l'étang de St-Paul et la Ravine St-Gilles, située entre zones de sables basaltique et corallien.</b></p> <p><b>B : Zone sèche avec substrat dur /sablo-corallien avec épisodes évènementiels par fortes pluies</b></p> <p><b>C : Facies récent sur substrat volcanique, fortement arrosé par infiltrations souterraines (Grande Anse jusqu'à Piton Ste-Rose).</b></p> <p><b>D : Zone sur alluvions et galets, fortement arrosée par cours d'eau superficiels permanents</b></p> <p><b>E : Baie sableuse, chargée en matières organiques, caractéristiques hydrodynamiques propres, zone de transition.</b></p>	<p>A1 – Sec St-Paul / St-Gilles</p> <p>B2 – Sec de la Nouvelle et alentours (entre la Saline les Bains et Piton St Leu)</p> <p>B3 – Sec de l'Etang-Salé</p> <p>C4 – St-Pierre à Manapany</p> <p>C5 – Ste Rose / Le tremblet / Le Brûlé</p> <p>D6 – St-Anne / Rivière du Mât (inclus)</p> <p>D7 – Nord Rivière du Mât / Ste-Suzanne / Rivière des pluies Est</p> <p>D8 – Rivière des Pluies Ouest / Ste-Marie / Barachois / Sec St Denis</p> <p>E9 – Baie de La Possession</p>

## 2.6. Caractérisation des sorties, des filages et des captures en mer

Lors de chaque sortie, un personnel de l'Ifremer est présent pour relever un ensemble d'informations et les consigner sur un « bordereau mer » (Annexe 1), afin de caractériser la sortie et chacun des filages. Chaque poisson capturé est codé individuellement sur le bateau par une étiquette plastifiée, associée au filage correspondant.

**La sortie est caractérisée par :**

- le nom du bateau,
- la date et heure de départ et de retour au port.

**Le filage est caractérisé par :**

- les conditions météorologiques : vent, courant, houle et pluie à l'aide d'un barème simple faisant mention de « FORT », « MOYEN » et « FAIBLE ». Concernant le courant, on décrit le courant qui influe dans le haut de la colonne d'eau jusqu'en surface. Il arrive parfois qu'un courant contraire de fond, et le plus souvent fort, perturbe l'opération de pêche (perte de contact entre le pêcheur et le bas de ligne, augmentation des risques d'accroche). Dans ce cas, on notera une mention supplémentaire de courant « CISAILLANT »,
- la durée de pêche : on note l'heure de début de pêche (fin filage), lorsque le plomb se pose sur le fond, et la fin (début virage), au moment où le moulinet est actionné pour remonter la ligne,
- les coordonnées GPS de pêche : la latitude et la longitude sont prises au moment de la fin du filage et du début de virage,
- la profondeur de pêche : elle est relevée au moment de la fin du filage et le début du virage. Elle est obtenue par lecture des données du sondeur du bateau et/ou par les mesures *in situ* des sondes température/pression (SP2T) lorsqu'elles ont été déployées.

- le montage du bas de ligne :

- *nombre, type (circle ou rentrant) et taille des hameçons*. Etant donné que les références utilisées par les différentes marques/fournisseurs d'hameçons ne sont pas comparables entre elles, des mesures au pied à coulisse de la hauteur et la largeur de l'hameçon (mm) ont été réalisées.
- *appât* : essentiellement des petits pélagiques (pêche-cavale : *Selar crumenophthalmus*, bancloche (*Decapterus macarelus*), bonites (*Euthynnus affinis et Katsuwonus pelamis*) et du calmar (*Loligo sp*). On ne différencie pas si l'appât est entier ou de type laize (partie de filet de poisson),
- *poids du plomb* (en g),
- *présence/absence de foyer lumineux* de type « cyalume » ou Flash : la lumière serait attractive et elle est quasi systématiquement utilisée par les pêcheurs,
- *longueur du bas de ligne* : permet notamment de calculer la profondeur réelle lorsque la sonde SP2T est installée,
- *présence/absence de la sonde SP2T* : sonde fixée par un « snap » à la jonction de la ligne mère et du bas de ligne (Figure 2); elle enregistre le profil Profondeur-Température sur de toute la colonne d'eau. La sonde n'est pas utilisée systématiquement car elle perturbe le comportement de la ligne en pêche (perte de sensation de touche) et risque de s'accrocher sur le fond en cas de fort courant.

**Les captures réalisées à bord des bateaux ont été :**

- identifiées par un code plastifié unique à la suite de chaque filage. Au laboratoire, les poissons ont reçu individuellement un nouveau code individuel définitif qui permet d'une part de relier chaque poisson aux caractéristiques de sa pêche et d'autre part, d'identifier les échantillons qui y seront prélevés (démarche de traçabilité). Ce code poisson se construit avec les 3 lettres du code FAO suivi d'un numéro d'incrément. Par exemple LRY-1518, le poisson suivant pouvant être ETA-1519.
- achetées en totalité ou en partie au pêcheur, selon les besoins d'échantillonnage par espèce et sur la base des conditions contractuelles définies initialement. Les poissons ont été conditionnés systématiquement dans des glacières sous glace, entre le bateau et le laboratoire, puis conservés à l'état frais dans une armoire positive à poisson (1,5°C). Le traitement biologique des poissons a été réalisé au laboratoire Ifremer, dans un délai maximal de 48 heures après capture, afin de conserver au mieux la qualité des mesures et des prélèvements réalisés.

Une case « Observation » a permis à l'embarquant d'annoter des observations diverses sur le filage (croche, casse, espèce particulière, ...).

Sur le quai, les captures complémentaires non conservées pour l'étude biologique, ont été mesurées (longueur totale) à l'aide d'un ruban mètre ou d'un ichtyomètre (mesure au cm inférieur) et/ou pesées à l'aide d'un peson à main (Peson RAPALLA 25 kg, de précision 10 g).

## 2.7. Gestion et exploitation des données collectées

### 2.7.1. La base de données DMX2

La base de données « DMX2 » est une entité dans laquelle ont été stockées toutes les données de collecte et d'analyse du projet, de façon structurée et avec le moins de redondance possible. L'organisation logique des données s'est faite selon un modèle de données. La structure physique des fichiers comporte des index destinés à accélérer les opérations de recherche et de tri. Le modèle relationnel de données est aujourd'hui le plus utilisé parce qu'il permet l'indépendance entre la structure physique et l'organisation logique des données (contrairement aux modèles hiérarchiques et réseaux). Ces données doivent pouvoir être utilisées par des programmes et par des utilisateurs différents (notion de partage).

La base de données « DMX2 » a permis de restituer à tout utilisateur du projet, des fichiers de données suivant un format prédéfini, à des fins d'analyse ou de consultation. Chaque utilisateur se doit de respecter un protocole de formatage des données entrantes, permettant la saisie ou la mise à jour des données de la base. Il appartient donc à ce dernier de garantir la validité des données qu'il mettra à disposition des administrateurs de la base de données. Cela est d'autant plus indispensable que les données informatisées seront de plus en plus nombreuses.

Comme défini dans le cadre du projet, la base de données « DMX2 » est localisée à L'Ifremer DOI.

Les mécanismes du système de gestion de base de données visent à assurer la cohérence, la confidentialité et la pérennité du contenu de la base de données. Le système refusera qu'un usager ajoute une information si celle-ci existe dans la base de données et fait l'objet d'une règle d'unicité. Il refusera également de stocker une information qui n'est pas conforme aux règles de cohérence telles que les formats de données ou les règles d'intégrité référentielle.

Le choix du logiciel MS ACCESS® s'est porté sur son avantage à être flexible, fiable et il dispose d'un moteur assez puissant qui s'intègre très bien avec d'autres produits Office. MS ACCESS® est un logiciel utilisant des fichiers au format ACCESS (extension de fichier « mdb » pour Microsoft DataBase). Il est compatible avec les requêtes SQL (sous certaines restrictions) et dispose d'une interface graphique pour saisir les requêtes (QBE - Query par exemple). Il permet aussi de configurer, avec des assistants ou librement, des formulaires et sous-formulaires de saisie, des états imprimables (avec regroupements de données selon divers critères et des totalisations, sous-totalisations, conditionnelles ou non), des pages html liées aux données d'une base, des macros... Toutefois, il a été décidé de mettre à disposition des utilisateurs du projet,

un ensemble de table « Excel » permettant la saisie des données d'échantillonnage et des résultats d'analyse du projet, au format des différentes tables de la base de données.

Comme beaucoup de systèmes de gestion de base relationnelle, les données peuvent être utilisées dans des programmes écrits dans divers langages.

La base de données est organisée sous ACCESS de la manière suivante (Figure 5) :

- **la table Navire** qui renseigne l'immatriculation du navire, son port de pêche, le code navire qui lui a été attribué ;
- **la table Sortie** qui regroupe les données générales des sorties (navire, agents embarqués, date, heure de départ et de retour au port, ...) ;
- **la table Filage** qui regroupe les informations de chaque filage (heure de début et fin, position, espèce ciblée, conditions de mer, caractéristiques du bas de ligne, ...) ;
- **la table Zone** qui permet d'affecter chaque sortie et filages à des secteurs et zones prédéfinis ;
- **la table Espèces** qui regroupe l'ensemble des espèces rencontrées dans les captures (code FAO, nom latin, nom vernaculaire, nom créole, ...) ;
- **La table Capture\_Biométrie** qui regroupe l'ensemble des données biométriques (longueurs, pesées) concernant les individus traités en laboratoire, ainsi que les traitements et les prélèvements d'échantillons qui les concernent (croissance, alimentation, génétique, reproduction) ;
- **la table Capture\_Complémentaire** qui regroupe l'ensemble des données biométriques (longueur total, poids total) concernant les individus non traités en laboratoire (captures traitées à quai) ;
- **la table SP2T** qui regroupe les données enregistrées par les sondes (profondeur et température) ;
- **la table Reproduction Requins.**

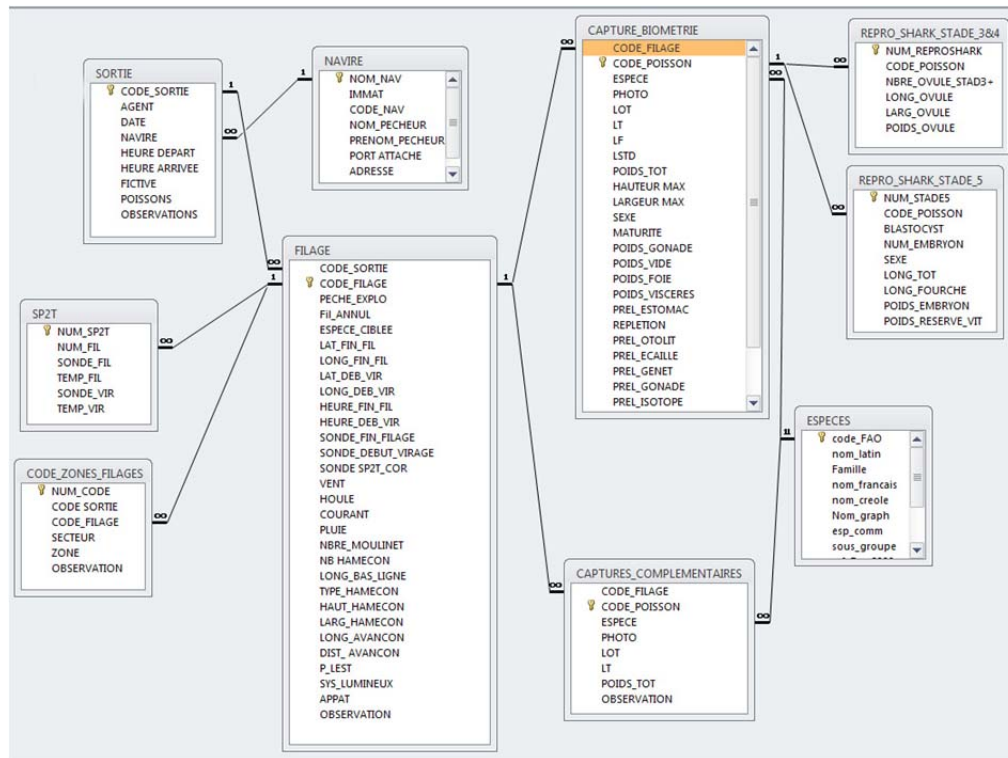


Figure 5 : Schéma relationnel de la base de données DMX2.

La base de données est stockée sur un disque réseau sauvegardé toutes les 24h sur le système de sauvegarde de l’Ifremer.

### 2.7.2. Intégration des données DMX 2000 et 2011

De manière à pouvoir analyser l’évolution des indicateurs halieutiques concernant les espèces démersales profondes à La Réunion, les données disponibles issues des études DMX de 2000 (DMX0) et 2011(DMX1) ont été mises au format sur le modèle de la base de données Access DMX2.

### 2.7.3. Validation des données

Afin de fiabiliser les données stockées, différentes procédures de validation des données saisies dans la base de données DMX2 ont été créées. Ces procédures s’inscrivent dans le cadre de la démarche qualité de l’Ifremer. Elles permettent de vérifier dans la base de données, la cohérence et l’intégrité des données ajoutées. Ces validations ont été faites par des projections graphiques et cartographiques pour détecter les valeurs isolées des valeurs communément observées et/ou logiques. En cas de doutes sur les valeurs éloignées, une vérification avec les feuilles de saisie papier de terrain et en laboratoire est réalisée. Les valeurs douteuses ou erronées ont été corrigées lorsque possible ou cochées spécifiquement pour les exclure des données à traiter. Les données sous format papier sont ordonnées et stockées dans des classeurs, en attente d’être numérisées.

#### **2.7.4. Outils et méthodes d'analyses graphiques et statistiques**

Les représentations graphiques et les analyses statistiques ont été réalisées à partir de la plate-forme PAMPA (Reecht et al, 2012) et de scripts développés spécifiquement sous le logiciel R® (R Development Core Team, 2013). Des analyses par des modèles linéaires généralisés (GLM) disponibles dans les outils de la plateforme PAMPA ont été utilisées pour tester statistiquement les différences observées graphiquement. En complément et selon les conditions d'application, différents tests statistiques paramétriques et non paramétriques ont été appliqués pour tester les différences observées graphiquement.

Les intervalles de confiance calculés autour des moyennes ont été estimés par ré-échantillonnage ( $n=10000$ ), à partir d'une procédure dite de « bootstrap accéléré » avec correction de biais (méthode BCA, package boot) (Efron 1979, 1982 ; Efron & Tibshirani, 1994 ; Davison & Hinkley 1997). Les deux applications fondamentales du bootstrap sont la réduction du biais et la détermination d'intervalles de confiance qui sont obtenus dans notre cas, à partir de la méthode des percentiles.

### **3. Bilan global de l'échantillonnage**

#### **3.1. Bilan des sorties**

Au total, 143 marées ont été réalisées entre le 15 avril 2014 et le 23 avril 2015, permettant de couvrir un cycle annuel complet. L'objectif initial de 144 marées sur la période est donc quasiment rempli. La réalisation du plan d'échantillonnage a surtout été contrainte par les conditions de mer et de météo journalière. Le mois de janvier 2015 en particulier a été fortement perturbé par les conditions cycloniques qui n'ont permis de réaliser que 6 sorties contre les 12 mensuelles prévues. Les marées non effectuées ont été réparties sur les mois suivants.

Sur cet ensemble de marées réalisées, certaines ont été écartées de notre analyse pour diverses raisons : essais méthodologiques et adaptation du protocole d'échantillonnage, sorties réalisées dans des conditions de mer extrêmes non représentatives de sorties courantes... Ainsi, sur les 143 marées effectuées, seules 133 marées ont été retenues pour l'analyse des indicateurs halieutiques. Le plan d'échantillonnage a donc été respecté de manière très satisfaisante compte tenu de la bonne répartition spatiale et temporelle de ces 133 sorties (Tableau 4).

Tableau 4 : Bilan des sorties DMX2 par mois et par secteur.

ZONE	SECTEUR	MOIS												TOTAUX	
		Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	SECTEUR	ZONE
A	1	1	4	5	4	4	2	4	2	3	0	4	4	37	37
B	2	1	3	2	1	2	1	1	3	1	1	2	2	14	28
	3	2	1	0	3	0	1	2	1	0	1	1	2	14	
C	4	0	1	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2	11	22
	5	0	1	0	2	1	1	2	0	2	0	1	1	11	
D	6	0	2	1	2	1	0	0	1	1	2	1	0	11	37
	7	2	1	0	2	1	2	1	2	2	3	1	2	19	
	8	0	1	1	1	2	0	1	0	0	1	0	0	7	
E	9	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	3
<b>TOTAUX</b>		<b>6</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>133</b>	

Les différentes unités spatiales de l'île ont été échantillonnées de manière satisfaisante mis à part les zones E9 et celle située entre C4 et C5 autour de Saint Philippe (secteur pointe de la table, zone non codée).

La zone E9 est de façon générale peu exploitée par les pêcheurs démersaux car les fonds y sont majoritairement sédimentaires et donc peu propices aux poissons démersaux profonds. Seuls trois sorties y ont été menées pour cibler une espèce côtière de nuit, de même qu'une 4<sup>ème</sup> sortie exploratoire sur les habitats plus profonds.

Les distances importantes (absence de port) et des conditions de mer toujours peu favorables n'ont jamais permis d'exploiter convenablement le « grand Sud » (notamment le secteur pointe de la table) depuis les ports de Saint Pierre ou de Sainte Rose.

Comme il est d'usage pour ce métier de pêche ciblant les poissons démersaux profonds (profondeur > 200 m), les sorties ont été réalisées majoritairement en première partie de journée sur les conseils des pêcheurs. Pour autant, le projet DMX2 a innové en échantillonnant également les heures de nuit, dans les eaux plus côtières (80 à 160 mètres) sur certaines espèces ciblées par les pêcheurs professionnels. Le détail des filages réalisés dans les différentes périodes du jour et de la nuit par classe de profondeurs sont décrites ci-après.

### 3.2. Bilan des filages

Le Tableau 5 résume l'effort d'échantillonnage réalisé par classe de profondeur de 50 mètres et pour les 4 périodes de la journée fixées (Aurore, Journée, Crépuscule, Nuit). Les résultats ont été ramenés aux tranches horaires moyennes entre l'été et l'hiver austral.

Les causes des faibles taux d'échantillonnage réalisés en deçà de 450 mètres de jour et 250 mètres de nuit sont multiples :



- des limites techniques liées aux conditions environnementales défavorables, notamment une dérive de la ligne ou du bateau souvent trop importante pour conserver la capturabilité de l'engin de pêche ;
- le ciblage d'espèces en fonction de la profondeur et/ou des périodes du jour et de la nuit,
- la déprédation importante des appâts et la casse des lignes de pêche par des poissons de grandes tailles à certaines profondeurs de jour et de nuit.

Tableau 5 : Bilan des filages par période du jour et par classe de profondeur de 50 mètres.

CLASSES PROFONDEURS	Aurore	Journée	Crépuscule	Nuit
	05H30 à 09H30	09h30 à 16h00	16H00 à 19h00	19h00 à 05h30
[050-100]	42	1	6	264
[100-150]	83	25	9	427
[150-200]	27	116	56	41
[200-250]	48	202	53	12
[250-300]	125	318	16	2
[300-350]	164	349	28	
[350-400]	80	125	34	
[400-450]	52	66	6	
[450-500]	66	43		
[500-550]	15	27	5	
[550-600]	4	7		
[600-650]	1			
[650-700]	1	2		

Au cours des 133 sorties DMX2 retenues, 2948 filages ont donc été réalisés, soit une moyenne de 22 filages par sortie.

Les profondeurs explorées au cours des filages DMX2 (Figure 6) sont comprises entre 52 m et 695 m.

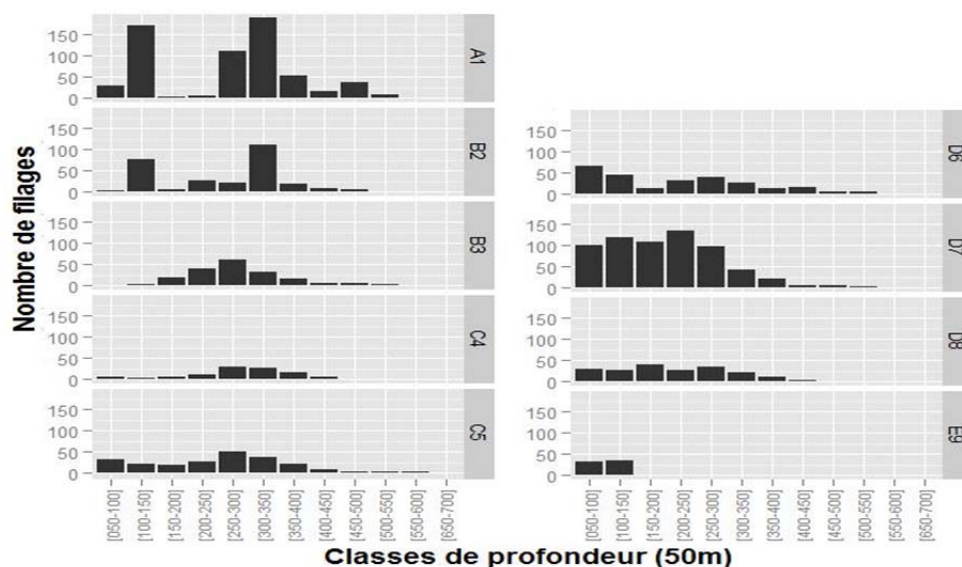


Figure 6 : Bilan des filages par classe de profondeur pour les différents secteurs échantillonnés.

Les gammes de profondeurs comprises entre 100 m et 450 m ont pu être convenablement échantillonnées dans l'ensemble des zones définies à l'exception de la zone E9. Quelques filages profonds ont bien été réalisés sur cette zone (insuffisants pour apparaître sur la Figure 6 au retour ou « en replis » (conditions de mer dégradées) de sorties réalisées dans les secteurs adjacents (secteur A1 côté Ouest et secteur D8 côté Est).

La majorité des filages a été réalisée entre 200 et 400 m. Leurs répartitions en dehors de cette gamme de profondeur reflètent les habitudes et l'expérience des pêcheurs sur les espèces qu'ils ciblent ou qui s'y rencontrent.

Les filages d'exploration des grandes profondeurs (au-delà de 450 m) sont nettement moins nombreux. Pour pêcher à ces profondeurs, il est indispensable que les conditions de mer soient idéales (absence ou peu de courant, de vent et de houle), ce qui a trop rarement été le cas. Souvent, les pêcheurs connaissent mal ces profondeurs car c'est une pêche ciblant une à deux espèces (bérrix, castagnole) dont l'occurrence des captures et les rendements sont aléatoires et très variables. De plus, l'abondance d'espèces prédatrices à faibles valeurs commerciales, destructrices des lignes de pêche (requins, snooks...), ne motive pas les pêcheurs à exploiter et à explorer les habitats profonds. Des filages spécifiques ont tout de même été réalisés lorsque possible dans le cadre de l'étude.

### 3.3. Bilan des captures

Sur la période d'échantillonnage, 3984 individus appartenant à plus de 60 espèces différentes ont été capturés. La liste complète des espèces capturées est donnée dans l'Annexe 5, et la plupart sont présentées dans les planches illustrées de l'Annexe 6. Le Tableau 6 ci-dessous résume les principales espèces capturées/ciblées dans la campagne (effectifs > 30 individus).

Tableau 6 : Liste des principales espèces commerciales et non commerciales capturées au cours de DMX2.

Espèce	Code FAO	Famille	Nom créole	Aggrégation dans groupe espèce	Effectif	Intervalle de taille min-max (mm)	Intervalle de poids min-max (g)	Intervalle de profondeur min-max (m)
<b>ESPECES COMMERCIALES</b>								
<i>Etelis carbunculus</i>	ETA	Lutjanidae	Vivaneau Gros-tête, Vivaneau Rouge	VIVANEAUX	1334	139-980	26-18200	75-438
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	LRY	Lutjanidae	Colas Orné, Vivaneau Cerf-volant	VIVANEAUX	466	140-317	31-418	148-410
<i>Pristipomoides multidens</i>	LRI	Lutjanidae	Gros Ecal	VIVANEAUX	193	270-865	205-7350	67-276
<i>Lutjanus notatus</i>	QKU	Lutjanidae	Ti-jaune Gueule Rose	VIVANEAUX	138	155-277	51-337	67-170
<i>Etelis coruscans</i>	ETC	Lutjanidae	Vivaneau Flamme	VIVANEAUX	130	212-1124	91-9340	231-399
<i>Lutjanus kasmira</i>	LVK	Lutjanidae	Ti-jaune	VIVANEAUX	118	162-336	56-587	52-143
<i>Eumegistus illustris</i>	EBS	Bramidae	Zambas, Castagnole, Mochong, Bigue	ZAMBAS	113	452-895	1360-9870	259-550
<i>Pristipomoides filamentosus</i>	PFM	Lutjanidae	Vivaneau Blanc	VIVANEAUX	86	193-576	79-1770	85-234
<i>Epinephelus radiatus</i>	EZR	Serranidae	Cabot de fond, Cabot Rayé	MEROUS	85	123-653	23-4520	93-305
<i>Myripristis chryseres</i>	YJ1	Holocentridae	Cardinal Zaille Jaune	DIV. COM.	63	169-255	88-345	82-186
<i>Argyrops filamentosus</i>	KBK	Sparidae	Zégrette	DIV. COM.	57	195-290	123-433	75-265
<i>Polymixia berndti</i>	PSP	Polymixiidae	Barbu de creux	DIV. COM.	37	151-429	46-1195	222-587
<i>Ostichthys kaianus</i>	HWK	Holocentridae	Cardinal de creux, Tabouré	DIV. COM.	34	184-344	165-984	180-322
<i>Beryx decadactylus</i>	BXD	Berycidae	Beryx, Zambas Rose, Bigue Rose	DIV. COM.	32	350-600	581-3010	280-587
<b>ESPECES NON COMMERCIALES</b>								
<i>Squalus megalops</i>	DOP	Squalidae	Requin Zépine	REQUINS ZEP.	509	309-804	136-2970	175-700
<i>Rexea prometheoides</i>	RXP	Gempylidae	Snoek, Ti-sabre	DIV. NON COM.	101	222-425	54-409	138-530
<i>Promethichthys prometheus</i>	PRP	Gempylidae	Snoek, Ti-sabre	DIV. NON COM.	78	216-564	29-657	82-513
<i>Decapterus tabl</i>	DCT	Carangidae	Comète de creux	DIV. NON COM.	63	193-326	70-379	88-340
<i>Centrophorus moluccensis</i>	CEM	Centrophoridae	Requin Chagrin	REQUINS ZEP.	50	301-876	133-4250	225-666

Compte tenu du nombre important d'espèces capturées, celles-ci ont été agrégées au sein de 7 groupes d'espèces différentes, afin de simplifier la représentation de nos résultats. Soit, les groupes « Vivaneaux », « Requins Zépinés », « Mérous », « Zambas », « Divers Commerciaux », « Divers Non Commerciaux », et « Divers Pélagiques ».

Pour simplifier l'identification des espèces, les codes FAO seront régulièrement rappelés dans le texte et les graphiques.

Les deux espèces de requins zépinés (DOP et CEM) ont été regroupées. Ces deux espèces sont caractéristiques des habitats profonds explorés, contrairement aux autres espèces de requins capturées en nombre très restreint. Ces deux espèces peuvent être commercialisées occasionnellement par certains pêcheurs à des prix très bas. Mais il n'y a pas de demandes particulières sur ces espèces. Elles ne sont pas considérées ici comme des espèces commerciales.

Une remarque concernant les 71 individus identifiés sous le code « XXX » (Annexe 5) : il s'agit d'individus pour lesquels l'identification au niveau espèce est encore incertaine. Il est très probable que certaines d'entre-elles n'aient encore jamais été décrites à La Réunion ou dans la partie Ouest de l'Océan Indien. Il s'agit notamment de requins, de murènes et de congres, qui sont des espèces considérées comme non commerciales. Ce travail d'identification, hors projet, qui nécessite du temps et de la rigueur, est prévu d'être mené à l'automne 2015. La diffusion de ces résultats sera donc réalisée ultérieurement.

La part de chacun des 7 groupes d'espèces, en nombre et en poids cumulés, est présentée sur les Figure 7 a et b.

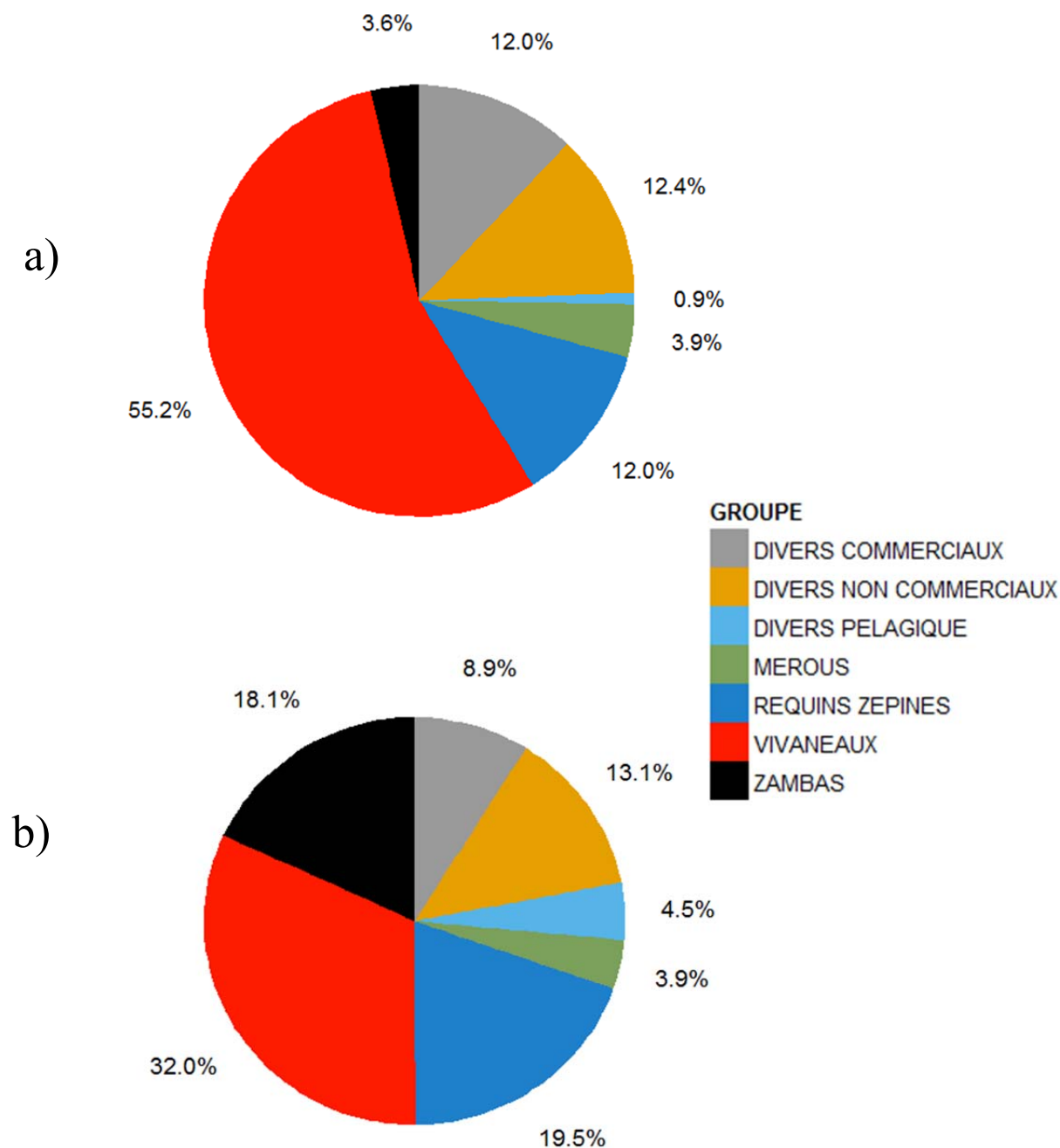


Figure7: Proportion en nombre (a) et en poids (b) des différents groupes d'espèces capturées au cours du projet DMX2.

Le groupe « Vivaneaux » concentre la plus grande part des captures commerciales, en effectifs (55.2%) comme en poids (32.0%), tiré par l'espèce Vivaneaux Gros-tête (ETA, 1<sup>er</sup> rang en effectif des captures).

Le second groupe le plus important en poids est celui des « Requins Zépines ». Ce groupe comporte deux espèces non commerciales : *Squalus megalops* (DOP) qui est l'espèce largement dominante (respectivement 79.8% et 87.4 % de la capture en poids et de l'effectif de ce groupe) et *Centrophorus moluccensis* (CEM).

Le groupe « Zambas » constitue une part importante de la quantité capturée (18.1%) malgré un effectif restreint (3,6%). Ce groupe de fort intérêt commercial inclut en effet deux espèces de grande taille, le Zambas (EBS) et le Zambas rose (ou Béryx, BXD), avec une large prédominance du Zambas (EBS, respectivement 90% et 68.5% du poids et de l'effectif de ce groupe) dont les poids individuels sont compris entre 1.3 kg et 9.8 kg. Ces deux espèces sont très recherchées par les pêcheurs.

Le groupe « Mérous » représente une faible proportion des captures, soit 3.9% en effectif comme en poids. Cependant, il constitue un groupe d'espèce à forte valeur commerciale et tient pour cette raison une place prépondérante pour la petite pêche professionnelle. Ce groupe comporte un ensemble de 9 espèces au sein desquelles se détache nettement une espèce, le cabot rayé (EZR, respectivement 71.9% et 75.8% de la quantité et de l'effectif de ce groupe).

La contribution du groupe « Divers Commerciaux » en nombre et en poids est respectivement de 12.0% et 8.9%. Ce groupe comporte un ensemble de 23 espèces identifiées dans les tableaux de l'Annexe 5. Leurs répartitions en nombre et en poids sont données dans la Figure 8 ci-dessous, au même titre que pour les espèces de l'ensemble des groupes commerciaux présentés jusqu'ici.

Les analyses d'indicateurs halieutiques qui seront présentées et développées dans cette partie ne concerneront que les espèces commerciales (en totalité ou sur une sélection d'espèces) qui intéressent la pêche. La part du groupe « Divers Non Commerciaux » qui représente 13.1% en poids et 12.4% en nombre des captures totales sera ainsi exclue des analyses. Ce groupe comporte un minimum de 15 espèces car il inclut le groupe des individus sans intérêt commercial qui reste à identifier.

Le poids de l'ensemble des espèces commerciales représente 67% des captures totales (commerciales + non commerciales).

## **4. Choix des espèces commerciales retenues dans le cadre du projet**

Comme indiqué initialement dans le projet DMX2, seules 7 espèces, dont 6 commerciales, ont été retenues pour leur intérêt halieutique et leur qualité d'indicateur de l'état de santé des stocks et/ou des habitats exploités.

La composition relative des captures spécifiques d'intérêt commercial, en effectif et en poids (Figure 8), nous permet d'identifier les 7 espèces qui ont été retenues pour les analyses qui suivent.

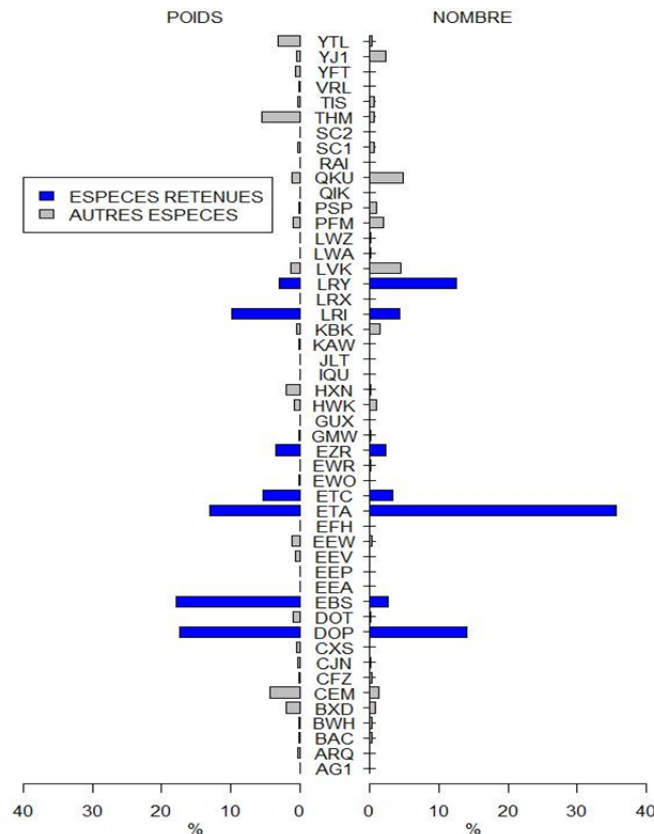


Figure 8 : Histogramme de synthèse des fréquences relatives, en poids en effectif, pour les espèces commerciales capturées (voir Annexe 5 pour les codes FAO). Seules deux espèces non ciblées commercialement, les requins zépines (DOP et CEM) ont été ajoutées en raison de leur importance dans les captures. Les espèces retenues pour leur intérêt halieutique et/ou leur sensibilité à l'exploitation apparaissent en bleu.

Nous retiendrons donc pour nos analyses spécifiques, les 6 espèces commerciales majeures qui montrent les plus forts niveaux de capture, soit le vivaneau gros-tête (ETA), le vivaneau flamme (ETC), le vivaneau cerf-volant (LRY), le vivaneau gros écale (LRI), le zambas (EBS) et le cabot de fond (EZR). Toutes sont ciblées par la pêcherie réunionnaise, à l'exception du vivaneau cerf-volant (LRY) qui est une espèce de relative petite taille (< 32 cm), mais qui se capture en abondance (2<sup>ème</sup> rang de l'effectif des espèces commerciales) et qui représente une part non négligeable des captures en poids débarqués.

En supplément du groupe des 6 espèces commerciales principales retenues, le requin zépine de l'espèce *Squalus megalops* (DOP) a été ajouté comme indicateur spécifique et écosystémique. Cette espèce prédatrice, atteint des niveaux importants de capture en poids. C'est l'espèce majoritaire des habitats profonds. Elle faisait également l'objet de suivi lors des études DMX précédentes (2000 et 2011). De plus, elle appartient à un groupe fonctionnel et taxonomique reconnu sensible à l'exploitation. Elle fait partie de la Liste rouge mondiale de l'UICN (INPN) (listé *Squalus megalops*) ; elle est par exemple déjà protégée dans l'espace maritime de Nouvelle-Calédonie.

Cette sélection de sept espèces représente 62% en poids des captures totales échantillonnées lors de cette étude.

## 5. ACTION 1 – Analyses des indicateurs halieutiques pour les espèces retenues

### ATTENDU DE L’ACTION 1 :

- (1) Réaliser les campagnes à la mer prévues pour l’acquisition des indices d’abondances et de diversité spécifique par secteur géographique défini.
- (2) Prélever les échantillons biologiques nécessaires à la réalisation du volet Biologie-écologie des principales espèces capturées (II-2).

### DELIVRABLE ACTION 1 :

- a. Cartographie et analyse de l’évolution mensuelle et saisonnière des indices d’abondance et de diversité des espèces capturées.
- b. Comparaison avec les indices historiques existants (CPUE)

### 5.1. Distribution en taille par espèce

L’analyse des distributions des tailles s’appuie sur l’interprétation des tailles minimales, maximales et modales de chaque stock étudié pour l’année considérée.

Le Tableau 7 compare les longueurs totales (Lt) minimales et maximales de la totalité des captures pour chacune des 7 espèces obtenues lors des différentes campagnes DMX et les données bibliographiques référencées dans FISHBASE ([www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)).

L’analyse des tailles minimales et maximales met en évidence l’existence d’individus de grandes tailles dans la pêcherie quelle que soit l’espèce. Cependant, les tailles minimales de captures tendent à diminuer sensiblement au fil du temps chez les vivaneaux gros têtes (ETA) et les vivaneaux la flamme (ETC), les deux principales espèces ciblées par la pêcherie.

Tableau 7 : Comparaison des tailles maximales spécifiques référencées dans FISHBASE et celles obtenues dans les projets DMX 2000, 2011, 2014.

ESPECES (Code FAO)	ETA		ETC		LRI		LRY		EBS		DOP		EZR	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Données 2000	254	1315	851	1238					520	836	370	872		
Données 2011	170	980	330	1040			160	310	660	1000	320	820	310	560
Données 2014	139	980	212	1124	270	865	140	317	452	895	309	804	123	653
Données FishBase		1450		1200		900		452		644		760		790

Les distributions en fréquence par classe de tailles pour les 7 espèces retenues sont présentées dans la Figure 9. Cet indicateur de structures des stocks a été également réalisé pour deux nouvelles espèces (non échantillonnées dans DMX0 et DMX1) que sont le vivaneau gros écale (LRI) et le cabot de fond (EZR). Chez ces deux espèces, la distribution des captures a mis en évidence l’existence d’individus de grandes tailles, proches des maximales connues pour ces espèces.

Concernant les autres espèces, une diminution plus ou moins importante des tailles modales est patente depuis 2000.

Pour les vivaneaux gros-têtes (ETA), la diminution de gros individus (> 45 cm) après les dix premières années d’exploitation est flagrante (Figure 9). Les classes de tailles

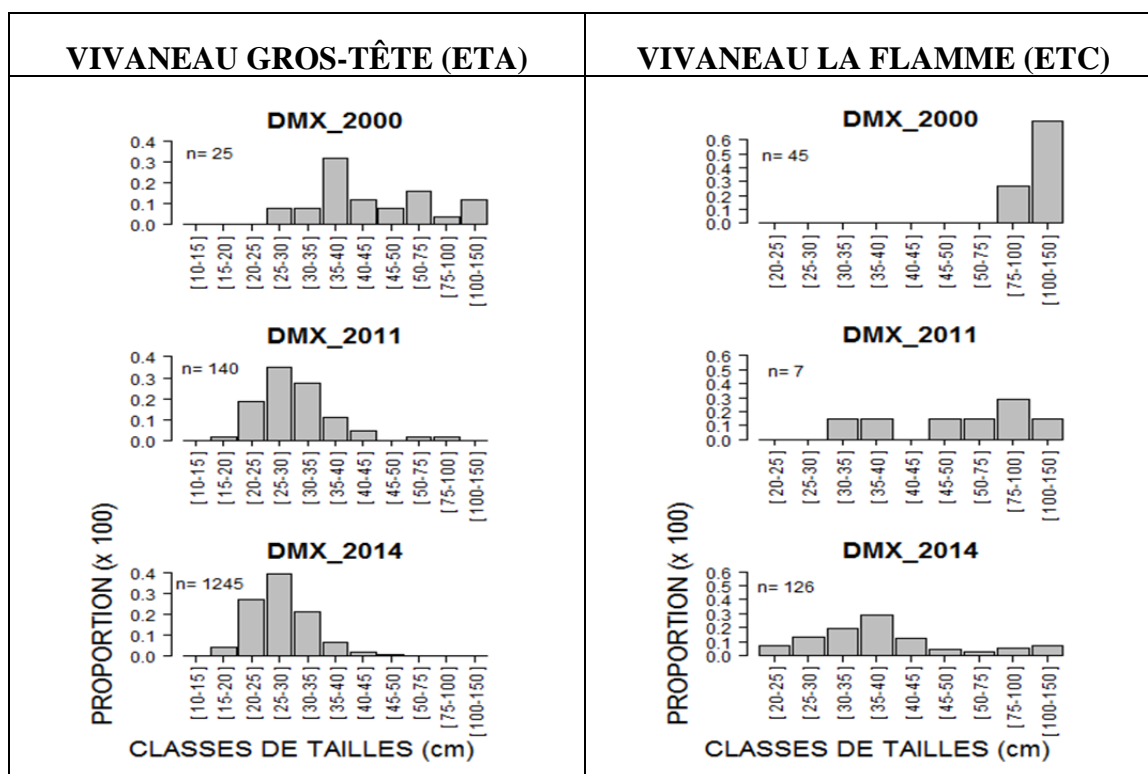
exploitables depuis 2011 sont comprises entre 20 et 45 cm, le mode étant situé entre 25 et 30 cm. La tendance à la diminution des tailles capturées se précise en 2014 où la proportion des plus petits individus augmente légèrement.

La même tendance est observée chez les vivaneaux la flamme (ETC). La proportion des plus gros individus (>45 cm) s'amenuise dans les captures. Si la taille modale des captures était de plus de 100 cm au début des années 2000, elle n'était plus qu'à 35-40 cm en 2014. Les plus gros individus sont toujours visibles dans la pêche, mais leur contribution dans les débarquements baisse drastiquement ces dernières années.

Pour les vivaneaux cerfs-volants (LRY), la classe de taille modale de capture a diminué.

Pour les zambas (EBS), les captures des plus gros individus restent majoritaires dans les captures des 3 campagnes. Toutefois leur proportion a baissé sensiblement en 2014, du fait de fortes proportions de petits individus qui ont fait leur apparition.

Si les captures de requins zépines (DOP) indiquent peu d'évolution de la classe de taille modale (50-75 cm), il faut dès à présent noter l'augmentation des plus petits individus dans les captures depuis 2011. Une légère baisse de la proportion des plus gros individus est également visible en 2014.





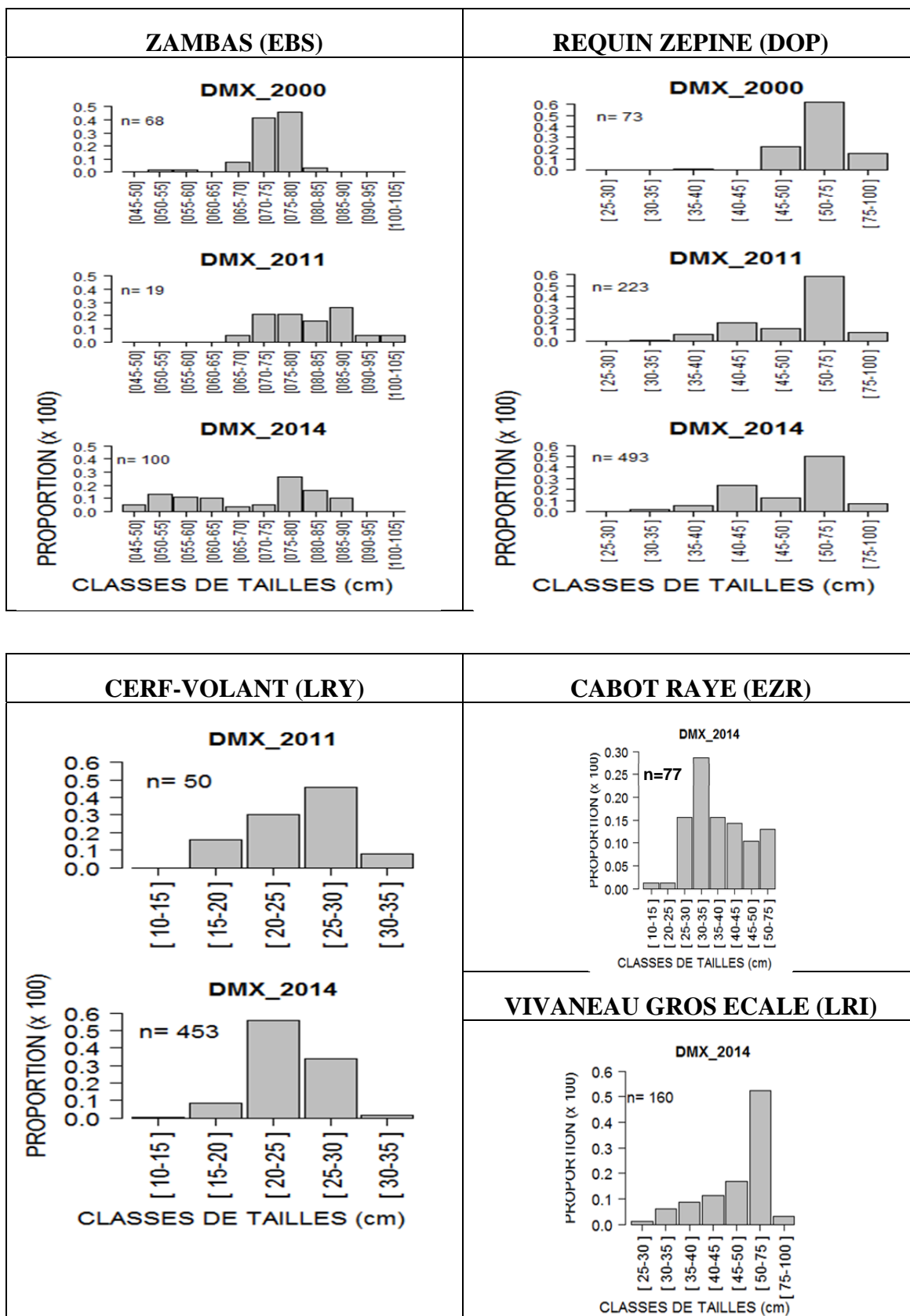


Figure 9 : Distribution des fréquences en nombre par classe de tailles pour les 7 espèces retenues (en abscisse les classes de tailles et en ordonnée, les proportions d’individus par classe de taille)

## 5.2. La capture par unité d'effort (CPUE)

L'objectif est ici de définir des indicateurs halieutiques simples et performants qui permettent d'évaluer l'état des stocks dans le temps.

L'indicateur CPUE est exprimé en gramme ou kilogramme par jour. Les résultats de cet indicateur sont présentés de manière descriptive, pour mettre en évidence les facteurs de variabilité existants. La capture est le résultat conjugué de l'abondance de l'espèce, de sa capturabilité, de l'engin mis en œuvre et de la profondeur de pêche. Il convient, avant de pouvoir considérer une CPUE comme un indicateur de biomasse, de mettre en évidence les facteurs de variabilité. L'approche s'est faite du niveau le plus large (CPUE des espèces commerciales par sortie journalière) à la plus fine possible, soit au niveau d'un filage, pour les 7 espèces retenues, suivant leur distribution bathymétrique et leur comportement alimentaire au cours d'une journée. La finalité est de caractériser les différentes CPUE calculées et d'en évaluer son potentiel pour caractériser la biomasse et contribuer au diagnostic de l'état de santé des stocks.

### 5.2.1. Analyse descriptive des CPUE par sortie

La Figure 10 présente les distributions des captures journalières de l'ensemble des espèces dites commerciales (excluant la part des groupes « Requins Zépines » et des « Divers Non Commerciaux »). La variabilité des captures journalières est très importante, fluctuant de zéro à plus de 70 kg. Les valeurs moyennes journalières (14.22 kg) sont tirées par les valeurs extrêmes mais restent relativement proches des valeurs médianes observées (10.80 kg). Plus d'un quart des sorties a montré des rendements de pêche inférieurs ou égaux à 4.65 kg. Ces résultats reflètent la réalité de l'activité de pêche à l'hameçon, à savoir des écarts très importants de rendements journaliers, qui peuvent varier du très bon au très médiocre, pour un même pêcheur et une même zone de pêche, d'un jour à l'autre.

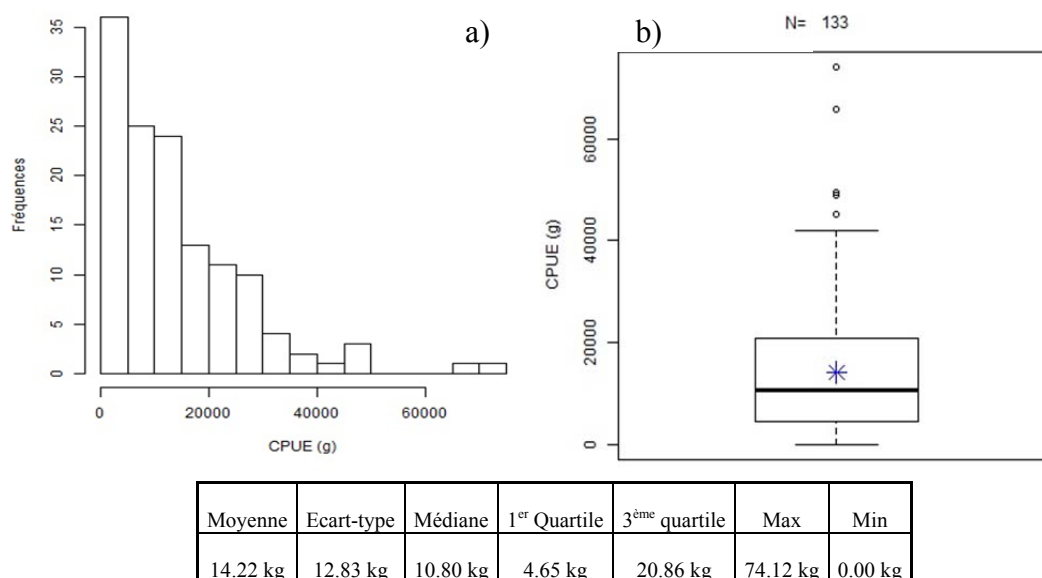


Figure 10: Distributions des captures commerciales par sortie journalière présentées en histogramme de fréquence (a) et boîte à moustache (b ; \* : moyenne ; — : médiane).

### 5.2.1.1. Résultats descriptifs de la CPUE-sortie par secteur

Les CPUE-sortie par secteur (Figure 11) ont été très variables. Les valeurs moyennes ont oscillées de 4.83 kg (secteur B3) à 23.85 kg (secteur C5).

Les trois zones C5, D6, et D7, situées dans la partie Est de La Réunion se détachent nettement et montrent les meilleurs niveaux de rendements moyens, avec plus de 16 kg en moyenne par sortie.

Les niveaux de rendements à l'Ouest sont contrastés avec des niveaux relativement élevés dans les secteurs A1 et B2 (entre 9 et 14 kg en moyenne). A contrario, le secteur B3 enregistre les rendements les plus faibles de l'île (4.18 kg) et très significativement différentes des principaux secteurs situés à l'est ( $p < 0.01$ ).

Le secteur C4 situé au sud de La Réunion enregistre des niveaux de captures moyennes (9.16 kg) comparables aux secteurs de l'ouest.

Les résultats de rendements du secteur E9 situé au nord-ouest de l'île ne sont pas comparables aux autres secteurs en termes de capture moyenne par sortie. A l'exception de trois sorties réalisées en totalité dans ce secteur (dont 2 ciblant uniquement le vivaneau gros écale), les suivantes n'ont concerné qu'un nombre restreint de filages réalisés sur la route qui mène au secteur D8 pour tester des points de pêche repérés au sondeur.

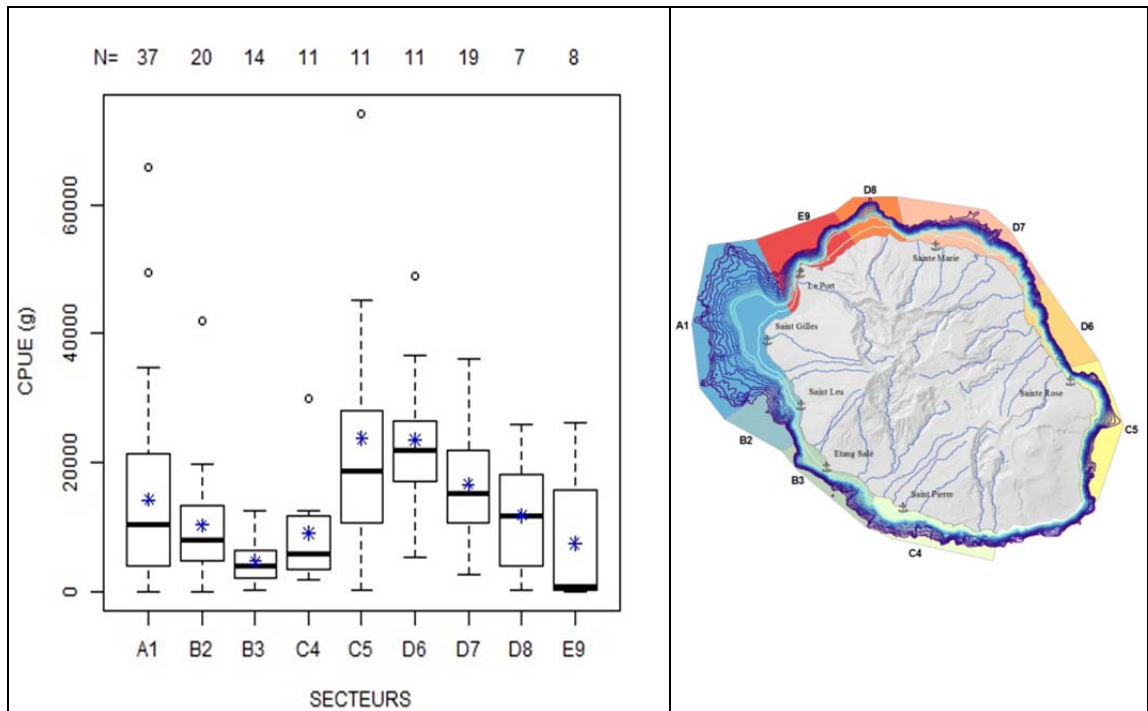


Figure 11 : Distributions des captures commerciales par sortie journalière et par secteur (\* : moyenne ; — : médiane). Pour rappel, la carte des secteurs de pêche (§ 2.5).

### 5.2.1.2. Résultats descriptifs de la CPUE-sortie par mois

L'évolution des CPUE-sortie par mois tous secteurs confondus (Figure 12), montre de faibles fluctuations sur un cycle annuel, à l'exception des mois d'août et septembre. Compte tenu des très fortes variations dans les données de captures par sortie mensuelle, il n'y a aucune différence significative entre les mois

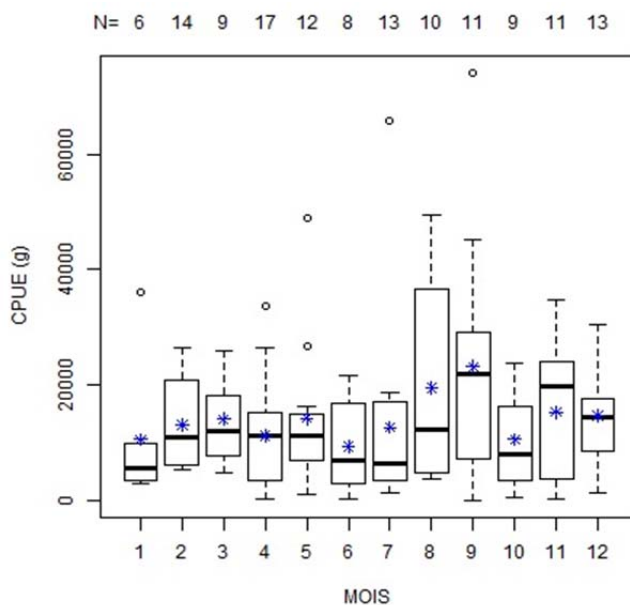


Figure 12 : Distributions des captures commerciales par sortie journalière et par mois (\* : moyenne ; — : médiane).

### 5.2.2. Analyse descriptive de la CPUE par filage

L'analyse des CPUE par filage permet de préciser l'interprétation de cet indicateur. En effet, les CPUE-sortie, par secteur et par mois, sont biaisées par l'hétérogénéité de l'effort de pêche produit à chaque sortie. L'effort de pêche effectif correspond au nombre de filages réalisés par sortie. Le nombre de filages opérés à chaque sortie est par nature très dépendant du pêcheur, de l'espèce ciblée, de la profondeur mais aussi des conditions de pêche rencontrées.

Le filage (coup de ligne) est lui-même caractérisé par le nombre d'hameçons présents sur la ligne et la durée de pêche effective. Or, l'analyse graphique (Figure 13) des relations existantes entre le nombre d'hameçons mis à l'eau, la durée de pêche et le niveau de CPUE obtenu, ne permet pas d'identifier la moindre corrélation significative entre ces facteurs ( $p > 0.05$ ). L'analyse des distributions des données de CPUE semble toutefois indiquer des valeurs optimales pour la durée et le nombre d'hameçons par filage. Cela ne sera pas abordé dans le cadre de la présente étude mais fera l'objet d'un travail spécifique ultérieur, afin d'optimiser les pratiques de pêche (durée idéale de pêche, nombre optimal d'hameçons à mettre à l'eau selon les espèces).

Ainsi, l'indicateur de la CPUE retenu ici sera le poids de poissons par filage, quel que soit le nombre d'hameçons et la durée de pêche effective.

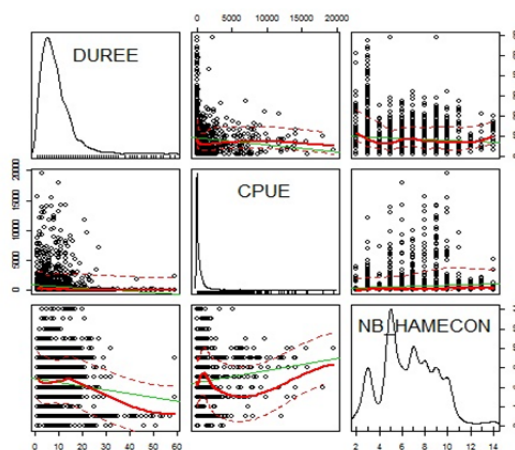
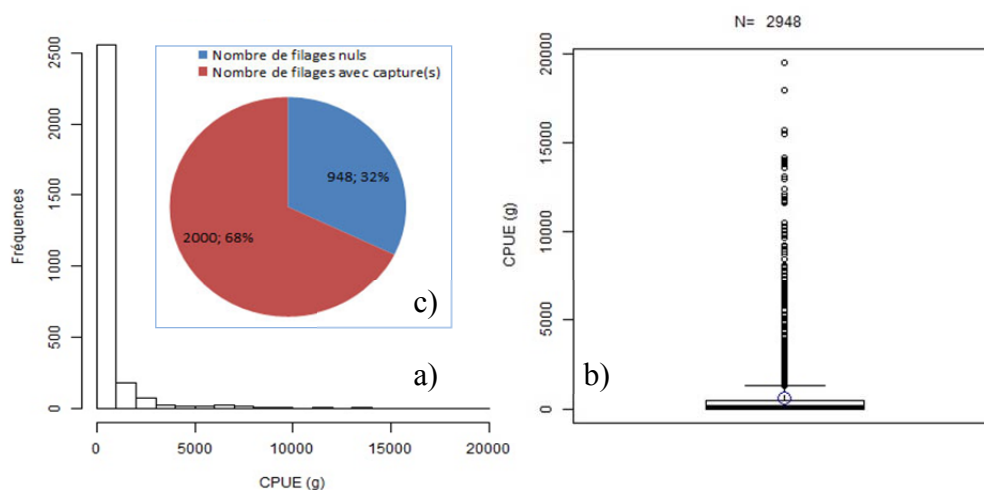


Figure 13 : Matrice des relations entre les rendements (CPUE), la durée et le nombre d'hameçons par filage.

La distribution des CPUE par filage de la Figure 14 indique une fois de plus de très fortes variabilités, avec plus de 30 % de filages nuls. En moyenne, 641 g de poisson ont été remontés par filage (coefficient de variation supérieur à 380%). Les niveaux de captures ont varié de 0 à 540 g dans 75 % des filages.



Moyenne	Ecart-type	Médiane	1 <sup>er</sup> Quartile	3 <sup>ème</sup> Quartile	Max	Min
641.52 g	1673.92 g	139.77 g	0 g	539.14 g	19 550 g	0 g

Figure 14 : Distribution des captures commerciales par filage (a et b) et proportion des filages nuls et avec captures (c) (o : moyenne ; — : médiane).

#### 5.2.2.1. Résultats descriptifs de la CPUE-filage par secteur

Les résultats de CPUE-filage par zone sont donnés à titre descriptif (Figure 15) car ils ne peuvent être interprétés au vu des caractéristiques de leur distribution. La tendance des valeurs moyennes des CPUE-filage par secteur ne reflète pas celle des valeurs médianes correspondantes. Il existe de très grands écarts entre les valeurs de CPUE-filage, ne permettant pas de discriminer des différences entre zones. Les secteurs A1 et

B2 pour l'Ouest de l'île, et les secteurs C4, C5 et D6 pour les parties Sud et Est semblent toutefois montrer des valeurs de rendement par filage supérieures.

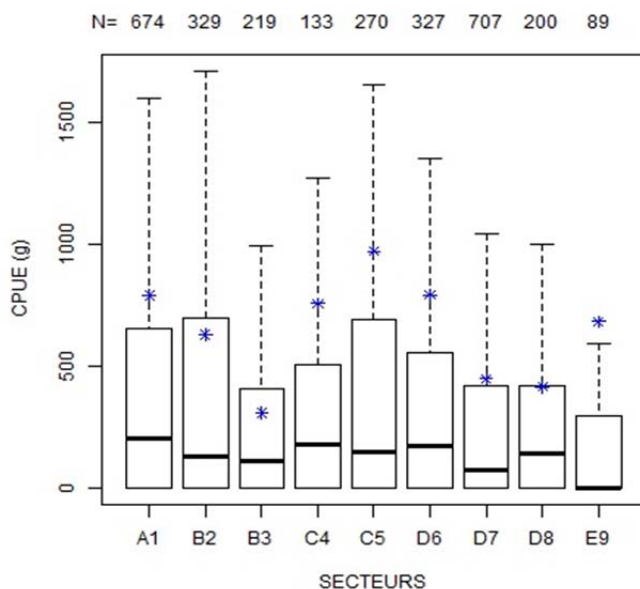


Figure 15 : Distribution des captures commerciales moyennes par filage et par secteur (\* : moyenne ; — : médiane).

#### 5.2.2.2. Résultats descriptifs de la CPUE-filage par mois

La distribution des captures par filage (Figure 16) varie fortement par mois, avec des valeurs moyennes plus élevées durant la période hivernale. Toutefois, les très fortes variabilités observées biaisent l'interprétation des valeurs moyennes. En comparaison, l'analyse des valeurs médianes de CPUE-filage indique une tendance inverse, à savoir une diminution des CPUE-filage durant la période hivernale.

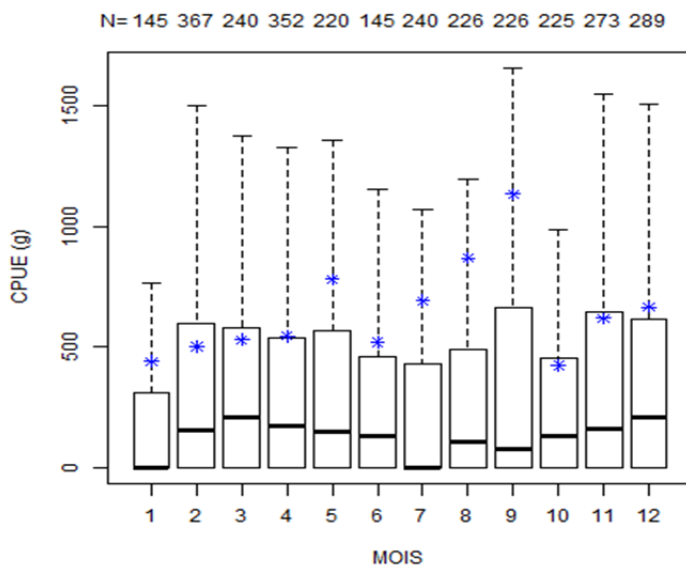


Figure 16 : Distribution des captures commerciales moyennes par filage et par mois (\* : moyenne ; — : médiane).

### 5.2.3. Discussion sur la sensibilité de l'indicateur CPUE-sortie et filage.

Ces premiers résultats issus des analyses descriptives des CPUE par sortie et par filage, toutes espèces commerciales confondues, traduisent la complexité de l'interprétation de la CPUE moyenne dans le temps mais aussi dans l'espace. En l'état, cet indicateur ne démontre pas une robustesse et un niveau de sensibilité satisfaisant pour mettre en évidence un état ou une modification dans les stocks. L'indicateur CPUE par filage est l'unité de référence la plus fine à conserver, mais elle doit être précisée par les caractéristiques écologiques de chacune des espèces étudiées.

L'usage de données de CPUE comme indices d'abondances locales des ressources exploitées, demande dans un premier temps d'identifier les multiples sources de variations potentielles de la capturabilité des poissons et dans un deuxième temps, de les diminuer dans la mesure du possible. Les effets liés aux pêcheurs, à son expérience, à la météo et conditions de mer du jour de pêche, aux caractéristiques intrinsèques des systèmes exploités se retrouvent de facto très variables en fonction du temps et de la zone. L'effet de chaque paramètre sur la CPUE ne peut pas être mesuré à partir des données acquises dans le cadre de cette étude. Il s'agirait pour cela de mettre en place des protocoles lourds qui permettraient de tester l'effet de chacun des paramètres sur la CPUE pour chacune des zones, périodes, espèce, conditions environnementales et pour chaque pêcheur. En l'état, ces paramètres ne sont donc pas dissociables à l'échelle de la pêcherie. A contrario, il est possible d'identifier et de caractériser l'influence des stratégies des pêches mises en œuvre par le pêcheur sur les CPUE obtenues. De manière simplifiée, les pêcheurs de démersaux appliquent différentes stratégies de pêche en fonction des espèces qu'ils ciblent et du comportement de ces dernières dans leur habitat au cours d'une journée. La prise en compte de la notion d'habitat est primordiale si l'on souhaite que la CPUE reflète l'image la plus précise de l'abondance du stock étudié.

Généralement, l'habitat se caractérise par une biocénose et la structure physique qui l'héberge. La structure physique des habitats des espèces retenues dans ce projet est constituée essentiellement de zones rocheuses et ou coralliennes. Chacune des espèces de poissons exploitées a un préférendum d'habitat, qui peut être différent selon son histoire de vie. De même, chacune de ces espèces a un comportement alimentaire bien distinct. L'expérience du pêcheur intègre de manière empirique les habitats privilégiés en fonction des espèces. Le pêcheur explore le milieu et apprend à identifier les zones les plus favorables pour capturer une espèce. Il a également appris à interpréter les conditions du milieu qui influencent la capturabilité de chacune des espèces dans leurs habitats respectifs, selon leur comportement alimentaire. Par son expérience, le pêcheur a intégré ces paramètres dans sa stratégie de pêche.

Ainsi, le protocole d'échantillonnage a été bâti pour échantillonner les différents habitats des espèces ciblées par les pêcheurs, sur la base de leur connaissance et de leur expérience. L'un des points cruciaux à considérer, pour une espèce donnée, est qu'il n'existe aucune certitude sur sa capturabilité journalière. Les très bons rendements obtenus à un moment donné peuvent évoluer très rapidement et ne présagent en rien des rendements à venir le jour même ou ceux suivants. La variabilité de la capturabilité peut intervenir sur un simple changement de condition météorologique, de sens ou de vitesse de courant, du cycle circadien ou lunaire. Si les pêcheurs les plus expérimentés arrivent à décrypter certaines conditions favorables à la capture de certaines espèces, il n'y a pas de règles absolues quant au succès de la pêche. Ces quelques paramètres listés ici

conditionnent fortement les valeurs de la CPUE et leur interprétation. L'important échantillonnage mis en place dans le cadre de cette étude a permis de prendre en considération la variabilité intrinsèque au système pêche.

Sur ces bases, une première approche exploratoire de la variabilité des CPUE par filage a été entreprise pour chacune des espèces ciblées par les pêcheurs et retenues dans le projet comme espèces indicatrices de l'état de santé des stocks et de la pêcherie. Comme présenté précédemment, les 7 espèces suivantes ont été retenues dans cette étude : le vivaneau gros-tête (ETA), le vivaneau la flamme (ETC), le vivaneau cerf-volant (LRY), le vivaneau gros-écale (LRI), le zambas (EBS), le cabot rayé (EZR) et le requin zépine (DOP).

### **5.3. Calcul de l'estimateur CPUE-filage standardisé par espèce.**

#### **5.3.1. Effets de l'habitat et du rythme circadien sur les CPUE-filage par espèce.**

L'habitat est défini ici dans sa plus simple expression, c'est-à-dire un découpage des zones de pêche favorables aux espèces ciblées, en classes bathymétriques (10 et 50 m), afin de mettre en évidence leur importance dans la répartition verticale de chacune d'elles. Au sein de chaque habitat, la connaissance du pêcheur permet d'identifier les zones de pêche favorables à chacune des espèces ciblées.

Le rythme circadien est une approche nouvelle qui cherche à prendre en considération le rythme biologique de chacune des espèces en termes de capturabilité (niveau de CPUE ou occurrence de présence dans les filages) sur une période d'environ 24 heures. Pour ce faire, la journée a été découpée en 4 périodes : l'aurore (5h30-9h30), la journée (9h30-16h00), le crépuscule (16h00-19h00) et la nuit (19h00-5h30). Ces quatre grandes phases sont bien connues des naturalistes et des pêcheurs pour rythmer le déplacement, l'alimentation et la reproduction des animaux. Le découpage appliqué ici découle directement des observations et de l'expérience des pêcheurs. Elles correspondent approximativement à des périodes moyennées sur une année et ont été arrêtées de manière factuelle pour l'ensemble des espèces étudiées.

De tels rythmes biologiques existent chez tous les êtres vivants et se manifestent par des variations cycliques d'un grand nombre de paramètres physiologiques (activité métabolique, sécrétion d'hormones...). Dans la présente étude, cet aspect est traité à travers l'activité alimentaire optimale à une profondeur donnée et durant des périodes de la journée ou de la nuit pour chacune des espèces. L'objectif ici est de maximiser et de préciser l'effort de pêche, afin que les captures réalisées ne subissent pas toute la variabilité liée au comportement de l'espèce. En effet, les filages nuls ont une conséquence directe sur la robustesse de l'indicateur CPUE si son occurrence reflète directement l'état de la ressource. Si des filages sont mis en œuvre sur des habitats et à des moments non favorables à la capture de l'espèce, l'indicateur CPUE perdra toute sa sensibilité pour refléter l'état de la ressource.

L'indicateur CPUE par filage doit donc être maximisé pour une espèce sur son habitat de prédilection et durant sa période d'activité alimentaire. Le fort taux



d'échantillonnage appliqué durant l'étude a permis de minimiser les effets des autres facteurs de variabilité non mesurables et difficiles à discerner. L'analyse de la Figure 17 met en évidence l'occurrence (a) d'apparition de chacune des espèces et leur CPUE-filage moyenne(b) en fonction de la profondeur et des périodes du jour et de la nuit.

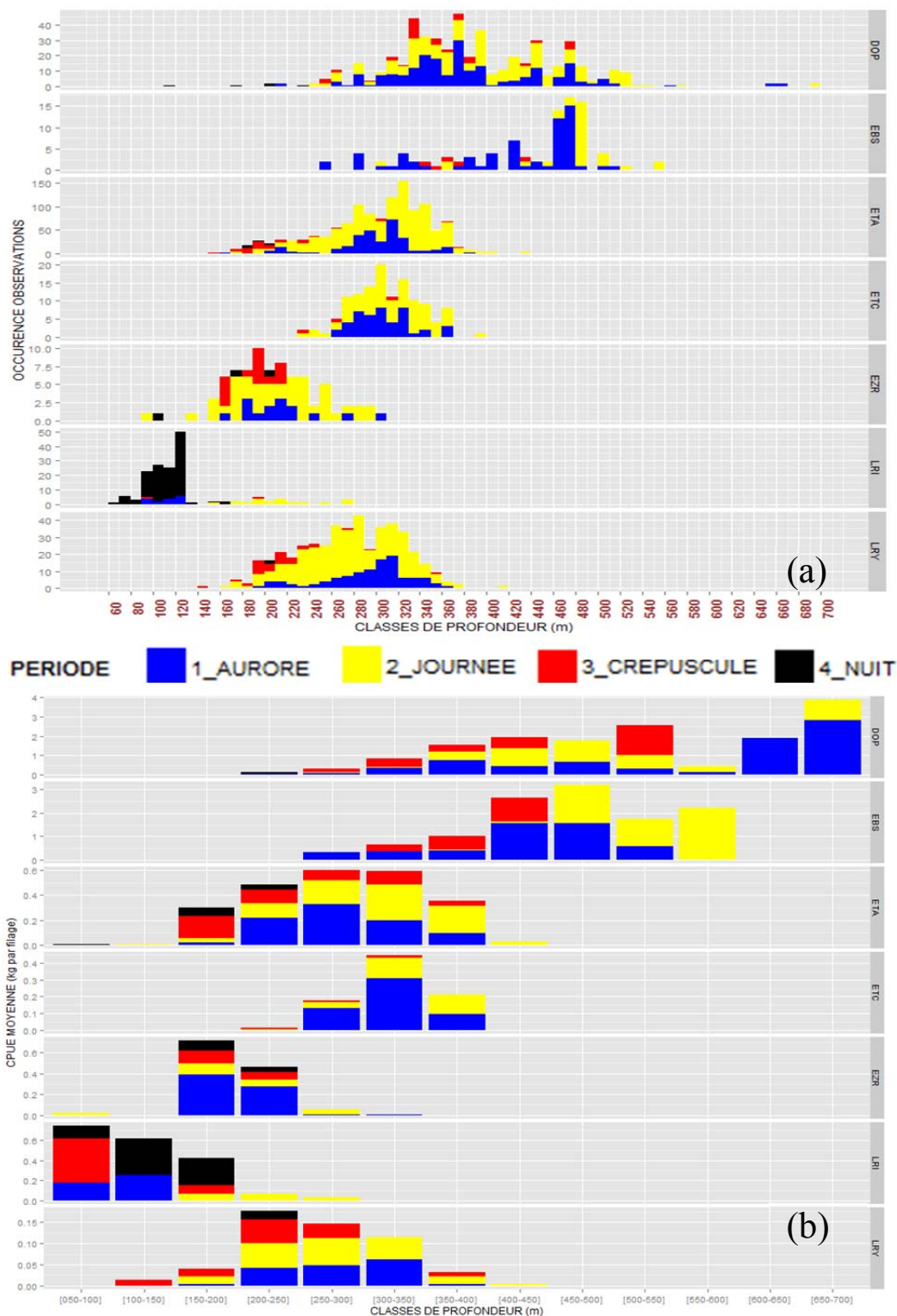


Figure 17 : Occurrence des captures(a) et CPUE moyenne (b) par espèce dans les filages en fonction de la période et de la profondeur.

Les requins zépines (DOP) ont montré une large répartition bathymétrique, de 175 mètres à 700 mètres avec des habitats préférentiels situés entre 300 et 500 mètres de profondeur. Son activité alimentaire en pêche a été optimale de l'aurore à la fin de la journée. Malgré des CPUE-filage moyennes importantes observées au-delà de 500 mètres, il n'est pas opportun de considérer ces habitats très profonds (supérieur à 500 mètres) comme prépondérants pour interpréter cet indicateur pour l'espèce.

Le zambas (EBS) a été observé de 250 à 550 mètres. Ses activités alimentaires ont montré deux comportements en pêche, nécessitant de distinguer deux CPUE statistiquement différentes (glm,  $p < 0.01$ ) :

- Une période alimentaire très active en banc plus ou moins important, préférentiellement pélagique (plus au large), à l'aurore et en journée, sur des sondes comprises entre 450 et 550 mètres où l'occurrence d'observation et les rendements obtenus ont été significativement plus importants qu'à la côte ;
- Une activité alimentaire plus côtière (350-450 m), avec une moindre abondance de poisson, centrée à l'aurore et au crépuscule. Les poissons adoptent alors un comportement plus démersal, se nourrissant à proximité du fond.

Le vivaneau gros-tête (ETA) a été capturé entre 150 et 430 mètres de profondeur. Les occurrences de captures et les rendements obtenus ont été optimaux sur les sondes comprises entre 250 et 350 mètres à l'aurore et durant la journée ( $p < 0.01$ ). L'activité crépusculaire dans les habitats plus côtiers suggère des déplacements de poissons du large vers la côte en toute fin d'après-midi.

Le vivaneau la flamme (ETC) occupe l'habitat le plus restreint. Il a été observé entre 210 à 400 mètres de profondeur. Son activité alimentaire est maximale à l'aube et en journée sur les sondes comprises entre 280 et 370 mètres ( $p < 0.05$ ).

Le cabot de fond a été pêché entre 90 et 300 mètres de profondeur. Leur rendement et leur occurrence dans les filages ont été les plus importants entre 160 et 230 mètres de profondeur, à l'aube et durant la journée ( $p < 0.01$ ).

Le vivaneau gros-écale (LRI) a été observé dans les captures, entre 60 et 270 mètres de profondeur. Contrairement aux autres espèces, sa période d'activité alimentaire a été maximale de nuit entre 90 et 130 mètres de profondeur. Ce vivaneau réalise également des migrations nyctémérales, privilégiant les habitats plus profonds la journée, avec une activité alimentaire plus discrète.

Enfin, le vivaneau cerf-volant (LRY) occupe les fonds compris entre 140 et 370 mètres. Son activité alimentaire a été maximale à l'aube et en journée, entre 230 et 330 mètres ( $p < 0.01$ ). Son activité alimentaire a évolué au cours des heures du jour. Les captures ont été maximales à l'aube dans les habitats les plus profonds, évoluant au cours de la journée jusqu'au crépuscule vers les zones moins profondes.

Plus globalement, l'analyse de la Figure 18 permet de visualiser les mouvements des poissons entre les habitats au cours d'un rythme circadien. Les résultats mettent en évidence trois grands types de comportement :

- les espèces de poissons qui semblent gagner des habitats plus profonds entre l'aurore et la journée pour ensuite revenir plus à la côte au crépuscule, voire la

nuit : cas du zambas (EBS), du requin zépine (DOP) et enfin du vivaneau gros-écale (LRI) qui est le seul réellement actif de nuit ;

- les espèces de poissons actifs à l'aube et en journée essentiellement et qui semblent gagner des habitats moins profonds progressivement jusqu'au crépuscule : cas du cerf-volant (LRY) et du vivaneau gros-tête (ETA) ;
- les espèces relativement sédentaires et principalement actives du lever du jour à la fin de la journée : cas du vivaneau la flamme (ETC) et du cabot de fond (EZR).

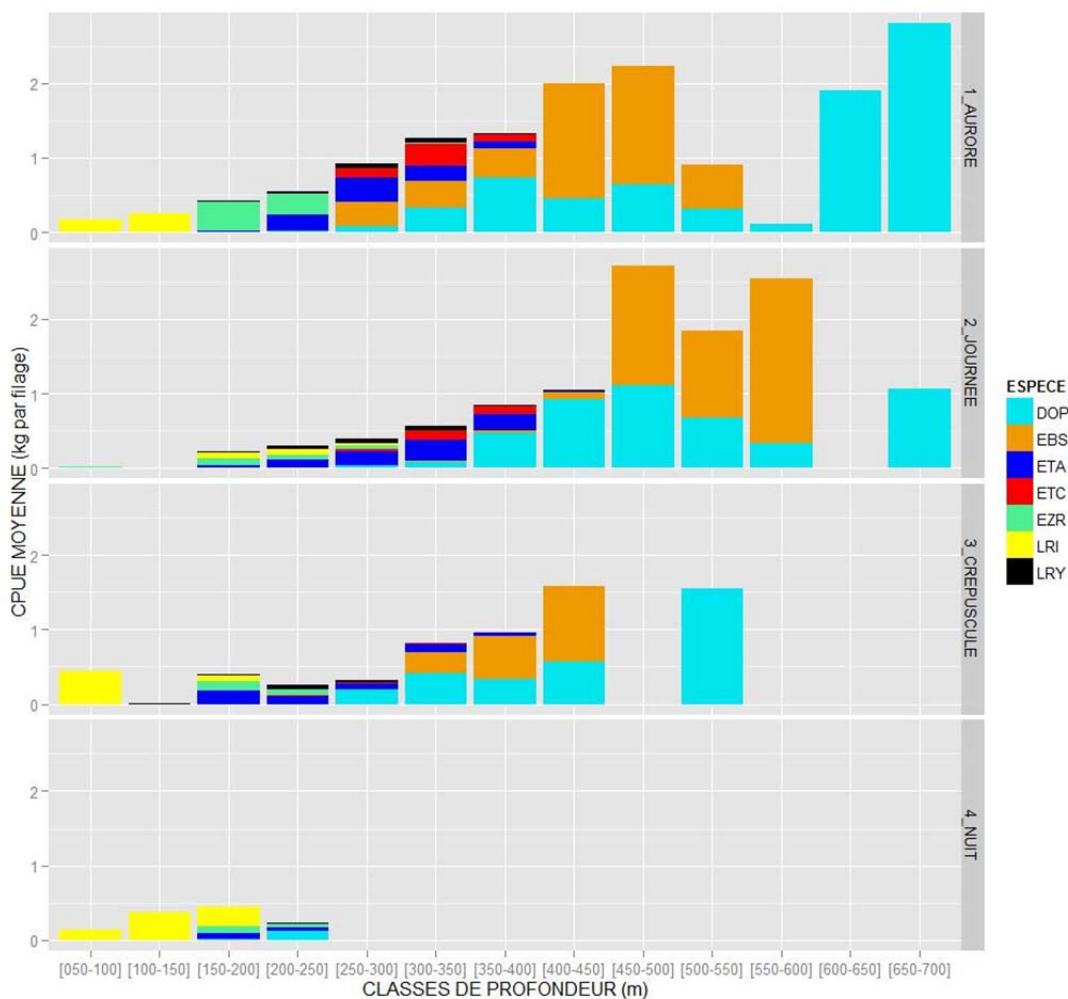


Figure 18 : Evolution des rendements moyens par espèces en fonction par classe de profondeurs et par période.

Enfin, l'analyse des profondeurs optimales de captures de chacune des espèces (Figure 19) renseigne d'une part sur la distribution verticale des espèces et d'autre part, sur les chevauchements potentiels des habitats. Ainsi, la distribution verticale du vivaneau gros-tête (ETA), englobe pleinement celle du vivaneau la flamme (ETC) et dans une moindre mesure celle du vivaneau cerf-volant (LRY). Le zambas (EBS) et le requin zépine (DOP) partage en partie les mêmes isobathes mais leur comportement est bien distinct. Le vivaneau gros écale (LRI) et le cabot rayé (EZR) occupent des zones bien séparées des autres espèces.

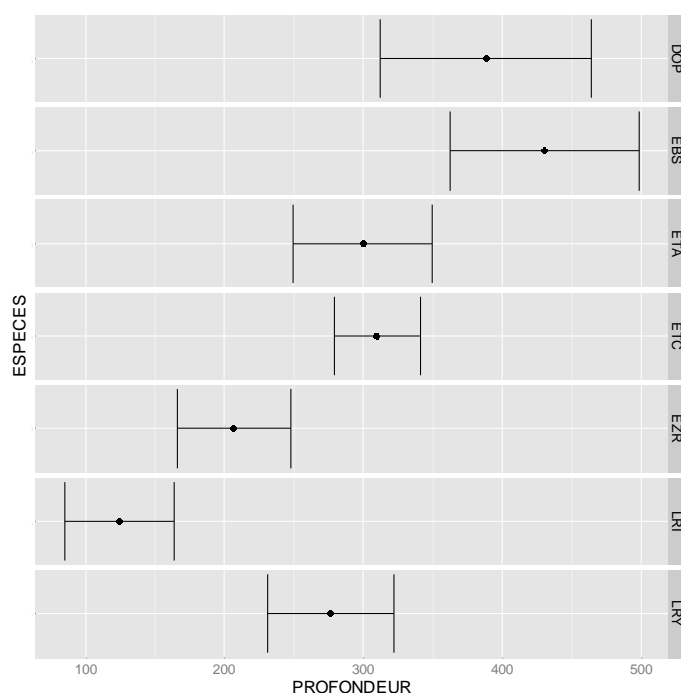


Figure 19 : Profondeurs optimales de capture des principales espèces ciblées dans les pêches démersales profondes à La Réunion (moyenne  $\pm$  2 écart-types).

### 5.3.2. Estimation de l'indicateur CPUE-filage par espèce en 2014

Pour chacune des espèces, l'analyse graphique des critères de profondeurs et de périodes optimales de pêche ont été utilisés pour standardiser le calcul de l'indicateur CPUE spécifique par filage. Le Tableau 8 synthétise les critères retenus pour paramétrer l'extraction des données de CPUE spécifiques par filage sur la totalité des embarquements réalisés dans le projet DMX2. Concernant le zambas (EBS), deux indicateurs CPUE distincts ont été estimés suivant les résultats précédents.

Tableau 8 : Critères retenus pour l'analyse des indicateurs halieutiques CPUE-filage par espèce.

	LRI	EZR	LRY	ETA	ETC	EBS <sub>côte</sub>	DOP	EBS <sub>péla</sub>
<b>Intervalle de profondeur (m)</b>	90-130	160-230	230-330	250-350	280-370	350-450	350-500	450-550
<b>Période de la journée</b>	Nuit	Aurore, Journée	Aurore, Journée	Aurore, Journée	Aurore, Journée	Aurore, Crépuscule	Aurore, Journée	Aurore, Journée

La Figure 20 présente les valeurs des CPUE spécifiques moyennes (bootstrap) par filage des campagnes à la mer 2014 du projet DMX2. Un intervalle de confiance (bootstrap) a été calculé. Le Tableau 9 résume l'ensemble des paramètres de sortie des estimateurs CPUE et des biais pour chacune des espèces. Les différences de CPUE moyennes par filage entre les zambas du large (EBS<sub>péla</sub>) et ceux à la côte (EBS<sub>côte</sub>) sont hautement significatives ( $p < 0.001$ ). Elles ont été identifiées comme deux indicateurs distincts du niveau d'exploitation de l'espèce dans des habitats différents. Cela suggère notamment des hypothèses quant à la répartition du stock en fonction des habitats et de l'ontogénie

de l'espèce qui peuvent ainsi agir sur sa sensibilité et sa vulnérabilité à l'exploitation. Ainsi, les plus jeunes zambas ont uniquement été capturés plus au large.

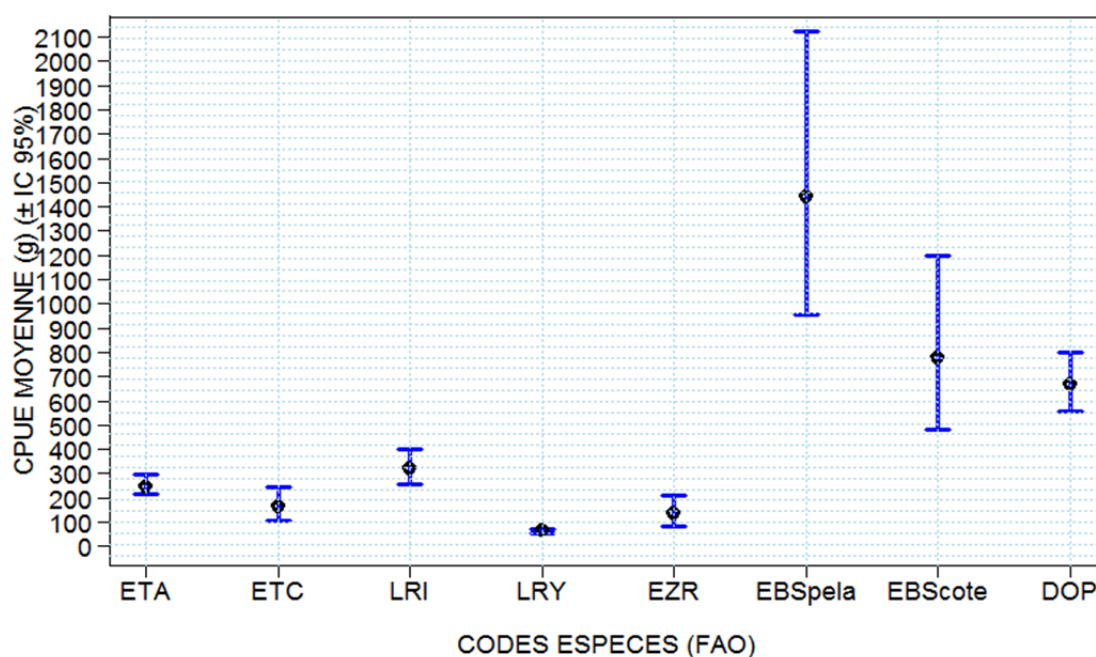


Figure 20 : Indicateurs CPUE-filage moyennes ( $\pm$  IC à 95%) par espèce en 2014 (estimateurs sous critères).

Tableau 9 : Synthèse des estimateurs de CPUE-filage moyennes par espèces.

Espèce	Nboot	Moyenne	IC95%inf	IC95%sup	Biais	Std.error
<b>ETA</b>	10000	243.6	217	295	-0.2	18.0
<b>ETC</b>	10000	162.1	108	244	-0.3	33.3
<b>LRI</b>	10000	319.2	258	399	0.5	35.6
<b>LRY</b>	10000	63.3	54	73	0.0	4.6
<b>EZR</b>	10000	132.3	84	210	0.1	30.8
<b>EBSpela</b>	10000	1440.3	961	2113	-4.7	285.6
<b>EBScote</b>	10000	779.3	481	1196	-0.2	178.8
<b>DOP</b>	10000	664.8	556	800	1.7	61.9

### 5.3.3. Evolution de l'indicateur CPUE-filage spécifique de 2000 à 2014

L'indicateur CPUE spécifique moyenne par filage prend tout son sens dans le cadre d'un suivi qui permet d'appréhender la tendance temporelle à l'échelle annuelle ou pluriannuelle d'un stock. Pour rappel, le stock correspond à la part exploitée d'une population de poissons.

L'approche spatiale ou mensuelle n'a pu être réalisée dans le cadre de cette étude, faute d'échantillonnage spécifique suffisant à chaque strate. L'interprétation que l'on pourrait

faire d'une telle analyse serait hasardeuse dans le cadre de ce travail. Mais cela mériterait d'être étudié à l'avenir, afin de déterminer l'influence saisonnière et spatiale sur ces résultats.

La comparaison de ces résultats avec ceux des campagnes de prospection réalisées en 2000 (DMX0) et 2011 (DMX1) a été entreprise. Ce travail a nécessité la reprise de l'ensemble des données historiques afin de les traiter selon les hypothèses de calibration (habitat, période) et de la méthodologie d'analyse des données mise en œuvre dans le cadre de cette étude (§ précédent). Il s'agit ici d'une approche « indicateur » et il est important de prendre avec précaution les valeurs moyennes des indicateurs qui sont présentées ici. Compte tenu de la variabilité des plans et taux d'échantillonnage mis en œuvre lors des différentes campagnes, l'analyse des tendances et des écarts est à privilégier pour l'interprétation des indicateurs annuels.

Deux espèces ne figurent pas dans la Figure 21 qui synthétise l'évolution de l'indicateur CPUE moyen spécifique par filage. Il s'agit du cabot rayé (EZR) et du vivaneau gros-écaille (LRI) pour lesquels, très peu, voire aucune, données de captures, n'étaient disponibles dans les campagnes antérieures.

A l'exception du vivaneau cerf-volant (LRY) pour lequel il n'y a pas d'indice en 2000, les CPUE des autres espèces sont en baisse entre 2000 et 2014. Excepté le requin zépine (DOP), les valeurs de 2014 n'indiquent pas d'aggravation par rapport à 2011, voire de très légères augmentations statistiquement significatives ( $p < 0.01$ ) pour les principaux stocks exploités. Mais cela indique toutefois des signes d'une exploitation importante et soutenue dans la pêcherie. L'abondance de ces stocks a diminué très rapidement durant les 10 premières années d'exploitation. Ces premières tendances semblent indiquer des valeurs basses qui se stabilisent depuis 2011 (à suivre dans les années à venir).

L'évolution du stock de requin zépine (DOP) indique toutefois une tendance à la baisse constante. Cette espèce non ciblée par la pêcherie constitue une capture accessoire importante en deçà des 350 mètres de profondeur. Cette espèce a été retenue comme indicatrice pour sa sensibilité connue à l'exploitation (Pajuelo, 2011 ; Braccini, 2007) et de son importance dans le maintien de l'équilibre fonctionnel et trophique des habitats profonds. Le signal observé dans ces premiers résultats met en évidence des niveaux d'abondance en diminution constante pour ce stock, pourtant non ciblé. Il est préconisé de le suivre à l'avenir.

Quant au vivaneau cerf-volant (LRY), l'augmentation significative de son abondance ( $p < 0.01$ ) dans le système, alors qu'aucun individu n'avait été capturé durant la campagne de 2000, suggère un état d'exploitation que l'on peut caractériser de soutenable pour l'espèce. Cette situation soulève l'hypothèse d'un premier signe de déséquilibre fonctionnel dans les communautés démersales profondes. Une pression de pêche trop élevée pourrait induire une modification dans les communautés de poissons dans leur ensemble. La pêche excessive des espèces prédatrices à forte longévité pourrait avoir des effets en cascade sur le reste de la chaîne trophique. Globalement, les espèces de bas niveau trophique et les espèces à faible durée de vie seraient favorisées. La pêche rapide des plus gros prédateurs du système dès le début 2000 permettrait à cette petite espèce de se développer rapidement dans les différents habitats profonds.

En effet, l'évolution des structurations en taille des espèces principales ciblées (§ 5.1, Figure 9) indique très clairement une érosion importante et rapide des structures

démographiques des vivaneaux gros-tête (ETA) et la flamme (ETC) qui occupaient jadis en nombre l'habitat actuel du vivaneau cerf-volant (Figure 19). Les plus gros individus (plus de 50 cm, > 2 kg) de ces deux espèces ciblées, couramment capturés en 2000, le sont de manière plus anecdotique aujourd'hui. Les plus gros vivaneaux la flamme ne se pêchent que sur des points précis connus de quelques pêcheurs et bien plus rares dans certaines zones de l'île.

Il est important pour chacune de ces espèces de caractériser leur sensibilité à l'exploitation aux travers de leurs principales caractéristiques biologiques.

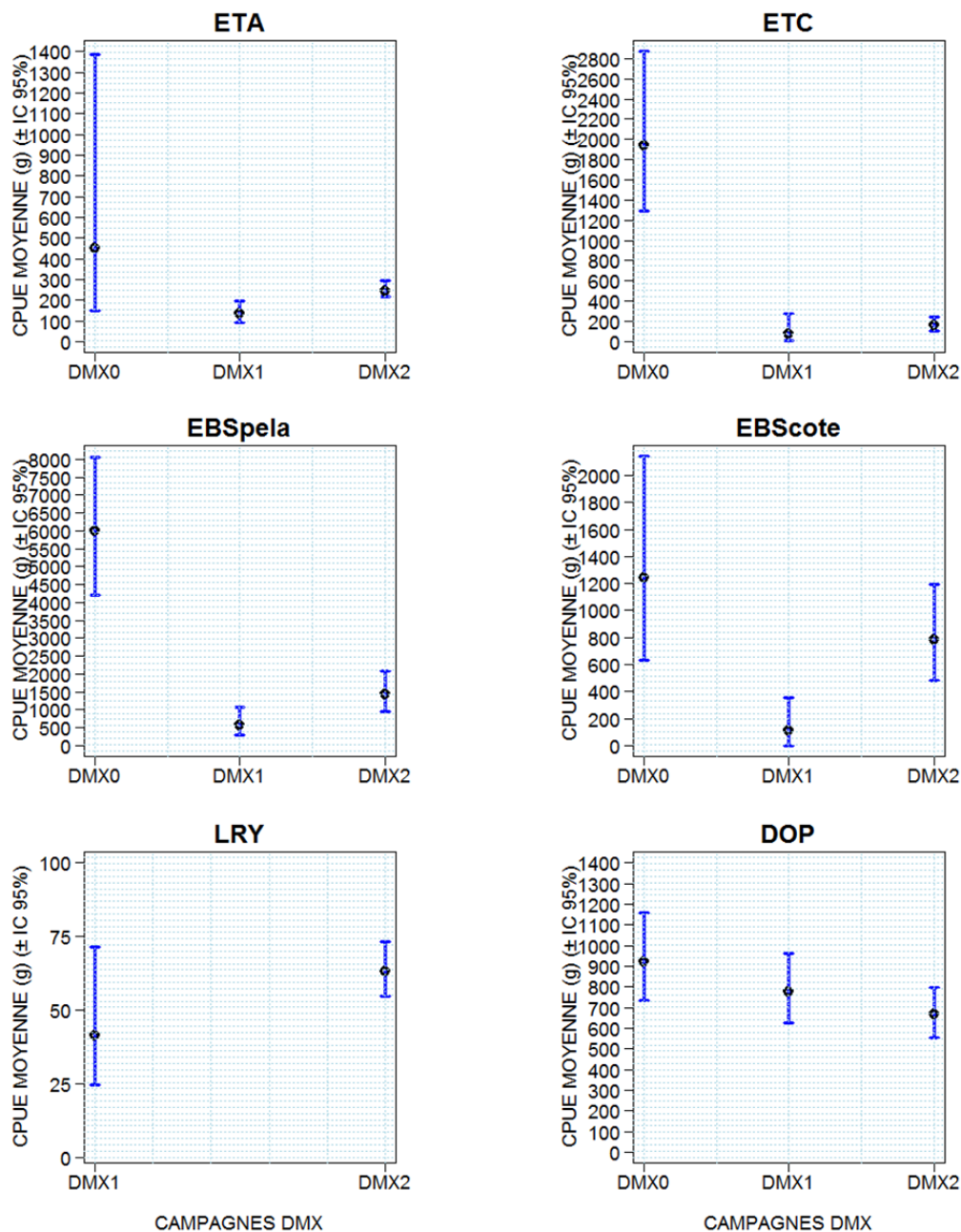


Figure 21 : Evolution des CPUE moyennes ( $\pm$  IC95 % bootstrap) par filage pour chacune des espèces principales capturées.

## **6. ACTION 2 – Analyses des données de captures des pêcheurs plaisanciers**

L'objectif de cette action était de valoriser des fiches de pêche plaisances qui devaient être remises à la Direction de la Mer (DMSOI) dans le cadre du suivi administratif de l'activité des pêches démersales profondes par les pêcheurs plaisanciers. Ce projet n'ayant pas abouti, la DMSOI n'a pas été en capacité de fournir ces données (communication personnelle M. T. BONNAVEIRA). A la demande de la DMSOI, cette action a été reportée et fera certainement l'objet d'un projet complémentaire (FEAMP).



## VOLET B : BIOLOGIE-ÉCOLOGIE DES PRINCIPALES ESPÈCES CAPTURÉES

### 7. ACTION 3– Cycle biologique et croissance

#### *ATTENDU DE L'ACTION 3 :*

- (1) Caractériser les structures démographiques des espèces démersales pêchées.
- (2) Obtenir les paramètres et indicateurs biologiques des 6 principales espèces démersales étudiées.

#### *DELIVRABLE ACTION 3 :*

- (1) Les équations allométriques (taille-taille et taille-poids par sexe), les structures en tailles par zone ainsi que les paramètres de croissance pour les 6 principales espèces retenues lors de l'étude.
- (2) Une évaluation des sex-ratios, des tailles/âges de première maturité sexuelle, les saisonnalités de reproduction et des indices de conditions spécifiques.

Les structures démographiques des stocks exploités ont fait l'objet de traitements spécifiques dans le chapitre sur les indicateurs halieutiques présentés dans l'action 1 précédente (§ 5.1).

L'ensemble des paramètres et indicateurs biologiques sont présentés ici pour chacune des espèces retenues dans le projet.

Les résultats présentés dans ce chapitre sont le fruit du travail conjoint mené par les équipes des stations Ifremer de La Réunion et du centre de Boulogne sur Mer.

#### **7.1. Mesures et matériels biologiques prélevés**

Chaque individu de chaque espèce pêchée a fait l'objet de mesures biométriques et de prélèvements biologiques spécifiques. Certaines espèces et ou spécimens ont fait l'objet de traitements spécifiques à quai (longueurs, poids, prélèvements), lorsqu'elles n'étaient pas d'intérêt direct pour le projet (captures complémentaires).

Le rythme et l'intensité des prélèvements réalisés ont été en accord avec les questions traitées dans le projet. Les paramètres biologiques suivis pour des mesures biométriques, de reproduction et d'alimentation, ont été relevés systématiquement chaque mois, afin de disposer d'un cycle complet annuel.

En accord avec notre partenaire en charge de l'étude des réseaux trophiques (Université de La Réunion), deux périodes distinctes (hiver et été austral) ont été identifiées pour prélever les poissons nécessaires aux analyses portant sur l'écologie trophique (Action 4).

Les prélèvements d'otolithes pour l'estimation de la croissance et d'échantillons de tissus musculaires pour les analyses génétiques ont été réalisés indépendamment tout au long de l'étude. Les quantités prélevées par espèce ont été arrêtées en accord avec les

partenaires du projet en charge de l'étude de la croissance (Ifremer, pôle de sclérochronologie de Boulogne sur Mer) et des analyses génétiques (Ifremer DOI).

### 7.1.1. Mesures biométriques

Les mensurations biométriques des captures destinées aux suivis biologiques sont réalisées au laboratoire de l'Ifremer de La Réunion.

L'ensemble des mesures biométriques prises sur chaque individu en laboratoire sont :

- Les mensurations de la Longueur totale (Lt), de la Longueur à la fourche (Lf) et de la Longueur standard (Ls) sont prises à l'aide d'un ichtyomètre (longueur droite) au mm (Figure 22) ;
- Le Poids total (Pt), aussi nommé entier ou vif, et le Poids vide (Pvide, inclus les branchies, la vessie natatoire et le cœur) sont obtenus selon la taille des poissons à l'aide de deux balances qui font l'objet d'un suivi métrologique annuel. Les poissons pesant moins de 2 kg pièce sont pesés avec une balance de 2kg de portée, précise à 1g (RADWAG WLC 2/A2). Pour les poissons de plus de 2 kg, il s'agit d'une balance d'une portée de 20 kg et précise à 10 g (SOEHNLE) ;
- Les poids des organes tels que le foie, la gonade et les viscères ont été relevés grâce à une balance de précision (PRECISA XB 320 M, précise au millième de gramme). Le poids des viscères inclut la totalité des masses grasses présentes dans la cavité abdominale, mais sans l'estomac.

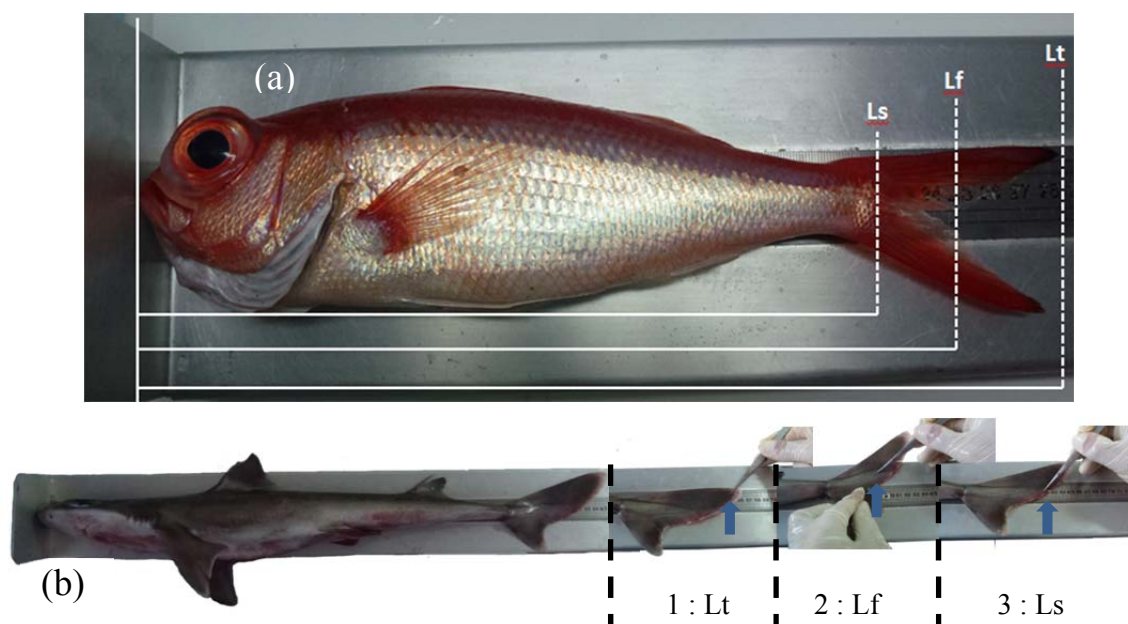


Figure 22 : Mesures de longueurs de référence prises sur les poissons osseux (a) et sur les requins (b ; 1 : Lt, 2 : Lf, 3 : Ls) à l'aide d'un ichtyomètre (précision au mm).

### 7.1.2. Prélèvements et observations réalisés

Les différents échantillons biologiques sont prélevés à des endroits précis du poisson (Figure 23) et stockés dans des contenants spécifiques avant leur analyse (Figure 24).

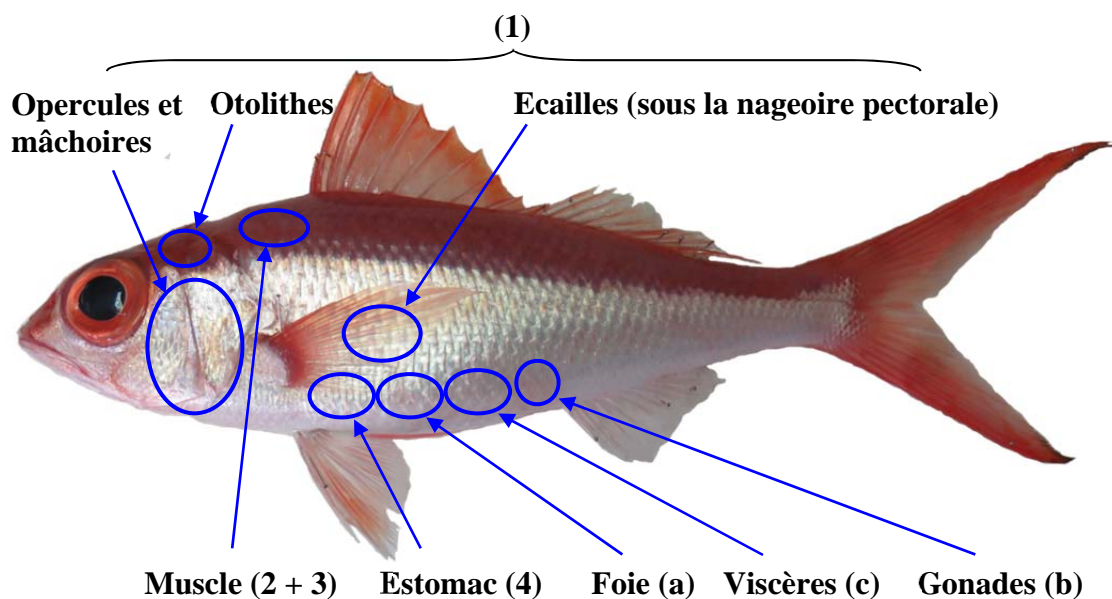


Figure 23 : Zones de prélèvements biologiques sur les poissons en laboratoire.

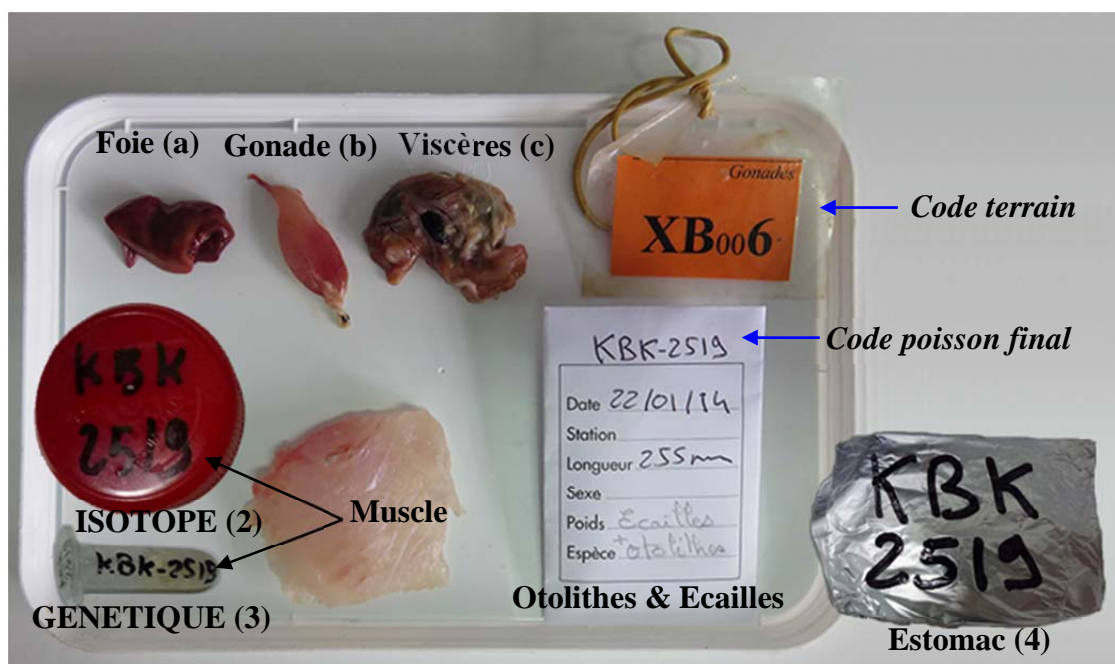


Figure 24 : Présentation des prélèvements et de leurs conditionnements avant analyses.

Chaque prélèvement est identifié par le code poisson individuel donné en laboratoire (code FAO + numéro).

#### 7.1.2.1. Prélèvements pour l'étude de croissance.

La détermination de l'âge est possible grâce à la lecture de pièces osseuses. Chez les poissons osseux, les otolithes sont les pièces osseuses les plus utilisés pour l'étude de la croissance. Ils ont donc été systématiquement prélevés pour chacune des espèces, jusqu'à obtenir un échantillonnage suffisant par classe de taille. En complément, 10 à 15 écailles ont été prélevées au niveau de la nageoire pectorale, en cas d'impossibilité de

lecture de l'âge sur les otolithes. Concernant le cas particulier du Zambas (EBS), les os des 2 opercules et de la mâchoire ont été prélevés à partir du 10 décembre 2015, après que les premières analyses sur otolithes et écailles se soient révélées inexploitable. Ces prélèvements sont stockés dans des pochettes ou, dans le cas d'otolithes particulièrement fragiles, stockés dans des piluliers eppendorf.

Au-delà des relations taille/âge définies pour chacune des espèces, les otolithes peuvent également être analysés pour déterminer leurs formes et répondre à la question de séparation de stocks à l'échelle régionale, autour de la Réunion et dans l'océan Indien.

Concernant les requins zépines, poissons cartilagineux, seules les épines des nageoires dorsales ont été collectées. Leur traitement nécessitant de développer une méthodologie spécifique de traitement, l'étude de leur croissance n'a pas été abordée dans le cadre de cette étude.

Ces analyses sont réalisées par le laboratoire Ifremer de Sclérochronologie de Boulogne sur Mer. L'ensemble des résultats est détaillé dans le rapport technique du volet croissance du présent projet (rapport en Annexe 2). Les principaux résultats ont été extraits de ce rapport pour chacune des espèces étudiées.

#### 7.1.2.2. Prélèvements pour l'analyse des contenus stomacaux

Les contenus stomacaux non vides ont été prélevés systématiquement sur l'ensemble des espèces traitées en laboratoire. Ils ont été préservés dans du papier aluminium puis stockés rapidement au congélateur, pour des analyses descriptives et isotopiques.

Le nombre d'estomac non vide fut peu nombreux. En effet, lors de leur remontée depuis le fond jusqu'à la surface, la vessie natatoire (ou gazeuse) présente chez les poissons osseux subit une inflation importante du fait du changement de pression. Cette augmentation de volume progressive au cours de la remontée tend à pousser les organes hors de la cavité abdominale. L'estomac se retrouve très souvent dévaginé (retroussé) hors de la bouche. C'est pourquoi dans une grande majorité de cas, les estomacs étaient vides. A contrario, les requins ne rencontrent pas ce problème car ils ne possèdent pas de vessie natatoire.

Il arrive qu'une partie des proies contenues dans l'estomac se retrouve piégée par les arcs branchiaux lors du reflux gastrique. Toutes les proies encore disponibles sont alors récoltées et conditionnées pour analyses.

Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire Ecomar de l'Université de La Réunion (UMR ENTROPIE) et présentées dans le volet B (Action 4 : Ecologie trophique).

#### 7.1.2.3. Prélèvements pour analyse des signatures isotopiques

Des dosages isotopiques ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) ont été réalisés sur les poissons, leurs proies et dans leur habitat respectif (eau et sédiment), pour caractériser les positions trophiques de chacune des espèces ciblées par l'étude dans les différents compartiments benthopélagiques. Sur les poissons étudiés, des échantillons de chair de l'ordre de 5 grammes minimum ont été prélevés toujours au même endroit, soit à l'arrière de la tête (Figure 23). Les échantillons ont été stockés au congélateur dans des piluliers codés. Ces prélèvements ont été réalisés sur toutes les espèces, avec un effort particulier sur les espèces principales capturées (échantillonnage spatialisé et par classe de taille).

Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire Ecomar de l'Université de La Réunion (UMR ENTROPIE) et présentées dans le volet B (Action 4 : Ecologie trophique).

#### 7.1.2.4. Prélèvements pour l'analyse génétique.

Des échantillons de muscle de toutes les espèces capturées dans le projet DMX2 placés dans des piluliers eppendorf remplis d'alcool, ont été référencés puis conservés à -18°C. Cette banque d'échantillons génétiques fera l'objet d'analyses ultérieures.

Seuls les prélèvements de 3 *Etelinae*, des genres *Etelis*(2) et *Randallichthys* (1) ont été analysés lors de ce projet afin de répondre à l'hypothèse de la présence à La Réunion de 2 espèces cryptiques de vivaneaux rubis. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le livrable de l'action 5.

## 7.2. Méthodologie d'analyse des données biologiques

### 7.2.1. Relations biométriques

Chez un même individu, certaines relations entre deux grandeurs mesurables du corps peuvent être formulées en équations permettant de connaître et de comparer leur croissance corporelle et pondérale au cours de leur vie et selon les sexes. Ces relations représentent également des équations de conversion entre les poids et les tailles. Ces équations se révèlent utiles lorsque l'on ne dispose que d'une seule mensuration par individu (rétro-calcul des autres mesures). À partir de la relation taille-poids et de la croissance en longueur, il est possible par exemple d'estimer la croissance pondérale chez les poissons.

La relation Taille-Poids d'un poisson se traduit par la formule du type (Ricker 1975) :

$$Pt = a * Lt^b$$

$$\log Pt = \log a + b * \log Lt$$

Pt (g) : Poids total ou frais, Lt (cm) : Longueur totale, a : constante, b : coefficient d'allométrie<sup>1</sup>.

Le coefficient b de cette équation est caractéristique de l'espèce et de la phase de développement (Mayrat 1970). Un individu peut avoir une croissance isométrique<sup>2</sup> (soit b=3), dans ce cas, les évolutions du poids et de la longueur sont proportionnelles. L'allométrie est positive ou majorante quand b > 3, ou bien négative ou minorante quand b < 3 (Teissier 1948).

La relation Poids totale (Pt) – Poids vide (Pv) d'un poisson se traduit par la formule :

$$Pv = (a * Pt) + b \quad \text{ou} \quad Pt = (Pv - b)/a$$

La relation Longueur fourche (Lf) – Longueur totale (Lt) d'un poisson se traduit par la formule :

$$Lf = (a * Lt) + b \quad \text{ou} \quad Lt = (Lf - b)/a$$

<sup>1</sup> Allométrie : croissance d'un individu, d'un organe par rapport à la croissance totale.

<sup>2</sup> Isométrique : les évolutions du poids et la longueur sont proportionnelles.

La significativité des relations entre les longueurs (Lt, Lf et Ls) et le poids (Pt) de chaque espèce a été testée. Pour tester la relation entre la taille et le poids, une transformation logarithmique a été effectuée sur ces deux variables. Un modèle linéaire généralisé (GLM) a été réalisé incluant l'influence du sexe sur la relation entre les paramètres morphométriques du poisson de type :

$$Y \sim X + \text{Sexe} + X : \text{Sexe}$$

Avec Y : Lt ou log Pt, X : log Lt, Lf ou Ls, X : Sexe : effet du sexe sur la relation entre X et Y.

### 7.2.2. Age et modèle de croissance

Cette étude a fait l'objet d'un important travail spécifique réalisé au pôle de Sclérochronologie de l'Ifremer à Boulogne sur Mer. Un rapport technique spécifique est présenté en totalité dans l'Annexe 2 (83 pages). Seuls les principaux résultats spécifiques seront présentés dans ce chapitre. Les détails concernant les méthodologies mises en œuvre sont consultables dans le rapport joint.

Différentes pièces osseuses ont été utilisées pour estimer l'âge des poissons, en privilégiant l'utilisation des otolithes qui permettent une estimation de l'âge avec une grande précision (Panfili et al. 2002).

En fonction des espèces, les différentes techniques et pièces osseuses étudiés dans la présente étude sont rappelées ici :

- Otolithes *in toto* pour le vivaneau cerf-volant (LRY) et les petits individus de vivaneaux gros-tête (ETA) et le vivaneau la flamme (ETC) ;
- Otolithes en coupes transversales pour le vivaneau gros-écale (LRI), le cabot rayé (EZR) et les grands individus de vivaneaux gros-tête (ETA) et la flamme (ETC) ;
- Pièces d'opercule pour le zambas (EBS) car pour cette espèce, les écailles et otolithes se sont révélés non adaptés pour la lecture d'âge.

Les modèles de croissance par espèce ont été estimés en utilisant le modèle de croissance de Von Bertalanffy (1938) :

$$\text{Croissance en taille : } L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

$$\text{Croissance en poids : } P_t = P_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^3$$

K : coefficient de croissance déterminant la vitesse à laquelle le poisson atteint sa taille maximale. Lt, Pt : longueur et poids à l'instant t. L $\infty$ , P $\infty$  : longueur et poids maximaux ou asymptotiques. t $_0$  : âge théorique où la taille et le poids sont nuls.

La valeur de t $_0$  n'a pas de signification biologique (Knight 1968). Dans le cadre de cette étude, t $_0$ =0. La détermination des paramètres du modèle (L $\infty$ , K) a été réalisée à partir du logiciel R (Prager *et al.* 1989).

Pour chaque espèce, un test du rapport de vraisemblance (Likelihood Ratio Tests, Kimura 1980) a été utilisé pour comparer et tester les courbes de croissance de Von Bertalanffy des mâles et femelles.

Dans l'objectif de comparer la croissance entre les différentes populations d'une part, d'une même espèce, et d'autre part, entre plusieurs espèces, l'indice de performance de croissance  $\Phi$  (en cm.an $^{-1}$ , Pauly & Munro 1984) est utilisé :

$$\Phi = \log(K) + 2 \log(L_\infty)$$

K et L $\infty$  sont les paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy (1938).

### 7.2.3. Sexe et maturité sexuelle

Deux indicateurs ont été évalués pour déterminer les périodes de reproduction des espèces. Il s'agit de la caractérisation de la maturité sexuelle par l'observation macroscopique des gonades et le calcul de l'Indice Gonado Somatique (IGS). Une analyse conjointe de ces deux paramètres a donc été réalisée pour définir les cycles de reproduction.

#### 7.2.3.1. Observations macroscopiques des sexes et des stades de maturité

La détermination du sexe et du stade de maturité sexuelle a été évaluée pour chacune des espèces sur une échelle macroscopique (à l'œil nu), décrivant les sexes et les différenciant en 7 classes de maturité. Une grille de lecture (Tableau 10) a été adaptée à partir des échelles de maturité de Fontana (1969) et de la FAO (Holden et al, 1974), en fonction des spécificités rencontrées chez les différentes espèces. A titre d'exemple, la clé de détermination du vivaneau gros-tête est présentée en Annexe 3 avec des grilles illustrées par sexe.

Ces grilles ont permis une appréciation toute relative de l'état en reproduction des différentes espèces de poissons osseux. Elles ne permettent pas d'être précises sur les stades de maturité et de fécondité des animaux (West, 1990), mais restent pertinentes pour mettre en évidence les grandes périodes de reproduction. Pour cela, les testicules et les ovaires ont été examinés attentivement en notant leur aspect général, leur forme, la vascularisation, leur coloration, leur réaction à la pression et la visibilité des ovocytes à travers la membrane ovarienne chez les femelles.

L'anatomie des organes reproducteurs des requins est nettement différente, notamment par la présence de deux trompes utérines où se développent les fœtus. En effet, chez ces espèces cartilagineuses, la fécondation est interne contrairement aux poissons osseux. Une échelle de maturité a donc été adaptée de la bibliographie (Braccini, 2006 et 2007 ; Hazin et al, 2006) pour les requins profonds (Annexe 4). La discrimination des mâles et des femelles est particulièrement aisée chez ces espèces. La présence d'un organe copulateur externe chez les mâles est visible déjà chez les fœtus de stade avancé.

Pour chacune des espèces retenues, l'évolution mensuelle des fréquences relatives des différents stades de maturité macroscopique a été représentée graphiquement en utilisant les moyennes mobiles de base 3. La moyenne mobile, ou moyenne glissante, est une moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées de données, telles que séries temporelles, en supprimant les fluctuations transitoires liées dans notre cas à un résultat d'échantillonnage déséquilibré mensuellement (nombres de poissons capturés très variables chaque mois). Cette approche permet toutefois d'en souligner les tendances temporelles.

Pour la représentation graphique des résultats, les regroupements suivants ont été proposés (les individus « Indéterminés » ne sont pas pris en compte) :

- Immature (Stade 1 + Stade 2),
- Repos sexuel, début de maturation (Stade 3),
- Pré-Ponte (Stade 4),
- Ponte (Stade 5 + Stade 6).

Tableau 10 : Clé générale pour la détermination des stades de maturité par sexe pour l'ensemble des poissons osseux.

<b>CRITERES D'OBSERVATION MACROSCOPIQUES GENERAUX POUR LA DIFFERENCIATION DES STADES DE MATURETE CHEZ LES POISSONS OSSEUX</b>		
<b>STADE DE MATURETE</b>	<b><u>FEMELLES</u></b>	<b><u>MALES</u></b>
<b>INDETERMINEES : STADE 0</b>	Le sexe n'est pas identifiable. Les gonades se présentent sous forme de fins filaments, transparents/incolores.	
	Longueur des gonades < 1/3 de la cavité abdominale.	
<b>IMMATURE : STADE 1</b>	Les ovaires sont translucides, de forme cylindrique, avec des extrémités arrondies.	Testicules translucides, aplatis, fins, et peu vascularisés
	Longueur des gonades < 1/3 de la cavité abdominale	
<b>IMMATURE : STADE 2</b>	Les ovaires sont translucides, rosés, plus consistantes, aux extrémités arrondies.	Les testicules s'opacifient, sur des tons roses, vers du blanc ou du beige, de forme générale aplatie et anguleuse aux extrémités antérieures.
	La vascularisation est bien visible, de type "nervurée"	Une nervure spermatique longitudinale peut être apparente
Longueur des gonades < 1/3 de la cavité abdominale.		
<b>DEBUT DE MATURATION : STADE 3</b>	Ovaires de couleur rosée à orangée/saumon, s'allongent et s'épaissent sensiblement. La vascularisation est plus prononcée.	Testicules allongés, plus larges et anguleux, de couleur blanc-crème, aux bords amincis et translucides. Leur consistance est plus ferme.
	Les ovaires se remplissent, la matrice peut avoir un aspect granuleux. Les ovocytes ne sont pas visibles à l'œil nu.	La longueur des testicules augmente. Le sillon spermatique commence à se creuser.
Longueur des gonades > 1/3 de la cavité abdominale.		
<b>FIN DE MATURATION : STADE 4</b>	Couleur très variable, allant du rose fuchsia à crème orangée. Les ovaires sont bien gonflés, sans être turgescents.	Les testicules sont pleinement développés, uniformément de couleur laiteuse à blanche, à bords droits.
	Les ovocytes sont observables à l'œil nu, majoritairement opaques, non individualisés (ne se détachent pas à la pression).	Le sillon spermatique est très net. Après incision/pression, un liquide translucide peut apparaître.
<b>REPRODUCTION (PONTE) : STADE 5</b>	Les ovaires sont de couleur rosée, bien gonflés et turgescents.	Testicules blancs, à bords droits ou légèrement dentelés voir spiralés selon l'espèce.
	Les ovocytes sont hydratés : translucides et individualisés. Après incision, ils s'écoulent sans pression. Leur émission est imminente.	Les testicules sont fluents. Une laitance blanche, crémeuse s'écoule du sillon spermatique à la moindre pression.
<b>POST-MATURATION (ATRESIE) : STADE 6</b>	Les ovaires sont très vascularisées, d'aspect sanguinolant, flasques, de couleur très variable selon les espèces. Entièrement vide ou avec un reliquat d'ovocytes matures à divers degrés de résorption.	Les testicules sont très vascularisés, flasques, et d'aspect sanguinolent. Leur couleur varie selon les espèces, souvent "marronasse", ou de gris clair à rosé.
	Peu ou pas de laitance dans le canal central Les gonades reviennent progressivement à un aspect de maturation (stade 3).	

A titre indicatif, des prélèvements de gonades femelles en période de ponte (stade 5) ont été collectés en laboratoire de manière systématique sur les différentes espèces. Un travail complémentaire sera réalisé ultérieurement pour évaluer la fécondité (nombre



d'ovocytes produits en fonction de la taille de l'individu) et le mode d'émission des œufs (total ou séquentiel). Sur chacune des gonades femelles de stade 5, environ 5 grammes ont été prélevés et fixés dans une solution de Gilson (Lowerre-Barbieri, 1993).

#### 7.2.3.2. Indice gonado-somatique (IGS)

L'indice Gonado-Somatique (IGS) des individus en maturation et matures (stade  $\geq 3$ ) ont été calculés mensuellement, sur la base du poids vide (Pvide) :

$$IGS (\%) = \frac{\text{Poids gonade (g)}}{P \text{ vide (g)}} * 100$$

#### 7.2.3.3. Taille de première maturité sexuelle

Tweddle et Turner (1977) ont défini la taille de première maturité ( $L_{50}$ ) comme étant celle atteinte par 50 % des individus des deux sexes matures pour la première fois. Les poissons des deux sexes, des stades 3 à 6, ont donc été sélectionnés pour la détermination du pourcentage de maturité. En général, la relation entre le pourcentage de maturité estimé (P) et la taille (Lt) est de type sigmoïde. La courbe sigmoïde calculée d'après le modèle logistique est donnée par la formule suivante (Dagnelie, 1973) :

$$P = X / 1 - X$$

Avec  $X = e^{(a+bLt)}$ , a et b étant des constantes du modèle

La transformation logarithmique de l'équation a permis de la mettre sous la forme :

$$\ln (P / 1 - P) = a + bLt$$

En remplaçant P= 50 % dans l'équation, la  $L_{50}$  est obtenue par la formule :

$$L_{50} = -a/b$$

Le test de Chi carré ( $\chi^2$ ) et l'analyse de variance (Anova) ont été utilisés pour déterminer la signification des résultats au seuil de 5 % selon Lalèyè (1995).

#### 7.2.3.4. Sex-ratio

Il s'agit d'un paramètre démo-écologique de grande importance qui correspond au rapport entre les individus de sexe mâle et de sexe femelle dans une population animale donnée. Ce rapport est équilibré et proche de 1 dans la grande majorité des cas, c'est à dire qu'il y a autant de femelles que de mâles, sauf dans les populations d'espèces parthénogénétiques comme certains insectes (abeille...). Chez les vertébrés (du moins pour la plupart), le sex-ratio peut pencher en faveur des mâles ou des femelles suivant le groupe taxonomique. L'habitat et d'autres facteurs du milieu, telles que les maladies ou une exploitation déséquilibrée d'un stock, peuvent influencer le sexe ratio d'une espèce. Certaines d'entre-elles, peuvent mettre en place des stratégies reproductives pour compenser les pertes.

Les individus indéterminés ne sont pas pris en compte dans ce calcul :

$$\text{Sex - ratio} : \frac{\text{Effectif des mâles}}{\text{Effectif des mâles} + \text{femelles}} * 100$$

#### 7.2.4. Indice de condition corporel relatif (Kn)

L'indice de condition est un moyen de qualifier l'état de santé global d'un poisson (pêché sur une zone et à une période donnée) en comparant son poids avec le poids théorique de ses congénères de même longueur, appartenant à la population globale.

Le facteur de condition  $K_n$  est déterminé selon la formule :

$$Kn = P_x / P_r$$

avec :

$P_x$  (g) = Poids vide (g) + Poids des viscères (g) + Poids du foie (g) de l'individu

$P_r$  (g) = Poids théorique d'un individu de même taille appartenant à la population. Le poids théorique est estimé au moyen des relations taille-poids par espèce obtenues dans cette étude (corrélation  $R^2 > 0,99$ ).

Si l'indice  $K_n$  d'un poisson est de 4%, cela voudrait dire qu'il est au-dessus du poids observé pour cette longueur dans la population. A l'inverse, si un poisson a un indice de condition de moins (-) 2%, cela signifie qu'il est en moins bonne condition, ou en dessous du poids moyen théorique des autres poissons de même longueur dans la population. L'indice de condition relatif varie donc en rapport entre l'énergie que le poisson doit consacrer à son entretien, à migrer, à se reproduire... et ce qu'il dispose dans son environnement pour satisfaire ses besoins et faire des réserves. Cet indicateur est une mesure simple qui peut être utile pour fournir de l'information biologique importante sur la qualité de l'habitat et l'état de santé d'une espèce et qualifier ainsi sa sensibilité au travers de sa capacité à croître, à survivre et à se reproduire. Cet indicateur  $K_n$  peut être utilisé pour prendre de meilleures décisions de gestion.

### 7.3. Analyse des résultats biologiques par espèce

Pour chacune des espèces, les résultats des différents indicateurs sont présentés puis discutés, afin de faciliter la compréhension des analyses faites.

#### 7.3.1. Le vivaneau gros-tête (ETA)



© Ifremer

### 7.3.1.1. Relations biométriques

Chez le vivaneau gros-tête, les coefficients  $a$  et  $b$  des relations tailles ( $L_t$ ,  $L_f$ ) et poids (totaux et vides) ont été évalués et présentés de manière globale pour le stock dans le Tableau 11. Les ajustements des modèles aux données sont hautement significatifs ( $p < 0.001$ ).

Tableau 11 : Bilan des principales équations biométriques chez le vivaneau gros-tête (ETA).

Equations	a	b	n	R <sup>2</sup>
$Pt = a * Lt^b$	7.4593E-06	3.0734	1334	0.99
$Pv = (a * Pt) + b$	9.1750E-01	8.5379	1334	0.99
$Lf = (a * Lt) + b$	8.7730E-01	-3.2450	1334	0.99

L'effet sexe mâle-femelle est significatif pour cette espèce ( $p < 0,05$ ). Mais la différence serait liée ici à un déséquilibre dans le plan d'échantillonnage entre les deux sexes, les plus gros individus mâles n'ayant pas été capturés dans la présente étude. Les relations moyennes entre les tailles et les poids présentées ici conviennent donc aux deux sexes.

Le coefficient  $b$  estimé est supérieur à la valeur théorique de 3 chez les deux sexes (3.04 pour les mâles, 3.16 pour les femelles et 3,07 tous sexes confondus). La croissance pondérale du vivaneau gros-tête est positive ou majorante, ce qui signifie qu'elle est supérieure à celle en taille.

### 7.3.1.2. Modèle de croissance

La courbe de croissance taille-âge (Figure 25) a été obtenue grâce aux lectures d'âges réalisées sur 230 individus (102 mâles, 120 femelles et 8 individus de sexe indéterminé, Annexe 2).

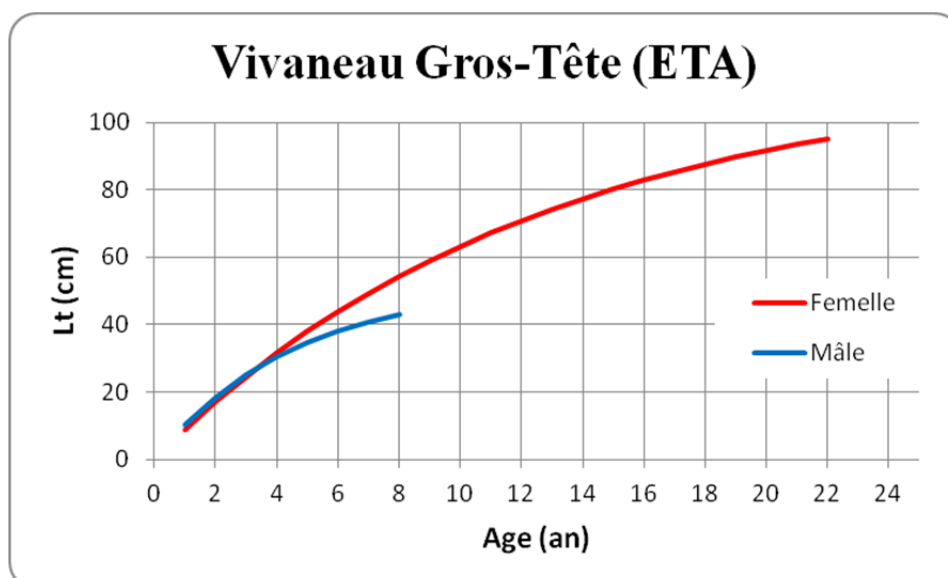


Figure 25 : Courbes de croissance des mâles et femelles d'*Etelis carbunculus* (ETA) selon le modèle de Von Bertalanffy.

L'âge maximum des individus de vivaneaux gros-têtes capturés lors de DMX2 était de 22 ans pour les femelles et de 8 ans pour les mâles.

Tableau 12 : Paramètres de croissance de vivaneaux gros-tête(ETA) selon le modèle de Von Bertalanffy.

Sexe	Modèle de croissance	$L_{\infty}$ (cm)	$Pt_{\infty}$ (g)	$K$ (an <sup>-1</sup> )	$T_0$	$\Phi$ cm/an
Mâle	Contrainte $T_0=0$	51,81	1596,04	0,22	0	2,77
Femelle		114,8	21407,67	0,08	0	3,01

D'après les conditions initiales du modèle de croissance, les femelles sont susceptibles d'atteindre une longueur maximale théorique ( $L_{\infty}$ ) de 114,8 cm, bien supérieure à celle des mâles, estimée à 52 cm (Tableau 12). Le coefficient de croissance des mâles ( $k = 0,22$ ) est supérieur à celui des femelles ( $k = 0,08$ ). L'indice de performance de croissance ( $\Phi$ , cm/an) indique que les femelles ont une meilleure croissance que les mâles (3,01 et 2,77 respectivement).

L'âge maximal observé dans cette étude est de 8 ans pour les mâles ( $L_t = 49,7$  cm,  $P_t = 1.9$  kg) et de 22 ans pour les femelles ( $L_t = 98$  cm,  $P_t = 18.2$  kg). Pour un âge équivalent (8 ans), la femelle a une longueur totale supérieure (58,5 cm) à celle du mâle, contrairement à la plupart des études où les mâles avaient une longueur asymptotique supérieure aux femelles (Smith & Kostlan 1991; Fry *et al.* 2006 ; Williams *et al.* 2013; Ralston & Williams 1988; Brouard *et al.* 1983 ; Uchida *et al.* 1982 ; Johnson *et al.* 1995). Cette différence peut s'expliquer en partie par le manque d'individus mâles observés lors des pêches DMX2.

C'est la seule espèce qui montre une croissance différente entre mâles et femelles. Ceci pourrait être dû aux 2 grosses femelles et à l'absence de gros mâles dans notre étude. En effet, de gros individus mâles avaient été pêchés lors des études menées en 2000 et 2011, de taille supérieure à la longueur maximale théorique estimée par le modèle de croissance ( $L_{\infty}$  : 51.81 cm). En 2000, 2 mâles d'une longueur totale ( $L_t$ ) de 101 cm et 88 cm respectivement, ainsi que 3 autres spécimens, de 82 cm, de 53 cm et de 52 cm en 2011 avaient été capturés.

L'indice de performance de croissance ( $\Phi$ ) a été utilisé pour comparer les croissances entre sexe à La Réunion et avec d'autres populations étudiées. A La Réunion, la croissance linéaire (en longueur) de 3,02 cm/an pour les femelles et de 2,77 cm/an pour les mâles, est comparable à celle de la Papouasie Nouvelle-Guinée (2,97 cm/an), mais nettement inférieure aux spécimens des Vanuatu (3,45 cm/an) et de la Nouvelle Calédonie (3,46 cm/an). En revanche, la croissance pondérale de cette espèce à La Réunion serait la plus forte en comparaison des autres sites d'études connues. En effet, le coefficient d'allométrie « b » de la relation taille/poids indique que cette espèce a une croissance majorante ( $b > 3$ , soit 3,16 pour les femelles et 3,04 pour les mâles). Alors que les résultats obtenus ailleurs concluent tous sur une croissance minorante ( $b < 3$ ) : 2,93 en Nouvelle Calédonie (Williams *et al.* 2013), 2,95 au Vanuatu (Brouard & Grandperrin 1984) et entre 2,58 et 2,99 au nord-ouest des îles Hawaïennes (Uchida *et al.* 1982, Uchiyama *et al.* 1984).

En complément, les paramètres morphométriques de l'otolithe peuvent être utilisés comme des proxys de la croissance du poisson (Johnson *et al.* 1995), car les résultats

obtenus dans notre étude (Annexe 2) confirment l'existence d'une relation significative entre la croissance de l'otolithe et la croissance somatique du poisson (Smith & Kostlan 1991 ; Smith 1992).

En conclusion, l'étude menée sur le vivaneau gros-tête à la Réunion est la plus importante réalisée à ce jour en termes d'individus analysés pour valider le modèle de croissance (n=222). Cette espèce dénote une croissance linéaire en deçà des résultats connus dans d'autres populations, l'espèce locale étant la seule à avoir une croissance en poids plus rapide qu'en taille. Cela confirme l'intérêt de cette étude qui met en avant une fois de plus l'importance de ces travaux sur une population de poissons dans des habitats isolés, comme à La Réunion. Le dimorphisme sexuel qui apparaît après l'âge de 4 ans entre les 2 sexes de cette espèce devra faire l'objet d'un travail complémentaire pour valider ces premiers résultats sur le modèle de croissance.

### 7.3.1.3. Biologie de la reproduction

#### 7.3.1.3.1 *Sex-ratio*

Le sex-ratio des individus capturés lors de DMX2 est globalement équilibré et très légèrement en faveur des mâles (52,4%).

#### 7.3.1.3.2 *Cycle de reproduction*

D'après la tendance que reflètent les observations macroscopiques des gonades (Figure 26, a), la période de reproduction du vivaneau gros-tête a été observée durant l'été austral, entre octobre et mai, avec un pic de reproduction de février à avril, confirmé par l'IGS (Figure 26, b). La période hivernale correspond à une phase de repos sexuel pour cette espèce (juin à septembre).

Ces résultats sont en accord avec les études menées dans le Pacifique Sud (période de ponte entre novembre et mai (Brouard and Grandperrin, 1984) et dans l'hémisphère Nord (inversion des saisons) : dans les îles Nord-Ouest d'Hawaï, la période de ponte se produit entre juin et septembre, avec un pic entre juillet et septembre (Everson, 1984).

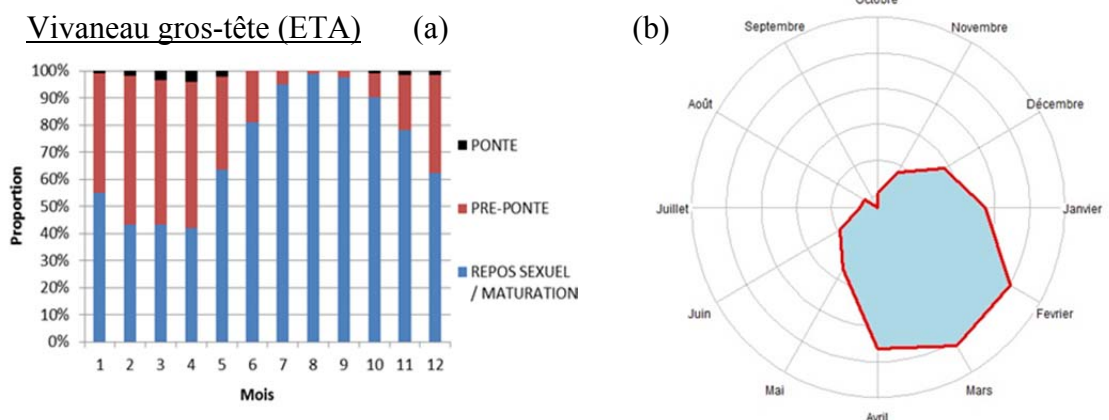


Figure 26 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et de l'indice gonado-somatique (IGS (b)) chez *Etelis carbunculus* (ETA).

La proportion mensuelle d'individus dans les différentes phases de développement gonadique n'a pas pu être évaluée de manière satisfaisante, faute d'échantillonnage suffisant et stable

chaque mois. Les individus de stade 5 et 6 ont été particulièrement difficiles à observer pour des raisons inexplicables. Il se pourrait donc que cette espèce adopte un schéma comportemental de ponte particulier, le rendant cryptique à la pêche.

### 7.3.1.3.3 Taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ )

La taille de 1<sup>ère</sup> maturité ( $L_{50}$ ) intervient pour une taille de 21 cm chez les femelles et de 22 cm chez les mâles de vivaneau gros-tête, à un âge de 3 ans pour les deux sexes (Figure 27).

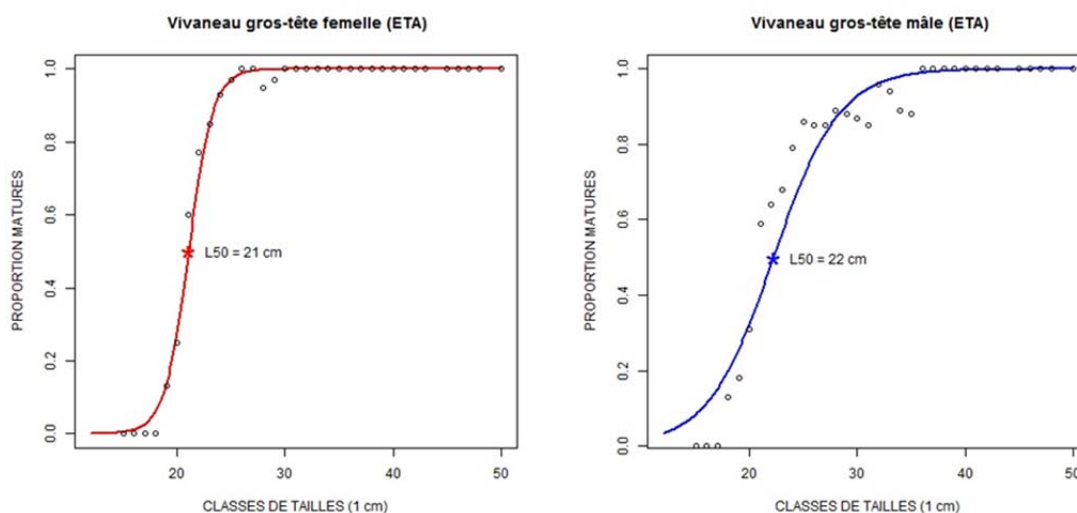


Figure 27 : Courbes logistiques des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1<sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles et les mâles d'*Etelis carbunculus*.

Ces résultats semblent en accord avec les résultats obtenus au Vanuatu (entre 3 et 5 ans selon Brouard & Grandperrin, 1984) et légèrement en deçà des résultats obtenus à Hawaï (Lt : 30 cm, Everson 1986 ; Lt de 35 cm, DeMartini, 1998).

Mais, d'autres résultats acquis sur des stocks vierges comme en Papouasie Nouvelle Guinée (Lokani, 1990), indiquent des tailles de 1<sup>ère</sup> maturité à 61 cm tous sexes confondus. Cette importante différence dans les tailles de première maturité pourrait s'expliquer par le statut d'exploitation, la structuration en taille du stock étudié mais aussi par l'échantillonnage des poissons qui y a été réalisé. En effet, le statut d'exploitation et donc la structure démographique du stock exploité déterminent de fait la stratégie de pêche et le niveau de sélectivité appliqués. Dans le cas d'un stock vierge tel que présenté par l'étude de Lokani (1990), la taille des hameçons utilisés avait été sélectionnée pour cibler les plus gros individus disponibles pour démontrer le potentiel halieutique des sites. La structuration en taille alors obtenue reflétait donc l'état démographique d'un stock vierge et la sélectivité mise en œuvre. Peu de « petits » poissons avaient été capturés et leur faible représentativité dans les échantillons ont de fait maximisé les résultats de taille de première maturité (proportion de poissons matures par taille).

Mais cet indicateur peut également refléter une part de la capacité adaptative du stock à se maintenir et à se régénérer sous la pression de la pêche (résilience). Cela permet d'apprécier leur capacité à modifier leur stratégie de reproduction (plasticité) en

fonction de l'intensité de la mortalité qu'elle subit. Ainsi, cette espèce fortement ciblée à La Réunion depuis le début des années 2000 serait en capacité de se reproduire à une taille bien inférieure à celle du stock vierge de Papouasie Nouvelle Guinée, qui ne subissait pas encore l'effet de la pêche. Mais cette adaptation à un régime d'exploitation soutenue à La Réunion aurait un coût (en termes d'allocation énergétique chez des petits individus) et pose la question des conséquences sur ses capacités à croître (croissance, condition...), à se renouveler (qualité et quantité des gamètes, intensité du recrutement), et à survivre (compétition alimentaire, maladie...).

#### 7.3.1.4. Indice de condition

L'évolution mensuelle (Figure 28, a) du coefficient de condition relatif (Kn) fait apparaître deux périodes bien distinctes chez le vivaneau gros-tête :

- la période de l'été austral (novembre à janvier) avec une augmentation mensuelle significative des poids individuels ( $p < 0.05$ ) ;
- la période d'hiver austral avec une perte significative de poids individuel.

Cette évolution très contrastée entre ces deux périodes est intéressante pour comprendre les stratégies mises en place par l'espèce. Elle est conditionnée par l'environnement que celle-ci rencontre et son intensité peut donc fluctuer d'une année à l'autre, selon la disponibilité de la nourriture.

Ces résultats sont en accord avec la saisonnalité de reproduction centrée sur la période qui maximise la prise de poids corporel et certainement les mises en réserves (muscles, graisses, gonades...). Le pic de reproduction (février à mai) est ainsi centré à la fin de la période estivale où le poisson disposerait d'un maximum de réserves. La reproduction, coûteuse en énergie, consommerait une bonne partie de ces réserves durant le pic de ponte. La période hivernale semble ne pas être favorable à la prise de poids. Ces deux facteurs influenceraient grandement les taux de croissance individuels sur un cycle, avec une période d'arrêt de croissance qui reste à définir.

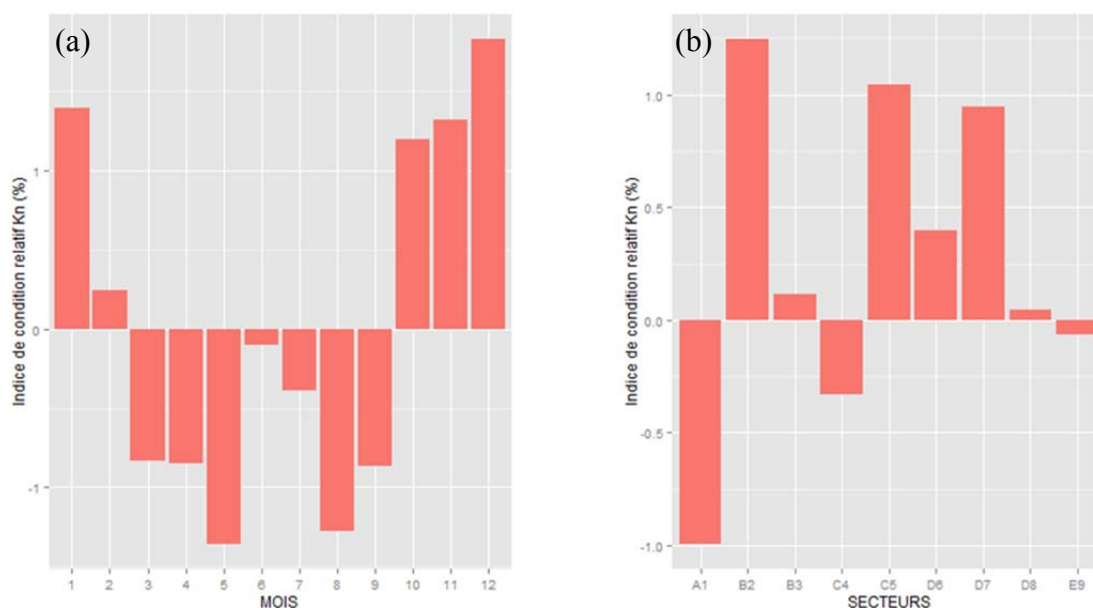


Figure 28 : Evolution mensuelle (a) et comparaison spatiale (b) de l'indice de condition relatif (Kn) chez *Etelis carbunculus*.

La variabilité de la condition des poissons est également contrastée spatialement (Figure 28, b). Des zones plus (B2, C5, D6, D7) ou moins (A1) favorables que d'autres, indiquent une variabilité significative ( $p < 0.01$ ) des conditions trophiques selon les habitats du vivaneau gros-tête autour de l'île. Ces facteurs de variabilité de Kn au niveau des zones devront être mieux appréhendés à l'avenir car ils pourraient conditionner la survie, la croissance et le succès reproducteur du stock. Les niveaux de recrutement mais aussi la distribution spatiale des poissons influenceraient ainsi la capturabilité et donc les niveaux de rendements des pêcheurs.

### 7.3.2. Le vivaneau la flamme (ETC)



© Ifremer

#### 7.3.2.1. Relations biométriques

Chez le vivaneau la flamme (ETC), le coefficient de relation taille-poids (Tableau 13) est hautement significatif ( $R^2 > 0.99$  ;  $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$ ). Il n'y a pas d'effet sexe apparent chez cette espèce.

Tableau 13 : Bilan des principales équations biométriques chez le vivaneau flamme (ETC).

Equations	a	b	n	R <sup>2</sup>
$Pt = a * Lt^b$	4.8009E-05	2.7083	130	0.99
$Pv = (a * Pt) + b$	9.2960E-01	21.1230	130	0.99
$Lf = (a * Lt) + b$	6.9870E-01	35.2025	130	0.99

Le coefficient des pentes des équations de la relation taille-poids est inférieur à la valeur théorique de 3 chez les deux sexes (2,69 pour les mâles, 2,71 pour les femelles, 2,71 tous sexes confondus). La croissance pondérale des vivaneaux la flamme est donc négative ou minorante. Cette espèce a donc une croissance en taille plus rapide que la croissance en poids. Ceci corrobore les résultats obtenus dans d'autres zones géographiques, notamment, chez les individus de la Nouvelle Calédonie (2,88 ; Williams et al. 2013), ceux du nord-ouest des îles Hawaïennes (2,59 ; Uchiyama et al. 1984) et pour le stock des îles Vanuatu (2,75 ; Brouard & Grandperrin 1984).



### 7.3.2.2. Modèle de croissance

L'âge de 108 individus a pu être estimé à partir de la lecture d'otolithes entiers, ou de coupes transversales pour les plus grands individus (46 mâles et 54 femelles et 8 individus de sexe indéterminé au total, Annexe 2).

Les modèles de croissance des mâles et des femelles ne sont pas différents (Figure 29).

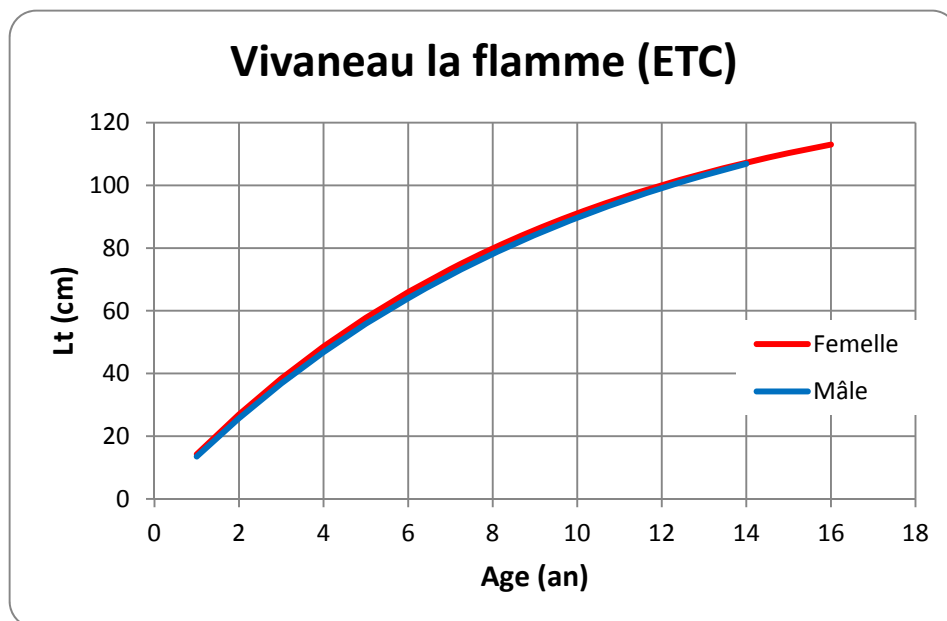


Figure 29 : Courbes de croissance des mâles et femelles d'*Etelis coruscans* (ETC) selon le modèle de Von Bertalanffy.

Les longueurs asymptotiques ( $L_{\infty}$ ) des mâles et des femelles sont très proches (141,9 cm et 136,5 cm respectivement ; Tableau 14). La vitesse de croissance des femelles ( $k = 0,105$ ) est légèrement supérieure à celle des mâles ( $k = 0,09$ ).

Tableau 14 : Paramètres de croissance d'*Etelis coruscans* (ETC) selon le modèle de Von Bertalanffy.

Sexe	Modèle de croissance	$L_{\infty}$ (mm)	$Pt_{\infty}$ (g)	$K$ ( $\text{an}^{-1}$ )	$T_0$	$\Phi$ cm/an
Mâle	Contrainte $T_0 = 0$	141,88	16244,34	0,097	0	3,29
Femelle		136,52	15005,46	0,105	0	3,29

L'âge maximal obtenu dans cette étude est de 16 ans pour les femelles ( $L_t = 112$  cm,  $P_t = 6.8$  kg) et de 14 ans pour les mâles ( $L_t = 106$  cm,  $P_t = 6.6$  kg).

La longueur asymptotique ( $L_{\infty}$ ) des mâles et des femelles est respectivement de 141,88 cm et de 136,52 cm. Ces valeurs sont très proches des résultats d'études menées en Nouvelle Calédonie (141,42 cm ; Williams et al. 2013), légèrement supérieures aux résultats obtenus en Papouasie Nouvelle-Guinée (111,58 cm ; Fry et al. 2006) et au Vanuatu (98,93 cm ; Brouard et al. 1983). Les plus grandes tailles ont été estimées des études menées aux îles Mariannes (155,35 cm ; Ralston & Williams 1988) et à Hawaï (167,35 cm ; Williams et al. 1997). Le plus gros vivaneau la flamme capturé à la

palangre de fond à la Réunion par un pêcheur professionnel dans les années 80 sur le sec de St-Denis, pesait plus de 28 kg et dépassait 1,80 m en longueur totale (Roos F., *Com. Pers.*).

L'indice de performance de croissance ( $\Phi$ ) obtenu dans notre étude est équivalent pour les deux sexes (3,29 cm/an, Tableau 14). Cet indice est proche de celui calculé pour les individus du Vanuatu (3,35 cm/an ; Brouard et al. 1983), mais légèrement inférieur à ceux obtenus en Papouasie Nouvelle-Guinée (3,53 cm/an, Fry et al. 2006), en Nouvelle Calédonie (3,45 cm/an, Williams et al. 2013), aux îles Mariannes (3,47 cm/an, Ralston & Williams 1988) et à Hawaï (3,68 cm/an, Williams et al. 1997).

L'étude des paramètres morphométriques de l'otolithe (Annexe 2) a permis de mettre en évidence des relations significatives entre ces paramètres et la taille des poissons. Cela correspond aux résultats obtenus entre la taille du poisson et les mesures du radius de l'otolithe (Williams & Kimberly 1997).

En conclusion, les paramètres morphométriques de l'otolithe peuvent être de bons descripteurs de croissance du poisson (Smith 1991 ; 1992 ; Johnson et al. 1995). Toutefois, il est important de mentionner qu'il existe une différence significative entre les paramètres morphométriques des otolithes gauche et droit d'un même individu chez le vivaneau la flamme. L'étude menée sur cette espèce à la Réunion est l'une des plus importantes réalisée à ce jour en termes d'individus analysés pour valider le modèle de croissance (n=100). Seules 6 autres études de croissance plus ou moins complètes ont été répertoriées sur l'espèce.

### 7.3.2.3. Biologie de la reproduction

#### 7.3.2.3..1 *Sex-ratio*

Le sex-ratio des individus capturés lors de DMX2 est globalement équilibré et légèrement en faveur des femelles (53,3 %).

#### 7.3.2.3..2 *Cycle de reproduction*

D'après la tendance que reflète l'étude macroscopique des gonades (Figure 30, a), des individus en phase de pré-ponte ont été observés quasiment toute l'année. Une période plus favorable de reproduction du vivaneau la flamme s'étalerait préférentiellement de mars à août. L'évolution de l'IGS (Figure 30, b) permet de préciser un pic de reproduction pour cette espèce en mars et avril.

En considérant l'hémisphère et les latitudes, la période de reproduction de 6 mois du vivaneau la flamme est en accord avec celle obtenue au Vanuatu (de décembre à mai, Brouard and Granperrin, 1985). Elle interviendrait toujours durant l'été dans l'hémisphère nord (juin à novembre à Hawaï, Everson, 1989).

## Vivaneau la flamme (ETC)

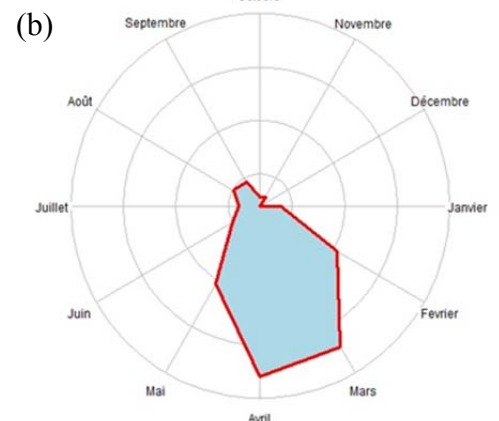
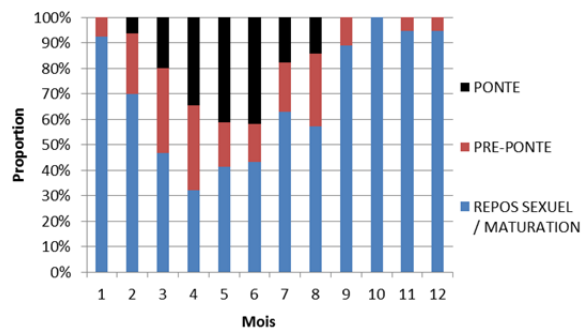


Figure 30 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et l'indice gonado-somatique (IGS, b) chez *Etelis coruscans* (ETC).

### 7.3.2.3.3 Taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) :

Le vivaneau la flamme atteint la maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour des longueurs totales de 43 cm chez les femelles et de 38 cm pour les mâles (Figure 31).

La taille de 1<sup>ère</sup> maturité ( $L_{50}$ ) interviendrait pour une taille ( $L_t$ ) de 43 cm pour les mâles (3 ans) et de 38 cm pour les femelles (4 ans). Les  $L_{50}$  obtenues dans notre étude sont largement inférieures à l'unique donnée disponible dans la littérature. Ainsi, la taille de 1<sup>ère</sup> maturité serait de l'ordre de 91 à 98 cm pour un âge de l'ordre de 5 à 6 ans à Hawaï (Everson, 1989). Ce résultat surprenant pourrait être lié à la sélectivité des engins de pêche utilisés à Hawaï. Si les plus petits individus n'avaient pas été collectés à des fins biologiques, cela biaiserait le résultat de la taille de première maturité de cette espèce.

Toutefois, l'évolution de la structure en taille de ce stock à La Réunion indique clairement une érosion démographique très importante depuis 2000 (§ 5.1). Les résultats de la présente étude estime que plus de 80% du stock est composé d'immatures, particulièrement ciblés dans la pêcherie.

La réponse biologique à une pression de pêche élevée pourrait expliquer la diminution de la taille et de l'âge de première reproduction chez cette espèce à La Réunion. Mais tout comme le vivaneau gros-tête, cette capacité adaptative, complexe à appréhender et qui reste à valider au travers d'études comparatives, pourrait avoir des conséquences à termes sur l'ontogénie et le cycle de vie de l'espèce, avec des conséquences directes sur le stock et son exploitation.

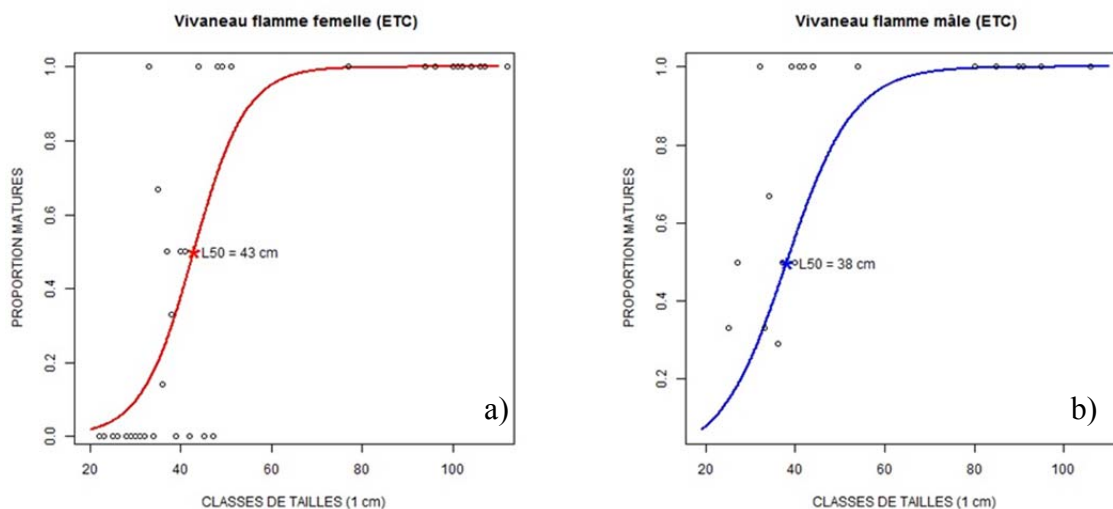


Figure 31 : Courbe logistique des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1<sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles (a) et les mâles (b) d'*Etelis coruscans*.

#### 7.3.2.4. Indice de condition

L'évolution mensuelle du coefficient de condition relatif ( $K_n$ ) fait apparaître deux périodes distinctes de durées nettement différentes (3 et 9 mois) chez le vivaneau la flamme :

- Une période courte de 3 mois avec des  $K_n$  significativement plus élevés en moyenne ( $p < 0.05$ ) à l'intersaison, entre l'été et l'hiver austral (mars à mai).
- Une période longue de 9 mois avec des  $K_n$  moins élevés en moyenne mais non significatifs ( $p > 0.05$ ), donc très fluctuants selon les individus.

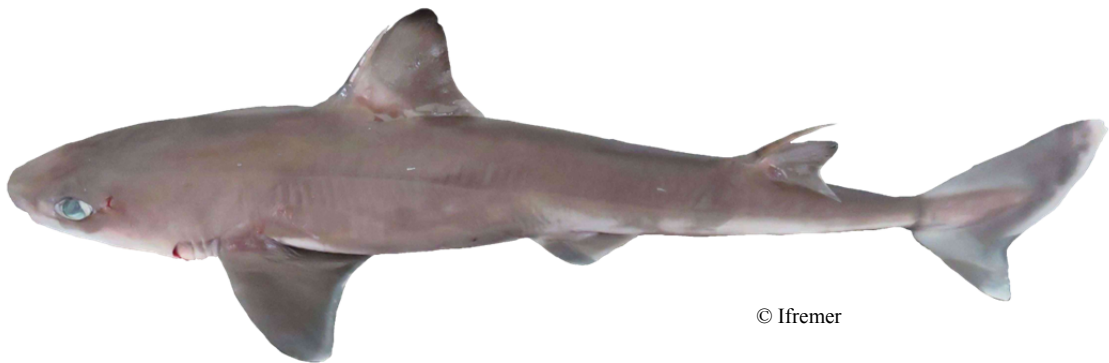
Cette espèce semble optimiser sa reproduction sur la période de l'année où l'animal affiche des conditions corporelles optimales. Le fait d'observer globalement des individus en reproduction sur une période très étalée de 6-7 mois à La Réunion suggère le côté opportuniste de l'espèce dans sa stratégie de reproduction. Le facteur limitant semble être plus d'ordre trophique, directement lié à la quantité et la qualité de la nourriture disponible, que d'ordre environnemental (température, photopériode...).

Dans l'hypothèse d'une telle stratégie de reproduction, les jeunes poissons matures ne pourraient alors pas disposer de réserves énergétiques accumulées, car en pleine croissance. Cette situation rejoindrait l'hypothèse précédente d'une diminution de la taille (âge) de première reproduction. Chez les plus jeunes poissons qui seraient issus d'une population en « bonne santé », non contrainte par une forte pression de pêche, et n'ayant pas atteint l'âge de première reproduction, l'allocation des réserves énergétiques serait alors essentiellement dirigée vers la croissance. Un passage précoce à la reproduction pourrait induire des conflits physiologiques dans les premiers âges, le poisson ne pouvant se reproduire que sur une plus courte période, étalée dans le temps, faute de réserves énergétiques accumulées pour assurer à la fois le maintien, la croissance et la reproduction. Cela aurait des conséquences indéniables sur la quantité et la qualité des gamètes, mais aussi, sur la capacité de l'individu à croître et à se maintenir en vie (prédation, maladie).

Il est possible dans ces conditions, que l'espèce soit contrainte de réaliser des déplacements trophiques pour assurer ses besoins énergétiques à l'entretien, à la croissance et à la reproduction. Ainsi, les pêcheurs les plus expérimentés pressentent une certaine saisonnalité de la capturabilité de l'espèce, variable en intensité et en durée selon les années. Cette observation suggère des mouvements spatio-temporels de l'espèce entre le large et les différents secteurs côtiers de l'île. Les nombreuses captures réalisées à plus de 12 milles nautiques au large sous les dispositifs de concentration de poisson (DCP), mais aussi plus ponctuellement par les palangriers pélagiques ciblant les thons et l'espadon, renforcent cette hypothèse de déplacements trophiques à des fins génésiques.

Cette espèce disposerait d'une capacité reproductive très élevée à l'âge adulte, contrastant avec un âge de première maturité très tardif, évalué d'après les premiers résultats de l'étude de croissance à la 9<sup>ème</sup> année au plus tôt. En termes de gestion, cela signifie une attention particulière sur la sélectivité des engins de pêche et une certaine sensibilité de ce stock à l'exploitation des recrues et plus généralement des individus immatures.

### 7.3.3. Le requin zépine (DOP)



© Ifremer

#### 7.3.3.1. Relations biométriques

Chez le Requin Zépine, les ajustements des modèles aux données de tailles et de poids sont hautement significatifs ( $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$ ) (Figure 32).

Il semble y avoir un dimorphisme apparent entre les mâles et les femelles dans les tailles maximales observées : 80 cm (2,8 kg) pour les femelles et 68 cm (1,5 kg) pour les mâles. Le Tableau 15 synthétise les résultats des équations biométriques moyennes.

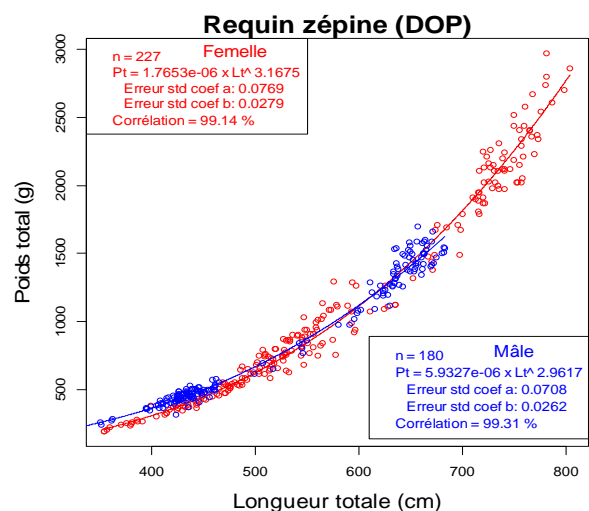


Figure 32 : Courbes des relations taille-poids chez les femelles et les mâles de *Squalus megalops* (DOP).

Tableau 15 : Bilan des principales équations biométriques chez le requin zépine (DOP).

Equations	a	b	n	R <sup>2</sup>
$Pt = a * Lt^b$	2.2497E-06	3.1239	407	0.99
$Pv = (a * Pt) + b$	7.5560E-01	48.3604	407	0.99
$Lf = (a * Lt) + b$	8.9750E-01	-12.4765	407	0.99

Le coefficient b de la relation taille-poids est supérieur à la valeur théorique de 3 chez les femelles (3.17) et légèrement inférieur à 3 chez les mâles (2.96). Le coefficient d'allométrie «b» indique une croissance allométrique positive chez la femelle. Contrairement aux mâles, sa croissance en poids serait plus importante qu'en taille. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus aux Canaries (b : 3.14 pour les mâles et b : 3.64 pour les femelles ; Pajuelo, 2011). De même, Braccini (2005) n'avait pas montré d'effet « sexe » chez cette espèce, contrairement à nos résultats.

Les différences mises en évidence entre les mâles et les femelles sur leur capacité à prendre plus ou moins de poids au court de la croissance, pourraient être liées à des caractéristiques adaptatives de l'espèce favorisant le fitness des femelles.

#### 7.3.3.2. Modèle de croissance

Le modèle de croissance du requin zépine n'a pas été réalisé dans le cadre de la présente étude. En se basant sur des méthodologies tirées de la bibliographie, des épines dorsales ont toutefois été collectées et conservées pour mener une étude spécifique ultérieure.

En tant que poisson dit « cartilagineux », les requins ne possèdent pas d'écailles, ni de pièces calcifiées tels que des otolithes ou des os. La lecture de l'âge chez ces espèces reste possible par l'analyse de coupes de la colonne vertébrale. Chez d'autres espèces de requins qui possèdent des épines dorsales kératinisées, cas du *Squalus megalops*, l'utilisation de ces épines permet la détermination de l'âge (Braccini, 2007). Ainsi, l'âge maximum estimé sur des individus capturés au sud-est de l'Australie serait de 15 ans pour les mâles (Lt de 47 cm), et de 28 ans pour les femelles (Lt de 62 cm). Pour des individus échantillonnés aux Canaries (Ouest-Atlantique, hémisphère nord), Pajuelo (2011) estime pour sa part que l'âge maximum estimé serait de 26 ans pour les mâles (Lt de 64 cm) et de 32 ans pour les femelles (Lt de 82 cm).

Ces deux seules études montrent une grande variabilité dans les résultats de croissance en fonction des populations. Elles indiquent toutefois des âges importants chez cette espèce de relative petite taille.

#### 7.3.3.3. Biologie de la reproduction

##### 7.3.3.3.1 *Sex-ratio*

Les résultats de sex-ratio calculés sur l'ensemble des captures de Requins Zépinés est en faveur des femelles (56,3 %).

##### 7.3.3.3.2 *Cycle de reproduction*

Selon les observations macroscopiques des gonades (Figure 33, a), il apparaît que les requins zépinés (DOP) se reproduisent toute l'année. La période de gestation semble optimale à la fin

de l'été austral, de mars à juin. L'IGS confirme ces observations sur la maturité (Figure 33, b). Une seconde période de gestation de moindre intensité apparaît à l'intersaison suivante, soit de septembre à novembre.

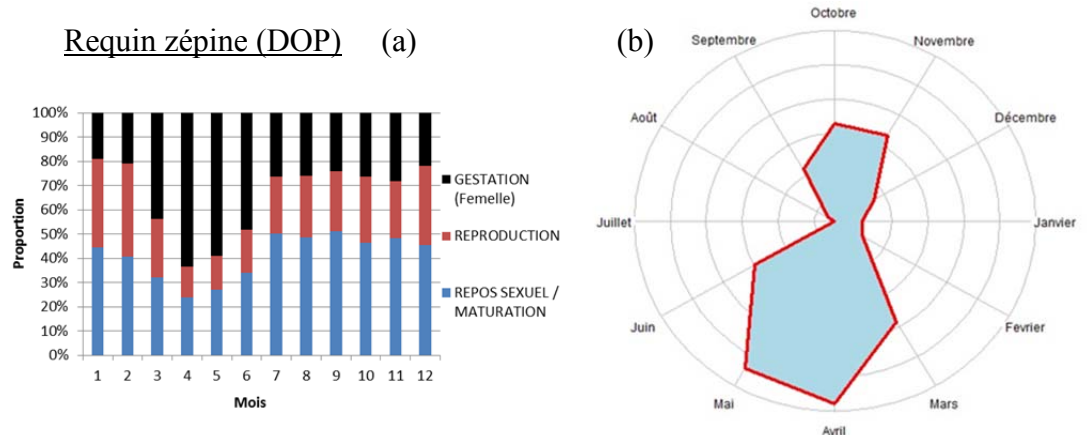


Figure 33 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et l'Indice Gonado-somatique (IGS, b) de *Squalus megalops* (DOP).

L'analyse des indicateurs de maturité est complexe compte tenu du mode de gestation. Les connaissances issues de la bibliographie récente présente la reproduction des requins comme très différente de celle des poissons osseux. En l'occurrence, les requins zépinés sont des vivipares stricts, ce qui signifie que durant la gestation, il n'y a plus de transfert de matière organique de la mère vers l'embryon (Braccini, 2007). L'embryon va donc réaliser tout son développement intra-utérin sur les réserves emmagasinées dans le sac vitellin. Le temps de gestation serait excessivement long chez cette espèce, puisqu'il durerait entre 1 an et 600 jours (Braccini, 2006 & 2007). Les femelles seraient en plus capables de s'accoupler immédiatement ou peu de temps après la mise bas de leurs petits (Lt des nouveaux nés entre 18 et 24 cm). Elles seraient dans ce sens capable de démarrer un nouveau cycle ovarien (durée moyenne estimée de 19 mois, Braccini, 2006), avant même la mise bas des petits. Le cycle de reproduction du requin zépine est ainsi qualifié de continu et asynchrone. Il n'y aurait pas chez eux de saisonnalité de reproduction, cette espèce pouvant se reproduire à toute période de l'année. Pour se faire, les mâles possèdent des vésicules séminales où ils stockent leur sperme, ce qui leur permet de se reproduire toute l'année en dehors des périodes de maturité de leurs testicules.

Sur la base de ces informations, nos données suggèrent *a contrario* l'existence d'une saisonnalité optimale de mise bas/accouplement des requins zépinés centrée sur les 2 intersaisons citées précédemment. Des compléments d'analyses seront nécessaires pour préciser ce schéma de reproduction chez cette espèce à La Réunion.

#### 7.3.3.3.3 Taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ )

La taille de 1<sup>ère</sup> maturité ( $L_{50}$ ) a été évaluée à 51 cm pour les mâles et à 55 cm pour les femelles (Figure 34). Selon les modèle de croissance de Braccini (2007) et de Pajuelo (2011), les femelles seraient alors âgées approximativement de 20-22 ans, et 11-13 ans pour les mâles.

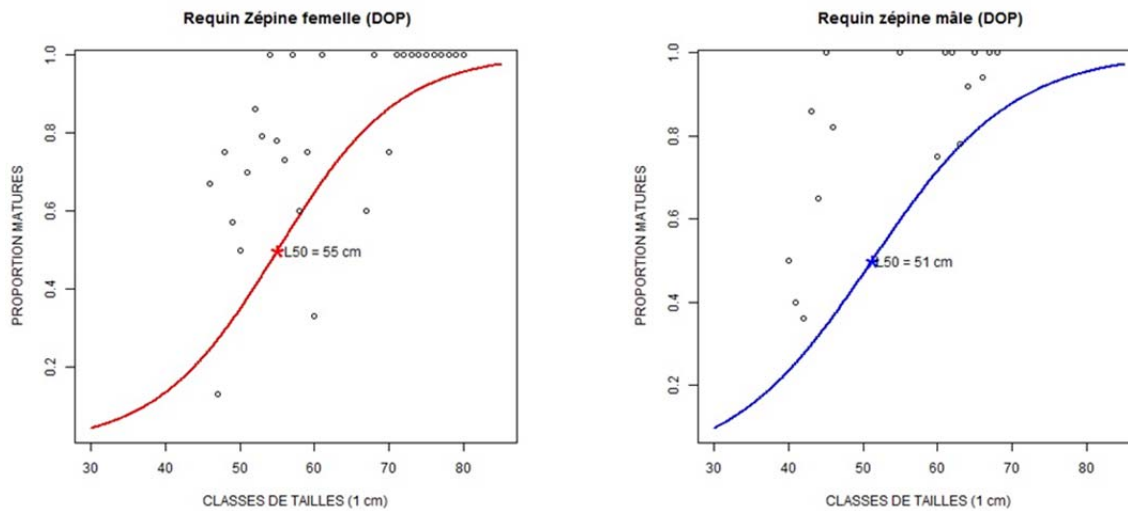


Figure 34 : Courbe logistique des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1<sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles et les mâles de *Squalus megalops* (DOP).

L'analyse des tailles de première maturité sexuelle disponible dans la littérature selon les stocks met en évidence de fortes variabilités selon les populations étudiées et les auteurs (Tableau 16).

Tableau 16 : Synthèse bibliographique des tailles de première maturité ( $L_{50}$ ) du requin zépine (DOP).

Lieu d'étude	Auteur (année)	Femelles ( $L_{50}$ , en cm)	Mâles ( $L_{50}$ , en cm)
Canaries	Pajuelo (2011)	63 - 66	49
Nord Est du Brésil	Hazin, 2006	59	43 - 46
La Réunion (notre étude)	Roos et al, 2015	55	51
Afrique du Sud	Bass et al, 1976	51 - 53	40-42
Afrique du Sud	Watson et Smale, 1998	51	40
Sud-Est de l'Australie	Braccini, 2006	49	40
Sud-Est de l'Australie	Graham, 2005	46	37

Selon Hazin, 2006, cette variabilité pourrait être liée à des niveaux d'exploitation très variables (vierge ou exploité) selon les stocks étudiés de *Squalus megalops* et/ou à des erreurs d'identification de l'espèce, modifiant ainsi sensiblement la structuration en tailles obtenue.

Les résultats observés à La Réunion montrent des écarts de taille de première maturité plus réduits entre les mâles et les femelles (4 cm) par rapport aux autres sites connus (9 à 10 cm).



#### 7.3.3.4. Indice de condition

Il n'y a pas de tendance périodique significative de la variation de l'indice de condition chez les requins zépines (DOP). Seul un effet zone permet de différencier la zone C5 qui affiche des Kn significativement plus faibles ( $p < 0.01$ ).

L'absence de saisonnalité du Kn suggère l'influence modérée des conditions environnementales sur la condition des poissons. L'espèce semble opportuniste et s'adapterait aux proies présentes sur l'année. Toutefois, la segmentation spatiale marquée du secteur C5 (zone du grand brûlée, Piton de la fournaise) est plus étonnante. Cette zone est particulièrement réputée pour l'abondance des requins zépines (résultats non présentés ici). La densité élevée de l'espèce dans ce secteur suggère l'hypothèse de comportement de compétition alimentaire importante, et pourrait ainsi expliquer les différences significatives comparés aux autres zones de l'île.

Ainsi, l'habitat de la zone C5 est très particulier par la nature des fonds volcaniques en activité, supposés dispenser un enrichissement en nutriments bien supérieur aux autres secteurs de l'île. Cela favoriserait la complexité de la chaîne alimentaire (la diversité d'espèces en poissons de fond semble plus forte à l'est), signe d'un écosystème plus productif.

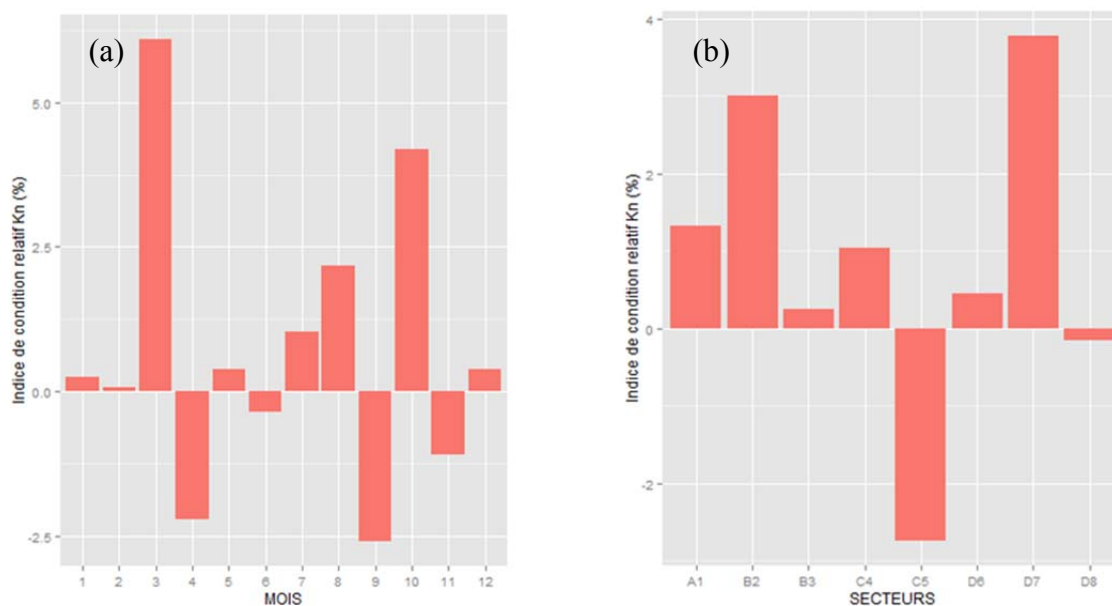


Figure 35 : Evolution mensuelle (a) et comparaison spatiale (b) de l'indice de condition relatif chez le requin zépine (DOP).

## 7.4. Discussion

Le projet DMX2 a permis de préciser, pour la première fois à La Réunion, les paramètres biologiques des sept principales espèces de poissons démersaux capturées par le métier de la pêche à la ligne mécanisée.

Les travaux menés sur trois de ces espèces, que sont le cabot de fond, le vivaneau cerf-volant et le zambas, sont les premiers jamais entrepris à ce jour à la Réunion. Les relations entre les tailles et les poids ont mis en avant des stratégies différentielles de croissance de chacune d'entre-elles, avec des particularités propres à La Réunion.

La plupart des espèces montrent une croissance allométrique majorante (coefficient  $b > 3$ ), ce qui signifie qu'elles privilégient la prise de poids (mise en réserve) plus que la longueur au cours de leur vie. Dans le cas d'un stock subissant une pression de pêche importante, ces espèces possèdent un avantage adaptatif certain qui optimise leur fitness, c'est à dire leur capacité à se reproduire et à survivre dans un environnement variable, restreint en surface, spatialement et périodiquement défavorable. La seule espèce qui affiche un coefficient  $b < 3$  est le vivaneau la flamme (ETC), qui subit plus particulièrement les effets de la pêche, comme vu précédemment dans l'analyse des captures et des structures démographiques. Elle prédispose également d'un âge de première reproduction plus tardif (4 ans) et d'une période de ponte plus courte que les autres espèces de vivaneaux (Tableau 17).

Tableau 17 : Synthèse des cycles de reproduction des 7 espèces principales étudiées dans le projet DMX2.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nb d'espèces en pic de reproduction	3	4	6	4	4	1	0	2	2	3	2	2
V. gros-tête (ETA)												
V. flamme (ETC)												
V. gros-écale (LRI)												
V. cerf-volant (LRY)												
Cabot rayé (EZR)												
Zambas (EBS)												
Requin zépine (DOP)												

Légende des couleurs :  Repos  Période de reproduction  Pic de reproduction

Les espèces suivies ici se reproduisent majoritairement à la fin de l'été australe, de janvier à mai, avec des pics autour de mars. La seule espèce en repos à cette période serait le cabot rayé (EZR) dont le cycle de reproduction restera à préciser.

Concernant les deux principaux vivaneaux rouges, gros-tête (ETA) et la flamme (ETC), leur période de reproduction est bien plus tardive et plus restreinte (3 mois).

Le vivaneau cerf-volant (LRY) se distingue par une période de reproduction bien supérieure (5 mois contre 3 mois en moyenne pour les autres vivaneaux).

Le zambas et le requin zépine sont quant à eux capables de se reproduire toute l'année, mais ont un âge de première maturité très tardif, les prédisposant particulièrement à des risques de surexploitation de croissance.

Pour conforter ces premiers résultats sur les cycles de reproduction, il serait nécessaire d'étudier la fécondité de ces espèces. Les prélèvements réalisés sur les gonades mûres durant l'étude, serviront de base pour évaluer le rapport entre le nombre d'œuf produit par femelle en fonction de son poids. Cela permettrait ainsi de préciser les stratégies

reproductives de chacune des espèces et leur capacité à se renouveler dans un contexte de forte exploitation.

Concernant la croissance, des modèles ont été obtenus par sexe pour 5 espèces particulièrement ciblées, à l'exception du requin zépine et du zambas pour lesquels les travaux sur l'âge devront être finalisés (Tableau 18 et Figure 36). Un travail pionnier au niveau international a ainsi été réalisé pour 3 d'entre elles (*Epinephelus radiatus* (EZR), *Pristipomoides argyrogrammicus* (LRY) et *Eumegistus illustris* (EBS)).

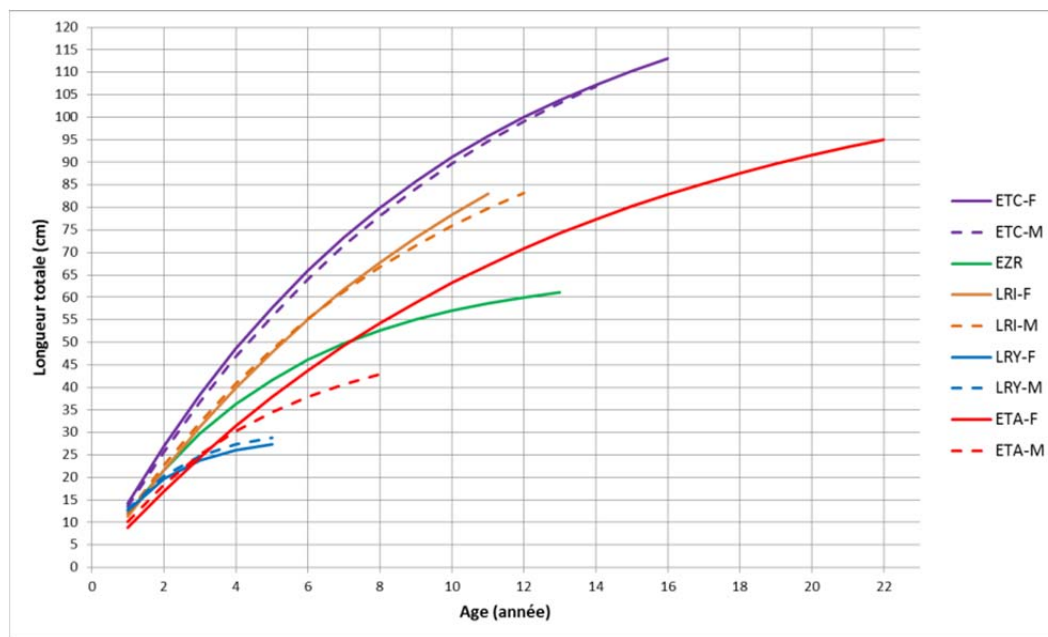


Figure 36 : Représentation synthétique des courbes de croissance de Von Bertalanffy pour les espèces démersales ciblées à La Réunion (ETA, *Etelis carbunculus* ; ETC, *Etelis coruscans* ; LRI, *Pristipomoides multidens* ; LRY, *Pristipomoides argyrogrammicus* ; EZR, *Epinephelus radiatus* ; avec M : mâles, et F : femelles).

Hormis le vivaneau cerf-volant (LRY), les 6 autres espèces retenues ont toutes des durées de vie longue de plus de 10 ans. Les requins zépinés (DOP), les vivaneaux gros-tête (ETA) et la flamme (ETC) peuvent ainsi vivre plus de 25 ans.

Paradoxalement, l'espérance de vie du vivaneau cerf-volant peut ainsi être considérée courte (5 ans). Cette petite espèce profonde semble disposer d'un métabolisme plus actif si l'on considère son potentiel de croissance K (0,54-0,57) qui est plus de 2 à 5 fois plus élevé que l'ensemble des autres espèces (entre 0,08 et 0,22).

Tableau 18 : Synthèse des paramètres de croissance des espèces étudiées de l'île de la Réunion.

Espèce	Sexe	N	Age observé (min/max)	$L_{\infty}$ (cm)	K ( $\text{an}^{-1}$ )	$\Phi$ (cm/an)
<i>Etelis carbunculus</i> (ETA)	M	120	1 / 8	51,81	0,22	2,77
	F	102	2 / 22	114,8	0,08	3,02
<i>Etelis coruscans</i> (ETC)	M	46	1 / 14	141,88	0,10	3,29
	F	54	2 / 16	136,52	0,11	3,29
<i>Pristipomoides multidens</i> (LRI)	M	86	3 / 12	111,52	0,11	3,15
	F	80	3 / 11	132,00	0,09	3,17
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i> (LRY)	M	52	1 / 5	30,97	0,54	2,71
	F	59	1 / 5	28,99	0,57	2,68
<i>Epinephelus radiatus</i> (EZR)	M+F	57	1 / 13	65,99	0,20	2,93

Toutes ces données concernant la biologie et l'écologie des espèces sont essentielles pour décrire la capacité de l'espèce à croître et à se renouveler dans un contexte d'exploitations commerciale et récréative soutenues. Couplée à d'autres indicateurs démographiques tels que le sex-ratio et la taille de première maturité sexuelle, mais aussi de leur condition corporelle ( $K_n$ ), il est désormais possible d'apprécier la sensibilité de chacune de ces espèces aux conséquences de la variabilité de leur environnement spécifique à La Réunion et à l'exploitation par pêche.

Ainsi, ces renseignements permettront de mieux appréhender l'évolution des rendements de pêche et de la structuration des stocks en taille et en âge, selon les efforts de pêche connus dans la pêcherie artisanale réunionnaise.

## 8. ACTION 4 : Contenus stomacaux et écologie trophique

Par Sébastien JAQUEMET (Laboratoire ECOMAR, Université de La Réunion)

### **ATTENDU DE L'ACTION 3 :**

(3) Décrire les caractéristiques trophiques et fonctionnelles des 6 principales espèces démersales étudiées.

### **DELIVRABLE ACTION 3 :**

(3) Un état des lieux du comportement trophique et fonctionnel des 6 principales espèces étudiées.

L'objectif de ce travail a été d'une part, de qualifier le régime alimentaire des principales espèces cibles du projet par des analyses de contenus stomacaux et d'autre part, de déterminer la position trophique et les principales sources d'énergie de ces mêmes espèces, en mesurant les rapports isotopiques du carbone et de l'azote dans les tissus des poissons pêchés et dans différents compartiments de l'écosystème pélagique. L'étude s'est également adaptée aux résultats d'échantillonnages des pêches, en complétant la liste initiale des 6 espèces ciblées par la pêcherie avec des espèces secondaires capturées sur un grand nombre de secteurs de pêche. Ces modifications restent cependant mineures et n'auront aucune répercussion sur les objectifs et les livrables attendus pour l'action 4.

### **8.1. Matériel et Méthodes**

#### **8.1.1. Bilan des prélèvements et des traitements d'échantillons**

Compte-tenu des délais courts du projet (12 mois), l'étude de l'écologie trophique s'est focalisée sur la période hivernale (de mai à octobre 2014). Un total de 436 estomacs non vides de poisson appartenant à 27 espèces (8 cibles et 19 non cibles) a été traité en laboratoire afin de décrire le régime alimentaire des démersaux profonds exploités par la pêcherie artisanale réunionnaise. Les échantillons ont été fournis par l'IFREMER. En parallèle, 596 échantillons de muscle blanc ont été traités afin d'y mesurer les rapports isotopiques du carbone et de l'azote, dont 71% appartiennent aux 8 espèces cibles et 29% à 18 espèces secondaires. Ces échantillons ont également été fournis par l'IFREMER. 70 proies potentielles ou retrouvées dans les estomacs des poissons étudiés et 16 autres ont été récupérées par d'autres moyens. Elles ont toutes été analysées pour en déterminer leurs valeurs isotopiques en carbone et en azote. Enfin des prélèvements d'eau de mer (60 échantillons) ont été réalisés sur 3 sites (Baie de St Paul, St Benoît et Ste Marie), à 5 profondeurs différentes (surface, 50m, 100m, 250m, 500m), et ils ont été complétés par des prélèvements de sédiments sur 100m de profondeur sur les mêmes sites (9 échantillons). L'échantillonnage a été réalisé à bord d'un bateau à l'aide d'une série de bouteilles à renversement de type « Niskin » et le sédiment a été prélevé à la benne (Figure 37).

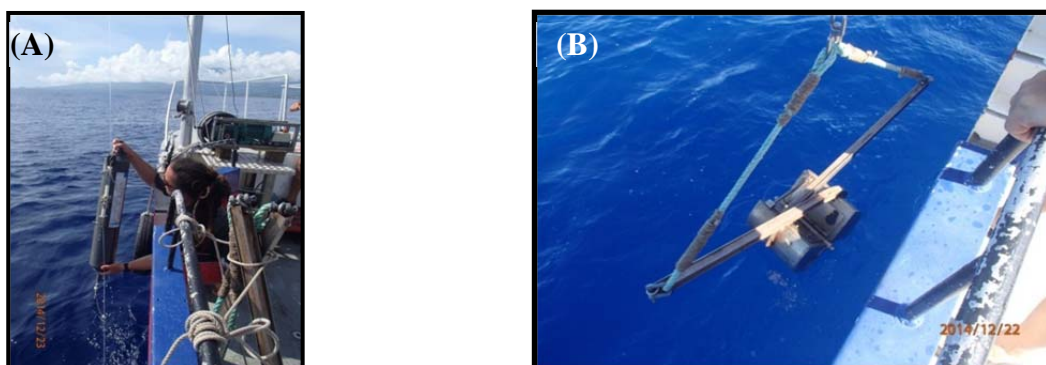


Figure 37 : Déploiement d'engins de prélèvements d'eau de mer (A), (bouteilles de prélèvement d'eau) et de la benne à sédiments (B).

Le Tableau 19 présente de façon synthétique les échantillons qui ont été prélevés, traités et analysés dans le cadre de l'action 4 du projet DMX2.

Tableau 19 : Synthèse des échantillons prélevés et analysés dans le cadre de l'étude de l'écologie trophiques des poissons démersaux profonds pour la période hivernale.

Type d'échantillon	Nombre	Action
Estomac des poissons	436	Régime alimentaire
Muscle blanc des poissons	598	Position trophique, compétition entre espèce
Proies	86	Réseau trophique, contribution au régime alimentaire des poissons
Matière Organique Particulaire (POM)	60	Valeur isotopique de la matière organique de la colonne d'eau entre la surface et 500m de fond
Matière Organique Sédimentaire (SOM)	9	Valeur isotopique de la matière organique dans les écosystèmes profonds

## 8.1.2. Méthodes d'analyse

### 8.1.2.1. Analyse des contenus stomacaux

Les estomacs prélevés par l'IFREMER ont été conservés au congélateur à  $-20^{\circ}\text{C}$  jusqu'à leur analyse en laboratoire. Au laboratoire, l'estomac a été décongelé puis ouvert et le poids du contenu stomacal (PCS) pesé à 0,01g près. Les différentes proies ont été identifiées au niveau taxonomique le plus précis possible et pesées individuellement quand leur état le permettait. L'identification des proies est en premier lieu dépendante de l'état de digestion de la proie, mais aussi de la disponibilité de manuels de référence. Les organismes de la faune profonde ont été très peu étudiés à La Réunion et plus largement dans la région et les documents bibliographiques les concernant sont donc rares. Les organes représentant des critères d'identifications ont été prélevés afin d'aider à l'identification ou conservés pour une identification ultérieure. Il s'agit des otolithes de poissons et de becs de céphalopodes. Certaines crevettes ont été regroupées en « types », sans qu'il ne soit toujours possible de spécifier leur nom. Dans la mesure du possible, les proies ont été pesées individuellement ou par groupes taxonomiques et différentes mesures morphométriques ont été prises sur les proies en bon état (pas encore digérées). Ces proies en bon état (70 échantillons) ont parfois fait l'objet d'un prélèvement de tissus pour une analyse isotopique.

#### 8.1.2.1.1 *Traitement des échantillons pour les analyses isotopiques*

- **Préparation préalable des échantillons en laboratoire :**

Les prélèvements de muscles de poissons démersaux profonds et d'organismes pouvant représenter des proies ont été conservés au congélateur à une température de -20°C jusqu'à ce qu'ils soient lyophilisés durant quarante-huit heures à une température d'environ -40°C et à une pression d'environ -0.05mBar. Une fois lyophilisés, les échantillons sont complètement déshydratés. Ils vont par la suite être réduits en une fine poudre à l'aide d'un broyeur à billes durant trois minutes. Les ustensiles utilisés (bols, billes) sont nettoyés et stérilisés à l'alcool à 90° puis mis à l'étuve afin de les sécher entre chaque échantillon. Les pinces, scalpels et ciseaux, utilisés pour la manipulation des muscles sont également stérilisés à l'alcool et essuyés minutieusement à l'aide d'essuyeurs de précision et sans carbone (Kimtech). Ces manipulations permettent d'éviter la contamination des échantillons avec des apports de carbone extérieur comme celui contenu dans l'alcool. La fine poudre obtenue après le broyage est conservée dans des tubes eppendorf étiquetés jusqu'à ce qu'elle soit mise en capsule.

Le traitement des sédiments, permettant de mesurer la matière organique sédimentaire, diffère de celui des muscles par la méthode de broyage. En effet, les sédiments sont broyés manuellement à l'aide d'un mortier et d'un pilon après avoir été lyophilisés. L'utilisation du broyeur à billes par le passé, sur des échantillons de sédiments prélevés en milieu océanique à La Réunion, a montré qu'il pouvait cuire et donc détruire la matière organique du fait des faibles quantités présentes. Les sédiments nécessitent un traitement supplémentaire, d'acidification afin de débarrasser les échantillons des éléments carbonatés comme les coquilles des organismes marins ou les débris de coraux. Ce traitement est fait sur une fraction de la poudre de sédiment afin de garder un échantillon sans traitement puisque cette acidification peut avoir des effets sur les valeurs de l'azote.

Pour la mesure de la POM, 3L d'eau de mer sont filtrés à travers un filtre WHATMAN GF/F de 25mm qui ont été préalablement stérilisés à 450°C durant 4 heures afin d'éviter les contaminations organiques. Trois répliquas ont été réalisés pour chaque profondeur auxquelles l'eau a été prélevée: 0m, 50m, 100m, 250m et 500m. Après la filtration, les filtres ont été séchés à l'étuve à 50°C durant 36 heures avant d'être encapsulés. Ces filtrations ont été réalisées dans les quelques heures (<4h) qui suivaient les prélèvements d'eau en mer. Les échantillons d'eau ont été prélevés à bord du bateau au frais et à l'obscurité pour stopper l'activité biologique.

- **Mise en capsule :**

La mise en capsule consiste à confiner les échantillons dans des capsules d'étain, étape préalable et indispensable pour la mesure des valeurs de carbone et d'azote par un spectromètre de masse. La quantité de poudre mise en capsule doit respecter une gamme de poids demandé par le laboratoire qui réalise les mesures. En dessous des valeurs minimales, les valeurs obtenues ne sont pas fiables et au-dessus des valeurs maximales, il peut y avoir une saturation des détecteurs. La gamme de poids "optimal" diffère selon le type d'échantillon.

Pour le tissu animal, les poids minimum, optimal et maximum sont respectivement de 0,1 mg, 0,4 mg et 1,5 mg.

Pour les sédiments, les poids minimum et maximale sont 1,0 mg et plus de 30,0 mg. La pesée est réalisée à l'aide d'une balance de précision à 0.0001g près.

Pour la POM, le filtre est gratté sur sa face ne contenant pas de matière organique afin d'éliminer le maximum de fibres de verre non imprégnées de matière organique, avant la mise en capsule. Il n'est pas nécessaire de peser le filtre puisqu'il n'est pas possible de différencier le poids de la matière organique de celui des résidus de filtre.

Le plan de travail doit être propre et stérilisé à l'alcool à 90° ainsi que les instruments utilisés. Le plan de travail et les capsules ne doivent pas être touchés avec les doigts afin de ne pas contaminer les échantillons. Il est aussi nécessaire de porter une blouse lors de la préparation des capsules afin d'éviter toute contamination par les vêtements. La pesée des échantillons se fait de la façon suivante. La capsule est pesée à vide afin de faire la tare puis retirée de la balance et posée sur le plan de travail pour y mettre l'échantillon. La poudre est prélevée sur le bout d'une pince et déposée dans la capsule qui est de nouveau pesée. Si le poids obtenu ne se trouve pas dans la gamme de poids optimal, celui-ci est rectifié en rajoutant ou en enlevant de la poudre selon le cas (pas suffisamment de poudre ou trop de poudre). La capsule est posée sur le plan de travail pour lui donner la forme d'une boulette. Il s'agit de fermer la capsule en pinçant le bord supérieur dans un sens puis dans l'autre. Elle est ensuite pressée pour en faire une boulette dont le diamètre n'excède pas trois millimètres pour les tissus animal et sept millimètres pour le sédiment et les filtres. La boulette doit être relativement lisse et homogène pour ne pas avoir de soucis au moment du passage dans l'analyseur. Une fois confectionnée, la boulette est mise dans une plaquette contenant 96 puits (Figure 38). Ces plaquettes sont ensuite envoyées au Laboratoire de LIENSs à la Rochelle pour que les mesures isotopiques soient réalisées.



Figure 38 : Plaque de 96 puits, dans lesquels sont déposées les capsules en étain conditionnées, contenant l'échantillon à analyser.

- **Analyse isotopique**

Les valeurs d'isotopes stables sont exprimées dans leur écriture conventionnelle  $\delta$  exprimée en partie pour mille (‰), obtenue par la formule suivante:

$$\delta X = [(R_{\text{échantillon}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$$

Avec X l'isotope  $^{13}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}$  et R le rapport de l'isotope lourd sur l'isotope léger soit  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ . Le standard est le  $\delta^{13}\text{C}$  de Pee Dee Belemnite pour le carbone et le  $\delta^{15}\text{N}$  de l'azote atmosphérique pour l'azote. Il s'agit de standards internationaux de référence. Ces standards étant très précieux et rares, chaque laboratoire va utiliser ces propres standards



dont la calibration par rapport aux standards internationaux est contrôlée et validée régulièrement par l'agence internationale à l'énergie atomique. La précision des mesures est de 0,15‰ et 0,20‰ pour le carbone et l'azote respectivement. Une fois les résultats reçus, les rapports C/N sont contrôlés pour vérifier que les échantillons ne contiennent pas trop de lipides qui pourraient fausser les mesures. Si ces rapports sont inférieurs à 4, alors les mesures sont considérées comme correctes et il n'y a pas besoin de faire de corrections analytiques des valeurs ou de procéder à une nouvelle mesure des échantillons après avoir délipidés les échantillons. Dans cette étude, un seul échantillon de poisson a été identifié comme possédant une quantité importante de lipides. Il a été ré-analysé après traitement.

## 8.2. Résultats et discussion

### 8.2.1. Analyse du régime alimentaire des poissons

Un total de 436 estomacs non vides a été analysé, dont 65% appartiennent aux 8 espèces retenues et le reste à 18 autres espèces. Les résultats obtenus sont préliminaires et à considérer avec prudence, car pour de nombreuses espèces le nombre d'estomacs analysés est extrêmement faible (<10). En effet, la majorité des estomacs sont vides du fait de la régurgitation partielle du bol alimentaire lors de la remontée. De plus, le niveau de résolution taxonomique des restes alimentaires retrouvés est généralement faible, du fait de la digestion avancée, et du manque de connaissances et de documentations sur la faune profonde des abords de La Réunion. A titre d'exemple, des proies appartenant à des espèces de poissons endémiques des pentes volcaniques sous-marines de l'île ont été trouvées dans des contenus. Ces espèces ont été décrites très récemment pour la science (Quero et al. 2009) et seuls quelques spécialistes sont en mesure de les identifier. Il n'est pas impossible que certaines proies retrouvées dans les restes alimentaires appartiennent à des espèces inconnues.

Globalement, les poissons démersaux profonds se nourrissent essentiellement de crustacés et de poissons et dans une moindre mesure de céphalopodes et d'organismes gélatineux du plancton. Quelques groupes taxonomiques mineurs viennent compléter le régime alimentaire. Parmi les crustacés, les crevettes profondes de la famille des *Caridae* dominent. Au moins 6 espèces différentes ont pu être identifiées, mais sur très peu d'entre elles, il a été possible d'attribuer un nom. Les autres crustacés sont des crabes, des stomatopodes et des cigales de mer. Chez les poissons, les *Myctophidae* (en particulier *Ceratoscopelus warminigii*) et les *Sternoptichidae* ont été retrouvés en grand nombre. Des poissons endémiques de la famille des *Symphysanodontidae* ont aussi été identifiés, ainsi que des formes juvéniles de la famille des *Epigonidae* (*Sphyraenops* sp.). Le Tableau 20 compare les principaux groupes de proies retrouvés dans les estomacs de démersaux profonds de La Réunion avec des données bibliographiques. On constate dans un premier temps que peu d'études ont été menées sur ces poissons à travers le monde, bien qu'ils aient une importance économique non négligeable pour de nombreux pays insulaires de l'Indopacifique. Ainsi aucune information n'a été trouvée pour certains poissons, ou elles étaient renseignées dans la base internationale Fishbase, mais en se fondant sur un nombre extrêmement faible d'échantillons. Ces informations ont donc été jugées inutilisables. Les résultats des contenus stomacaux sont présentés dans l'Annexe 7 par espèce sous forme de fiches synthétiques. Elles contiennent aussi les principales informations recueillies pour les espèces étudiées.

Tableau 20 : Synthèse des informations principales sur le régime alimentaire des poissons étudiés dans cette étude et comparaison avec les données de la littérature.

Code FAO	Nom scientifique	Proies dominantes d'après notre étude	Régime alimentaire d'après la bibliographie	Références bibliographiques
BXD	<i>Beryx decadactylus</i>	Crustacés	Crustacés benthique et pélagique, poissons (Myctophidae, scopolarchidae, Macrouridae), céphalopodes	www.fishbase.org
DOP	<i>Squalus megalops</i>	Poissons	Mollusques (céphalopodes, octopodes, <i>Ommastrephidae</i> ), Poissons ( <i>Triglidae</i> , <i>Apogonops anomalus</i> , <i>Scomber australasicus</i> , <i>Engraulidae</i> ), Crustacés ( <i>Caridae</i> , <i>Diogenidae</i> ), Autres (polychètes, Siponcles, Echiuriens, Condriichthyens, Otarie, Porifères, Hydrozoaires, Algues, Ophiures)	Braccini et al. 2005, www.fishbase.org
EBS	<i>Eumegistus illustris</i>	Crustacés, poissons, céphalopodes		
ETA	<i>Etelis carbunculus</i>	Poissons	Poissons ( <i>Myctophidae</i> , <i>Monacanthidae</i> ), gros invertébrés (calamars, crevettes, crabes, stomatopodes), organismes planctoniques dont de large urochordés	Allen 1985 ; Haight et al. 1993 ; Opic et al. 1994
ETC	<i>Etelis coruscans</i>	Poissons	Petits poissons ( <i>Myctophidae</i> ), céphalopodes, crustacés (Crevettes, Crabes), urochordés pélagiques	Allen 1985 ; Haight et al. 1993 ; Opic et al. 1994
EZR	<i>Epinephelus radiatus</i>	Crustacés	Crustacés benthiques et poissons	www.fishbase.org
LRI	<i>Pristipomoides multidens</i>	Poissons et crustacés	Poissons, crevettes, crabes, langoustes, stomatopodes, calamars, gastéropodes et urochordés pélagiques	Allen 1985
LRY	<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes et organismes gélatineux	Petits poissons, crustacés, calamars	Allen 1985
BWH	<i>Priacanthus hamrur</i>	Crustacés	Crustacés pélagiques (crabes, crevettes, stomatopodes), poissons (aulopiformes, breyciformes, perciformes, tetraodontiformes), céphalopodes (calamars et octopodes), Gasteropodes, polychètes	Philip 1998 ; Sivakami et al. 2001 ; Kizhakudan & Zala 2006 ; Abdurahiman et al. 2010 ; Mablouke et al. 2013)
CEM	<i>Centrophorus moluccensis</i>	Poissons	Poissons (Myctophidae), céphalopodes, crustacés benthiques, ascidie	www.fishbase.org
CJN	<i>Cookeolus japonicus</i>	Poissons	crabes	www.fishbase.org
DCT	<i>Decapterus tabl</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes	Invertébrés planctoniques	www.fishbase.org
EEW	<i>Etelis radiosus</i>	Poissons	Poissons	Allen 1985
HWK	<i>Ostichthys kaianus</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes	Poissons, crustacés benthiques	www.fishbase.org
KBK	<i>Argyrops filamentosus</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes	Invertébrés benthiques, crustacés et mollusques	www.fishbase.org; Van der Elst 1988
LVK	<i>Lutjanus kasmira</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes	Poissons, crevettes (benthique et pélagique), crabes, stomatopodes, céphalopodes (calamars et octopodes), crustacés planctoniques, gastéropodes, polychètes,	Randall & Brock 1960, Rangarajan 1970, Allen 1985, DeFelice & Parrish 2003, Mablouke et al 2013
PFM	<i>Pristipomoides filamentosus</i>	Poissons et céphalopodes	Petits poissons (Tetraodontiformes), crustacés (Copépodes, amphipodes, Euphausiacées, Isopodes, crevettes, crabes, langoustes, stomatopodes), polychètes, céphalopodes, ascidies, organismes planctoniques de grande taille (salps, urochordés)	Allen 1985, Haight et al. 1993 ; Opic et al. 1994
PRP	<i>Promethichthys prometheus</i>	Poissons	Crustacés benthiques, céphalopodes, larve de poissons	Nakamura & Parin 1993
PSP	<i>Polymixia berndti</i>	Poissons et crustacés		
QKU	<i>Lutjanus notatus</i>	Crustacés		
RXP	<i>Rexea prometheoides</i>	Poissons		
THM	<i>Thyrsitoides marleyi</i>	Poissons		
TIS	<i>Branchiostegus doliatus</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes		
UPI	<i>Upeneus vittatus</i>	Poissons, crustacés, céphalopodes	Crevettes, crabes, poissons, bivalves,	Shanti Prabha & Manjulatha 2008
YJ1	<i>Myripristis chryseres</i>	Poissons		

## 8.2.2. Analyses isotopiques

L'analyse des teneurs en isotopes stables du carbone et de l'azote, effectuée sur les muscles des poissons et de leurs proies ainsi que sur les matières organiques particulaires (eau) et sédimentaires, fournit un enregistrement intégratif et continu des interactions trophiques au sein des communautés ichthyologiques étudiés (Dufour et Gerdeaux, 2001). En intégrant le message alimentaire assimilé sur une longue durée, ces isotopes stables sont complémentaires des analyses des contenus stomacaux réalisées préalablement, mais qui représentent uniquement l'alimentation ingérée à court terme, juste avant la capture du poisson.

### 8.2.2.1. La matière organique

Les prélèvements de matière organique ont été réalisés les 22 et 23 décembre 2014 à Saint-Paul, Sainte-Marie et Saint-Benoît sur 1000m de profondeur environ. Des problèmes ayant été rencontrés à la filtration de l'eau pouvant entraîner de la contamination des échantillons, un nouveau prélèvement a été réalisé à Saint-Paul le 29 janvier 2015. Les problèmes logistiques associés à ces prélèvements et les conditions de mer n'ont pas permis de réaliser de prélèvements à Saint-Pierre.

La Figure 39 présente les valeurs isotopiques moyennes du carbone et de l'azote en fonction de la profondeur et de la nature de l'échantillon (eau ou sédiment). Les gammes de valeurs obtenues pour ces analyses sont en accord avec des données précédentes réalisées autour de La Réunion (Mablouke 2013, Jaquemet 2015), plus proche de la côte. Les valeurs de carbone sont aussi en accord avec celles d'eaux océaniques tropicales (Graham et al. 2010). En revanche les valeurs d'azote sont relativement élevées dans les eaux de surface (0-100m profondeur). Elles pourraient traduire un mélange de matière organique d'origine océanique et côtière enrichie en azote. En effet, selon les stations, même sur 1000m de profondeur, la distance à la côte reste faible (<3km). Les profils dans la colonne d'eau suggèrent que le maximum de fluorescence se situe en profondeur entre 100m et 250m selon les stations. Ceci est en accord avec une activité biologique plus importante aux alentours de la thermocline, qui se situerait profond à cette période de l'année du fait de la stratification des eaux (absence de vents d'alizés forts et pas de cyclone). Compte tenu de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau, il est vraisemblable que ce maximum de fluorescence se situait au moment des prélèvements entre 100m et 150m de profondeur, ce qui est déjà beaucoup, mais relativement cohérent avec des observations faites dans un gyre subtropical du Pacifique (Vaulot & Marie 1999). Plus en profondeur, on observe un léger enrichissement en carbone et en azote de la matière organique particulaire pour toutes les stations par rapport aux plus faibles profondeurs et cela suggère que l'on est en présence de matière organique en dégradation. Les valeurs de matière organique sédimentaire sont, comme attendu, enrichies en carbone et en azote par rapport à la matière organique de la colonne d'eau. Elles sont aussi en accord avec les données obtenues à La Réunion précédemment (Jaquemet 2015), bien qu'elles présentent des valeurs de carbone plus faibles que sur des stations moins profondes, ce qui suppose que l'origine de la matière organique sédimentaire profonde (100m) dépend plus de la sédimentation de la matière organique de la colonne d'eau que des apports côtiers et terrestres.

En considérant que les valeurs pour Saint-Paul en décembre 2014 ne sont pas totalement fiables, on observe cependant des valeurs de carbone et d'azote plus fortes à Saint-Paul par rapport aux stations de la côte est. Cela traduirait la plus forte influence du milieu côtier à la sortie de la baie de St Paul par rapport aux stations échantillonnées sur la côte est. La

morphologie du fond de la baie de St-Paul est compatible avec un flux de matière organique depuis les zones peu profondes vers les zones plus profondes et une rétention plus longue que sur la côte est où les pentes sous-marines très fortes rendent certainement moins stables les sédiments.

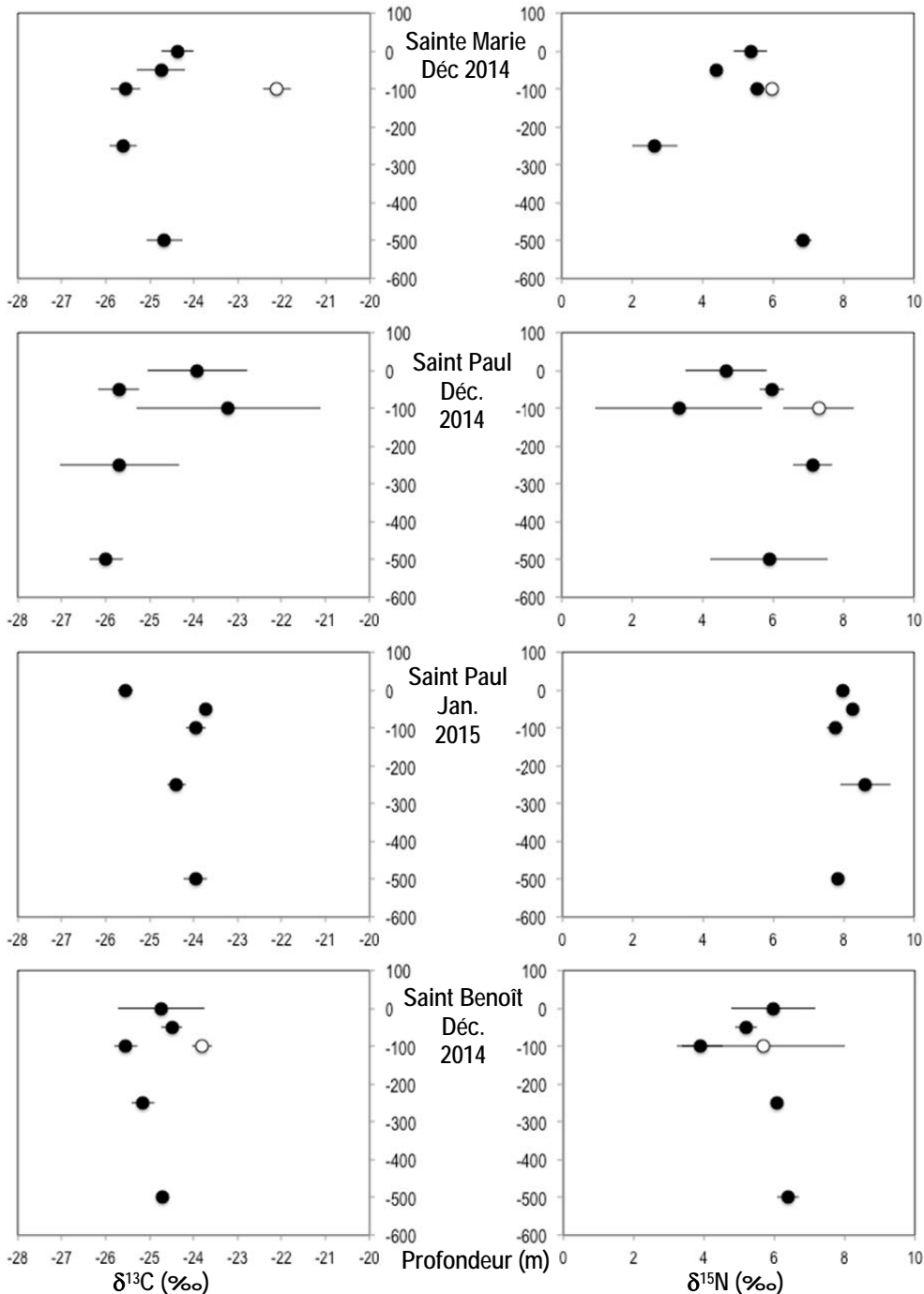


Figure 39 : Valeurs moyennes ( $\pm$  écart type) de carbone et azote isotopique dans la matière organique particulaire de la colonne d'eau (POM) en fonction de la profondeur (ronds noirs) et de la matière organique sédimentaire (SOM) à 100m de fond (ronds blancs) à Sainte Marie en décembre 2014, Saint Paul en décembre 2014 et janvier 2015 et à Saint Benoît en décembre 2014.

### 8.2.2.2. Les proies

Un total de 86 proies a pu être analysé durant cette étude. La ségrégation entre les proies dites profondes, issues des restes alimentaires des poissons prédateurs et les proies de surface capturées par des pièges lumineux, est relativement faible au niveau du carbone et cela reflète les faibles différences observées entre les valeurs de carbone de la matière organique particulaire de la colonne d'eau et sédimentaire (Figure 40).

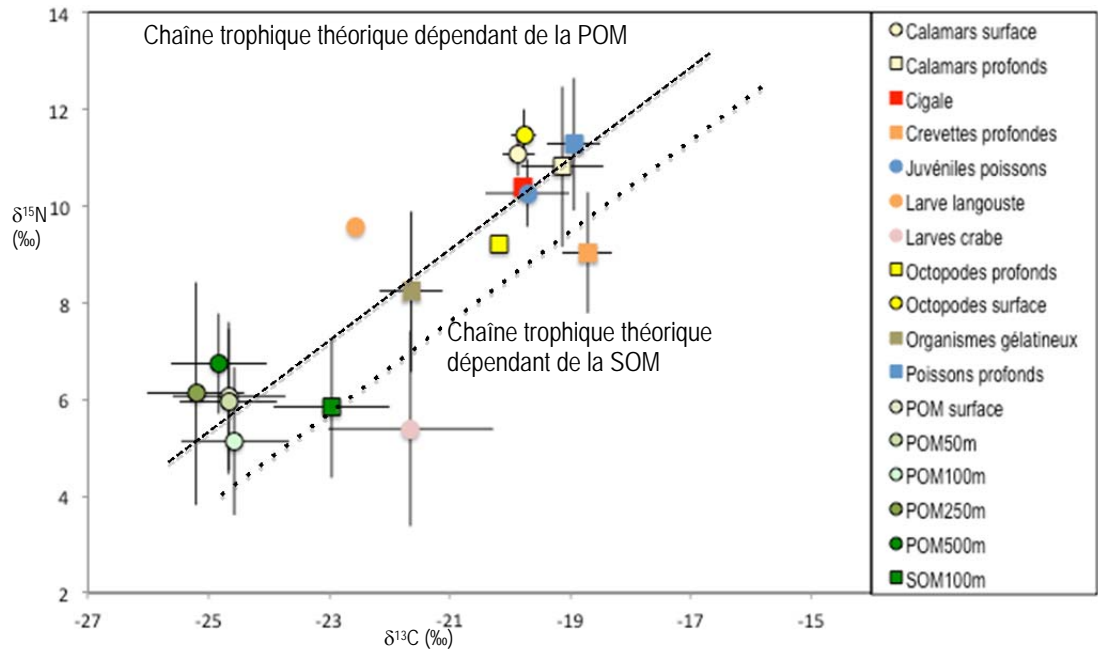


Figure 40 : Graphique représentant les valeurs de carbone et d'azote isotopiques pour les différentes sources de matière organique et les différentes catégories de proies.

Globalement, il semble que les organismes des niveaux trophiques intermédiaires que nous avons pu récolter dépendent plus de la matière organique de la colonne d'eau que celle des sédiments. Les crevettes profondes pourraient être une exception notable puisque leurs valeurs de carbone suggèrent qu'elles dépendent essentiellement de la matière sédimentaire. Leurs valeurs isotopiques sont proches de l'espèce *Heterocarpus laevigatus* dont des échantillons avaient été analysés récemment (Jaquemet données non-publiées). La position des poissons fourrages profonds (essentiellement des Myctophidae) proche de celles des céphalopodes de surface suggère qu'ils pourraient partager leurs habitats d'alimentation et leurs sources de carbone. Ils pourraient donc remonter dans la colonne d'eau pour s'alimenter. Un tel comportement n'a rien de surprenant, puisque ces poissons de la faune fourrage sont connus pour faire des migrations nyctémérales pour s'alimenter la nuit sur les couches migrantes. Ces résultats mettent en évidence des couplages entre les écosystèmes de surface et les écosystèmes profonds par des mécanismes de transferts de la matière organique produite dans les couches euphotiques vers les couches profondes de l'océan. La faible ségrégation observée entre tous ces organismes et entre les valeurs isotopiques mesurées dans la POM et la SOM rendent cependant difficiles les interprétations et renforcent néanmoins l'idée de couplages importants entre les eaux côtières et du large et les eaux de surface et profondes.

### 8.2.2.3. Les poissons

L'étude globale des valeurs isotopiques des poissons indique une plus forte ségrégation des espèces en fonction de l'azote que du carbone. La plus grande gamme de valeurs d'azote s'explique par les lignes de base des chaînes trophiques qui diffèrent entre celles d'origine pélagique et benthique, mais surtout en fonction du régime alimentaire des espèces qui induit des positions trophiques différentes. Ainsi le snoek (*Thyrsoideus marleyi*), l'espèce qui présente les plus fortes valeurs d'azote, aurait la position trophique la plus élevée de la communauté. Cette espèce est quasi-exclusivement piscivore et capable de cannibalisme, il s'agit donc d'un prédateur de haut niveau trophique. Ces valeurs d'azote élevées ne sont donc pas surprenantes. La communauté de poissons semble se séparer en deux groupes d'espèces relativement distincts (Figure 41).

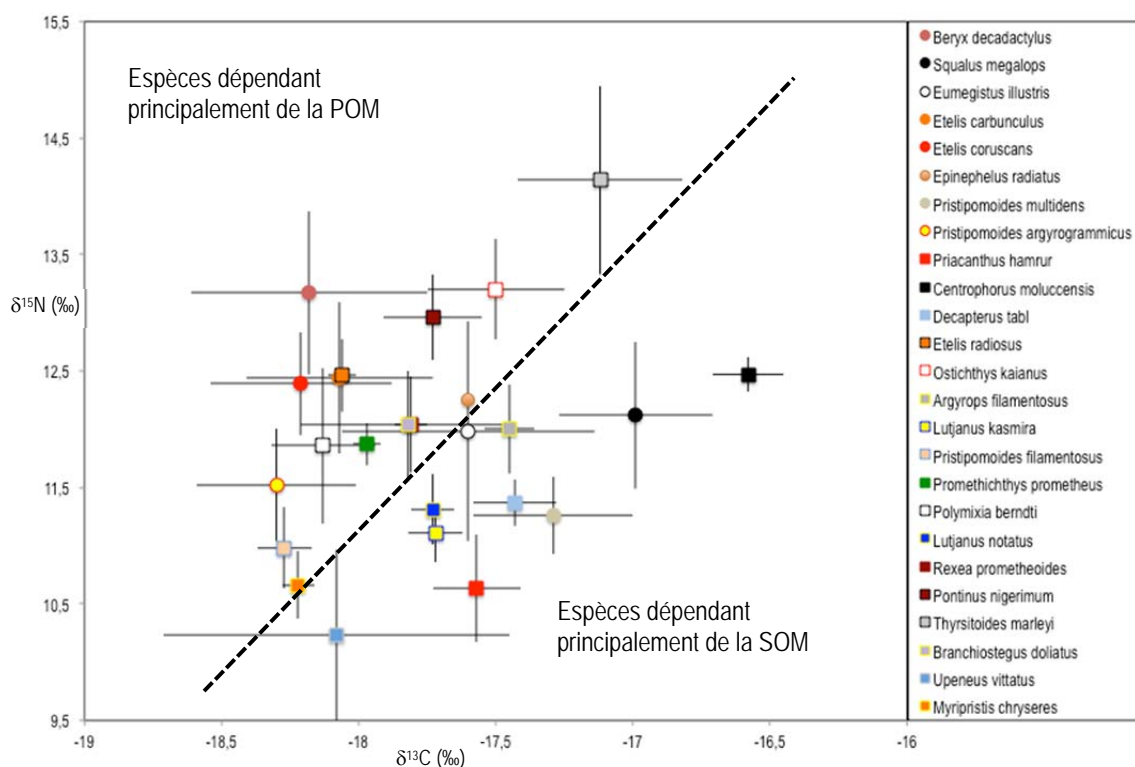


Figure 41 : Graphique représentant les valeurs de carbone et d'azote isotopiques des espèces principales (ronds) et secondaires (carrés) de poissons.

Les espèces qui restent en contact fort avec le fond, comme les deux espèces de requins zépines (*Squalus megalops* et *Centrophorus moluccensis*), le vivaneau gros-écale (*Pristipomoides multidentis*), les vivaneaux ti-jaune (*Lutjanus kasmira* et *L. notatus*) ou le poisson comète (*Decapterus tabl*), présentent des valeurs de carbone enrichies. Ces espèces ont souvent un régime alimentaire qui intègre une grande proportion de crustacés, dont des crevettes profondes, dont les valeurs de carbone sont aussi enrichies par rapport aux autres proies potentielles (Figure 40). A l'autre extrémité du gradient de carbone se trouvent les espèces qui s'alimenteraient le plus dans la colonne d'eau et/ou qui sont exploitées plus profond comme le béryx (*Beryx decadactylus*) ou les vivaneaux gros-tête (*Etelis carbunculus*) et la flamme (*E. coruscans*). Enfin en position intermédiaire se trouvent des espèces qui sont capables de vivre en contact avec le fond, mais aussi de monter dans la colonne d'eau pour s'alimenter comme le zambas (*Eumegistus illustris*). Ces résultats sont renforcés par l'analyse

des ellipses standards (Jackson et al. 2011) calculées pour les huit espèces principales (Figure 42). Ces ellipses représentent une expression de la niche trophique des espèces en prenant en compte 40% des individus situés au centre de la niche isotopique.

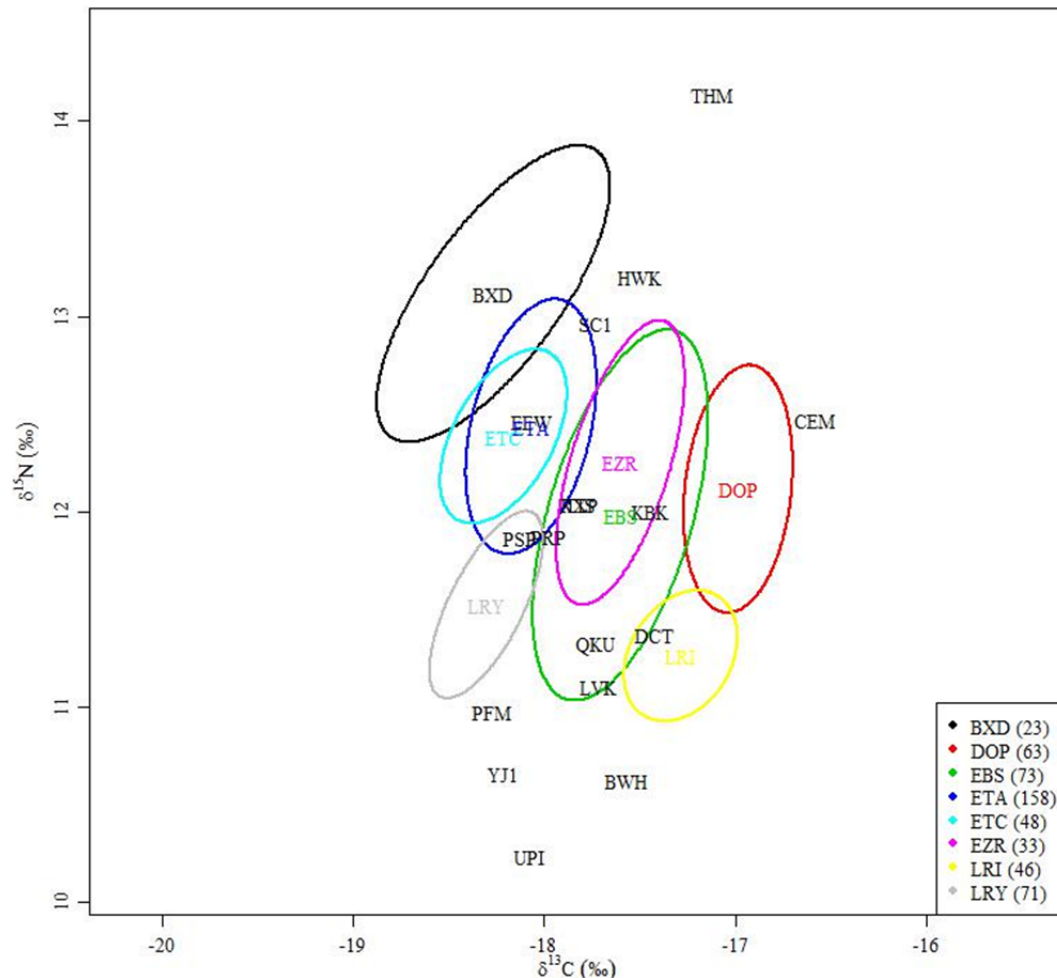


Figure 42 : Représentation des ellipses standards des huit espèces de poissons démersaux et position des espèces secondaires dans l'espace isotopique carbone-azote. Les codes FAO spécifiques aux différentes espèces sont ceux indiqués dans le Tableau 20.

Le chevauchement entre ellipses indique le chevauchement dans la niche isotopique des espèces et exprime ainsi la compétition pouvant exister dans l'exploitation des ressources. Ainsi les ellipses mettent de nouveau en évidence la ségrégation des espèces principales en fonction des sources de carbone dont ils dépendent. Seuls les vivaneaux gros-tête (ETA) et la flamme (ETC) d'une part, et le zambas (EBS) et le cabot rayé (EZR) d'autre part, présentent des chevauchements de niche importants. Enfin, la forme générale des ellipses met encore en évidence la plus grande variabilité dans les valeurs d'azote des espèces principales par rapport aux valeurs de carbone, confirmant qu'au sein des habitats les stratégies individuelles d'exploitation des ressources et les facteurs ontogénétiques doivent jouer un rôle majeur dans l'écologie trophique des espèces. Encore une fois, ces résultats sont préliminaires et sont à confirmer dans le futur en augmentant le nombre d'échantillons. De plus, ces grandes tendances sont influencées par de nombreux facteurs (site de pêche, date de pêche, taille des individus, profondeurs de pêche, ...) dont les effets individuels sont pour le moment difficilement quantifiables comme tenu des effectifs au sein de chaque classe. Le faible

niveau d'informations obtenu à partir des contenus stomacaux rend aussi difficile la liaison entre régime alimentaire et valeurs isotopiques.

#### 8.2.2.4. Approche spatiale

Faisant suite à l'approche globale, une analyse des variations spatiales des valeurs isotopiques des poissons a été envisagée pour 8 espèces, dont les 6 considérées dans cette étude. L'analyse a pris dans son approche spatiale, les 9 secteurs prédéfinis par l'IFREMER (§2.5). Les effectifs en individus disponibles pour l'analyse par espèce et par secteur sont présentés dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Répartition du nombre de mesures de rapports isotopiques par espèce et par secteur géographique pour les 8 espèces.

Secteurs									
	A1	B2	B3	C4	C5	D6	D7	D8	E9
Espèces (Code FAO)									
<i>Beryx decadactylus</i> (BXD)	0	0	0	1	4	16	1	1	0
<i>Squalus megalops</i> (DOP)	3	5	3	5	33	3	7	4	0
<i>Eumegistus illustris</i> (EBS)	43	2	1	0	12	8	7	0	0
<i>Etelis carbunculus</i> (ETA)	14	32	6	14	31	11	39	11	0
<i>Etelis coruscans</i> (ETC)	14	17	0	5	2	0	4	6	0
<i>Epinephelus radiatus</i> (EZR)	0	3	2	1	4	2	17	4	0
<i>Pristipomoides multidens</i> (LRI)	8	7	0	1	4	6	14	0	6
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i> (LRY)	6	20	3	3	3	7	19	10	0

L'analyse rapide du Tableau 21 révèle que les effectifs sont très déséquilibrés entre secteurs pour chacune des espèces. Dans le cas de faibles effectifs dans de nombreux secteurs, la portée des résultats obtenus est à relativiser.

Les résultats de l'analyse spatiale globale sont présentés dans le Tableau 22, en considérant les deux éléments isotopiques et le rapport C/N.

Tableau 22 : Résultats des variations de rapports isotopiques du carbone, de l'azote et du rapport C/N en fonction des 9 secteurs de pêche considérés. Pour les différences significatives, le sens des différences entre les secteurs est représenté. NS : différence non significative.

	$\delta^{13}\text{C}$ ~ secteurs	$\delta^{15}\text{N}$ ~ secteurs	C/N ~ secteurs
<i>Beryx decadactylus</i>	ns	ns	ns
<i>Squalus megalops</i>	ns	ns	ns
<i>Eumegistus illustris</i>	1 < 5 - 6	1 < 5 - 6 - 7	1 < 5 - 6
<i>Etelis carbunculus</i>	1 - 2 - 4 < 6 - 7	2 < 7	ns
<i>Etelis coruscans</i>	ns	ns	ns
<i>Epinephelus radiatus</i>	ns	ns	ns
<i>Pristipomoides multidens</i>	ns	ns	ns
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	ns	ns	8 < 6

L'analyse des différences spatiales de valeurs isotopiques chez les principales espèces de poissons suggère qu'il existe assez peu de différence entre secteurs. Cinq des 8 espèces de poissons ne présentent aucune différence significative de valeurs isotopiques. Cependant chez certaines espèces, cette absence de différence pourrait s'expliquer par les effectifs faibles dans quasiment l'ensemble des secteurs, comme pour le béryx (BXD). Néanmoins, chez le requin



zépine (DOP), les effectifs sont plus équilibrés, mais aucune différence n'est observée. Ceci suggère que cette absence de différence pourrait être réelle ou qu'elle pourrait dépendre d'autres facteurs comme la profondeur de pêche ou la taille des individus. Deux espèces présentent des différences de rapports isotopiques liés au secteur de pêche et celles-ci suggèrent que les rapports isotopiques du carbone et de l'azote seraient plus faibles dans certains secteurs de l'ouest par rapport à certains secteurs de l'est (Figure 43).

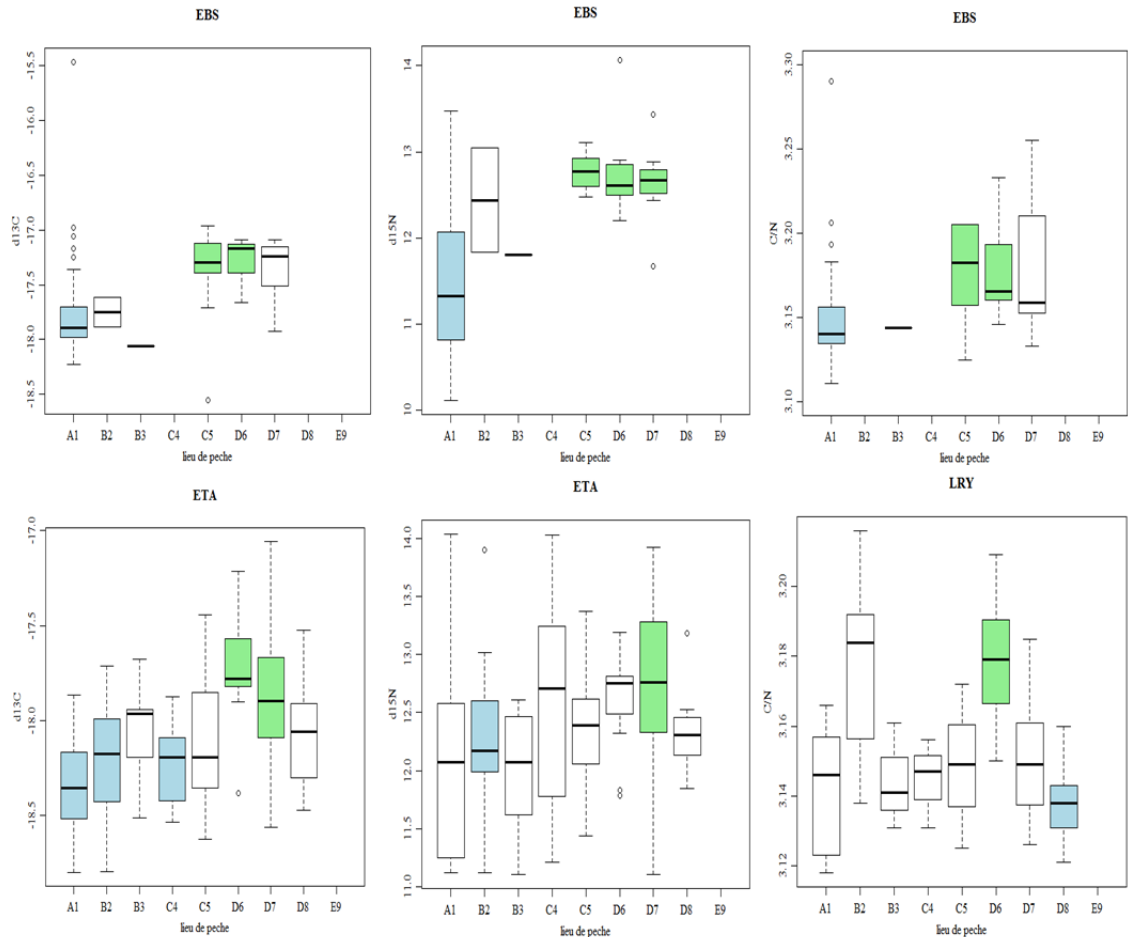


Figure 43 : Boîtes à moustaches présentant les valeurs isotopiques en carbone, en azote ou de rapport C/N par zone pour les espèces qui présentent des différences significatives pour ces mesures (voir Tableau 21). Les valeurs significativement inférieures sont en bleue, les valeurs significativement supérieures en vert et la couleur blanche indique une absence de différence statistique. EBS : *Eumegistus illustris*, ETA : *Etelis carbunculus*, LRY : *Pristipomoides argyrogrammicus*.

Une ségrégation isotopique de la côte est et de la côte ouest avait été déjà observé par Mablouké (2013) pour la matière organique particulaire de surface, mais les valeurs de la côte ouest étaient alors plus élevées que celle de l'est. Cette même tendance a été observée dans les échantillons d'eau et de sédiments analysés dans cette étude. Les tendances dans les rapports isotopiques des poissons sont donc inversées par rapport à celles de la matière organique particulaire de la colonne d'eau et sédimentaire. Les temps de renouvellement et d'intégration étant très différents entre la matière organique et les tissus musculaires des poissons, il est possible qu'une grande variabilité temporelle dans le signal isotopique existe dans les écosystèmes de La Réunion. Une autre explication plausible est que ces différences traduisent

des problèmes dans l'échantillonnage, puisque les poissons échantillonnés n'ont pas été pêchés tous à la même profondeur et ne sont pas tous de la même taille. Des effets de l'ontogénie sur les valeurs isotopiques ont déjà mis en évidence chez de nombreuses espèces de poissons, y compris à La Réunion (Kolasinski et al. 2009, Mablouké et al. 2013). Ces effets traduisent généralement des changements dans la composition du bol alimentaire et/ou de l'habitat d'alimentation. Des effets physiologiques liés par exemple à la reproduction peuvent aussi être envisagés. Les individus matures pourraient allouer leur énergie issue de l'alimentation de façon différente, en privilégiant le développement des gonades au détriment des tissus somatiques comme les muscles blancs. Les phénomènes de fractionnement isotopique pourraient alors modifier les valeurs isotopiques des muscles. A ce stade de nos connaissances, il n'est néanmoins pas possible de déterminer clairement l'origine de ces différences.

#### 8.2.2.5. Approche ontogénique

Les résultats de l'analyse spatiale des valeurs isotopiques des poissons ont montré des différences entre la côte est et la côte ouest, qui ne semblent pas concordants avec les résultats de la matière organique. L'hypothèse d'un effet de l'ontogénie est alors envisageable et c'est ce qui est testé ici.

Le Tableau 23 présente les effectifs par espèce et par classe de taille.

Tableau 23 : Effectifs d'échantillons de muscles blancs analysés pour leurs rapports isotopiques par classe de taille (cm) et par espèce.

Classe de taille	[10-15[	[15-20[	[20-25[	[25-30[	[30-35[	[35-40[	[40-45[	[45-50[	[50-55[	[55-60[	[60-65[	[65-70[	[70-75[	[75-80[	[80-85[	[85-90[	[90-95[	[95-100[
Espèces																		
<i>Beryx decadactylus</i>	0	0	0	0	0	2	4	5	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Squalus megalops</i>	0	0	0	0	1	0	15	6	7	6	10	6	8	3	1	0	0	0
<i>Eumegistus illustris</i>	0	0	0	0	0	0	0	6	12	10	7	3	5	11	12	7	0	0
<i>Etelis carbunculus</i>	0	21	27	43	35	19	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Etelis coruscans</i>	0	0	2	7	8	10	5	0	3	0	0	0	0	0	1	0	3	2
<i>Epinephelus radiatus</i>	1	0	0	4	11	7	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pristipomoides multidens</i>	0	0	0	0	3	4	4	4	6	8	9	5	1	1	0	1	0	0
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	0	13	29	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Comme pour l'échantillonnage par secteur, les effectifs par classe de taille pour l'ensemble des espèces ne sont pas équilibrés et de nombreuses classes de taille n'ont aucun échantillon. Compte tenu de cet échantillonnage, les résultats sont donc à considérer avec prudence, car ils sont peu robustes et donnent plutôt des pistes de réflexion à creuser.

Le Tableau 24 présente les résultats des analyses de l'effet de la taille sur les valeurs isotopiques de 8 espèces, dont les 6 principales ciblées par le projet. Pour 4 des 8 espèces, aucune différence significative de valeurs isotopiques n'a pu être mise en évidence entre classe de taille. Compte tenu des effectifs et de la distribution des échantillons en fonction des classes de taille, il est difficile de déterminer si cette absence de différence est due à l'échantillonnage ou si elle exprime une réalité biologique. Si cette dernière hypothèse était

vraie, cela signifierait que chez ces espèces il n'y aurait pas de changement majeur dans la composition du régime alimentaire et des habitats d'alimentation en fonction de l'âge des individus. Cependant, chez 2 espèces il existerait des relations linéaires entre la taille des individus et les valeurs isotopiques, cependant elles ne sont pas très robustes car elles expliquent entre 28% et 36% de la variance. Chez les espèces pour lesquelles il existe des différences significatives de valeurs isotopiques en fonction des classes de taille, ces différences sont toutes identiques et indiquent que les classes de taille plus grandes ont des valeurs isotopiques plus élevées, pour celles qui sont indiquées dans le Tableau 24. Enfin pour *Etelis carbunculus* aucune différence ni relation n'a été observée, mais il existe une tendance à l'augmentation des valeurs isotopiques avec l'augmentation de la taille des individus. Ainsi, dans l'ensemble, il semble que les différentes classes de taille pour la majorité des espèces présentent des différences de valeurs isotopiques.

Tableau 24 : Résultats des analyses de variation des rapports isotopiques du carbone et de l'azote et du rapport C/N en fonction des classes de taille (cm) et des espèces. ns : non significatif.

	$\delta^{13}\text{C} \sim$ classe Taille	$\delta^{15}\text{N} \sim$ classe Taille	C/N $\sim$ classe Taille
<i>Beryx decadactylus</i>	ns	Relation linéaire significative	ns
<i>Squalus megalops</i>	[40-50[ < [70-75[	[40-50[ < [60-75[	ns
<i>Eumegistus illustris</i>	[45-60[ < [70-90[	[45-65[ < [70-90[	[45-65[ < [75-80[
<i>Etelis carbunculus</i>	ns	ns	ns
<i>Etelis coruscans</i>	[25-30[ < [35-40[	[25-30[ < [35-40[	ns
<i>Epinephelus radiatus</i>	ns	ns	ns
<i>Pristipomoides multidentis</i>	Relation linéaire significative	Relation linéaire significative	ns
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	[15-25[ < [25-30[	ns	ns

Les analyses de l'effet de l'ontogénie sur les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote suggèrent qu'il existe des liens entre l'accroissement de la taille des individus et des changements significatifs de valeurs isotopiques. Ceci suggère que pour la majorité des espèces, il existe des changements de régime alimentaire et/ou d'habitats d'alimentation en grandissant. Les classes de taille qui se distinguent par des valeurs isotopiques significativement différentes semblent correspondre en partie aux tailles à maturité des individus des différentes espèces. Si ce résultat était confirmé, il indiquerait que les juvéniles et les adultes n'occupent pas les mêmes habitats et n'exploitent pas les mêmes ressources. Ceci peut avoir des implications importantes pour la gestion de la pêcherie. Une analyse de la distribution des tailles des individus en fonction des sites de pêche et de la profondeur reste à faire, afin de déterminer si les effets « sites » et « taille » identifiés ne sont pas confondus. Cependant, compte tenu de l'échantillonnage, il n'est pas possible de conduire une telle analyse avec plus de robustesse que pour les effets individuels des variables.

### 8.3. Conclusion

Cette première étude de l'écologie trophique des poissons démersaux profonds exploités par la pêche artisanale réunionnaise a permis d'avoir un premier aperçu des mœurs alimentaires des espèces, l'identification des habitats d'alimentation et les effets possibles de compétition entre les espèces. Bien que peu d'informations soient disponibles à l'échelle mondiale, nos résultats sont globalement concordants avec la littérature. Cette étude a aussi mise en évidence la quasi-absence de connaissances qu'il y a sur les écosystèmes profonds de La Réunion. Ceci est un vrai point négatif, dans un contexte d'exploitation de ces ressources et dans une perspective de gestion ; d'autres études semblent donc indispensables. Dans le contexte réunionnais ceci est encore plus vrai, puisque certaines espèces endémiques sont concernées.

Parmi les résultats principaux, on peut retenir le rôle important des crevettes profondes et des *Myctophidae* dans l'écosystème, puisque ce sont les principales proies de la faune fourrage qui soutient les poissons démersaux exploités. De plus, selon les espèces, il semble y avoir des mouvements nyctéméraux plus ou moins marqués pour s'alimenter dans les couches moins profondes de la colonne d'eau. La présence de juvéniles de poissons de surface confirme ce couplage entre écosystèmes peu profond et profond. Les valeurs isotopiques des *Myctophidae* suggèrent qu'eux-mêmes effectueraient des mouvements verticaux dans la colonne d'eau pour s'alimenter. A l'échelle de l'île, dès que l'on s'éloigne de la côte, il semble y avoir une relative homogénéité des eaux en surface et en profondeur entre la côte est et ouest. Ceci n'est pas surprenant, mais cela rend plus difficile l'identification des habitats d'alimentation des espèces. On constate cependant une ségrégation légère entre les environnements pélagiques et benthiques à l'aide du carbone isotopique et cette ségrégation se retrouve dans les organismes proies et les poissons, bien que chez ces derniers d'autres facteurs puissent intervenir et modifier les valeurs isotopiques. Une ségrégation entre la côte ouest et la côte est pourrait aussi exister pour les poissons sur la base de leurs valeurs isotopiques. Ce résultat est encore très peu robuste, mais s'il s'avérait réel, il pourrait suggérer un certain degré de résidence dans des habitats limités spatialement et donc une certaine indépendance entre différents ensemble de poissons (populations, sous-stocks). De même, il pourrait y avoir des changements ontogénétiques dans les habitats d'alimentation et l'exploitation des ressources chez la majorité des espèces. Il s'agit également d'un point fondamental à étudier plus précisément, pour confirmer ou non ce résultat très important pour la gestion de la pêche, s'il est possible de cibler des classes de taille particulière en fonction de l'habitat exploité par la pêche.

Ce travail s'est pour le moment concentré sur une saison unique. Cependant des échantillons ont aussi été récoltés pour la période estivale. Afin d'avoir une vision plus claire de l'écologie trophique des espèces et du fonctionnement des écosystèmes profonds, il est envisagé de poursuivre l'étude. De même, parmi les espèces principales, il existe un échantillonnage parfois compatible avec un travail plus approfondi sur les effets des facteurs environnementaux et ontogénétique sur le comportement alimentaire et l'écologie des espèces.

## 9. ACTION 5 : Différenciation d'espèces de vivaneaux rouges à l'aide de l'outil génétique à La Réunion

Par Natacha Nikolic

### **DELIVRABLE ACTION 5 :**

- (1) Caractérisation génétique de la population de vivaneaux rubis (*Etelis carbunculus*) à partir de l'ADN mitochondrial.
- (2) Validation de l'hypothèse de l'existence de 2 espèces de vivaneaux type « rubis » à La Réunion.
- (3) Interprétation des résultats en termes de suivi de la ressource et de gestion des pêches.

L'objectif de cette étude était de travailler sur la différenciation génétique entre deux espèces de vivaneau, *Etelis carbunculus* et *Etelis radiosus*. Pour cela, nous avons utilisé une partie du génome mitochondrial comme marqueur génétique qui i) permet de distinguer les espèces entre elles malgré leur proximité dans le taxon ou le clade, ii) d'informer des échanges génétiques entre populations et sous-espèces, et iii) de fournir des informations sur une partie de la structuration génétique.

### 9.1. Matériel et Méthode

#### 9.1.1. Echantillonnage

Un total de 50 individus a été séquencé, avec 38 individus correspondant à la morphométrie type du genre *Etelis carbunculus* (ETA) et 11 individus de la morphométrie d'*Etelis radiosus* (EEW). Un individu d'une nouvelle espèce de vivaneau rouge, capturée et identifiée à La Réunion pour la première fois, morphologiquement distincte, le vivaneau de Randall (*Randallichtys filamentosus*) (RAI), a été rajouté aux données afin de former une branche différenciée de nos taxons principaux. Pour chaque individu, 25 ng de muscle ont été prélevés et conservés dans de l'éthanol pur. La dénomination des individus est présentée en Annexe 8. Seul l'individu DMX497 ne possède pas son acronyme d'espèce mais il correspond à l'espèce codée EEW (*Etelis radiosus*, individu capturé lors de DMX1 en 2010).

#### 9.1.2. Marqueur génétique

La zone hypervariable de l'ADN mitochondrial, le Cytochrome Oxydase I (COI) chez *Etelis carbunculus* (GenBank-JQ431727.1, Figure 1), a ainsi été utilisée. Les amorces ont été optimisées afin d'englober la plus longue séquence en termes de nombre de paires de bases (pb).

#### 9.1.3. Extraction d'ADN et PCR

L'extraction d'ADN a été réalisée sur l'ensemble des individus échantillonnés avec le Kit Qiagen DNeasy. La quantité d'ADN extraite a été dosée par fluorimétrie. Ce dernier était de

l'ordre de 5ng/μL à 40ng/μL. Une réaction en chaîne par polymérase (PCR) a été réalisée tout d'abord sur deux échantillons de chaque espèce, puis sur un témoin négatif pour optimiser la température d'hybridation. Les quantités des réactifs sont décrites dans le Tableau 25. Les conditions d'amplification sur un TETRAD de chez Bio-Rad sont les suivantes:

- 5 min de dénaturation initiale à 95°C,
- 35 cycles suivant les marqueurs avec 30 secondes de dénaturation à 94°C,
- 30 secondes d'hybridation à la température optimale pour chaque couple d'amorces,
- 30 secondes d'élongation à 72°C,
- enfin 7 minutes de synthèse finale à 72°C.

Tableau 25 : Concentration et volume des réactifs des PCR réalisées.

	Concentration initiale	Concentration Finale	Volume
<b>Tampon</b>	(10X)	1X	2.5μL
<b>dNTP</b>	(10mM)	0.24mM	0.6μL
<b>MgCl2</b>	(25mM)	1.5mM	1.5μL
<b>Amorce F</b>	(10μM)	10pmol	1μL
<b>Amorce R</b>	(10μM)	10pmol	1μL
<b>Taq</b>	(5U/μL)	1U	0.2μL
<b>H2O</b>	Qsp	Qsp	16.2μL
<b>ADN</b>		5ng	2μL

Les échantillons sélectionnés ont été dilués au 1/3 pour la PCR. Les températures d'hybridation testées étaient de 50°C, 52°C, 54°C, 56°C, 58°C. L'ensemble des températures expérimentées a donné un résultat positif en PCR et les témoins négatifs ont été validés. Nous avons accepté la température d'hybridation de 55°C car l'échantillon de l'espèce RAI présentait un rendement de produit d'amplification plus faible à 56°C qu'à 54°C. La totalité des échantillons a donc été amplifiée à 55°C, purifiée puis séquencée en double sens sur séquenceur ABI 3730. Les séquences obtenues ont été corrigées puis alignées sur la séquence de référence (GenBank : JQ431727.1). La taille (en paires de bases, pb) des séquences est comprise entre 608 et 619 sur un fragment référence de 651pb.

Un alignement des séquences des 3 espèces a été réalisé par BLASTn ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)) avec Megablast sur les séquences de la base de donnée NCBI et GenBank NR.

#### 9.1.4. Analyses génétiques

La diversité au sein des deux espèces nommées EEW (*Etelis radiosus*) et ETA (*Etelis carbunculus*) a été évaluée avec le logiciel DnaSP program (Rozas et Rozas 1999). Afin d'estimer les écarts par rapport à la neutralité dans la distribution des fréquences alléliques au sein de ces espèces, nous avons fait le test du D de Tajima (Tajima, 1989), et le test F\* et D\* de Fu et Li (1993) avec le même logiciel. Ces tests indiquent si la population subit des événements démographiques tels que des goulets d'étranglement, des expansions ou contractions, ou des processus de sélection (directionnelle, purificatrice ou balancée).

Le package R a été utilisé Adegnet (Jombart 2008 ; Jombart et Ahmed 2011) afin de réaliser une matrice génétique de comparaison selon le modèle développé par Tajima et Nei (1993) permettant d'intégrer les transversions et transitions entre nucléotides. Le logiciel MEGA6 (Tamura et al. 2013) a été employé pour construire un arbre phylogénétique entre espèce et entre individus avec 10 000 bootstrap selon la méthode de Felsenstein (1985). L'arbre choisi est un arbre non enraciné, le Neighbour Joining (ou Neighbor Joining) (NJ) (Saitou et Nei 1987). Il se base sur l'analyse de groupes à partir des distances génétiques entre paires d'individus, tout en tenant compte des différences de vitesse évolutive entre les branches de l'arbre. La longueur de branche est fonction de la distance génétique sous maximum de vraisemblance de Tamura et al. (2004).

Un autre arbre NJ selon les temps de divergence a été produit selon la méthode de Tamura et al. (2012) en utilisant le logiciel MEGA6. Un test de Tajima (1993) a été réalisé pour valider ou invalider l'hypothèse d'horloge moléculaire sur les individus sortant et leur origine spécifique.

Un réseau phylogénétique a été produit par reconstruction combinatoire médian de Bandelt et al. (1999) avec le logiciel PopArt. Cet arbre a ensuite été appliqué sous une représentation cartographique grâce aux positions géographiques pour chaque individu collecté et l'identification des groupes faits antérieurement. L'hypothèse de 5 groupes a ainsi été retenue.

Pour finir, un test de Mantel a été appliqué sur la base d'un ré échantillonnage égal à 10 000 et par population (ETA et EEW) pour estimer la corrélation entre la matrice de distance génétique et la matrice géographique, puisque la latitude et longitude pour chacun des individus étaient connues.

## 9.2. Résultats

### 9.2.1. Marqueur génétique

Le couple d'amorce fournissant le plus grand recouvrement de séquences du gène sélectionné a été déterminé:

Amorce F (Forward) : GTGCTTGAGCCGGAATAGTG

Amorce R (Reverse) : CAGGTGTTGGTAGAGGATTGG

Ces amorces s'hybrident sur la séquence GenBank-JQ431727.1, sous les conditions optimales de la Figure 44: Séquence mitochondriale COI d'*Etelis carbunculus* voucher (MBIO1864.4) avec deux amorces optimisées en couleur (forward en jaune ; reverse en rose ; Tableau 26).

CTTTATCTAGTATTTG**GTGCTTGAGCCGGAATAG**TGGGCACCGCCCTAAGCTTGCTCATTGCGA  
 GCAGAACTAAACCAACCAGGCGCACTTCTTGAGACGACCAAATTTACAACGTAATCGTTAC  
 GGCCACGCATTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATGCCAATTATGATCGGCGGATTTGGAA  
 ATTGACTAATCCCACTAATGATCGGAGCCCCGACATGGCATTCCCTCGAATGAACAATATG  
 AGCTTTTGACTACTTCTCCCTCTTTCTTCTCCTCCTTGCTTCTTCTGGGGTAGAAGCAGGGG  
 CTGGTACCGGTTGAACAGTATACCCCCACTAGCTGGTAATTTAGCACATGCAGGGGCATCT  
 GTTGACCTAACTATCTTTTCTCTACACCTAGCAGGGGTTTCTCAATCCTGGGGGCAATTAAC  
 TTTATTACAACCATTGTTAACATGAAACCTCCCGCTATCTCCCAATACCAAACACCCCTGTTT  
 GTCTGAGCCGTACTAATTACCGCTGTACTCTACTCCTTTCTCTCCAGTACTTGCTGCTGGA  
 ATTACAATGCTTCTCACAGACCGAACTTAAACACCACTTTCTTTGACCAACACGGGGAGG  
 AGAC**CCAATCCTCTACCAACACCTG**

Figure 44 : Séquence mitochondriale COI d'*Etelis carbunculus voucher* (MBIO1864.4) avec deux amorces optimisées en couleur (forward en jaune ; reverse en rose).

Tableau 26 : Conditions d'amplifications sur la séquence GenBank-JQ431727.1 à partir des amorces optimisées au sein de cette étude. La taille du produit amplifié est de 651 pb.

COI	Longueur (pb)	Température hybridation	% gc	Séquence	Début
Amorce Forward	20	60.80	55.00	<b>GTGCTTGAGCCGGAATAGTG</b>	17
Amorce reverse	21	59.46	52.38	<b>CAGGTGTTGGTAGAGGATTGG</b>	651

### 9.2.2. Séquences

L'ensemble des échantillons ETA s'aligne parfaitement avec la séquence de référence, alors que les échantillons EEW et RAI présentent des différences. Les échantillons identifiés morphologiquement comme de l'*Etelis carbunculus* sont bien l'espèce de référence.

Les résultats des alignements de séquences montrent également que la séquence RAI-211 est proche d'*Etelis carbunculus* (90% de similarité). Ce résultat s'explique par le fait que la séquence de *Randallichthys filamentosus* n'existe pas dans la base internationale. Ce résultat innovant complètera la base de données existante pour l'espèce *Randallichthys filamentosus*, après publication dans une revue à comité de lecture.

Concernant la séquence issue des individus *Etelis radiosus* (EEW), un alignement à 99% de similarité a été identifié avec *Etelis carbunculus*. Ce résultat s'explique par le fait que la séquence d'*Etelis radiosus* n'existe pas dans la base internationale. Il faudrait donc également la soumettre après publication.

### 9.2.3. Analyses génétiques

La diversité haplotypique et nucléotidique ainsi que le nombre de sites variables (mutations) sont élevés (Tableau 27). Les tests des neutralités sont tous significatifs et négatifs (Tableau 27) indiquant un excès d'allèles rares. Ce résultat peut être la conséquence d'une forte sélection subie par les deux populations ou une expansion (ou stabilisation) de la population après une période de goulot d'étranglement sévère.



Tableau 27 : Diversité et tests de neutralité. Nombre d'individu (N) ; écart-type (sd) ; D Tajima (1989) ; F\* et D\* tests (Fu and Li, 1993).

Espèce	N	Nombre de site variables (S)	Diversité nucleotidique	Diversité haplotypique	D Tajima	F* de Fu et LI	D* de Fu et LI
EEW	11	24	0,00719 (sd. 0,00491)	0,618 (sd. 0,164)	-2,143**	-2,828**	-2,615**
ETA	38	18	0,00158 (sd. 0,00131)	0,154 (sd. 0,078)	-2,567***	-4,963**	-5,012**

L'analyse de la matrice de distance génétique entre individus (Figure 45) a permis d'identifier 3 groupes d'espèces (EEW, ETA, RAI) en accord avec l'identification morphologique réalisée en laboratoire (Ifremer DOI). Néanmoins, 2 individus se différencient de leur groupe, ETA-254 et EEW-229 (Figure 45). La présence de ces 3 groupes et les individus sortants (ETA-254 et EEW-229) se retrouve sur l'arbre NJ (Figure 46).

L'estimation des temps de divergences (Figure 47) de ces deux individus sortants est égale à 0.01. La datation de ce temps de divergence est possible en partant de l'hypothèse d'un taux d'évolution constant et d'une horloge moléculaire calibrée. En partant de la théorie neutraliste et d'une horloge moléculaire universelle, il semblerait que la séparation soit récente, mais le taux de mutation n'étant pas connu chez ces espèces, des analyses complémentaires permettront de préciser ces estimations.

Selon le test de Tajima, les 2 individus (ETA-254 et EEW-229) ont la même horloge moléculaire (taux de substitution et temps de divergence) que l'individu RAI-1211. Cependant ces deux individus sortants n'ont pas la même horloge moléculaire que leur propre espèce. La p-value est égale à 1 sur un test entre les individus EEW sauf pour EEW-229 dont la p-value est nettement inférieure à 0.05. Il en est de même pour l'individu ETA-254.

Le réseau phylogénétique médian montre clairement la différence des deux individus sortants avec les autres individus de leur espèce (Figure 48). Vingt-une mutations ont été identifiées pour ETA-224 avec le premier nœud de l'arbre du groupe ETA (Figure 48). Vingt-quatre mutations ont été identifiées pour EEW-229 du premier nœud de l'arbre du groupe EEW (Figure 48). Selon les deux espèces identifiées par les figures (62, 63, 64, 65), c'est-à-dire ETA et EEW, les nombres de mutations entre les individus regroupés dans la même espèce est faible (généralement 1 ou 2 mutations) (Figure 48). Concernant l'individu de l'espèce RAI, 57 mutations ont été identifiées le séparant de l'espèce EEW (Figure 48). RAI est plus proche de l'espèce EEW que d'ETA.

La cartographie des séquences par individu, sous l'hypothèse des 5 groupes, montrent l'individu EEW-229 isolé géographiquement et génétiquement (Figure 49).

Pour finir, le test de Mantel permet de répondre à l'hypothèse d'isolement par la distance supportée par les données génétiques, notamment sur les individus ETA-254 et EEW-229. Les résultats obtenus confirment une isolation par la distance pour les individus appartenant à EEW de façon très significative (p-value = 0.007). L'individu EEW-229 serait isolé génétiquement des autres individus et ceci est corrélé avec la distance géographique. Par contre, aucune corrélation n'a été montrée entre les données génétiques et géographiques chez ETA (p-value = 0.955).

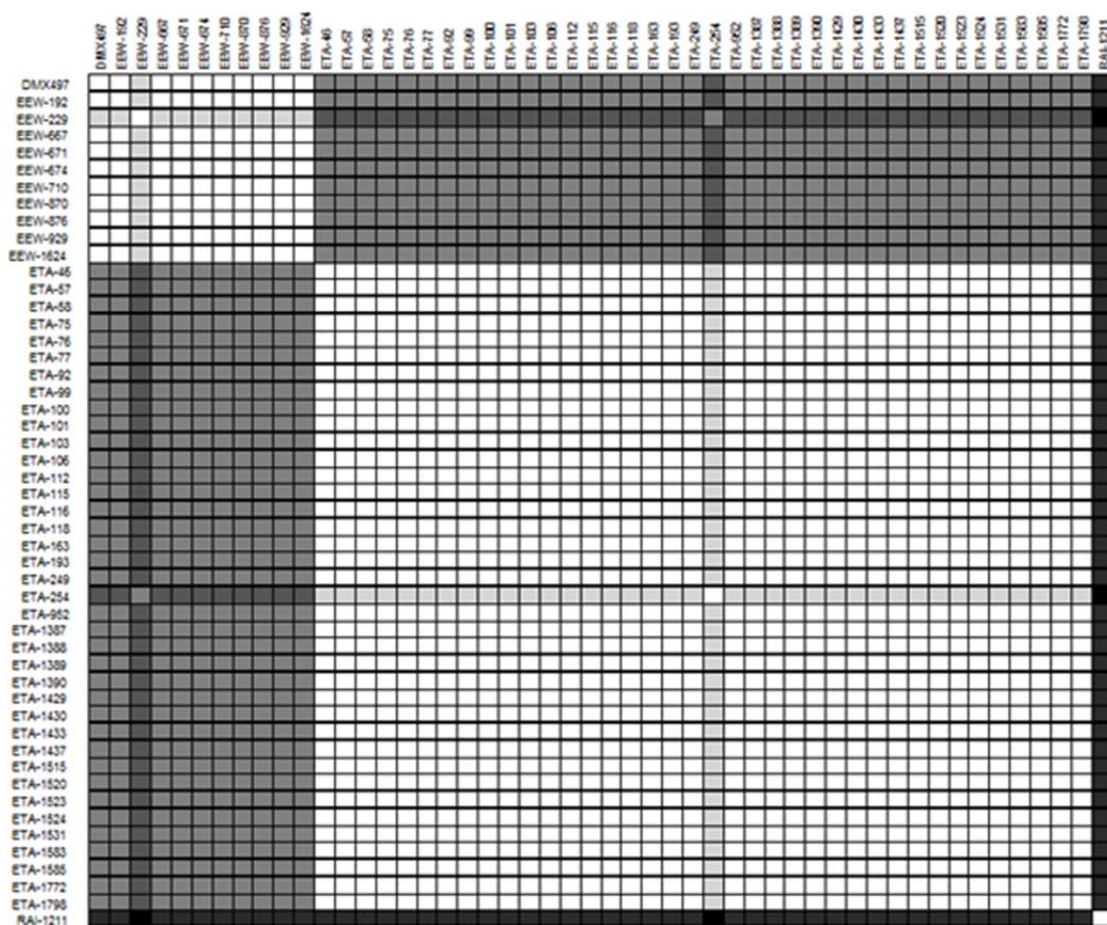


Figure 45 : Matrice génétique entre individus. Plus les individus sont proches génétiquement et plus la couleur est claire. La diagonale correspond à la superposition du même individu.

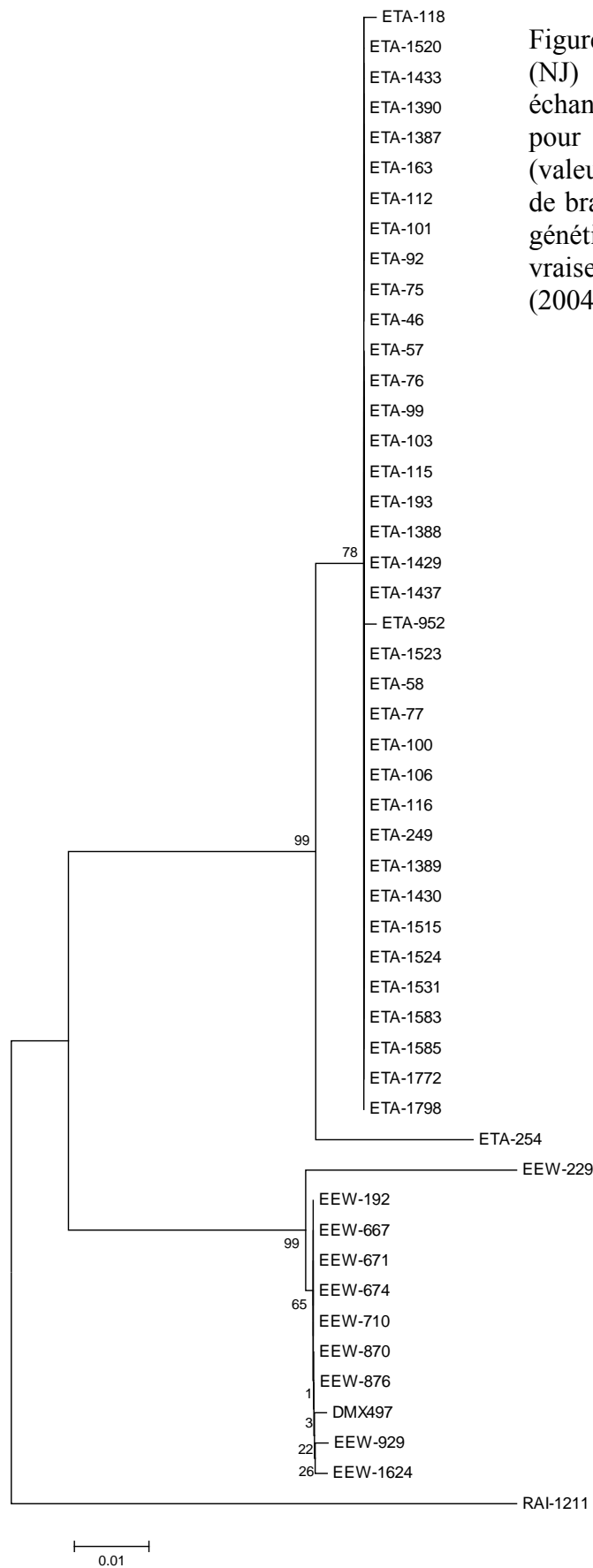


Figure 46 : Arbre Neighbour Joining (NJ) sur les 50 individus échantillonnés avec 10 000 bootstrap pour évaluer la solidité des nœuds (valeur en pourcentage). La longueur de branche est fonction de la distance génétique sous maximum de vraisemblance de Tamura et al. (2004).

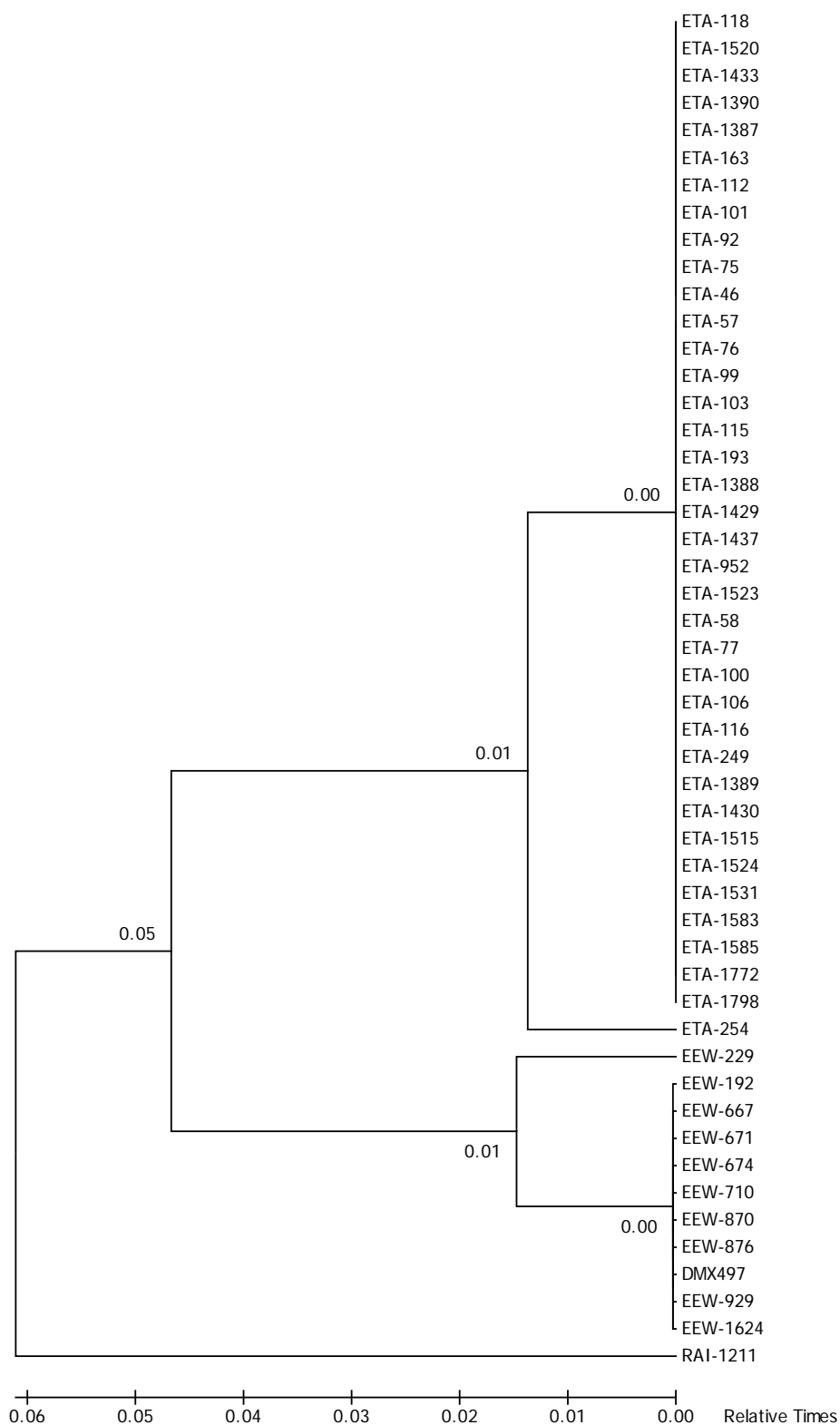


Figure 47 : Arbre Neighbour Joining (NJ) sur les 50 individus échantillonnés avec pour longueur de branche les temps de divergence de Tamura et al. (2012).

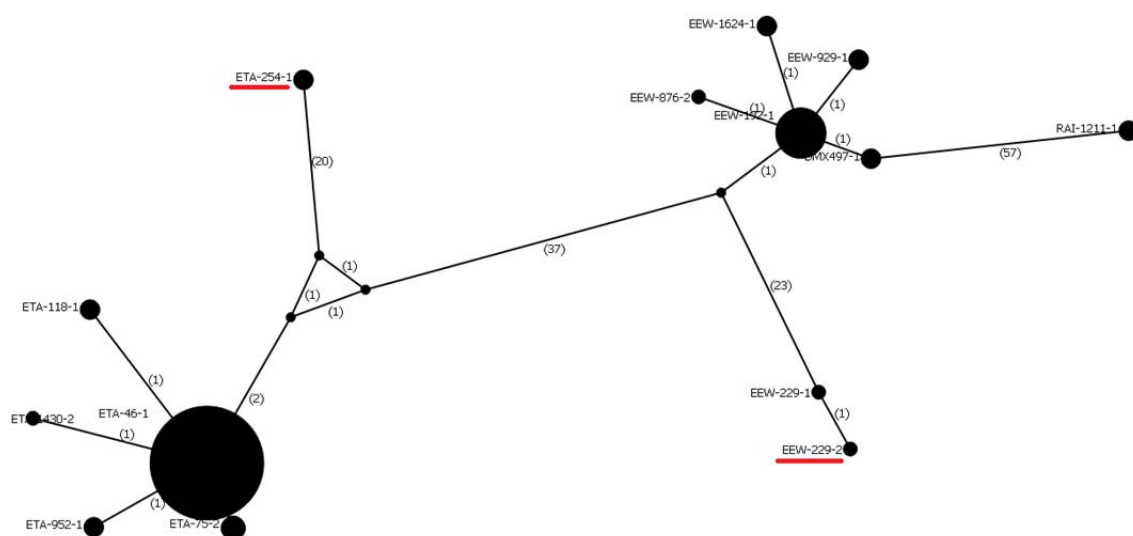


Figure 48 : Réseau phylogénétique médian des 50 individus étudiés avec le nombre de mutations indiquées entre les branches. Les individus sortants (ETA-254 et EEW-229) sont soulignés en rouge.

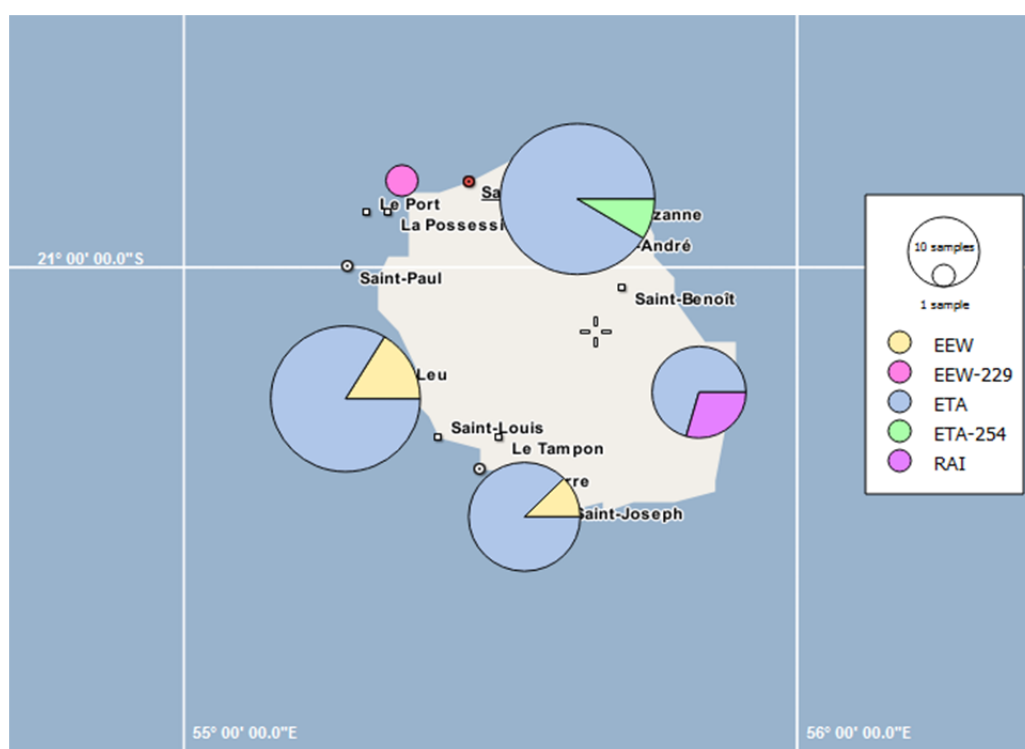


Figure 49 : Cartographie des séquences mitochondriales sous le réseau phylogénétique médian entre les 5 groupes EEW, ETA, RAI et les 2 individus sortants (EEW-229, ETA-254).

### 9.3. Conclusion

Les amorces issues de la séquence *Etelis carbunculus* (GenBank-JQ431727.1), ont été optimisées au sein de ce projet. Ces amorces ont permis une amplification de la séquence du COI de trois espèces de vivaneau rouge : le vivaneau gros-tête (*Etelis carbunculus*, ETA), le

vivaneau ti-dents (*Etelis radiosus*, EEW), et le vivaneau de Randall (*Randallichtys filamentosus*, RAI).

Deux individus se différencient de leur espèce d'affiliation morphologique, l'un issu de l'espèce de vivaneau gros-tête (ETA-254) et l'autre du vivaneau ti-dents (EEW-229). Le nombre de mutations entre *Etelis carbunculus* et les individus de leur espèce d'affiliation morphologique est égal à un minimum de 22 mutations. Le nombre de mutations entre *Etelis radiosus* et les individus de leur espèce d'affiliation morphologique est égal à un minimum de 24 mutations. Ce nombre de mutation élevé engendre un temps de divergence qualifié de non négligeable.

L'individu sortant (EEW-229), appartenant morphologiquement à l'espèce *Etelis radiosus*, semble être isolé géographiquement et génétiquement. L'ensemble des résultats issus de ces travaux ne permettent pas de confirmer la présence d'une spéciation mais elle suppose fortement une structuration populationnelle entre différentes zones géographiques. L'isolation par la distance est supportée pour les individus *Etelis radiosus* et notamment l'individu EEW-229 se trouvant au nord-ouest de l'île. Concernant *Etelis carbunculus*, les tests statistiques n'ont pas permis de démontrer le lien entre la distance géographique et génétique.

Pour finir, *Randallichtys filamentosus* est plus proche génétiquement d'*Etelis radiosus* que d'*Etelis carbunculus* avec les données issues de ce projet de recherche.

## 9.4. Perspectives

Il serait très intéressant d'augmenter le nombre d'individus échantillonnés sur ces espèces afin de mieux comprendre la structuration des stocks autour de la Réunion. Le nombre d'individus nécessaires dépend du type de marqueur utilisé et de son polymorphisme. Par exemple, Luikard et Cornuet (1998) recommandent d'utiliser un minimum de 20-30 individus pour 20 marqueurs polymorphes, alors que beaucoup d'autres études (SanCristobal et al. 2006; Nikolic et al. 2009) recommandent plutôt un minimum de 50 individus pour 30 marqueurs polymorphes. Mais ce nombre peut être plus élevé lorsque la différenciation entre populations et la variabilité génétique est faible. Afin de définir le nombre optimal d'individus et de marqueurs à utiliser, le logiciel SPOTG (Hoban et al. 2013) pourrait être utilisé. Les marqueurs microsatellites pourraient être employés pour améliorer cette étude. Mais une recherche à haut débit avec des SNP permettrait d'étudier les relations fines entre individus et notamment les phénomènes d'introgession et de spéciation.

Concernant les zones d'échantillonnages, la comparaison de la connectivité intra- et inter-populationnelle avec les autres îles du sud-ouest de l'océan Indien permettrait d'améliorer les données mais aussi d'approfondir les connaissances sur l'état et l'histoire des populations de vivaneaux.

Enfin, les premiers résultats par les tests de neutralité indiquent que les deux espèces de vivaneaux d'une part, subiraient une forte sélection ou d'autre part, auraient subi dans le passé un goulot d'étranglement important. Pour valider ou invalider ces hypothèses, une étude en génétique des populations serait nécessaire, avec d'autres marqueurs génétiques et un plus grand nombre d'individus, comme nous l'avons mentionné précédemment.

## **VOLET C : TENTATIVE DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT DE SANTE ET DE LA SENSIBILITE DES 7 PRINCIPAUX STOCKS A L'EXPLOITATION ET PROPOSITIONS DE MESURES DE GESTION**

### ***ATTENDUS DES ACTIONS 6 & 7 :***

- (1) Préciser l'état de santé des principaux stocks exploités.
- (2) Préciser les éléments manquants et les procédures de suivi à pérenniser localement pour une évaluation régulière du niveau d'exploitation des espèces ciblées dans le cadre de cette étude.

### ***DELIVRABLES ACTIONS 6 & 7 :***

- (1) Avis et diagnostic sur l'état d'exploitation des stocks et propositions de mesures d'accompagnement à la gestion durable des ressources démersales
- (2) Première proposition de mesures de précaution pour la gestion des usages, le maintien des stocks et leur aptitude fonctionnelle

A partir des différents indicateurs halieutiques et biologiques disponibles dans la présente étude, une approche « expert » factuelle a été initiée pour établir des diagnostics visant à caractériser l'état de santé des stocks et leur sensibilité à l'exploitation. Une analyse exploratoire à partir de modèles globaux ou structurés n'a pas été possible faute de séries historiques d'efforts et de captures annuels de pêches suffisamment robustes. De même, il n'a pas été possible d'appréhender la dynamique de la mortalité par pêche, difficile à évaluer tant le lien entre mortalité par pêche et activités de pêche est complexe. Cependant, c'est précisément pour le type de pêcherie étudiée, généralement appelée pêcherie mixte, qu'une gestion visant à limiter directement les activités de pêche est parfois préférée à une gestion plus traditionnelle tentant de restreindre simultanément les captures de chacune des espèces, d'un assemblage plurispécifique pêché.

Les estimations de mortalité par pêche sont inexistantes pour la pêcherie côtière démersale (profonde) à La Réunion. Une approche plus factuelle à partir des éléments descriptifs disponibles de la pêcherie professionnelle a donc été employée pour caractériser les niveaux d'exploitation des stocks. Une exploration des données d'efforts de pêche et de captures des espèces démersales profondes a ainsi été entreprise sur la base des données existantes issues du Système d'Information Halieutique de La Réunion (SIHR), qui est opérationnel à partir de 2006 et dont la précision des données recueillies a augmenté au fil du temps.

## 10. Evolution des indicateurs d'efforts et de captures de la pêche professionnelle

La connaissance des pratiques de pêche et de leurs captures par unité d'effort (CPUE) dans le temps est un bon indicateur qui permet de refléter les grandes tendances concernant l'état des stocks et des pressions de pêche exercées. Avant 2010, les données de captures et d'effort de pêche issues du SIHR, concernant les poissons démersaux profonds et plus côtiers, étaient agrégées à un niveau qui ne permet pas d'évaluer la contribution de chacune des espèces dans les débarquements totaux. Seront donc présentées ici, les informations concernant les années 2010 à 2013. Les données d'enquêtes halieutiques étant rendues disponibles l'année suivante (n+1), les données 2014 n'ont pu être prises en compte.

Les données exposées sont issues des fiches de synthèse par métier qui sont publiées chaque année par le SIH, à partir des enquêtes de terrain réalisées par l'Ifremer (La Réunion). Le métier qui cible les espèces identifiées dans cette étude est « la ligne mécanisée à poissons démersaux » (LHMDX). Deux autres métiers ciblent également les poissons démersaux : la ligne à main (ou avec canne) à poissons démersaux (LHPDX), et la palangre de fond à poissons démersaux (LLSDX). Mais ces deux engins de pêche n'étant pas mécanisés, ils sont essentiellement utilisés sur des fonds inférieurs à 150 m de profondeur. Ces métiers de la petite pêche artisanale sont pratiqués par des navires dont les longueurs sont comprises entre 5 et 10 m.

### 10.1. Evolution de l'effort de pêche nominal

Le nombre de navires professionnels et qui possèdent des moulinets électriques a plus que doublé entre 2010 et 2013 (Figure 50). L'effort nominal s'est ainsi élevé de 22 navires en 2010 à 58 navires en 2013, soit une augmentation de 260 %.

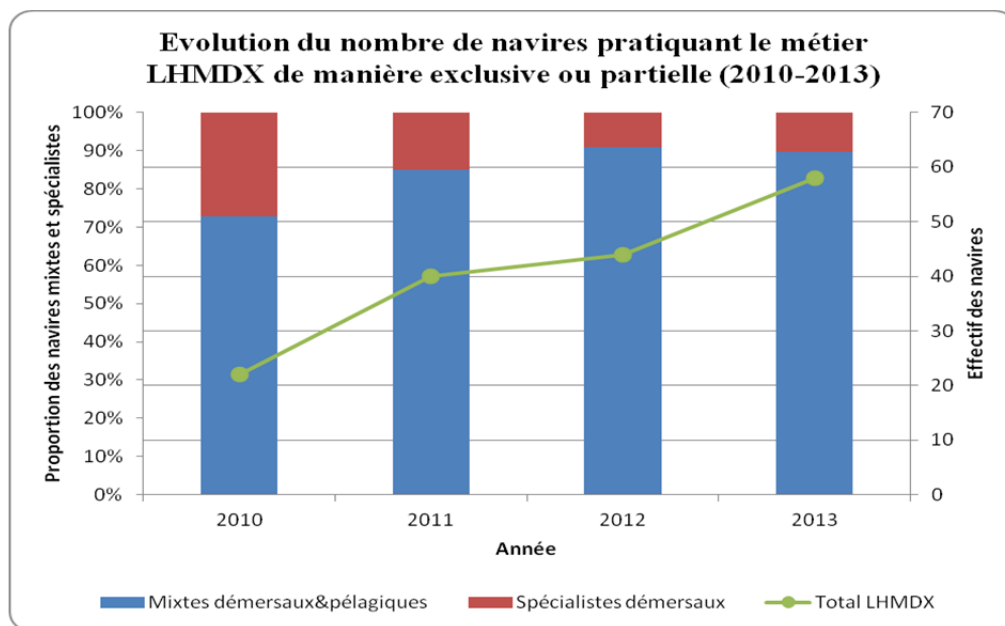


Figure 50 : Répartition du nombre de navires professionnels pratiquant le métier de ligne à main mécanisée à poissons démersaux (LHMDX) de manière exclusive ou partielle de 2010 à 2013 (source SIHR).



Globalement, l'usage de la ligne à main mécanisée (LHMDX) ne cesse d'augmenter entre 2010 et 2013 (de 21 à près de 60 navires), alors que paradoxalement, le nombre de navires spécialisés sur la pêche des poissons démersaux (tous métiers confondus) a fortement baissé au cours des quatre dernières années (Figure 50). L'intérêt des pêcheurs professionnels pour les espèces profondes ne cesserait donc d'augmenter ces dernières années, en délaissant, semble-t-il, les espèces plus côtières.

L'augmentation du nombre de navires pratiquant ce métier (LHMDX) concerne essentiellement quatre ports de pêche que sont l'Etang-Salé, Le Port, Saint-Gilles et Saint-Pierre (Figure 51). Ils représentent à eux seuls plus de 82% de l'effort de pêche nominal réalisé par la LHMDX en 2013.

Les autres ports de pêche de l'île semblent moins concernés par cette dynamique et affichent chacun moins de 4 navires professionnels en activité sur ce métier. Ce nombre était soit stable (La Possession, Langevin, Sainte-Rose), soit en diminution (Sainte-Marie et Saint-Leu) ces dernières années.

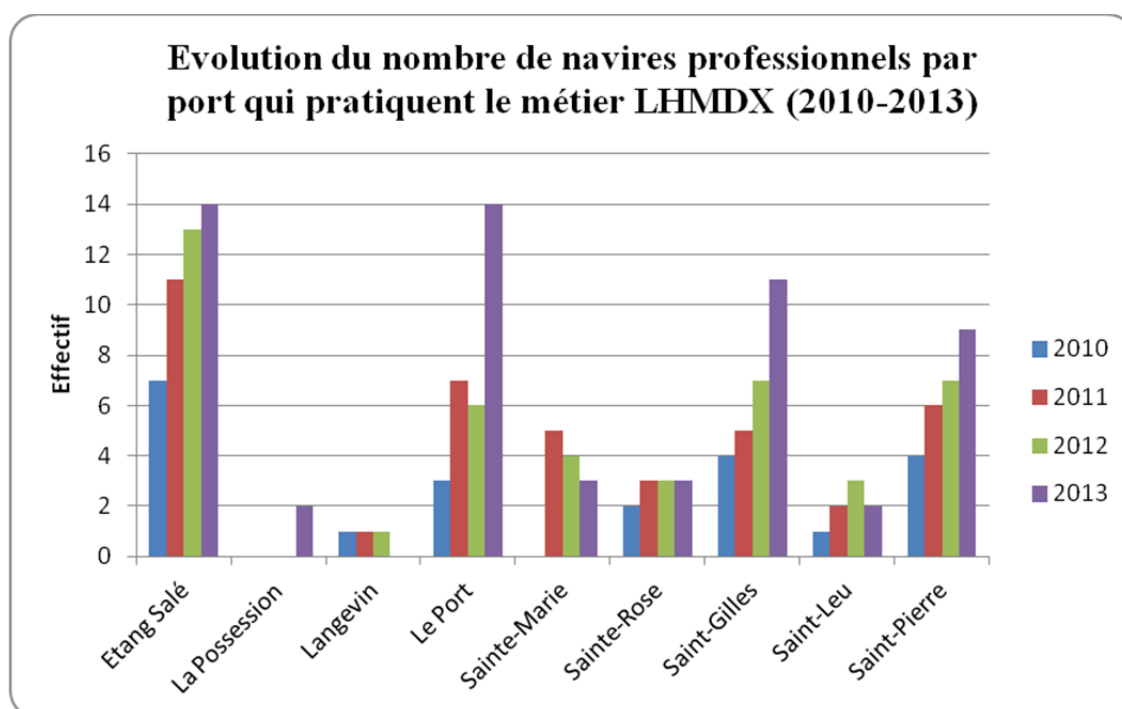


Figure 51 : Evolution du nombre de navires professionnels par ports pratiquant le métier de la ligne mécanisée à poissons démersaux (LHMDX) de 2010 à 2013 (source : SIHR).

Partant du constat, le nombre total de navires actifs à la petite pêche, tous métiers confondus, n'a globalement pas augmenté sur La Réunion entre 2010 et 2013 (source SIHR). L'augmentation du nombre de navires pratiquant la ligne mécanisée (LHMDX) serait due à une modification des pratiques de pêche de navires existants (démarche de diversification) et/ou à l'arrivée des nouveaux pêcheurs dans la profession, attirés par ce métier pour sa facilité de mise en œuvre et des prix de vente attractifs des espèces profondes.

## 10.2. Evolution de l'effort de pêche effectif et des productions associées

La production annuelle de poissons démersaux pêchés à la ligne à main mécanisée (LHMDX) avait enregistré une baisse importante entre 2010 et 2011 (Figure 52). La diminution sensible et concomitante de l'effort de pêche effectif de ce métier (nombre de sorties journalières) pourraient être consécutive à la baisse des débarquements totaux estimés. En effet, une chute des rendements de pêche et donc des revenus aurait potentiellement rendu ce métier moins attractif entre 2010 et 2012. Les efforts de pêche relevés en 2010 étaient les plus importants de la série (plus de 2 fois supérieur à ceux de 2011 et 2012) et n'ont pas semblé être supportés par les stocks de poissons dits profonds, exploités à la ligne mécanisée. Cette situation semble avoir favorisé un report de l'effort de pêche effectif vers les espèces démersales plus côtières entre 2011 et 2013 (augmentation de leurs débarquements).

L'augmentation importante de l'effort de pêche à la ligne mécanisée en 2013 ne permet pas pour autant d'augmenter en conséquence la production de poissons démersaux profonds (Figure 52).

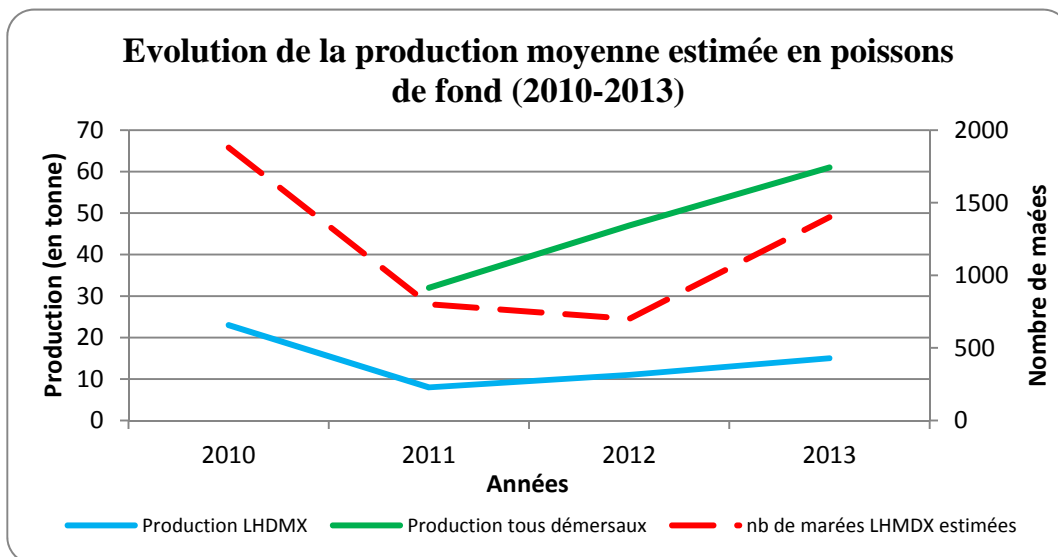


Figure 52 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons de fond par la ligne à main mécanisée (LHMDX) et total tous métiers à démersaux sur la période 2010-2013 (Source SIHR).

Par ailleurs, une augmentation de l'effort de pêche effectif vers des espèces plus côtières se serait également produite en 2013 (Figure 53).

La production de l'ensemble des démersaux dont « côtiers » a augmenté de façon constante depuis 2011, après une forte chute de l'effort de pêche entre 2010 et 2011, suggérant également un lien de causalité entre les capacités de production du système et l'effort de pêche déployé (Figure 53 a).

La forte progression de la palangre de fond (LLSDX) a pu également révéler une recherche de diversification de la part des pêcheurs (Figure 53 b). Le doublement de l'effort de pêche de ce métier a permis de doubler la production estimée. Toutefois, les niveaux d'efforts effectifs ainsi que la contribution de ce dernier dans la production globale des poissons démersaux à La Réunion sont demeurés de faible importance comparativement.

Les métiers de la ligne à main (LHPDX) et de la palangre de fond (LLSDX) ciblent en priorité les espèces plus côtières (source SIH Réunion). Ils auraient donc peu d'incidence sur les espèces profondes concernées dans cette étude jusqu'en 2013.

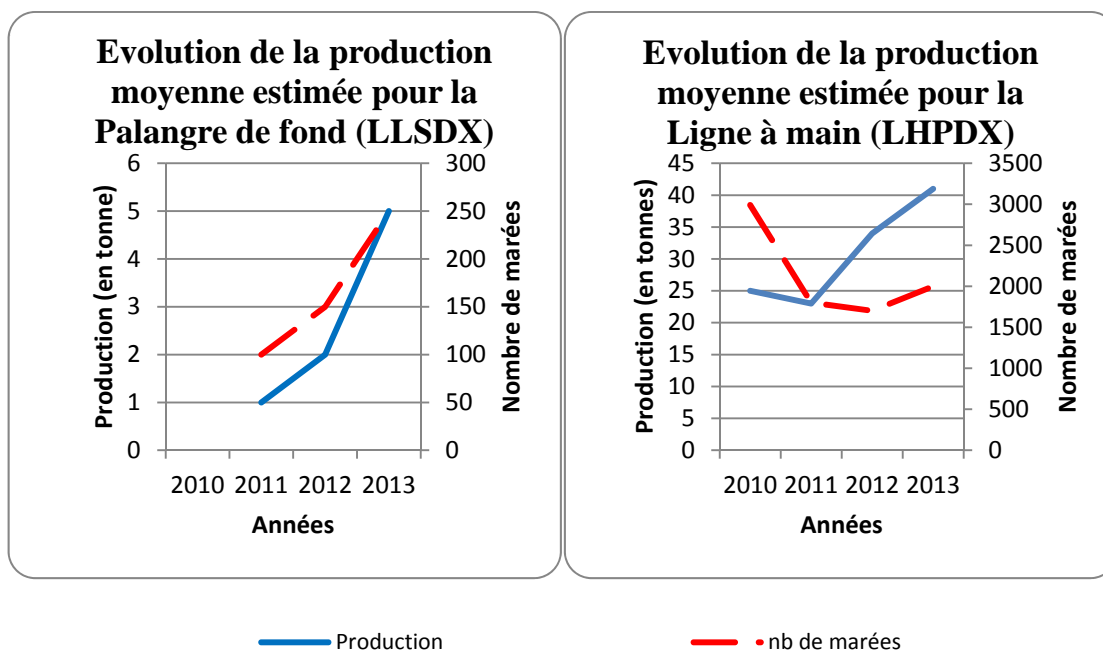


Figure 53 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons de fond par a) - la ligne à main (LHPDX) et b) - la palangre de fond (LLSDX), sur la période 2010-2013 (source : SIHR).

L'analyse de l'évolution des efforts de pêche des métiers aux poissons pélagiques (Figure 54) n'indique pas des effets de report de l'activité des métiers aux démersaux durant les périodes difficiles (2010-2012).

Ces différents constats sur l'évolution des efforts de pêches et des captures associées des différents métiers démontrent que les niveaux d'effort de pêche exercés par le passé n'ont pas toujours été supportés par les stocks, créant des baisses importantes de l'activité et de la production.

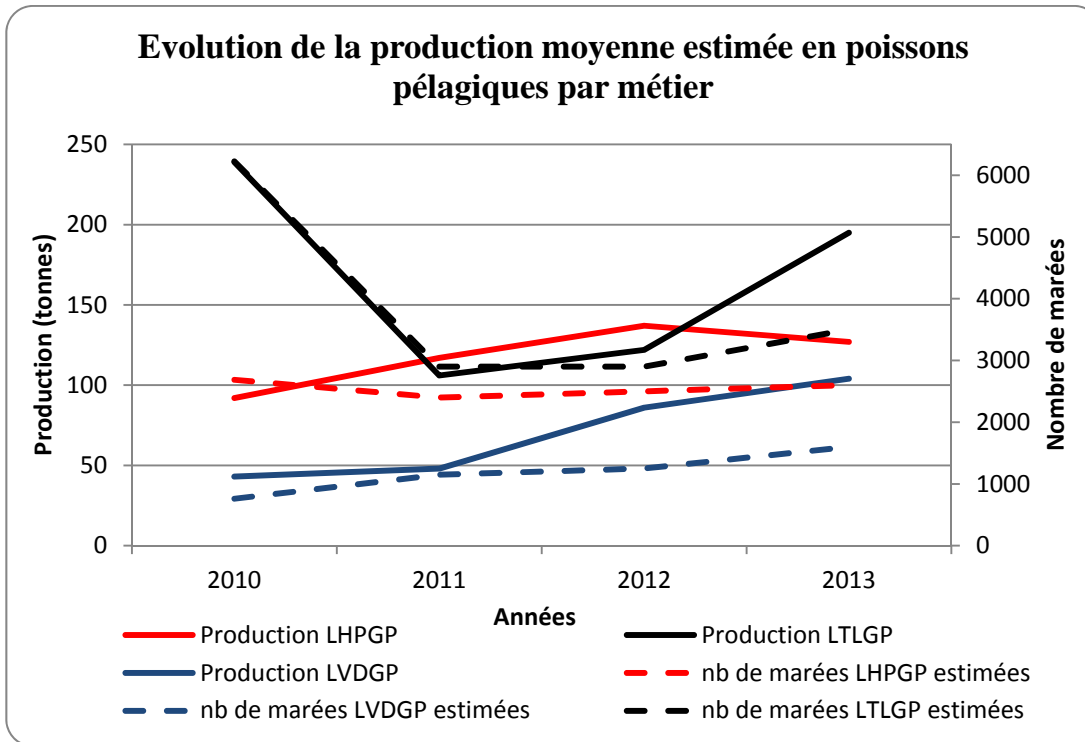


Figure 54 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons pélagique pour les métiers de Ligne à main (ou avec canne) à grands pélagiques (LHPGP, aussi nommé « pêche à la dérive »), Palangre verticale dérivante à grands pélagiques (LVDGP), et Ligne trainante à grands pélagiques (LTLGP), sur la période 2010-2013 (source : SIHR).

## 11. Diagnostics sur les sept stocks étudiés

Les niveaux d'exploitation des poissons démersaux profonds (100-700 m), essentiellement capturés à la ligne à main mécanisée (LHMDX) semblent avoir été très élevés au cours de ces dernières années. En effet, l'analyse des données historiques disponibles (2010-2013) a mis en évidence une situation de baisse sensible des débarquements totaux concomitants à un niveau d'effort de pêche important. Cette situation passée met en avant les limites des stocks de poissons démersaux profonds à supporter une augmentation de l'effort de pêche. Au-delà d'une valeur seuil qui reste à définir pour l'ensemble de la pêcherie réunionnaise (professionnelle et de plaisance), il n'y aurait plus de bénéfice de l'augmentation de l'effort de pêche sur la production totale des poissons démersaux profonds (cas en 2013, Figure 52). A court terme, cet état pourrait mettre en péril la pêcherie démersale profonde, avec un effondrement des débarquements, cumulé à des effets de report de l'effort de pêche vers d'autres métiers ; ceci au risque de déstabiliser le système pêche artisanal et de créer des conflits d'usages. Ce fut le cas en 2010 et 2011, contraignant l'administration ainsi que les gestionnaires de la pêche à prendre des mesures réglementaires de gestion des usages pour soutenir les stocks et maintenir les activités de pêche. Le précédent projet DMX1 (2011-2012) avait été initié dans ce cadre conflictuel. La tendance à l'augmentation de l'effort de pêche depuis 2012 ne serait pas favorable *a priori* au maintien des stocks et à des rendements économiquement viables pour les pêcheurs.

Ce constat général doit toutefois être décliné pour chacune des 7 principales espèces capturées par la pêcherie.

## 11.1. Le vivaneau gros-tête (*Etelis carbunculus*)

Le vivaneau gros-tête (ETA) est l'une des principales espèces ciblées depuis l'intensification de l'exploitation des habitats profonds au début des années 2000 à La Réunion. En 2013, il représentait plus de 50% des débarquements des espèces profondes (source SIH Réunion).

Une érosion importante et rapide des structures en taille des captures du vivaneau gros-tête est patente (Figure 9). Les plus gros individus (plus de 50 cm ; > 2 kg ; 6 ans et plus), couramment capturés en 2000, ont été rarement observés en 2014 dans les captures.

Toutefois, plus de 85% du stock est composé de poissons matures (Figure 55 a). La taille de première maturité ( $L_{50}$  : 22 cm) est la plus petite connue chez cette espèce. Il pourrait s'agir d'un avantage adaptatif spécifique aux conditions environnementales de La Réunion. Mais cela pourrait aussi se conjuguer aux effets de la forte pression de pêche exercée sur cette espèce depuis les années 2000. En l'état, ce stock conserve une certaine capacité à assurer son renouvellement.

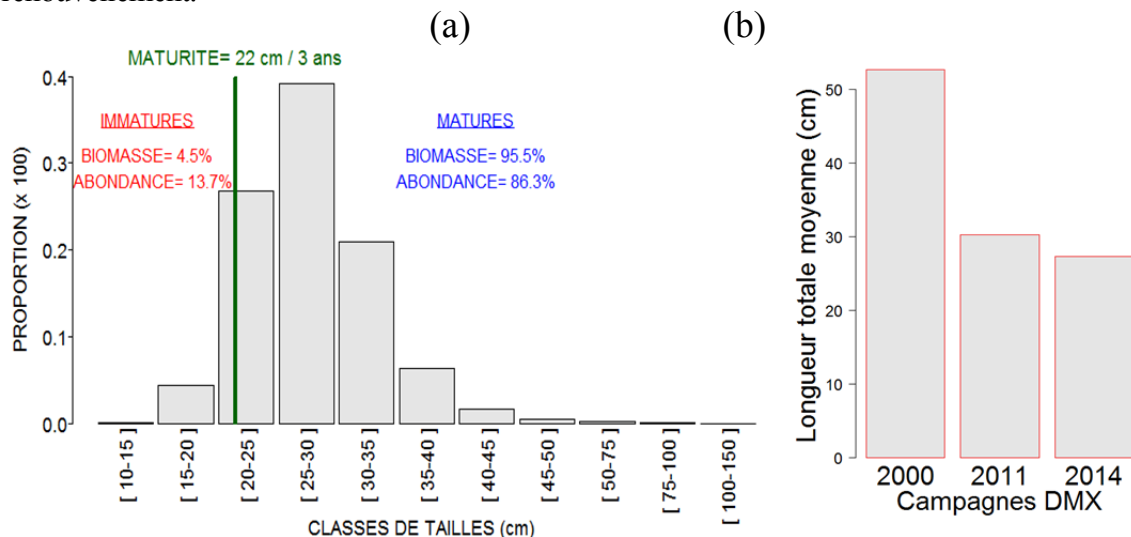


Figure 55 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau gros-tête (*E. carbunculus*) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées.

Depuis au moins 2011, les classes de tailles exploitées sont comprises entre 20 et 45 cm (groupes d'âges 2 à 6). La tendance à la diminution significative des tailles moyennes de captures annuelles a été confirmée en 2014 (Figure 55 b). La proportion des plus gros poissons tend ainsi à diminuer dans le temps, suggérant une surexploitation de croissance du stock.

Les indicateurs d'abondance (CPUE) ont diminué très rapidement durant les 10 premières années d'exploitation (Figure 21). L'évolution entre 2011 et 2014 ne montre pas de dégradation des niveaux d'abondance. Au regard de l'augmentation des efforts de pêche nominaux et effectifs décrits précédemment, la relative augmentation des indices d'abondance (CPUE) entre 2011 et 2014 (significative), suggère que le stock serait en état de pleine exploitation. Toutefois, la surexploitation de croissance mise en évidence sur cette espèce peut induire des diminutions de captures à l'avenir. Il devient important de protéger les plus jeunes poissons afin de maintenir les rendements, notamment dans un contexte d'augmentation de l'effort de pêche.

## 11.2. Le vivaneau la flamme (*Etelis coruscans*)

Particulièrement recherché et ciblé par les pêcheurs à la ligne mécanisée électrique, le vivaneau la flamme ne représentait plus que 5% des débarquements en 2013, en constante diminution depuis 2010 (source SIH Réunion). A titre indicatif, cette espèce était deux fois plus présente en nombre dans les captures que le vivaneau gros-tête, lors de la campagne de prospection réalisée en 2000 (Roos et al 2000).

Ainsi, une érosion importante et rapide des distributions de tailles du vivaneau la flamme est flagrante depuis 2000 (Figure 9). La proportion des plus gros individus (>45 cm) s'amenuise dans les captures. Si la taille modale des captures était de plus de 100 cm au début des années 2000, elle n'était plus que de 35-40 cm en 2014. Les plus gros individus sont toujours visibles dans la pêcherie, mais leurs contributions en abondance baissent drastiquement ces dernières années.

Ainsi, plus de 75% du stock est composé de poissons immatures (Figure 56 a). La taille de première maturité (43 cm) est la plus petite connue chez cette espèce. Il pourrait s'agir d'un avantage adaptatif spécifique aux conditions environnementales de La Réunion. Mais cela pourrait aussi se conjuguer aux effets de la forte pression de pêche exercée sur cette espèce depuis les années 2000. En l'état, ce stock perd progressivement sa capacité à assurer son renouvellement.

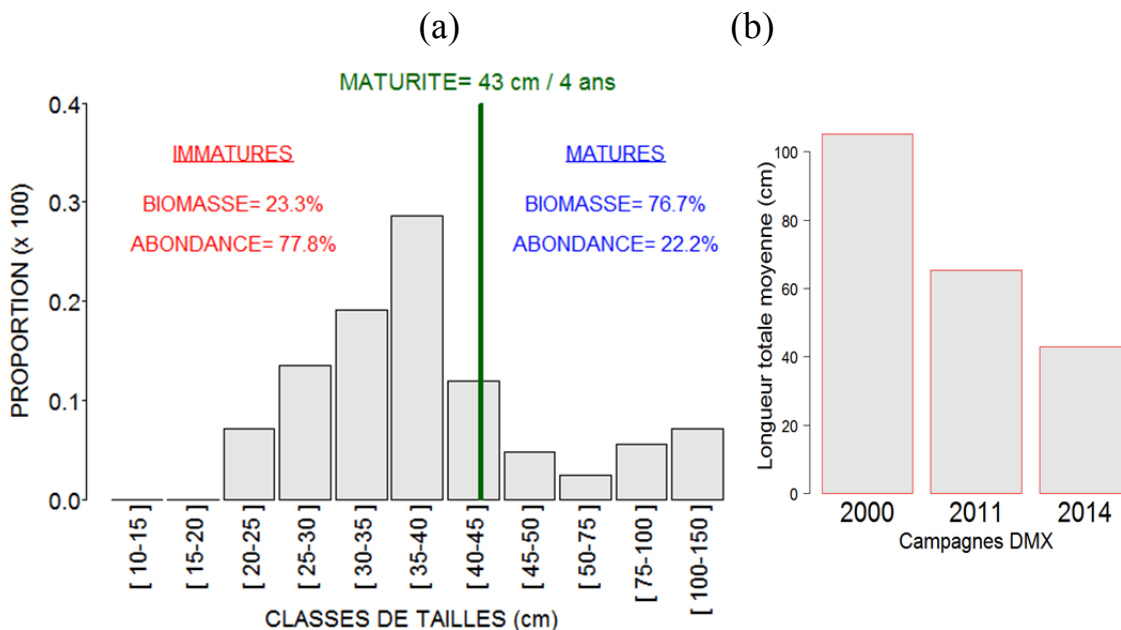


Figure 56 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau la flamme (*E. coruscans*) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées.

La forte diminution des tailles moyennes entre 2000 et 2014 est très significative ( $p < 0.001$ ) (Figure 56 b). La structuration démographique de ce stock est très caractéristique d'une surexploitation de croissance et de recrutement. Cette situation peut s'avérer catastrophique, en conduisant à un effondrement possiblement brutal du stock de vivaneau la flamme.

Les indicateurs d'abondance (CPUE) ont diminué très rapidement durant les 10 premières années d'exploitation (Figure 21). L'évolution entre 2011 et 2014 ne montre pas de dégradation des niveaux d'abondance. Mais, en considérant :

- la sensibilité écologique de l'espèce (habitat restreint, croissance lente, capacité reproductive plus tardive et très fortement contrainte par l'environnement et la pêche, compétition alimentaire...),
- la structure démographique du stock fortement déséquilibrée et essentiellement composée de recrues immatures,
- les indicateurs de pêche indiquant une diminution constante des débarquements annuels malgré l'augmentation des efforts de pêche (SIHR),

***le stock de vivaneau la flamme serait en état de surexploitation.***

Ainsi, la surexploitation de croissance et de recrutement pressenti sur cette espèce conduit déjà à la diminution des rendements et des captures annuelles. Il devient urgent de protéger les recrues de cette espèce. Il serait opportun de déterminer des seuils de précaution relatifs, d'une part, à l'abondance du stock et à son potentiel reproducteur (biomasse féconde) et, d'autre part, à la pression de pêche exercée (effort de pêche). Dans le cadre d'une pêche mixte, ces approches sont délicates à mettre en œuvre et devront faire l'objet de concertations entre les pêcheurs et les gestionnaires pour déterminer les mesures de gestion les plus pertinentes à mettre en œuvre.

### **11.3. Le vivaneau cerf-volant (*Pristipomoides argyrogrammicus*)**

Cette espèce n'est pas suivie spécifiquement dans les systèmes statistiques existants. Le vivaneau cerf-volant est associé au groupe des « colas divers » (SIHR). Il constitue la majorité des débarquements connus pour ce groupe, qui ne représente environ que 10% des débarquements totaux des démersaux profonds en 2013. Pour une petite espèce, cette contribution dans les captures totales débarquées est importante et semble prendre de l'importance au fil des années.

Cette situation pourrait être liée à un possible déséquilibre fonctionnel dans le système pêche au travers des relations prédateurs/proies. La pêche rapide des plus gros prédateurs (vivaneaux la flamme et gros-tête) du système dès le début 2000 permettrait à cette petite espèce ubiquiste de se développer rapidement dans les différents habitats profonds qu'elle partage par ailleurs avec ces derniers. Ses caractéristiques biologiques et écologiques prédisposent le vivaneau cerf-volant à pouvoir occuper rapidement des habitats devenus favorables sans le contrôle de ses prédateurs naturels (contrôle top down).

L'augmentation significative de son abondance ces dernières années, alors qu'aucun individu n'avait été capturé durant la campagne de 2000, suggère que le niveau d'exploitation actuel ne semble pas remettre en cause la pérennité du stock et de son exploitation. La forte proportion de poissons matures dans le stock appuie ce diagnostic (Figure 57 a). Toutefois, la tendance à la diminution des tailles moyennes entre 2011 et 2014, pourrait déjà correspondre à un début de surexploitation de croissance qui aurait pour conséquence la diminution des rendements journaliers (diminution des poids moyens individuels) (Figure 57 b).

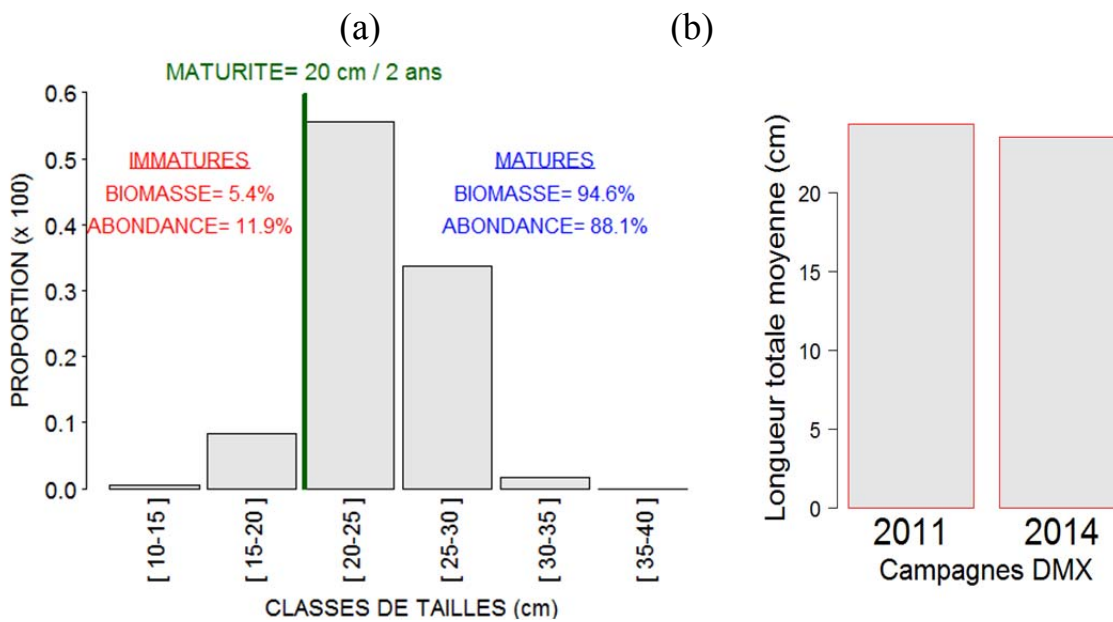


Figure 57 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau cerf-volant (*P. argyrogrammicus*) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées.

#### 11.4. Le vivaneau gros-écale (*Pristipomoides multidens*)

Depuis 2012, les observations aux débarquements distinguent cette espèce des autres. Elle représentait 25% des captures en 2013, avec une tendance à l'augmentation. Cette espèce se place donc au second rang des débarquements de démersaux profonds (source SIH Réunion).

Bien que ciblée par la pêche réunionnaise depuis plusieurs dizaines d'années, la structure du stock de cette espèce reste robuste face à la pression de pêche. La taille moyenne individuelle reste relativement élevée en 2014 (>51 cm ; 1,5 kg). Plus de 85 % du stock est ainsi composé d'individus mûres de grandes tailles (Figure 58), proches des maximales connues pour l'espèce.



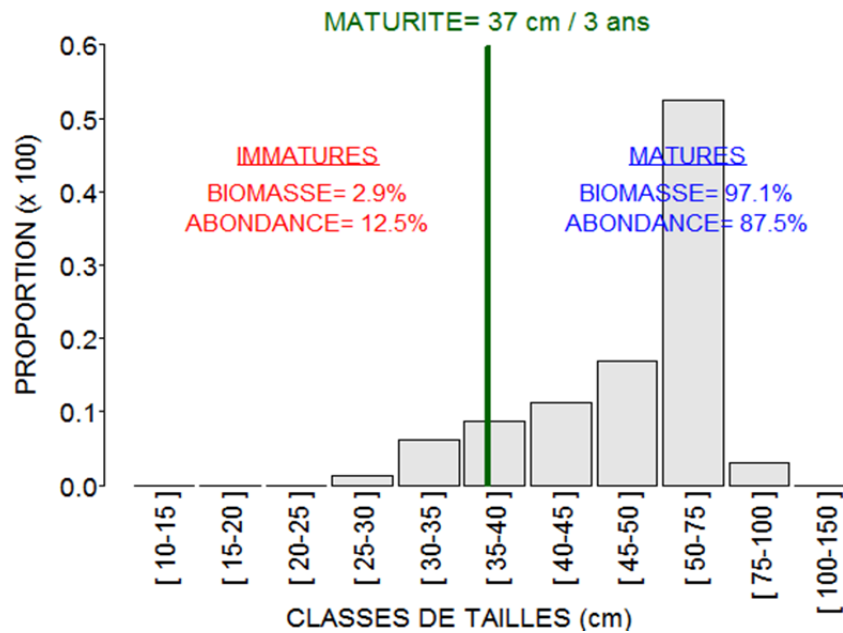


Figure 58 : Distribution en taille des captures de gros-écale (*P. multidentis*) et part relative de la biomasse féconde

La taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) du vivaneau gros-écale à La Réunion serait donc la plus petite connue en comparaison d'autres sites. Il pourrait s'agir d'un avantage adaptatif spécifique aux conditions environnementales de La Réunion, ce qui expliquerait en partie la capacité du stock à se maintenir. Mais cela pourrait aussi se conjuguer aux effets de la pression de pêche exercée de longue date. Sa large distribution bathymétrique (50-350 m) et son comportement alimentaire très spécifique permettrait au stock de vivaneaux gros-écale de se maintenir malgré la pression de pêche élevée dans ces habitats. Compte-tenu des éléments à disposition pour ce stock, le niveau d'exploitation actuel ne semble pas remettre en cause la pérennité du stock et de son exploitation.

## 11.5. Le cabot rayé (*Epinephelus radiatus*)

Le cabot rayé (EZR), encore appelé localement cabot de fond, est un mérou profond particulièrement ciblé de longue date par la pêcherie démersale réunionnaise. Suivies par le réseau SIH depuis 2010, les productions annuelles sont relativement stables et ont représenté en moyenne 12 à 15% des captures débarquées jusqu'en 2013. Il s'agit donc d'une espèce d'importance pour la petite pêche réunionnaise.

Le stock de cabot rayé présente une structure démographique composée à 85% de poissons matures (Figure 59), dont une forte proportion de poissons de tailles proches de maximales référencées. Les résultats acquis au cours de cette étude sur son cycle biologique ainsi que sur ses caractéristiques populationnelles sont nouveaux. Il n'existe pas de points de référence comparables à ce jour.

En l'état des connaissances sur l'évolution des débarquements, sur la structure démographique du stock et sur les stratégies reproductives de l'espèce, le niveau d'exploitation actuel ne semble pas remettre en cause la pérennité du stock et de son exploitation.

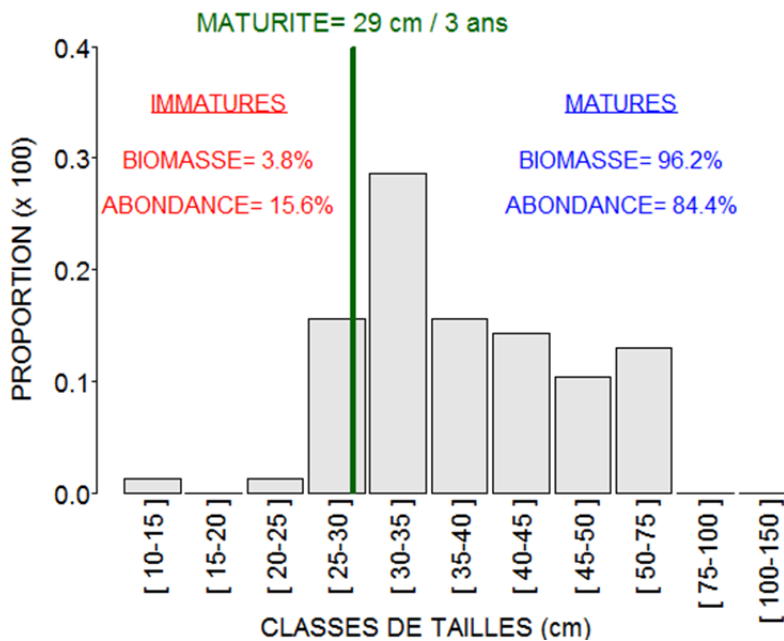


Figure 59 : Distribution en taille du stock de cabot rayé (*E. radiatus*) et contribution relative de la biomasse féconde selon la taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ).

## 11.6. Le zambas (*Eumegistus illustris*)

Encore appelé monchong ou castagnole, le zambas (EBS) est certainement l'espèce la plus récemment exploitée par la pêcherie démersale profonde à la ligne mécanisée électrique. Son exploitation a connu un essor important suite à la première étude réalisée en 2000, et qui avait mis en évidence l'intérêt de cette nouvelle ressource pour la pêcherie démersale profonde à La Réunion (Roos et al 2000). Elle était alors l'espèce dominante dans les captures (en nombre et en poids).

L'analyse des données de pêcherie entre 2010 et 2013 montre des quantités débarquées annuelles très variables (entre 6 et 28% des captures totales annuelles), avec une tendance globale décroissante jusqu'en 2013. Cela se confirme au travers des indicateurs populationnels (CPUE et structures de tailles). En effet, la CPUE annuelle des stocks indique une diminution significative depuis 2000, quels que soient l'année et l'indicateur estimé (côtier, pélagique). Même si les captures sont composées à plus de 65% d'individus matures (Figure 60 a), cette proportion a tendance à baisser, notamment en 2014, avec l'augmentation de la proportion de petits individus immatures. La taille moyenne des zambas reste globalement stable depuis 2000 (Figure 60 b).

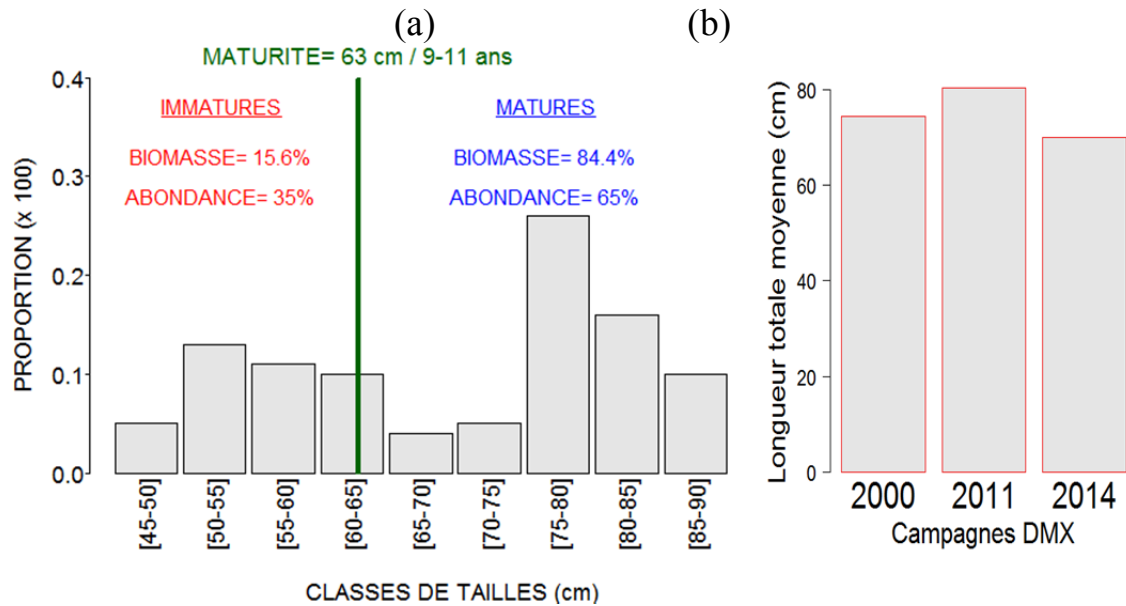


Figure 60 : (a) Distribution en taille des captures du zambas (*E. illustris*) et part relative de la biomasse féconde; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées.

Le zambas disposerait d'un potentiel reproductif important, puisqu'il semble en capacité de se reproduire toute l'année. Toutefois, l'âge de première maturité sexuelle est très tardif, évalué d'après les premiers résultats de l'étude de croissance entre la 9<sup>ème</sup> et la 11<sup>ème</sup> année (63 cm, 3,5 kg). En termes de gestion, cela signifie une vigilance particulière sur la sélectivité des engins de pêche. L'approche de précaution vise ici à éviter toute situation de surexploitation de croissance, qui serait catastrophique pour le maintien de la biomasse féconde.

En l'état des connaissances sur l'évolution des débarquements, sur la structure démographique du stock et sur les stratégies reproductives de l'espèce, le niveau d'exploitation actuel ne semble pas remettre en cause la pérennité du stock et de son exploitation.

## 11.7. Le requin zépine (*Squalus megalops*)

Le requin zépine n'est pas considéré comme une espèce commerciale. A ce titre, aucune donnée statistique de production n'est disponible. Il est occasionnellement vendu et/ou consommé localement. Ce petit requin non ciblé par la pêcherie constitue une capture accessoire importante entre 350 et 550 mètres de profondeur. Cette espèce a été retenue comme indicatrice pour sa sensibilité connue à l'exploitation (Pajuelo, 2011 ; Braccini, 2007) et de son importance dans le maintien de l'équilibre fonctionnel des habitats profonds.

Si les captures de requins zépinés indiquent peu d'évolution de la classe de taille modale (50-75 cm) depuis les années 2000, l'augmentation des plus petits individus dans les captures depuis 2011 est notable (Figure 9). Ainsi, une diminution significative de la taille moyenne ( $p < 0.05$ ) des individus a été observée (Figure 61 b). L'évolution de la CPUE de requin zépine indique également une tendance à la baisse constante depuis 2000 ( $p < 0.01$ ). La biomasse féconde reste relativement conséquente avec plus de 70 % de l'abondance totale en 2014.

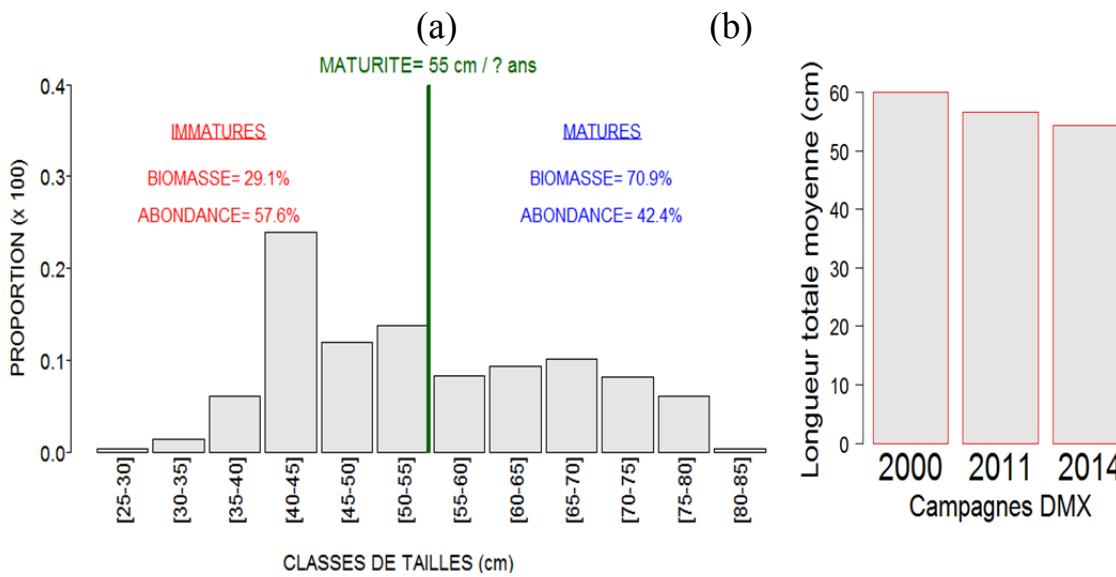


Figure 61 : (a) Distribution en taille des captures du requin zépine (*Squalus megalops*) et part relative de la biomasse féconde selon la taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées.

Si ces constats ne sont pas alarmants pour le moment, l'état de santé du stock de requins zépins semble se dégrader sur les zones exploitées par la pêche. Sa croissance lente, couplée à un âge de maturité sexuelle particulièrement tardif (estimation de 12 à 20 ans selon le sexe) et à une durée de gestation parmi les plus longues du règne animal (entre 300 et 600 jours (Braccini, 2006 & 2007)), rendent cette espèce particulièrement sensible à l'exploitation. Son statut d'espèce non commerciale et non ciblée par les pêcheurs, de même que sa large distribution bathymétrique (de 250 à 800 mètres), le préserve en partie de la pression de pêche qui devient très faible, voire nulle, en deçà de 500 mètres de profondeur.

En l'état des connaissances, le niveau d'exploitation peut être qualifié de soutenable. Mais comme démontré dans de nombreuses pêcheries ciblant le requin zépine, les situations de surexploitation de croissance ont rapidement provoqué l'effondrement des stocks de cette espèce.

## 12. Éléments de gestion et procédures de suivi à pérenniser

L'approche mise en œuvre dans ce projet à partir d'indicateurs biologiques et écosystémiques a permis de caractériser de manière factuelle pour la première fois à La Réunion, la sensibilité, l'état de santé et les niveaux d'exploitation de sept stocks étudiés (les vivaneaux rouge gros-tête (ETA) et la flamme (ETC), les vivaneaux gros-écale (LRI) et cerf-volant (LRY), le cabot rayé (EZR), le zambas (EBS) et le requin zépine (DOP).

L'approche de précaution conduit généralement, lorsque le stock est hors de la zone de sécurité, à recommander une limitation de la mortalité par pêche et/ou un objectif de restauration de la biomasse féconde. La finalité est de ramener rapidement les stocks dans la zone de sécurité, qui permet la durabilité du stock et de son exploitation.

Dans le domaine des pêches, cela signifie de s'engager dans la définition de niveaux de référence limites pour chaque stock et des mesures à prendre si ceux-ci sont dépassés ou en passe de l'être. *In fine*, cela nécessite de s'engager à exploiter les stocks à un niveau d'effort de pêche correspondant au rendement maximal durable des stocks (RMD). Cela se traduit par la plus grande quantité de biomasse que l'on peut extraire en moyenne et à long terme d'un stock halieutique dans les conditions environnementales existantes sans affecter le processus de reproduction (définition FAO). Cela a pour conséquence directe d'améliorer les diagrammes d'exploitation (maximisation des rendements en optimisant la structure en taille (ou en âge) des captures) par un arbitrage entre différents métiers (pour favoriser les engins les plus sélectifs) ou en modifiant les pratiques de pêche, en évitant les zones ou les périodes où la proportion de petits poissons dans les captures est la plus forte.

Or, comme décrit précédemment, les séries temporelles de suivi des captures et des efforts de pêche effectifs sur le métier de la ligne mécanisée à main (moulinet électrique) par les pêcheries réunionnaises sont pour le moment insuffisantes, incomplètes, voire manquantes pour une évaluation satisfaisante de la situation et la mise en œuvre de seuils de précaution. Si le Système d'Information Halieutique assure un recueil de données statistiques sur la pêcherie professionnelle depuis 2010, il n'existe en revanche aucune évaluation de l'activité de pêche des navires de plaisance sur les ressources démersales et même pélagique à ce jour. En l'état actuel, les tentatives d'évaluation des stocks restent imprécises car reposant uniquement sur les données de la pêcherie professionnelle.

Ainsi, les éléments de procédures suivantes sont proposés dans l'objectif de mettre en œuvre, dans les mois et années à venir, des actions visant à améliorer la qualité des évaluations et à définir un plan de gestion pour la durabilité des stocks de poissons démersaux à La Réunion (approche écosystémique des pêches) :

- Évoluer vers une gestion par flottille et non plus stock par stock : il est indispensable de préciser et de renforcer les évaluations des activités de pêche (calendrier, efforts...) et les captures des espèces par métier pour les pêcheries professionnelles et plaisancières.
- Améliorer le dialogue entre gestionnaires et usagers : cela devra faire l'objet de réunions d'informations ainsi que de consultations d'organisations et/ou d'associations de pêcheurs professionnels et de plaisanciers sur la situation de la pêcherie. La finalité sera d'associer les différents acteurs du système pêche aux propositions et à la mise en œuvre de mesures de gestion participatives des ressources démersales.
- Poursuivre et renforcer les actions de recherche pour préciser les paramètres biologiques et écologiques sur les espèces et caractériser les relations écosystémiques existantes :
  - Les connaissances obtenues sur les espèces devront être complétées lorsque nécessaire et élargies aux autres espèces démersales exploitées pour lesquelles aucune donnée n'est encore disponible.
  - L'approche indicateur développée dans le cadre de cette étude devra se répéter dans le temps (tous les 3 ans en moyenne) et être élargie aux autres espèces démersales profondes mais également plus côtières, afin d'abonder

les séries temporelles existantes pour les principaux stocks de poissons démersaux profonds depuis l'année 2000.

- L'identification des stocks aux niveaux local et régional est primordial pour caractériser la dynamique de chaque espèce aux travers des paramètres bio-écologiques (taille, reproduction, croissance, migration, génétique...) mais aussi géographiques et océanographiques (habitats, courantologie...) qui régissent les recrutements des poissons dans la pêcherie. Aucun élément factuel n'est actuellement disponible à l'échelle du sud-ouest de l'Océan Indien pour caractériser les habitats, les populations et la propagation des œufs et des larves de chacune des espèces démersales profondes. Il serait opportun de disposer d'informations contextuelles pour tenter de caractériser l'origine et l'intensité des recrutements, entre des populations « sources » et des populations « puits » (apports de jeunes poissons issus d'autres populations éloignées (sources)).

Ces différentes propositions pourraient permettre à termes de préciser des unités de gestion des stocks de poissons démersaux exploités par les pêcheries artisanales réunionnaises.

### 13. Références bibliographiques

- Abdurahiman K. P., Nayak T.H., Zacharia P.U., Mohamed K.S. (2010). Trophic organisation and predator-prey interactions among commercially exploited demersal finfishes in the coastal waters of the southeastern Arabian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 601-610.
- Alfaro-Shigueto J., Mangel J.C., Pajuelo M., Dutton P.H., Seminoff J.A., Godley B.J. (2010). Where small can have a large impact: Structure and characterization of small-scale fisheries in Peru. *Fisheries Research*, 106, 8-17.
- Allen G.R. (1985). FAO species catalogue. Vol. 6. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species know to date. *FAO Fish. Synop.*, 125, 208p.
- Atlas des Départements Français d'Outre-Mer, I. La Réunion (1975). CNRS et IGN.
- Bandelt H., Forster P., Röhl A. (1999). Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Mol Biol Evol*, 16(1), 37-48.
- Bass A. J., D'Aubrey J. D., Kistnasamy N. (1976) Sharks of the east coast of southern Africa. VI. The families Oxynotidae, Squalidae, Dalatiidae and Echinorhinidae. *Oceanographic Research Institute Investigational Report 45: Durban*.
- Bertrand G, Le Ru L. & Evano H. (2012). Données biologiques sur les poissons démersaux profonds capturés au vire-ligne électrique en 2011 à La Réunion. *Rapport Ifremer RST-Délégation-Réunion-2012-12*, 36 p.
- Béné C. (2003). When fishery rhymes with poverty: A first step beyond the old paradigm on poverty in small-scale fisheries. *World Development*, 31, 949-975.
- Braccini J.M., Gillanders B.M., Walker T.I. (2005). Sources of variation in the feeding ecology of the piked spurdog (*Squalus megalops*) : implications for inferring predator-prey interactions from overall dietary composition. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 1076-1094.
- Braccini, J. M. (2006). Assessment of ecological risks from effects of fishing to piked spurdog (*Squalus megalops*) in south-eastern Australia. *PhD thesis, University of Adelaide*, 209p.
- Braccini, J. M., Gillanders, B. M., & Walker, T. I. (2006a). Determining reproductive parameters for population assessments of chondrichthyan species with asynchronous ovulation and parturition: Piked spurdog (*Squalus megalops*) as a case study. *Marine and Freshwater Research*, 57(1), 105-119.
- Braccini, J. M., Gillanders, B. M., & Walker, T. I. (2006b). Total and partial length-length, mass-mass and mass-length relationships for the piked spurdog (*Squalus megalops*) in south-eastern Australia. *Fisheries Research*, 78(2-3), 385-389.
- Braccini, J. M., Gillanders, B. M., Walker, T. I., & Tovar-Avila, J. (2007). Comparison of deterministic growth models fitted to length-at-age data of the piked spurdog (*Squalus megalops*) in south-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 58(1), 24-33.

- Braccini, J. M., Hamlett, W. C., Gillanders, B. M., & Walker, T. I. (2007). Embryo development and maternal-embryo nutritional relationships of piked spurdog (*Squalus megalops*). *Marine Biology*, 150(4), 727–737.
- Brouard F., Grandperrin R. (1985). Deep bottom fishes of the outer reef slope in Vanuatu. South Pacific Commission 17th regional technical meeting on fisheries (Noumea, New Caledonia, 5–19 August, ORSTOM 1985). *SPC/Fisheries 17/WP.12*, 127 p. [Original in French].
- Brouard F., Grandperrin R., Kulbicki M., Rivaton J. (1983). Note on readings of daily increments observed on the otoliths of deepwater demersal fishes at Vanuatu. Transl. No. 88, W. G. Vancampen. National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center. Honolulu. From ORSTOM de Port-Vila. *Notes et Documents d'Océanographie*, 8, 9 p + figures.
- Brouard F., Grandperrin R. 1984. Deep-Bottom fishing in Vanuatu: initial results. *SPC Fisheries Newsletter*, Port Vila, Vanuatu, 28(January-March), 21-25.
- Brouard F., Grandperrin R. (1984). Les poissons profonds de la pente récifale de Vanuatu. Mission ORSTOM de Port-Vila, Notes et documents d'océanographie, No 11.
- Carvalho-Filho, A., Marcovaldi, G., Sampaio, C. L. S., Paiva, M. I. G., & Duarte, L. a G. (2009). First report of rare pomfrets (Teleostei: Bramidae) from Brazilian waters, with a key to Western Atlantic species. *Zootaxa*, 26(2290), 1–26.
- Carvalho N., Edwards-Jones G., Isidro E. (2011). Defining scale in fisheries: Small versus large-scale fishing operations in the Azores. *Fisheries Research*, 109, 360-369.
- Chapman L., Desurmont A., Choi Y., Boblin P., Sokimi W., & Beverly S., (2007). Manuel d'identification des poissons destiné aux pêcheurs de vivaneaux profonds. *CPS*, 163p.
- Chuenpagdee R., Morgan L.E., Maxwell S.M., Norse E.A., Pauly D. (2003). Shifting gears: Assessing collateral impacts of fishing methods in US waters. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 517-524.
- Condini M. V., Albuquerque C. Q., Garcia A. M. (2014). Age and growth of dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) (Perciformes: Epinephelidae) in the southwestern Atlantic, with a size comparison of offshore and littoral habitats. *Fishery Bulletin*, 112, 311-321.
- Dagnelie P. (1973). L'analyse factorielle. *Handbook of Vegetation Science*, 5, 223-48.
- Davison A. C., Hinkley D. V. (1997). *Bootstrap Methods and Their Application*, Cambridge University Press (ISBN 0-521-57471-4)
- DeFelice R.C., Parrish J.D. (2003). Importance of benthic prey for fishes in coral reef-associated sediments. *Pacific Science*, 57, 359–384.
- DeMartini, E. E., & Lau, B. B. (1999). Morphometric criteria for estimating sexual maturity in two snappers, *Etelis carbunculus* and *Pristipomoides sieboldii*. *Fishery Bulletin*, 97(3), 449–458.



- Dufour, E., Gerdeaux D. (2001). Apport des isotopes stables C13/C12, N15/N14, O18/O16, S36/S34, SR87/SR86 aux études écologiques sur les poissons. *Cybium*, 25(4), 369-382.
- Durville P., Mulochau T., Diringer A., (2011). *Poissons profonds de l'océan Indien*. Orphie. 203p.
- Efron B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- Efron B., Tibshirani R.J. (1994). An Introduction to the Bootstrap, Chapman & Hall/CRC Press (ISBN 0-412-04231-2).
- Everson, A.R. (1984). Spawning and gonadal maturation of the Ehu, *Etelis carbunculus* in the Northwestern Hawaiian islands. In 'Proceedings of the Second Symposium on Resource Investigations in the Northwestern Hawaiian Islands' (R.W. Grigg and K.Y. Tanoue Eds., University of Hawaii, NWHI UNIHI-Seagrant-MR- 84-01: Honolulu, Hawaii.), p 128-148.
- Everson, A. R. (1986). Ehu. In *Fishery Atlas of the Northwestern Hawaiian Islands* (R.N.Uchida and J.H. Uchiyama, eds.), p. 106-107. NOAA Technical Report NMFS 38.
- Everson, a. R., Williams, H. a., & Ito, B. M. (1989). Maturation and reproduction in two Hawaiian eteline snappers, uku, *Aprion virescens*, and onaga, *Etelis coruscans*. *Fishery Bulletin*, 87(4), 877-888.
- FAO Fisheries Synopsis. Les poissons de l'Océan Indien.
- Felsenstein J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution* 39, 783-791.
- Fleury P.G., Aurèche V. & Le Ru L. (2011). Evolution des captures de poissons démersaux profonds, au vire-ligne électrique, dans l'ouest de La Réunion, entre 2000 et 2011. *Rapport Ifremer RST-Délégation-Réunion-2011-06*, 46 p.
- Fleury P.G., Evano H. & Le Ru L. (2012). Campagne de prospection de poissons démersaux profonds réalisée autour de La Réunion en 2011. *Rapport Ifremer RST-Délégation-Réunion-2012-09*, 51 p. + annexes.
- Fleury P.G., Evano H., Le Ru L. & Aurèche V. (2012). Synthèse de l'étude et des campagnes à la mer 2011 sur l'exploitation aux vire-lignes des espèces démersales profondes autour de La Réunion. *Rapport Ifremer RST-Délégation-Réunion-2012-13*, 33 p. + annexes.
- Fontana A. (1969). Etude de la maturité sexuelle des sardinelles *Sardinella eba* (Val) et *Sardinella aurita* C. et V. de la région de Pointe-Noire. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., 7(2), 101-113.
- Forest A. 2009. Evaluation des ressources halieutiques et modèles. *Biofutur*, 28(301), 44-48.
- Fricke R., Mulochau T., Durville P., Chabanet P., Tessier E., Letourneur Y. (2009). Annotated checklist of the fish species (Pisces) of La Réunion, including a Red List of threatened and declining species. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde A, Neue Serie* 2, 1-168.

- Fry, G. C., Brewer, D. T., & Venables, W. N. (2006). Vulnerability of deepwater demersal fishes to commercial fishing: Evidence from a study around a tropical volcanic seamount in Papua New Guinea. *Fisheries Research*, 81(2-3), 126–141.
- Fu Y.X., Li W. H. (1993). Statistical tests of neutrality of mutations. *Genetics*, 133, 693-709.
- Ghorbel A. O., Bradai M. N., Bouain A. (2002). Période de reproduction et maturité sexuelle de *Symphodus* (*Crénilabrus*) *tinca* (Labridae), des côtes de Sfax (TUNISIE) *Cybium*, 26(2), 89-92.
- Gon O. and Heemstra P. C., (1990). *Fishes of the southern ocean* (Vol. 1). Grahamstown : JLB Smith Institute of Ecology, 462 p.
- Graham K. J. (2005). Distribution, population structure and biological aspects of *Squalus* spp. (Chondrichthyes: Squaliformes) from New South Wales and adjacent Australian waters. *Mar. Freshwater Res.*, 56, 405–416.
- Graham B.S., Koch P.L., Newsome S.D., McMahon K.W., Auriolles D. (2010). Using isoscapes to trace the movements and foraging behavior of top predators in oceanic ecosystems, pp 299-317. In J.B. West et al. (eds.), *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process 299 on Earth Through Isotope Mapping*, Springer.
- Griffiths R.C., Robles R., Coppola S.R., Camiñas J.A. (2007). Is there a future for artisanal fisheries in the Western Mediterranean? *FAO-COPEMED, Rome, Italy*, 117 p.
- Haight W. R., Kobayashi D. R., Kawamoto K. E. (1993). Biology and management of deepwater snappers of the Hawaiian archipelago. *Marine Fisheries Review*, 55(2), 20-27.
- Haight W.R., Parrish J.D., Hayes T.A. (1993). Feeding ecology of deepwater lutjanid snappers at Penguin Bank, Hawaii. . *Transactions of the American Fisheries Society*, 122, 328-347.
- Hazin, F. H. V, Fischer, A. F., Broadhurst, M. K., Veras, D., Oliveira, P. G., & Burgess, G. H. (2006). Notes on the reproduction of *Squalus megalops* off northeastern Brazil. *Fisheries Research*, 79(3), 251–257.
- Hoban S., Gaggiotti O., Bertorelle G. (2013). Sample Planning Optimization Tool for conservation and population Genetics (SPOTG): a software for choosing the appropriate number of markers and samples. *Methods in Ecology and Evolution*, 4: 299-303.
- Holden M. J., Raitt D. F. S. (1974). Manuel de sciences halieutique, deuxième partie- Méthodes de recherches sur les ressources et leur application. *FAO, Documents techniques sur les pêches*.
- Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. (2011). Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, 80, 595–602.
- Jacquet J., Pauly D. (2008). Funding priorities: big barriers to small-scale fisheries. *Conservation Biology*, 22, 832-835.
- Jaquemet S. (2015). Ecologie trophique des requins tigre et bouledogue. *In Rapport scientifique final du programme CHARC*, 71-85.

- Johnson A.G., Collins L.A., Dahl J., Scott Baker M. (1995). Age, Growth, and Mortality of Lane Snapper from the Northern Gulf of Mexico. *Proceedings of the annual conference / Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 49,178-186.
- Jombart T. (2008). adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*, 24, 1403-1405.
- Jombart T., Ahmed I. (2011) adegenet 1.3-1: new tools for the analysis of genome-wide SNP data. *Bioinformatics*, 27(21), 3070-3071.
- Kimura D. K. (1980). Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*, 77, 765-776.
- Kizhakudan S.J., Zala M.S. (2006). Dynamics of *Priacanthus hamrur* (Forsskal) exploited off Saurashtra coast. *Indian Journal of Fisheries*, 53, 409–416.
- Knight W. (1968). Asymptotic growth : an example of non sens disguised as mathematics. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25, 1303-1307.
- Kolasinski J., Frouin P., Sallon A., Rogers K., Bruggemann H.J., Potier M. (2009). Feeding ecology and ontogenetic dietary shift of yellowstripe goatfish *Mulloidichthys flavolineatus* (Mullidae) at Reunion Island, SW Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 386, 181-195.
- Lalèyè, P. (1995). Ecologie comparée de deux espèces de Chrysichthys, poissons Siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire «Lac Nokoué-Lagune de Porto-Novo» au Bénin. Thèse de doctorat.
- Lloyd J. A. (2006). Demography of *Pristipomoides multidens* in northern Australia and a comparison within the Family Lutjanidae with respect to depth. PhD thesis, James Cook University. 181 p + annexes
- Lokani, P., Pili, H. P., Richards, A. and Tiroba,G.(1990). Estimation of the unexploited biomass and maximum sustainable yield for the deep reef demersal fishes in Papua New Guinea. In *United States Agency for International Development and National Marine Fisheries Service Workshop on Tropical Fish Stock Assessment*. (J.J. Polovina and R.S. Shomura,eds.), p.29-54. NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFSC-148.
- Loeun K., Williams A., Mellin C. Bradshaw C., Allain V. Ducrocq M., Nicol S. (2012). Eléments pour la gestion durable des stocks de vivaneaux profonds de Nouvelle-Calédonie. CPS, 90p.
- Lowerre-barbieri, S. K., & Barbieri, L. R. (1993). A new method of oocyte separation and preservation for fish reproduction studies. *Science*, 170(January), 165–170.
- Luikart G., Cornuet J. (1998). Empirical evaluation of a test for identifying recently bottlenecked populations from allele frequency data. *Conservation Biology*, 12, 228–237.
- Mablouke C. (2013). Apport des isotopes stables dans l'étude de la structure et du fonctionnement d'écosystèmes marins tropicaux en milieu côtier : application à la gestion des ressources halieutiques. *Thèse de Doctorat de l'Université de La Réunion*, 182 p +annexes.

- Mablouke C., Kolasinski J., Potier M., Cuvillier A., Bigot L., Frouin P., Jaquemet S. (2013). Feeding habits and food partitioning between three commercial fish associated with artificial reefs in a tropical coastal environment. *African Journal of Marine Science*, 35(3), 323-334.
- Mathew S. (2003). Small-scale fisheries perspectives on an ecosystem-based approach to fisheries management. In: *FAO (ed) Responsible fisheries in the marine ecosystem, Rome, Italy*, 47-64.
- Mayrat A. (1970). Allométrie et taxonomie. *Revue de statistique appliquée*, 18 (4), 47-58.
- Mehanna Sahar F. (2003). Population dynamics of the bigeye snapper *Lutjanus lineolatus*, Ruppell, 1829 (Family: Lutjanidae) from the Gulf of Suez. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 7, 71-85.
- Min T.S., Senta T., Supongan S. (1977). Fisheries biology of *Pritipomoides* spp (Family lutjanidae) in the South China Sea and it's adjacent waters. *Singapore J. Pri. Ind.*, 5, 96-115.
- Nakamura, I., and Parin N. V. (1993). FAO species catalogue. Vol. 15: Snake mackerels and cutlassfishes of the world (families Gempylidae and Trichiuridae): an annotated and illustrated catalogue of the snake mackerels, snoeks, escolars, gemfishes, sackfishes, domine, oilfish, cutlassfishes, scabbardfishes, hairtails, and frostfishes known to date. *FAO Fish. Synop.*, 125, 1-136.
- Nanami, A. (2011). Size composition and reproductive biology of the ornate jobfish *Pristipomoides argyrogrammicus* (Lutjanidae) off Ishigaki Island, Okinawa. *Ichthyological Research*, 58(4), 310–314.
- Newman, S. J., & Dunk, I. J. (2003). Age validation, growth, mortality, and additional population parameters of the goldband snapper (*Pristipomoides multidens*) off the Kimberley coast of northwestern Australia. *Fishery Bulletin*, 101(1), 116–128.
- Newman, S. J., Steckis, R. a., Edmonds, J. S., & Lloyd, J. (2000). Stock structure of the goldband snapper *Pristipomoides multidens* (Pisces: Lutjanidae) from the waters of northern and western Australia by stable isotope ratio analysis of sagittal otolith carbonate. *Marine Ecology Progress Series*, 198, 239–247.
- Nikolic N., Butler J., Baglinière J. L., Laughton R., McMyn I. A. G., Chevalet C. (2009). An examination of genetic diversity and effective population size in Atlantic salmon. *Genetics Research*, 91, 1-18.
- Omori, M., Takechi, H., Nakabo, T. (1997). Some notes on the maturation and spawning of the bramid fish, *Brama dussumieri*, in the southeastern waters of Japan. *Ichthyological Research*, 44(1), 73–76.
- Opic P., Conand F., Bourret P. (1994). *Poissons commerciaux du sud-ouest de l'océan Indien*. IRD Editions.
- Pajuelo, J. G., García, S., Lorenzo, J. M., & González, J. a. (2011). Population biology of the shark, *Squalus megalops*, harvested in the central-east Atlantic Ocean. *Fisheries Research*, 108(1), 31–41.
- Pakoa K. (1998). Vital statistics of marine fishes of Vanuatu. In *FISHBYTE, Fisheries Section of the Network of Tropical Aquaculture and Fisheries Professionals*, (July-Sept), 27-29.

- Panfili J., Pontual H., Troadec H., Wright P.J. (2002). Manuel de sclérochronologie des poissons. Co-édition Ifremer-IRD, 464p.
- Pauly D., Munro J.L. (1984). Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 2, 21.
- Pauly D. (2006). Major trends in small-scale marine fisheries, with emphasis on developing countries, and some implications for the social sciences. *Maritime Studies*, 4, 7-22.
- Philip K.P. (1998). Food and feeding habits of *Priacanthus hamrur* (Forsskal) from the upper east coast. *Bulletin of Fisheries Survey of India*, 26, 12-25.
- Pothin K., Letourneur Y., Lecompte-Finiger R. (2004). Age, growth and mortality of the tropical grouper *Epinephelus merra* (Pisces, Serranidae) on Réunion Island, SW Indian Ocean. *Vie et Milieu*, 54, 193-202.
- Prager M.H., Saila S.B., Recksiek C.W. (1989). FISHPARM: a microcomputer program for parameter estimation of nonlinear models in fishery science, second edition. *Old Dominion University Oceanography Technical Report*, 87, 10 p.
- Proude P.D. (1973). Objectives and Methods of Small-Scale Fisheries Development. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30, 2190-2195.
- Quero J.C., Spitz J., Vayne J.J. (2009). *Shymphisanodon pitondelafournaisei* : une nouvelle espèce de Symphisanodontidae (Perciformes) de l'île de La Réunion (France, océan Indien). *Cybium*, 33(1), 73-77.
- Ralston S. & Williams H.A. (1988). Age and growth of *Lutjanus kasmira*, *Lethrinus rubrioperculatus*, *Acanthurus lineatus*, and *Ctenochaetus striatus* from American Samoa. *Southwest Fisheries Center, NOAA, Honolulu. Administrative Report H-88-18*, 11 pp.
- Randall J.E., Brock V.E. (1960). Observations on the ecology of epinepheline and lutjanid fishes of the Society Islands, with emphasis on food habits. *Transactions of the American Fisheries Society*, 89, 9-16.
- Rangarajan K. (1970). Food and feeding habits of the snapper, *Lutjanus kasmira* (Forsk.) from the Andaman Sea. *Indian Journal of Fisheries*, 17, 43-52.
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL
- Reecht Y., Habasque J., Press B. (2012). Guide d'utilisation de la plateforme PAMPA "Ressources et Biodiversité" – Aide au calcul, à la représentation et à l'analyse des métriques relatives à la biodiversité et aux ressources. *PAMPA/WP2/meth/4. Version du 03/12/2012*, 72p.
- Ricker W.E. (1975). Computation and interpretation of the biological statistics of fish populations. *Bulletin of the fisheries Research Board of Canada*, 191, 1-382.
- Robert C. R. (2014). Estimating the fecundity of monchong, *Eumegistus illustris*, at cross seamount. *PhD Thesis*.
- Roos D., Tessier E., Taquet M. (2001). Prospection des ressources côtières démersales profondes autour de la Réunion. *Rapport scientifique et technique Ifremer*, 25p.

- Rozas J., Rozas R. (1999). DnaSP version 3: an integrated program for molecular population genetics and molecular evolution analysis. *Bioinformatics*, 15, 174-175.
- Saitou N., Nei M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4, 406-425.
- SanCristobal M., Chevalet C., Haley C. S., Joosten R., Rattink A. P., Harlizius B., Groenen MAM, Amigues Y, Boscher M-Y, Russell G, Law A, Davoli R, Russo V, Désautés C, Alderson L, Fimland E, Bagga M, Delgado JV, Vegapla JL, Martinez AM, Ramos M, Glodek P, Meyer JN, Gandini GC, Matassino D, Plastow GS, Siggens K, Laval G, Archibald AL, Milan D, Hammond K, Cardellino R. (2006). Genetic diversity within and between European pig breeds using microsatellite markers. *Animal Genetics*, 37, 189-198.
- Shanti Prabha Y., Manjulatha C. (2008). Food and feeding habits of *Upeneus vittatus* (Forsskal, 1775) from Visakhapatnam coast (Andhra Pradesh) of Indian. *International Journal of Zoological Research*, 4(1), 59-63.
- Sivakami S., Raje S.G., Khan M.F., Shobha J.K., Vivekanandan E., Rajkumar U. (2001). Fishery and biology of *Priacanthus hamrur* (Forsskal) along the Indian coast. *Indian Journal of Fisheries*, 48, 277-289.
- Smith M.M. and Heemstra P.C. (1987). *Smiths' Sea Fishes*. ISBN 0-387-16851, 1048 p
- Smith, M. (1992). Regional differences in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49, 795-804.
- Smith, M. K., & Kostlan, E. (1991). Estimates of age and growth of ehu *Etelis carbunculus* in four regions of the Pacific from density of daily increments in otoliths. *Fishery Bulletin*, 89(3), 461-472.
- Sommet de Reykjavik (2002). Dans : FAO. 2003. Département des pêches. Aménagement des pêches. 2. L'approche écosystémique des pêches. *FAO Directives techniques pour une pêche responsable*, No. 4, Suppl. 2. Rome, FAO. 2003. 120 p.
- Tajima F. (1989). Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*, 123, 585-595.
- Tajima F. (1993). Simple methods for testing molecular clock hypothesis. *Genetics*, 135, 599-607.
- Tamura K., Battistuzzi F. U, Billing-Ross P., Murillo O., Filipski A., and Kumar S. (2012). Estimating Divergence Times in Large Molecular Phylogenies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 19333-19338.
- Tamura K., Nei M. (1993). Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution*, 10, 512-526.
- Tamura K., Nei M., and Kumar S. (2004). Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 11030-11035.

- Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., and Kumar S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30, 2725-2729.
- Taquet M. et Diringer A., (2012). *Poisson de l'océan Indien et de la mer Rouge*. Edition Quae. 680 p.
- Teissier G. (1948). La relation d'allométrie. Sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, 4, 14-53.
- Tweddle D. & Turner J. L. (1977). Age, growth and natural mortality rates of some cichlid fishes of Lake Malawi. *Journal of Fish Biology*, 10(4), 385-398.
- Uchida R.N. Tagami D.T. Uchiyama J.H. (1982). Results of bottom fish research in the Northwestern Hawaiian Islands (Background paper 2). South Pacific Commission 14th Regional Technical Meeting on Fisheries (Noumea, New Caledonia, 2 – 6 August 1982), 10 p.
- Uchiyama J. H., Kuba S. M., and Tagami D. T. (1984). Length-weight and standard length-fork length relationships of deep sea handline fishes of the Northwestern Hawaiian Islands. *University of Hawaii, Honolulu, Report UNIHI-SEAGRANT-MR-84-01*, p. 209-225.
- Van der Elst R. (1988). *A guide to the common sea fishes of Southern Africa*. ISBN – 0 86977-081-0, 397 p.
- Vaulot D., Marie D. (1999). Diel variability of photosynthetic picoplankton in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 104(C2), 3297-3310.
- Von Bertalanffy (1938). A quantitative theory of organic growth (inquires on growth Laws II). *Human Biology*, 10, 181-213.
- Watson G, Smale M. J. (1998) Reproductive biology of shortnose spiny dogfish, *Squalus megalops*, from the Agulhas Bank, South Africa. *Marine and Freshwater Research*, 49, 695–703.
- West, G. (1990). Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Aust. J. Mar. Freshwater Res*, 41, 199-222.
- Williams A. (2012). Improving biological knowledge of deepwater snapper in the Pacific. *SPC Fisheries Newsletter*, 138, 4–5.
- Williams A. J., Loeun K., Nicol S. J., Chavance P., Ducrocq M., Harley S. J., Pilling G. M., Allain V., Mellin C., Bradshaw C. J. A. (2013). Population biology and vulnerability to fishing of deep-water Eteline snappers. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(2), 395–403.
- Williams, H.A. and Lowe, M.K. (1997). Growth rates of four Hawaiian deep slope fishes: a comparison of methods for estimating age growth from otolith microincrement widths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 54, 126-136.

## 14. Liste des figures

Figure 1 : Schéma général du processus permettant l'acquisition de la donnée.....	22
Figure 2 : Schéma du montage classique de bas de ligne (a), et photographies (b) d'un moulinet électrique et d'une embarcation de pêche (photos Ifremer).....	23
Figure 3 : Illustration de différents types et tailles d'hameçons.....	24
Figure 4 : Carte bathymétrique de La Réunion et découpage des eaux marines côtières en unités spatiales.....	25
Figure 5 : Schéma relationnel de la base de données DMX2.....	30
Figure 6 : Bilan des filages par classe de profondeur pour les différents secteurs échantillonnés.....	34
Figure 7: Proportion en nombre (a) et en poids (b) des différents groupes d'espèces capturées au cours du projet DMX2.....	36
Figure 8 : Histogramme de synthèse des fréquences relatives, en poids en effectif, pour les espèces commerciales capturées. Seules deux espèces non ciblées commercialement, les requins zépinés (DOP et CEM) ont été ajoutées en raison de leur importance dans les captures. Les espèces retenues pour leur intérêt halieutique et/ou leur sensibilité à l'exploitation apparaissent en bleu.....	38
Figure 9 : Distribution des fréquences en nombre par classe de tailles pour les 7 espèces retenues (en abscisse les classes de tailles et en ordonnée, les proportions d'individus par classe de taille).....	41
Figure 10: Distributions des captures commerciales par sortie journalière présentées en histogramme de fréquence (a) et boîte à moustache (b ; * : moyenne ; — : médiane). ....	42
Figure 11 : Distributions des captures commerciales par sortie journalière et par secteur (* : moyenne ; — : médiane). Pour rappel, la carte des secteurs de pêche (§ 2.5). ....	43
Figure 12 : Distributions des captures commerciales par sortie journalière et par mois (* : moyenne ; — : médiane). ....	44
Figure 13 : Matrice des relations entre les rendements (CPUE), la durée et le nombre d'hameçons par filage. ....	45
Figure 14 : Distribution des captures commerciales par filage (a et b) et proportion des filages nuls et avec captures (c) (o : moyenne ; — : médiane). ....	45
Figure 15 : Distribution des captures commerciales moyennes par filage et par secteur (* : moyenne ; — : médiane). ....	46
Figure 16 : Distribution des captures commerciales moyennes par filage et par mois (* : moyenne ; — : médiane). ....	46
Figure 17 : Occurrence des captures(a) et CPUE moyenne (b) par espèce dans les filages en fonction de la période et de la profondeur. ....	49
Figure 18 : Evolution des rendements moyens par espèces en fonction par classe de profondeurs et par période. ....	51
Figure 19 : Profondeurs optimales de capture des principales espèces ciblées dans les pêches démersales profondes à La Réunion (moyenne $\pm$ 2 écart-types). ....	52
Figure 20 : Indicateurs CPUE-filage moyennes ( $\pm$ IC à 95%) par espèce en 2014 (estimateurs sous critères). ....	53
Figure 21 : Evolution des CPUE moyennes ( $\pm$ IC95 % bootstrap) par filage pour chacune des espèces principales capturées.....	55
Figure 22 : Mesures de longueurs de référence prises sur les poissons osseux (a) et sur les requins (b ; 1 : Lt, 2 : Lf, 3 : Ls) à l'aide d'un ichtyomètre (précision au mm).....	58
Figure 23 : Zones de prélèvements biologiques sur les poissons en laboratoire. ....	59
Figure 24 : Présentation des prélèvements et de leurs conditionnements avant analyses. ....	59
Figure 25 : Courbes de croissance des mâles et femelles d' <i>Etelis carbunculus</i> (ETA) selon le modèle de Von Bertalanffy.....	67
Figure 26 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et de l'indice gonado-somatique (IGS (b)) chez <i>Etelis carbunculus</i> (ETA).....	69



Figure 27 : Courbes logistiques des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1 <sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles et les mâles d' <i>Etelis carbunculus</i> ...	70
Figure 28 : Evolution mensuelle (a) et comparaison spatiale (b) de l'indice de condition relatif (Kn) chez <i>Etelis carbunculus</i> .....	71
Figure 29 : Courbes de croissance des mâles et femelles d' <i>Etelis coruscans</i> (ETC) selon le modèle de Von Bertalanffy.....	73
Figure 30 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et l'indice gonado-somatique (IGS, b) chez <i>Etelis coruscans</i> (ETC).....	75
Figure 31 : Courbe logistique des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1 <sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles (a) et les mâles (b) d' <i>Etelis coruscans</i> .....	76
Figure 32 : Courbes des relations taille-poids chez les femelles et les mâles de <i>Squalus megalops</i> (DOP).....	77
Figure 33 : Evolution de la maturité sexuelle selon l'échelle macroscopique (a) et l'Indice Gonado-somatique (IGS, b) de <i>Squalus megalops</i> (DOP).....	79
Figure 34 : Courbe logistique des proportions d'individus matures pour la détermination de la taille de 1 <sup>ère</sup> maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) pour les femelles et les mâles de <i>Squalus megalops</i> (DOP).....	80
Figure 35 : Evolution mensuelle (a) et comparaison spatiale (b) de l'indice de condition relatif chez le requin zépine (DOP).....	81
Figure 36 : Représentation synthétique des courbes de croissance de Von Bertalanffy pour les espèces démersales ciblées à La Réunion (ETA, <i>Etelis carbunculus</i> ; ETC, <i>Etelis coruscans</i> ; LRI, <i>Pristipomoides multidens</i> ; LRY, <i>Pristipomoides argyrogrammicus</i> ; EZR, <i>Epinephelus radiatus</i> ; avec M : mâles, et F : femelles).....	83
Figure 37 : Déploiement d'engins de prélèvements d'eau de mer (A), (bouteilles de prélèvement d'eau) et de la benne à sédiments (B).....	86
Figure 38 : Plaque de 96 puits, dans lesquels sont déposées les capsules en étain conditionnées, contenant l'échantillon à analyser.....	88
Figure 39 : Valeurs moyennes ( $\pm$ écart type) de carbone et azote isotopique dans la matière organique particulaire de la colonne d'eau (POM) en fonction de la profondeur (ronds noirs) et de la matière organique sédimentaire (SOM) à 100m de fond (ronds blancs) à Sainte Marie en décembre 2014, Saint Paul en décembre 2014 et janvier 2015 et à Saint Benoît en décembre 2014.....	92
Figure 40 : Graphique représentant les valeurs de carbone et d'azote isotopiques pour les différentes sources de matière organique et les différentes catégories de proies.....	93
Figure 41 : Graphique représentant les valeurs de carbone et d'azote isotopiques des espèces principales (ronds) et secondaires (carrés) de poissons.....	94
Figure 42 : Représentation des ellipses standards des huit espèces de poissons démersaux et position des espèces secondaires dans l'espace isotopique carbone-azote. Les codes FAO spécifiques aux différentes espèces sont ceux indiqués dans le Tableau 20.....	95
Figure 43 : Boîtes à moustaches présentant les valeurs isotopiques en carbone, en azote ou de rapport C/N par zone pour les espèces qui présentent des différences significatives pour ces mesures (voir Tableau 21). Les valeurs significativement inférieures sont en bleue, les valeurs significativement supérieures en vert et la couleur blanche indique une absence de différence statistique. EBS : <i>Eumegistus illustris</i> , ETA : <i>Etelis carbunculus</i> , LRY : <i>Pristipomoides argyrogrammicus</i> .....	97
Figure 44 : Séquence mitochondriale COI d' <i>Etelis carbunculus voucher</i> (MBIO1864.4) avec deux amorces optimisées en couleur (forward en jaune ; reverse en rose).....	104
Figure 45 : Matrice génétique entre individus. Plus les individus sont proches génétiquement et plus la couleur est claire.....	106
Figure 46 : Arbre Neighbour Joining (NJ) sur les 50 individus échantillonnés avec 10 000 bootstrap pour évaluer la solidité des nœuds (valeur en pourcentage). La longueur de branche est fonction de la distance génétique sous maximum de vraisemblance de Tamura et al. (2004).....	107

Figure 47 : Arbre Neighbour Joining (NJ) sur les 50 individus échantillonnés avec pour longueur de branche les temps de divergence de Tamura et al. (2012). .....	108
Figure 48 : Réseau phylogénétique médian des 50 individus étudiés avec le nombre de mutations indiquées entre les branches. Les individus sortants (ETA-254 et EEW-229) sont soulignés en rouge. ....	109
Figure 49 : Cartographie des séquences mitochondriales sous le réseau phylogénétique médian entre les 5 groupes EEW, ETA, RAI et les 2 individus sortants (EEW-229, ETA-254). ..	109
Figure 50 : Répartition du nombre de navires professionnels pratiquant le métier de ligne à main mécanisée à poissons démersaux (LHMDX) de manière exclusive ou partielle de 2010 à 2013 (source SIHR). .....	112
Figure 51 : Evolution du nombre de navires professionnels par ports pratiquant le métier de la ligne mécanisée à poissons démersaux (LHMDX) de 2010 à 2013 (source : SIHR). .....	113
Figure 52 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons de fond par la ligne à main mécanisée (LHMDX) et total tous métiers à démersaux sur la période 2010-2013 (Source SIHR). .....	114
Figure 53 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons de fond par a) - la ligne à main (LHPDX) et b) - la palangre de fond (LLSDX), sur la période 2010-2013 (source : SIHR). .....	115
Figure 54 : Evolution de la production moyenne estimée en poissons pélagique pour les métiers de Ligne à main (ou avec canne) à grands pélagiques (LHPGP, aussi nommé « pêche à la dérive »), Palangre verticale dérivante à grands pélagiques (LVDGP), et Ligne trainante à grands pélagiques (LTLGP), sur la période 2010-2013 (source : SIHR). .....	116
Figure 55 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau gros-tête ( <i>E. carbunculus</i> ) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées. ....	117
Figure 56 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau la flamme ( <i>E. coruscans</i> ) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées. ....	118
Figure 57 : (a) Distribution en taille des captures de vivaneau cerf-volant ( <i>P. argyrogrammicus</i> ) et part relative de la biomasse féconde ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées. ....	120
Figure 58 : Distribution en taille des captures de gros-écale ( <i>P. multidens</i> ) et part relative de la biomasse féconde. ....	121
Figure 59 : Distribution en taille du stock de cabot rayé ( <i>E. radiatus</i> ) et contribution relative de la biomasse féconde selon la taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ). ....	122
Figure 60 : (a) Distribution en taille des captures du zambas ( <i>E. illustris</i> ) et part relative de la biomasse féconde; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées. ....	123
Figure 61 : (a) Distribution en taille des captures du requin zépine ( <i>Squalus megalops</i> ) et part relative de la biomasse féconde selon la taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) ; (b) Evolution annuelle de la taille moyenne des poissons dans les captures observées. ....	124

## 15. Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des navires sélectionnés dans le projet DMX2. ....	20
Tableau 2 : Répartition des marées réalisées par port de pêche. ....	21
Tableau 3 : Description des zones et des secteurs définis pour le plan d'échantillonnage DMX2. ....	25
Tableau 4 : Bilan des sorties DMX2 par mois et par secteur. ....	32
Tableau 5 : Bilan des filages par période du jour et par classe de profondeur de 50 mètres. ....	33
Tableau 6 : Liste des principales espèces commerciales et non commerciales capturées au cours de DMX2. ....	35

Tableau 7 : Comparaison des tailles maximales spécifiques référencées dans FISHBASE et celles obtenues dans les projets DMX 2000, 2011, 2014.....	39
Tableau 8 : Critères retenus pour l'analyse des indicateurs halieutiques CPUE-filage par espèce. ....	52
Tableau 9 : Synthèse des estimateurs de CPUE-filage moyennes par espèces.....	53
Tableau 10 : Clé générale pour la détermination des stades de maturité par sexe pour l'ensemble des poissons osseux.....	64
Tableau 11 : Bilan des principales équations biométriques chez le vivaneau gros-tête (ETA) ..	67
Tableau 12 : Paramètres de croissance de vivaneaux gros-tête(ETA) selon le modèle de Von Bertalanffy.....	68
Tableau 13 : Bilan des principales équations biométriques chez le vivaneau flamme (ETC).....	72
Tableau 14 : Paramètres de croissance d' <i>Etelis coruscans</i> (ETC) selon le modèle de Von Bertalanffy.....	73
Tableau 15 : Bilan des principales équations biométriques chez le requin zépine (DOP).....	78
Tableau 16 : Synthèse bibliographique des tailles de première maturité ( $L_{50}$ ) du requin zépine (DOP).....	80
Tableau 17 : Synthèse des cycles de reproduction des 7 espèces principales étudiées dans le projet DMX2.....	82
Tableau 18 : Synthèse des paramètres de croissance des espèces étudiées de l'île de la Réunion.....	83
Tableau 19 : Synthèse des échantillons prélevés et analysés dans le cadre de l'étude de l'écologie trophiques des poissons démersaux profonds pour la période hivernale.....	86
Tableau 20 : Synthèse des informations principales sur le régime alimentaire des poissons étudiés dans cette étude et comparaison avec les données de la littérature.....	90
Tableau 21 : Répartition du nombre de mesures de rapports isotopiques par espèce et par secteur géographique pour les 8 espèces.....	96
Tableau 22 : Résultats des variations de rapports isotopiques du carbone, de l'azote et du rapport C/N en fonction des 9 secteurs de pêche considérés. Pour les différences significatives, le sens des différences entre les secteurs est représenté. NS : différence non significative....	96
Tableau 23 : Effectifs d'échantillons de muscles blancs analysés pour leurs rapports isotopiques par classe de taille (cm) et par espèce.....	98
Tableau 24 : Résultats des analyses de variation des rapports isotopiques du carbone et de l'azote et du rapport C/N en fonction des classes de taille (cm) et des espèces. ns : non significatif.....	99
Tableau 25 : Concentration et volume des réactifs des PCR réalisées.....	102
Tableau 26 : Conditions d'amplifications sur la séquence GenBank-JQ431727.1 à partir des amorces optimisées au sein de cette étude. La taille du produit amplifié est de 651 pb...	104
Tableau 27 : Diversité et tests de neutralité. Nombre d'individu (N) ; écart-type (sd) ; D Tajima (1989) ; F* et D* tests (Fu and Li, 1993).....	105

## 16. Liste des annexes

ANNEXE 1 : Bordereau mer .....	141
ANNEXE 2 : Projet DMX2 – Volet Croissance. ....	143
ANNEXE 3 : Clé de détermination des stades de maturité chez le vivaneau gros-tête (ETA). .....	228
ANNEXE 4 : Clé de détermination des stades de maturité chez le requin zépine (DOP). ....	231
ANNEXE 5 : Liste des espèces commerciales et non commerciales capturées au cours du projet DMX2 (* : code FAO non valide). ....	234
ANNEXE 6 : Planches illustrées des différentes espèces capturées au cours de DMX2. ....	237
ANNEXE 7 : Fiches synthétiques de description du régime alimentaire des espèces de poissons et des informations concernant les sites de pêche, la taille des individus et les valeurs isotopiques.....	242
ANNEXE 8 : Dénomination des numéros d'échantillons et des espèces correspondantes traitées dans l'action 5 (Génétique). ....	270

## **ANNEXE1**

Bordereau mer



## ANNEXE2

### Projet DMX2 – Volet Croissance.

K. Rabhi<sup>1</sup>, E. Bellamy<sup>1</sup>, R. Elleboode<sup>1</sup>, Y. Aumond<sup>2</sup>, J. Huet<sup>2</sup>, D. Roos<sup>2</sup>, K. Mahé<sup>1</sup>



1 : Ifremer, laboratoire Ressources Halieutiques, Pôle de Sclérochronologie, 150 quai Gambetta, 62321 Boulogne sur mer

2 : Ifremer, Délégation Océan Indien, B.P.60, rue Jean Bertho, 97822, Le Port cedex, La Réunion

### **ANNEXE 3**

Clé de détermination des stades de maturité chez le vivaneau gros-tête  
(ETA).

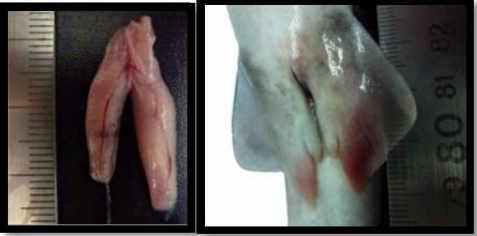







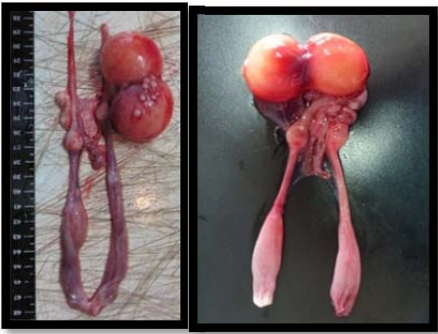
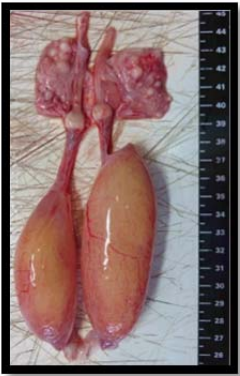

STADE DE MATURETE DES MÂLES	CRITERES D'OBSERVATION MACROSCOPIQUES
<i>pas de photo</i>	<p><b>IMMATURE : STADE 1</b></p> <p>Le sexe commence à être identifiable à l'œil nu. Les testicules sont translucides, aplatis, fins et peu vascularisés. Longueur des gonades &lt; 1/3 de la cavité abdominale.</p>
	<p><b>DEBUT DE MATURATION : STADE 2</b></p> <p>Les testicules s'opacifient vers des tons blanc à beige, de forme générale aplatie et anguleuse aux extrémités antérieures.</p> <p>Une nervure spermatique longitudinale peut-être apparente. Longueur des gonades &lt; 1/3 de la cavité abdominale.</p>
	<p><b>MATURATION : STADE 3</b></p> <p>Testicules allongés, plus larges et anguleux, de couleur blanc-crème, aux bords amincis et translucides. Leur consistance est plus ferme</p> <p>Le sillon spermatique commence à se creuser.</p> <p>Longueur des gonades &gt; 1/3 de la cavité abdominale.</p>
	<p><b>FIN DE MATURATION : STADE 4</b></p> <p>Les testicules sont pleinement développés, uniformément de couleur laiteuse à blanche, à bords droits.</p> <p>Le sillon spermatique est très net. Après incision/pression, un liquide translucide peut apparaître.</p>
	<p><b>REPRODUCTION : STADE 5</b></p> <p>Les testicules sont blancs avec des bords droits ou légèrement dentelés.</p> <p>Les testicules sont fluents. Une laitance blanche, crémeuse s'écoule du sillon spermatique à la moindre pression.</p>
<i>pas de photo</i>	<p><b>ATRESIE : STADE 6</b></p> <p>Les testicules sont très vascularisés, flasques et d'aspect sanguinolent. Peu ou pas de laitance dans le canal central.</p>

STADE DE MATURITE DES FEMELLES	CRITERES D'OBSERVATION MACROSCOPIQUES
	<p><b>IMMATURE : STADE 1</b></p> <p>Le sexe commence à être identifiable à l'œil nu.  Les ovaires sont translucides, de forme cylindrique, avec des extrémités arrondies  Longueur des gonades &lt; 1/3 de la cavité abdominale</p>
	<p><b>DEBUT DE MATURATION : STADE 2</b></p> <p>Les ovaires sont translucides, rosés, plus consistantes, aux extrémités arrondies. La vascularisation est bien visible, de type "nervurée".  Longueur des gonades &lt; 1/3 de la cavité abdominale</p>
	<p><b>MATURATION : STADE 3</b></p> <p>Les ovaires sont de couleur rosée à orangée/saumon, s'allongent et s'épaississent sensiblement. La vascularisation est plus prononcée. Les ovaires se remplissent, la matrice prend un aspect granuleux.  Les ovocytes ne sont pas visibles à l'œil nu.  Gonades de longueur &gt; 1/3 de la cavité abdominale</p>
	<p><b>FIN DE MATURATION : STADE 4</b></p> <p>Les ovaires sont de couleur orangée à crème.  Les ovaires sont bien gonflés, sans être turgescentes.  Les ovocytes sont observables à l'œil nu, majoritairement opaques, non individualisés (ne se détachent pas à la pression).</p>
	<p><b>REPRODUCTION/PONTE : STADE 5</b></p> <p>Les ovaires sont de couleur rosée, bien gonflés et turgescents.  Les ovocytes sont hydratés : translucides et individualisés. Après incision, ils s'écoulent sans pression. Leur émission est imminente</p>
	<p><b>ATRESIE : STADE 6</b></p> <p>Les ovaires sont très vascularisés, d'aspect sanguinolent, flasques. Les ovaires sont entièrement vides ou avec un reliquat d'ovocytes matures à divers degrés de résorption.  Les ovaires reviennent progressivement à un aspect de maturation (stade 3).</p>

## ANNEXE 4

Clé de détermination des stades de maturité chez le requin zépine (DOP).

STADE DE MATURETE DES MALES	CRITERES D'OBSERVATION MACROSCOPIQUES
	<p><b>IMMATURE : STADE 1</b>            Les ptérygopodes sont mous et n'atteignent pas l'extrémité des nageoires pelviennes.            Les testicules sont rosâtres.</p>
	<p><b>DEBUT DE MATURATION : STADE 2</b>            Les ptérygopodes sont durs et dépassent l'extrémité arrière des nageoires pelviennes (idem pour les stades suivants).            Les testicules sont blanchâtres. On distingue sous la membrane comme une matrice de petites vésicules.            Les 2 testicules sont rectilignes.</p>
	<p><b>MATURATION : STADE 3</b>            Les testicules sont blanchâtres.            L'une des deux testicules commence à former des méandres alors que l'autre est encore nettement rectiligne.</p>
	<p><b>FIN DE MATURATION : STADE 4</b>            Les testicules sont blanchâtres.            Les deux testicules présentent des contours méandroïdes, mais l'une ou les deux testicules présentent encore des parties rectilignes.</p>
	<p><b>REPRODUCTION : STADE 5</b>            Les testicules sont blanchâtres.            Les deux testicules présentent des contours méandroïdes.</p>
<p><i>pas de photo</i></p>	<p><b>ATRESIE : STADE 6</b>            Les gonades reviennent progressivement à un aspect de maturation (stade 3).</p>

STADE DE MATURETE DES FEMELLES	CRITERES D'OBSERVATION MACROSCOPIQUES
<i>pas de photo</i>	<b>IMMATURE : STADE 1</b> Aucuns ovocytes visibles
	<b>DEBUT DE MATURATION : STADE 2</b> Les ovocytes en développement sont visibles, de couleur blanchâtre, tous de taille inférieure à 5 mm de diamètre.
	<b>MATURATION : STADE 3</b> Les plus gros ovocytes sont de couleur orangée et de taille supérieure à 5 mm. Les trompes utérines ne contiennent aucun ovocyte.
	<b>REPRODUCTION : STADE 4</b> Les ovocytes les plus développés ont été transférés dans les trompes utérines mais on n'observe pas encore d'embryon en développement.
	<b>GESTATION : STADE 5</b> Les foetus sont visibles et chacun est relié à son sac vitellin.
<i>pas de photo</i>	<b>ATRESIE : STADE 6</b> Les gonades reviennent progressivement à un aspect de maturation (stade 3).

## ANNEXE 5

Liste des espèces commerciales et non commerciales capturées au cours du projet DMX2 (\* : code FAO non valide).

Espèce	Code FAO	Famille	Nom créole	Aggrégation dans groupe espèce	Effectif	Intervalle de taille min-max (mm)	Intervalle de poids min-max (g)	Intervalle de profondeur min-max (m)
<b>ESPECES COMMERCIALES</b>								
<i>Etelis carbunculus</i>	ETA	Lutjanidae	Vivaneau Gros-tête, Vivaneau Rouge	VIVANEAUX	1334	139-980	26-18200	75-438
<i>Pristipomoides argyrogrammicus</i>	LRY	Lutjanidae	Colas Orné, Vivaneau Cerf-volant	VIVANEAUX	466	140-317	31-418	148-410
<i>Pristipomoides multidens</i>	LRI	Lutjanidae	Gros Ecal	VIVANEAUX	193	270-865	205-7350	67-276
<i>Lutjanus notatus</i>	QKU	Lutjanidae	Ti-jaune Gueule Rose	VIVANEAUX	138	155-277	51-337	67-170
<i>Etelis coruscans</i>	ETC	Lutjanidae	Vivaneau Flamme	VIVANEAUX	130	212-1124	91-9340	231-399
<i>Lutjanus kasmira</i>	LVK	Lutjanidae	Ti-jaune	VIVANEAUX	118	162-336	56-587	52-143
<i>Eumegistus illustris</i>	EBS	Bramidae	Zambas, Castagnole, Mochong, Bigue	ZAMBAS	113	452-895	1360-9870	259-550
<i>Pristipomoides filamentosus</i>	PFM	Lutjanidae	Vivaneau Blanc	VIVANEAUX	86	193-576	79-1770	85-234
<i>Epinephelus radiatus</i>	EZR	Serranidae	Cabot de fond, Cabot Rayé	MEROUS	85	123-653	23-4520	93-305
<i>Myripristis chryseres</i>	YJ1	Holocentridae	Cardinal Zaille Jaune	DIV. COM.	63	169-255	88-345	82-186
<i>Argyrops filamentosus</i>	KBK	Sparidae	Zégrette	DIV. COM.	57	195-290	123-433	75-265
<i>Polymixia berndti</i>	PSP	Polymixiidae	Barbu de creux	DIV. COM.	37	151-429	46-1195	222-587
<i>Ostichthys kaianus</i>	HWK	Holocentridae	Cardinal de creux, Tabouré	DIV. COM.	34	184-344	165-984	180-322
<i>Beryx decadactylus</i>	BXD	Berycidae	Beryx, Zambas Rose, Bigue Rose	DIV. COM.	32	350-600	581-3010	280-587
<i>Pontinus nigerimum</i>	SC1*	Scorpaenidae	Rascasse de creux, Pestigüe de creux	DIV. COM.	26	161-370	69-663	190-472
<i>Thyrsitoides marleyi</i>	THM	Gempylidae	Snoek, Sabre Noir, Barracuda de creux	DIV. COM.	25	222-1890	36-18000	85-496
<i>Branchiostegus doliatius</i>	TIS	Malacanthidae	Jacquot, Sangol	DIV. COM.	22	247-422	178-901	190-400
<i>Upeneus vittatus</i>	UPI	Mullidae	Capucin Maurice	DIV. COM.	18	133-203	25-127	85-374
<i>Seriola rivoliana</i>	YTL	Carangidae	Carangue batard	DIV. PELAGIQUE	14	<u>400-1100</u>	<u>2000-10000</u>	115-351
<i>Etelis radiosus</i>	EEW	Lutjanidae	Gros-tête Batard	VIVANEAUX	12	272-1005	201-9040	226-380
<i>Priacanthus hamrur</i>	BWH	Priacanthidae	Beauclair La Flamme, B. Lanterne	DIV. COM.	12	232-388	87-631	90-105
<i>Sphyraena jello</i>	BAC	Sphyraenidae	Bécune	DIV. COM.	10	<u>350-605</u>	<u>150-1100</u>	74-95
<i>Cephalopholis aurantia</i>	CFZ	Serranidae	Ananas Batard	MEROUS	6	184-313	108-574	103-127
<i>Cookeolus japonicus</i>	CJN	Priacanthidae	Beauclair de creux	DIV. COM.	6	380-554	944-2600	171-311
<i>Pristipomoides auricilla</i>	LWA	Lutjanidae	Vivaneau Cendré	VIVANEAUX	6	225-314	123-357	148-290
<i>Pristipomoides zonatus</i>	LWZ	Lutjanidae	Jaune Thomas	VIVANEAUX	5	213-415	119-912	170-212
<i>Gymnosarda unicolor</i>	DOT	SCOMBRIDAE	Thon dent de chien	DIV. PELAGIQUE	5	<u>330-1000</u>	<u>420-10000</u>	90-274
<i>Gymnocranius grandoculis</i>	GMW	Lethrinidae	Capitaine Blanc	DIV. COM.	4	<u>450-600</u>	<u>300-3000</u>	98-109
<i>Aphareus rutilans</i>	ARQ	LUTJANIDAE	Lantanier	VIVANEAUX	3		<u>800-8000</u>	107-125
<i>Variola louti</i>	VRL	SERRANIDAE	Rouge Grand Queue	MEROUS	3		<u>2000-2500</u>	109-115

Espèce	Code FAO	Famille	Nom créole	Aggrégation dans groupe espèce	Effectif	Intervalle de taille min-max (mm)	Intervalle de poids min-max (g)	Intervalle de profondeur min-max (m)
<b>ESPECES COMMERCIALES (Suite)</b>								
<i>Epinephelus morrhua</i>	EEP	Serranidae	Cabot de fond	MEROUS	3	158-252	54-220	158-195
<i>Epinephelus octofasciatus</i>	EWO	Serranidae	Cabot Cafre, Cabot Sale, Cabot de Fond	MEROUS	3	210-500	149-1850	212-259
<i>Epinephelus retouti</i>	EWR	Serranidae	Rouge Ti-tête, Zarette Noire	MEROUS	3	190-204	99-132	123-143
<i>Neoscorpaena nielsenii</i>	SC2*	Scorpaenidae	Rascasse de creux, Pestigue de creux	DIV. COM.	3	200-268	128-247	400-445
<i>Paracaesio xanthura</i>	LRX	Lutjanidae	Batavia, Laye Batard	VIVANEAUX	3	298-372	312-600	94-98
<i>Pterygotrigla quezei</i>	GUX	Triglidae	Grondin Mauricien, Crapaud Pointu	DIV. COM.	3	223-269	105-220	399-453
<i>Epinephelus chlorostigma</i>	EFH	Serranidae	Griffin	MEROUS	2	309-320	384-450	143
<i>Pristigenys niphonina</i>	QIK	Priacanthidae	Beauclair de creux	DIV. COM.	2	269-277	568-613	200-230
<i>Caranx sexfasciatus</i>	CXS	CARANGIDAE	Carangue Gros Yeux	DIV. COM.	2		2000-12000	109-115
<i>Epinephelus flavocaeruleus</i>	EEV	SERRANIDAE	Plate Zaille Jaune	MEROUS	2		7000-12000	100
<i>Epinephelus fasciatus</i>	EEA	SERRANIDAE	Rougette	MEROUS	1		1000	120
<i>Bodianus bilunulatus</i>	IQU	Labridae	Chien à Selle Noir	DIV. COM.	1	256-256	227	110
<i>Meganthias natalensis</i>	JLT	Serranidae	Polichinelle	DIV. COM.	1	313-313	258	282
<i>Randallichthys filamentosus</i>	RAI	Lutjanidae	Vivaneau Blême	VIVANEAUX	1	508-508	1303	325
<i>Thunnus albacares</i>	YFT	Scombridae	Thon Jaune	DIV. PELAGIQUE	1		17600	295
<i>Euthynnus affinis</i>	KAW	Scombridae	Bonite La Côte	DIV. PELAGIQUE	1		4000	104
<b>ESPECES NON COMMERCIALES</b>								
<i>Squalus megalops</i>	DOP	Squalidae	Requin Zépine	REQUINS ZEP.	509	309-804	136-2970	175-700
<i>Rexea prometheoides</i>	RXP	Gempylidae	Snoek, Ti-sabre	DIV. NON COM.	101	222-425	54-409	138-530
<i>Promethichthys prometheus</i>	PRP	Gempylidae	Snoek, Ti-sabre	DIV. NON COM.	78	216-564	29-657	82-513
<i>Decapterus tabl</i>	DCT	Carangidae	Comète de creux	DIV. NON COM.	63	193-326	70-379	88-340
<i>Centrophorus moluccensis</i>	CEM	Centrophoridae	Requin Chagrin	REQUINS ZEP.	50	301-876	133-4250	225-666
<i>Aulacocephalus temmincki</i>	UFT	Serranidae	Mérou Savon	DIV. NON COM.	5	205-328	98-486	118-225
<i>Hexanchus nakamurai</i>	HXN	Hexanchidae	Requin Vache, R. aux yeux verts	DIV. NON COM.	4	1010-1730	2930-20680	125-331
<i>Chlorophthalmus sp</i>	GRE	Chlorophthalmidae	Yeux vert	DIV. NON COM.	2	217-244	100-125	358-377
<i>Sphoeroides pachygaster</i>	TSP	Tetraodontidae	Bouf Tang	DIV. NON COM.	2	170-268	112-409	276-343
<i>Antigonia rubescens</i>	BOR	Caproidae	Sanglier	DIV. NON COM.	1	165-165	144	275-275
<i>Media abyssalis</i>	SMY	Synphobranchidae	Kong Bleue, Zanguille Bleue	DIV. NON COM.	1	1076-1076	2540	350
<i>Ruvettus pretiosus</i>	OIL	Gempylidae	Sapotille, Rouvet, Thon La Chiasse	DIV. NON COM.	1	1375-1375	16060	537
<i>Trichiurus lepturus</i>	LHT	Trichiuridae	Sabre	DIV. NON COM.	1	1000-1000	762	411
A IDENTIFIER	XXX*	Inconnue	Inconnue	DIV. NON COM.	71	136-1064	37-6320	26-513



## ANNEXE 6

Planches illustrées des différentes espèces capturées au cours de DMX2.



**ETC** ; *Etelis coruscans* ; Vivaneau la flamme

**LRI** ; *Pristipomoides multidens*; Vivaneau gros écale



**ETA** ; *Etelis carbunculus* ; Vivaneau gros-tête, Vivaneau rubis



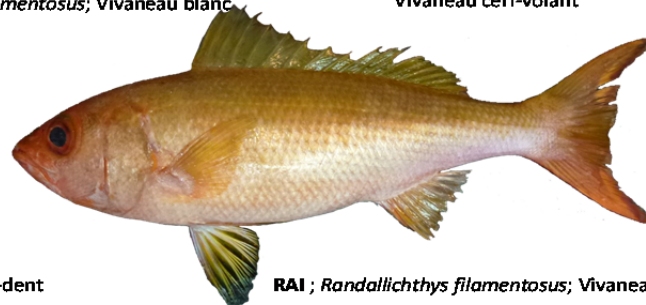
**PFM** ; *Pristipomoides filamentosus*; Vivaneau blanc



**LRY** ; *Pristipomoides argyrogrammicus*;  
Vivaneau cerf-volant



**EEW** ; *Etelis radiosus* ; Vivaneau gros-tête batard, Vivaneau Ti-dent



**RAI** ; *Randallichthys filamentosus*; Vivaneau blême



**LWZ** ; *Pristipomoides zonatus*; Jaune thomas



**LVK** ; *Lutjanus kasmira* ; Ti-jaune



**QKU** ; *Lutjanus notatus*; Ti-jaune geule rose



**LWA** ; *Pristipomoides auricilla* ;  
Vivaneau cendré



**GMW** ; *Gymnocranius grandoculis* ; Capitaine blanc



**BXD** ; *Beryx decadactylus* ; Béryx, Bigue rose



**EBS** ; *Eumegistus illustris* ; Zambas, Bigue, Castagnole



**EWO** ; *Epinephelus octofasciatus* ; Cabot cafre, Cabot sale



**EZR** ; *Epinephelus radiatus* ; Cabot de fond



**EEP** ; *Epinephelus morrhua* ; Cabot de fond



**UFT** ; *Aulacocephalus temmincki* ; Mérrou savon



**BWH** ; *Priacanthus hamrur* ; Beauclair la flamme, Beauclair lanterne



**CIN** ; *Cookeolus japonicus* ; Beauclair de creux



**CFZ** ; *Cephalopholis aurantia* ; Ananas batard



**EWB** ; *Epinephelus retouti* ; Rouge ti-tête, Zarette noire



**JLT** ; *Megarthias natalensis* ; Polichinelle



**BAC** ; *Sphyraena jello* ; Bécune



**DCT** ; *Decapterus tabl* ; Comète de creux



**GRE** ; *Chlorophthalmus sp* ; Yeux verts



**BOR** ; *Antigonía rubescens* ; Sanglier



**YJ1** ; *Myripristis chryseres* ; Cardinal zaille jaune



**KBK** ; *Argyrops filamentosus* ; Zégrette



**HWK** ; *Ostichthys kaianus* ; Cardinal de creux, Tabouré



**SC1** ; *Neoscorpaena nielsenii* ; Rascasse de creux, Pestigue de creux



**SC2** ; *Pontinus nigerimum* ; Rascasse de creux, Pestigue de creux



**IQU** ; *Bodianus bilunulatus* ; Chien à selle noire



**GUX** ; *Pterygotrigla quezei* ;  
Grondin mauricien, Crapaud pointu



**TIS** ; *Branchiostegus dolatus* ; Jacquot, Sangol



**PSP** ; *Polymixia berndti* ; Barbu de creux



**UPI** ; *Upeneus vittatus* ;  
Capucin Maurice



**OIL** ; *Ruvettus pretiosus*; Rouvet, Sapotille, Thon la chiasse



**DOT** ; *Gymnosarda unicolor*; Thon dent de chien



**CXS** ; *Caranx sexfasciatus*; Carangue gros yeux



**THM** ; *Thyrsitoides marleyi* ; Snoek, Sabre Noir, Barracuda de creux



**PRP** ; *Promethichthys prometheus* ; Snoek, Ti-sabre



**RXP** ; *Rexea prometheoides* ; Snoek, Ti-sabre



**CEM** ; *Centrophorus mollucensis*; Requin chagrin



**HXN** ; *Hexanchus nakamurai*; Requin vache, requin aux yeux verts



**DOP** ; *Squalus megalops* ; Requin zépine

## ANNEXE 7

Fiches synthétiques de description du régime alimentaire des espèces de poissons et des informations concernant les sites de pêche, la taille des individus et les valeurs isotopiques.

Les espèces sont classées dans l'ordre alphabétique de leur code FAO :

- D'abord les 8 espèces principales :
  - DOP, *Squalus megalops*, Requin zépine ;
  - EBS, *Eumegistus illustris*, Zambas ou Castagnole ou Mochong ;
  - ETA, *Etelis carbunculus*, Vivaneau gros-tête ;
  - ETC, *Etelis coruscans*, Vivaneau la flamme ;
  - EZR, *Epinephelus radiatus*, Cabot rayé ou Cabot de fond ;
  - LRI, *Pristipomoides multidentis*, Vivaneau gros-écale ;
  - LRY, *Pristipomoides argyrogrammicus*, Vivaneau cerf-volant ;
  - BXD, *Beryx decadactylus*, Béryx ;
  
- Ensuite 18 autres espèces capturés à 5 exemplaires et plus :
  - BWH, *Priacanthus hamrur*, Beauclair la flamme ;
  - CEM, *Centrophorus moluccensis*, Requin chagrin ;
  - CJN, *Cookeolus japonicus*, Beauclair de creux ;
  - DCT, *Decapterus tabl*, Comète de creux ;
  - EEW, *Etelis radiosus*, Vivaneau ti-dent ;
  - HWK, *Ostichthys kaianus*, Cardinal de creux ou Tabouré ;
  - KBK, *Argyrops filamentosus*, Zégrette ;
  - LVK, *Lutjanus kasmira*, Ti-jaune ;
  - PFM, *Pristipomoides filamentosus*, Vivaneau blanc ;
  - PRP, *Promethichthys prometheus*, Ti-sabre ;
  - PSP, *Polymixia berndti*, Barbu de creux ;
  - QKU, *Lutjanus notatus*, Ti-jaune gueule rose ;
  - RXP, *Rexea promethoides*, Ti-sabre ;
  - SC1, *Pontinus nigerimum*, Rascasse de creux ou Pestigue de creux ;
  - THM, *Thyrsitoides marleyi*, Snoek ou Baracuda de creux ;

- TIS, *Branchiostegus doliatus*, Jacquot ou Sangol ;
- UPI, *Upeneus vittatus*, Capucin maurice ;
- YJ1, *Myripristis chryseres*, Cardinal zaile jaune.

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<i>Squalus megalops</i>	Aiguillat nez court	Requin zépine	DOP

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
126	[31 ; 80]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[216 ; 578]	15/04/2014-20/11/2014	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
63	12,12 ± 0,63	[11,03 ; 13,60]	-16,99 ± 0,28	[-18,07 ; -16,18]

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
111	15,28 ± 26,76	[0,06 ; 203,76]	203

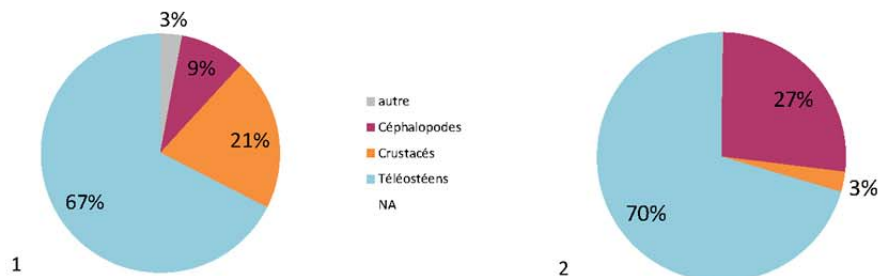



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le nombre d'estomacs analysés est de 111, cela permet d'avoir une bonne description du régime alimentaire de *S. megalops*. L'espèce compte les plus grosses proies retrouvées lors de cette étude (PCS maximum est de 203g en poids frais). Les téléostéens (Myctophidae) dominent l'alimentation de *S. megalops*, à la fois en nombre (Figure 1) et en poids frais (Figure 2). Les crustacés et les céphalopodes sont les deux autres catégories de proies les plus importantes. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés dans une étude réalisée au Sud de l'Australie sur la même espèce (Braccini, Gillanders and. Walker, 2005). La principale différence entre les deux études est la contribution plus importante des céphalopodes en termes de poids en Australie.



Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b>Eumegistus illustris</b>	Brème noire	Mochong, Castagnole, Zambas	EBS

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
	<b>[45 ; 87]</b>
Gamme de profondeur (m) :	Période :
<b>[260 ; 550]</b>	<b>06/05/2014- 16/12/2014</b>

Secteurs de pêche :



**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>73</b>	<b>11,98 ± 0,94</b>	<b>[10,11 ; 14,07]</b>	<b>-17,60 ± 0,46</b>	<b>[-18,56 ; -15,46]</b>

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>16</b>	<b>3,95 ± 4,83</b>	<b>[0,08 ; 20,67]</b>	<b>35</b>

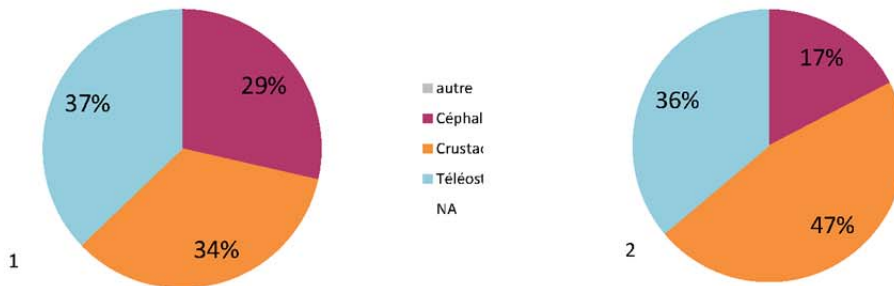


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire se compose de téléostéens, crustacés et de céphalopodes en proportions numériques équivalentes, alors que les céphalopodes ne représentent que 17 % du poids frais. Les téléostéens identifiés appartiennent à la famille des Myctophidae, mais quelques juvéniles de tétraodontiformes ont également été identifiés. Les crustacés sont dominés par les crevettes caridae.

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Etelis carbunculus</i></b>	Vivaneau rubis	Vivaneau rouge, Vivaneau gros tête	ETA

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
190	[16 ; 98]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[75 ; 416]	17/04/2014- 07/11/2014	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
157	12,44 ± 0,65	[11,11 ; 14,04]	-18,07 ± 0,34	[-18,80 ; -17,06]

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
59	1,51 ± 2,75	[0,01 ; 17,2]	81

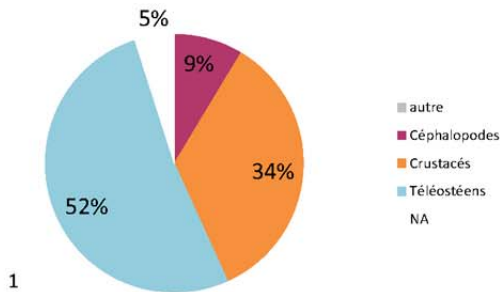


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les téléostéens représentent la moitié des proies retrouvées chez *Etelis carbunculus*. Les crustacés sont le deuxième groupe de proies le plus consommé et quelques céphalopodes ont également été retrouvés. En plus faible proportion, des organismes gélatineux, notée NA, sont présents dans l'alimentation de l'espèce. Malgré une proportion élevée de proies non identifiées, le régime alimentaire semble diversifié au sein des grandes catégories de proies. Les résultats sont conformes à des études précédentes (Allen, 1985 ; Haight et al., 1993)

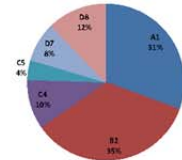
Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Etelis coruscans</i></b>	Vivaneau la flamme	Vivaneau flamme	ETC

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
<b>49</b>	<b>[21 ; 112]</b>
Gamme de profondeur (m) :	Période :
<b>[236 ; 364]</b>	<b>06/05/2014- 03/11/2014</b>

Secteurs de pêche :



### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>48</b>	<b>12,39 ± 0,44</b>	<b>[11,34 ; 13,45]</b>	<b>-18,21 ± 0,33</b>	<b>[-19,44 ; -17,37]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>12</b>	<b>3,67 ± 7,89</b>	<b>[0,07 ; 28]</b>	<b>26</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Plus de la moitié des proies sont des téléostéens (Sternoptychidae, Myctophidae). Des crustacés et des céphalopodes font également partie du régime alimentaire d'*Etelis coruscans*. Sous le terme « autre », on retrouve du végétal. Ces observations sont à prendre au regard du nombre d'estomacs analysés, qui n'est pas très important. Les résultats sont similaires à des études plus anciennes (Allen, 1985 ; Haight et al., 1993).

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Epinephelus radiatus</i></b>	Mérou Zébré	Cabot rayé	EZR

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
33	[12 ; 62]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[93 ; 284]	12/05/2014-07/11/2014	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
33	12,25 ± 0,72	[10,39 ; 13,72]	-17,60 ± 0,33	[-18,20 ; -16,59]

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
5	1,06 ± 0,33	[0,63 ; 1,14]	8



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

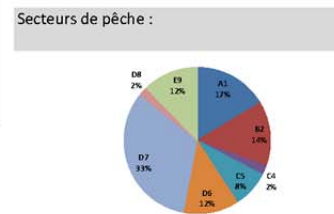
Des crustacés et des téléostéens ont été retrouvés dans les estomacs d'*Epinephelus radiatus*. Cependant, le nombre d'estomac analysé est trop faible pour avoir une bonne description du bol alimentaire de l'espèce. Ces résultats sont cependant concordants avec les données de fishbase.

Nom scientifique : ***Pristipomoides multidentis***      Nom français : Gros Ecal      Nom local : Gros Ecal      Code FAO : LRI

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
<b>49</b>	<b>[34 ; 86]</b>
Gamme de profondeur (m) :	Période :
<b>[294 ; 578]</b>	<b>12/05/2014-07/11/2014</b>



**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>46</b>	<b>11,26 ± 0,33</b>	<b>[10,61 ; 11,92]</b>	<b>-17,29 ± 0,29</b>	<b>[-18,08 ; -16,65]</b>

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>9</b>	<b>1,7 ± 3,17</b>	<b>[0,1 ; 10,06]</b>	<b>10</b>

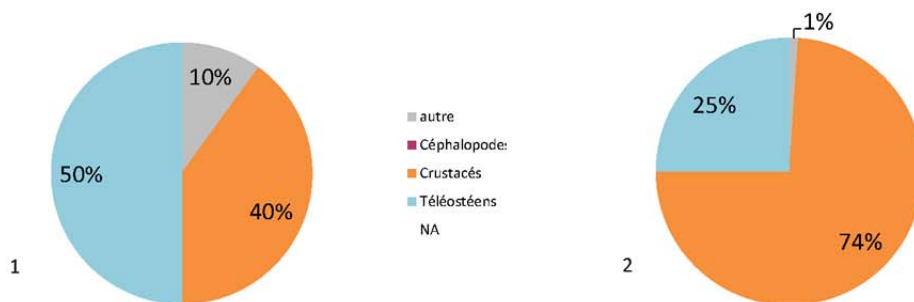


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le nombre d'estomacs analysés est faible. L'espèce semble consommer en grande partie des téléostéens et des crustacés. Cependant, le nombre de proies par estomac est très faible (~1)

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Pristipomoides argyrogrammicus</i></b>	Colas orné	Colas orné	<b>LRY</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>91</b>	<b>[16 ; 29]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[170 ; 410]</b>	<b>23/04/2014-20/11/2014</b>	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>71</b>	<b>11,52 ± 0,48</b>	<b>[10,53 ; 12,45]</b>	<b>-18,30 ± 0,29</b>	<b>[-19,32 ; -17,46]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>50</b>	<b>1,14 ± 1,74</b>	<b>[0,1 ; 11,77]</b>	<b>67</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

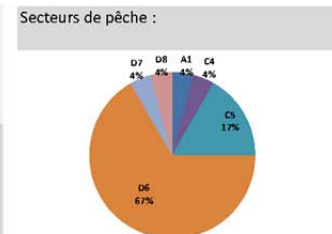
En nombre, les crustacés sont les proies les plus présentes dans le bol alimentaire de *Pristipomoides argyrogrammicus*, ils sont diversifiés (crevettes, crabes, langoustes, stomatopodes). Les téléostéens (Myctophidae) et les organismes gélatineux (NA) sont également présents en proportion non négligeable dans l'alimentation de l'espèce.

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<i>Beryx decadactylus</i>	Beryx commun	Béryx, zambas rose	BXD

## Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
<b>24</b>	<b>[35 ; 60]</b>
Gamme de profondeur (m) :	Période :
<b>[294 ; 578]</b>	<b>30/06/2014-03/11/2014</b>



## Isotopes

Effectif :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>22</b>	<b>13,17 <math>\pm</math> 0,70</b>	<b>[12,22 ; 14,40]</b>	<b>-18,18 <math>\pm</math> 0,43</b>	<b>[-18,68 ; -17,29]</b>

## Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne $\pm$ écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies :
<b>17</b>	<b>5,5 <math>\pm</math> 8,14</b>	<b>[0,11 ; 35,02]</b>	<b>141</b>

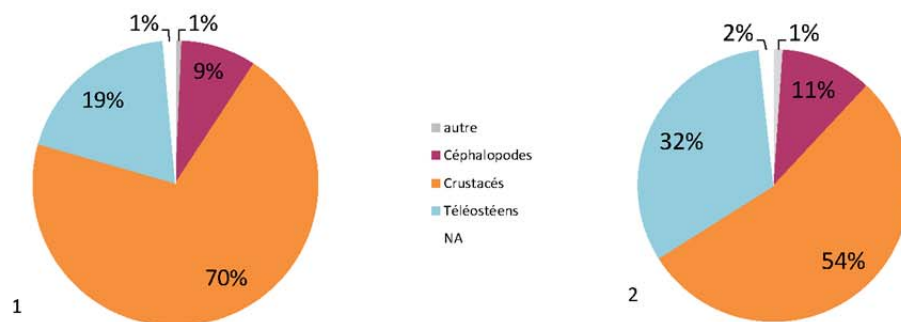


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

L'analyse des contenus stomacaux donnent les mêmes résultats en termes de nombre (Figure 1) et de poids (Figure 2) pour les groupes de proies. Ces observations ont été faites sur 17 estomacs non vides. *Beryx decadactylus* se nourrit majoritairement de crustacés (crevettes Caridae) puis de téléostéens (Myctophyidae, Scombrospyraena) et enfin de céphalopodes. Ces résultats coïncident avec le régime alimentaire décrit dans l'Ouest de l'océan Indien (Shimizu, 1984).

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Priacanthus hamrur</i></b>	Beauclair miroir	Beauclair la flamme	<b>BWH</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>6</b>	<b>[32 ; 37]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[90 ; 105]</b>	<b>19/05/2014- 29/09/2014</b>	



### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>5</b>	<b>10,63 ± 0,46</b>	<b>[9,99 ; 11,15]</b>	<b>-17,57 ± 0,16</b>	<b>[-17,68 ; -17,29]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>4</b>	<b>2,9 ± 2,31</b>	<b>[0,3 ; 5,8]</b>	<b>19</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le plus grand nombre de proies retrouvé chez cette espèce appartient au groupe des crustacés suivis par les téléostéens puis les céphalopodes. Cependant, ces estimations du régime alimentaire sont à prendre avec précaution puisque le nombre d'estomacs est très faible. En effet, seul 4 estomacs non-vides ont été analysés, ce qui est insuffisant. A La Réunion, Malblouke et al. (2013) ont également trouvé une dominance des crustacés pélagiques dans le régime alimentaire de juvéniles pêchés en baie de La Possession.

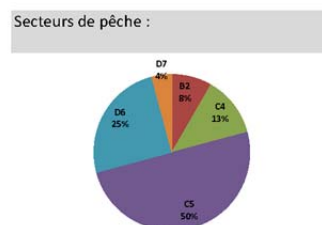


Nom scientifique : ***Centrophorus moluccensis***      Nom français : Requin chagrin      Nom local : Requin chagrin (zépine)      Code FAO : CEM

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
<b>24</b>	<b>[30 ; 88]</b>
Gamme de profondeur (m) :	Période :
<b>[226 ; 542]</b>	<b>12/05/2014-14/10/2014</b>



**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>5</b>	<b>12,47 ± 0,15</b>	<b>[12,30 ; 12,63]</b>	<b>-16,58 ± 0,13</b>	<b>[-16,79 ; -16,46]</b>

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>24</b>	<b>12,43 ± 20,14</b>	<b>[0,1 ; 81,2]</b>	<b>40</b>

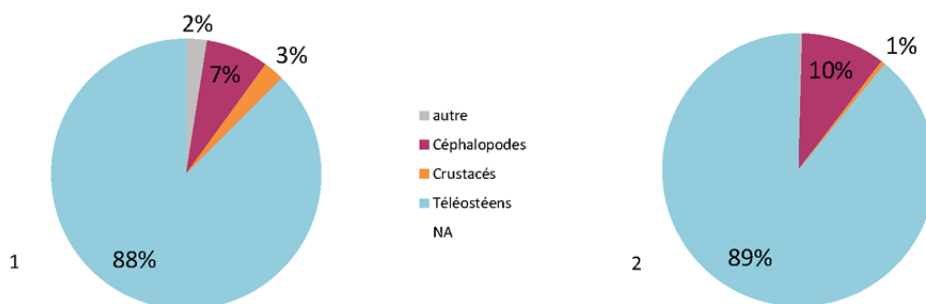


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

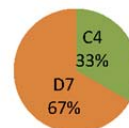
Le régime alimentaire de *Centrophorus moluccensis* est dominé par les poissons de la famille des myctophidae. Ce résultat est identique aux informations de fishbase.

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Cookeolus japonicus</i></b>	Beauclair longue aile	Beauclair de creux	<b>CJN</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>3</b>	<b>[38 ; 55]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[191 ; 346]</b>	<b>30/06/2014-15/10/2014</b>	



### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>0</b>				

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>3</b>	<b>5,73 ± 3,04</b>	<b>[2,37 ; 8,3]</b>	<b>123</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le grand nombre de céphalopodes retrouvé pour *Cookeolus japonicus* est à prendre avec précaution puisque 96 becs inférieurs de calamar ont été retrouvés dans un seul estomac. De plus, le nombre d'estomacs non vides analysés est de 3, ce qui est insuffisant pour décrire le régime alimentaire de l'espèce.

Nom scientifique : ***Decapterus tabl***      Nom français : Comète queue rouge      Nom local : Comète de creux      Code FAO : DCT

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
11	[26 ; 33]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[108 ; 340]	17/06/2014-07/11/2014	

**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	11,37 ± 0,20	[11,05 ; 11,54]	-17,43 ± 0,15	[-17,56 ; -17,26]

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
7	1,42 ± 1,23	[0,5 ; 3,3]	16



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les proies retrouvées en majorité dans les estomacs de *Decapterus tabl* sont les Téléostéens et les crustacés. Des Céphalopodes ont aussi été retrouvés. Notons, que le nombre d'estomacs et de proies retrouvées au sein de ces estomacs sont faibles, ces résultats sont donc à prendre à titre indicatif. Ils sont cependant conformes au régime alimentaire d'un petit pélagique.

Nom scientifique :

***Etelis radiosus***

Nom français :

Vivaneau pâle

Nom local :

Code FAO :

EEW

## Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
8	[27 ; 100]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[228 ; 318]	12/05/2014-03/11/2014	

## Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	12,46 ± 0,31	[12,01 ; 12,84]	-18,06 ± 0,05	[-18,14 ; -18,01]

## Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
3	5,99 ± 9,04	[0,07 ; 16,4]	6



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les trois estomacs d'*Etelis radiosus* contenaient des téléostéens. Ce nombre d'estomac est très insuffisant pour avoir une approximation du régime alimentaire de l'espèce. Les téléostéens semblent faire partie de leur alimentation mais il n'est pas possible de savoir en quelle proportion. Allen (1985) indique que cette espèce se nourrit essentiellement de poissons.

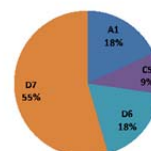
Nom scientifique : ***Ostichthys kaianus***      Nom français : Soldat japonais rayé      Nom local : Cardinal de creux | tabouré      Code FAO : HWK

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :
11	[19 ; 34]
Gamme de profondeur (m) :	Période :
[194 ; 330]	29/04/2014-20/11/2014

Secteurs de pêche :



**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	13,20 ± 0,43	[12,84 ; 13,85]	-17,50 ± 0,25	[-17,72 ; -17,17]

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
8	1,68 ± 1,77	[0,39 ; 5,7]	10



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

La moitié des proies retrouvées dans les estomacs de l'espèce sont du groupe des crustacés. Des téléostéens et des céphalopodes ont aussi été retrouvés. Le nombre d'estomacs est trop faible pour obtenir une bonne description du régime alimentaire d'*Ostichthys kaianus*.

Nom scientifique :

***Argyrops  
filamentosus***

Nom français :

Spare soldat

Nom local :

Zégrette (Spare  
soldat)

Code FAO :

KBK

**Description**

Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
12	[21 ; 27]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[75 ; 270]	12/05/2014- 07/11/2014	

**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	12,00 ± 0,38	[11,34 ; 12,27]	-17,45 ± 0,09	[-17,57 ; -17,32]

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
10	0,68 ± 0,68	[0,1 ; 2,15]	12

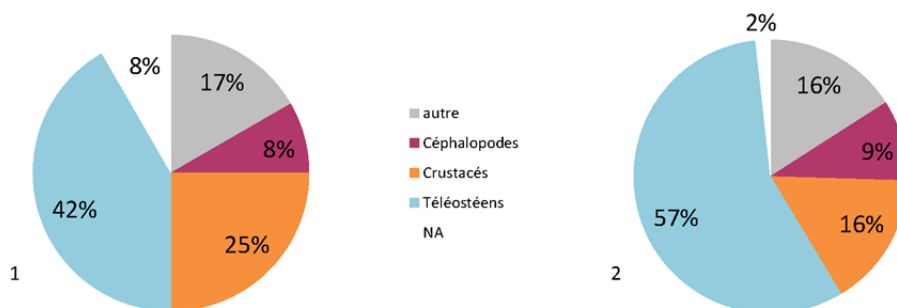


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les estomacs d'*Argyrops filamentosus* contiennent différents groupes de proies. Les proies les plus présentes en nombre sont des téléostéens puis les crustacés. Des groupes moins fréquemment rencontrés lors de l'analyse des contenus stomacaux ont été trouvés, notés sous le terme de « autre », il regroupe un échinoderme et un gastéropode. L'effectif d'estomac étudié est ici trop faible pour une analyse robuste. La dominance des poissons est différente des résultats observés en Afrique du Sud (van der Elst, 1988).

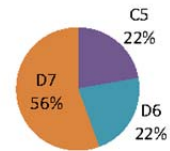
Nom scientifique : ***Lutjanus kasmira***      Nom français : Vivaneau à raies bleues      Nom local : ti-jaune      Code FAO : LVK

**Description**



Effectif :	9	Gamme de taille (cm) :	[20 ; 24]
Gamme de profondeur (m) :	[70 ; 106]	Période :	15/09/2014-21/10/2014

Secteurs de pêche :



**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	11,11 ± 0,25	[10,85 ; 11,52]	-17,72 ± 0,10	[-17,87 ; -17,59]

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
5	6,03 ± 12,51	[0,2 ; 28,4]	9

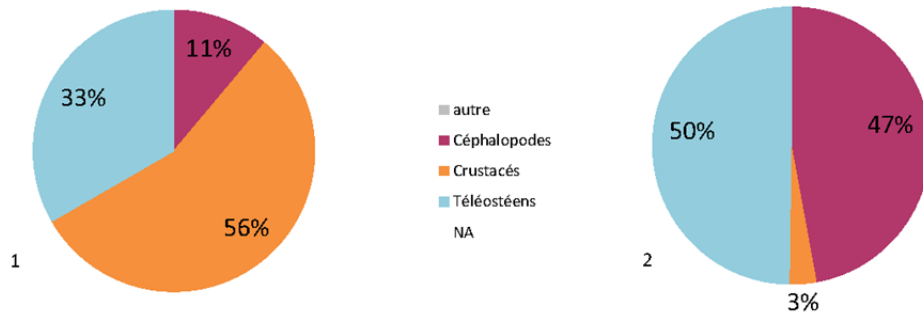


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les crustacés sont majoritairement retrouvés dans les estomacs de *Lutjanus kasmira* suivis des téléostéens et des céphalopodes en plus petite proportion. Cependant, il faut noter que le nombre d'estomacs non-vides est très faible. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Malblouche et al. (2013) sur des juvéniles en Baie de La Possession.

Nom scientifique :

***Pristipomoides  
filamentosus***

Nom français :

Colas fil

Nom local :

Vivaneau blanc

Code FAO :

PFM



## Description

Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
8	[25 ; 38]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[89 ; 165]	15/04/2014- 07/11/2014	

## Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	10,98 ± 0,35	[10,44 ; 11,33]	-18,27 ± 0,10	[-18,41 ; -18,15]

## Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
4	2,26 ± 1,52	[0,22 ; 3,9]	3

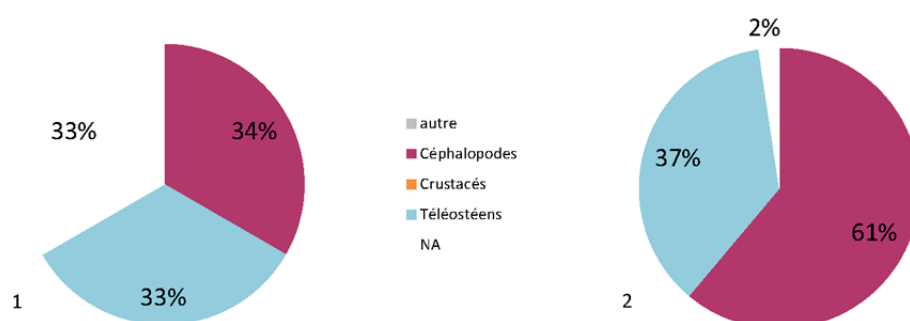


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le nombre d'estomacs et de proies analysés ne permet pas de décrire le régime alimentaire de l'espèce.



Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Promethichthys prometheus</i></b>	Escolier clair	Snoek   escolier clair   ti-sabre	<b>PRP</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>18</b>	<b>[28 ; 52]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[83 ; 453]</b>	<b>17/06/2014-07/11/2014</b>	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>4</b>	<b>11,87 <math>\pm</math> 0,18</b>	<b>[11,68 ; 12,16]</b>	<b>-17,97 <math>\pm</math> 0,05</b>	<b>[-18,02 ; -17,90]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne $\pm$ écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>14</b>	<b>2,58 <math>\pm</math> 3,8</b>	<b>[0,1 ; 15,3]</b>	<b>17</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire est dominé en nombre et en masse par les poissons qui représentent plus de 88 % des proies retrouvées. Ces résultats semblent être différents de ceux de Nakamura et Parin (1993). Le nombre limité de proies retrouvées dans notre étude pourrait expliquer ces différences.

Nom scientifique :

***Polymixia berndti***

Nom français :

Barbe

Nom local :

Barbu de creux

Code FAO :

PSP

## Description

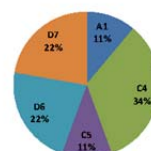


Effectif : Gamme de taille (cm) :

9

[17 ; 43]

Secteurs de pêche :



Gamme de profondeur (m) :

[228 ; 475]

Période :

16/05/2014-  
21/10/2014

## Isotopes

Effectif :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	11,86 $\pm$ 0,67	[11,16 ; 12,60]	-18,13 $\pm$ 0,19	[-18,39 ; -17,90]

## Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne $\pm$ écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
5	2,64 $\pm$ 4,93	[0,1 ; 11,44]	11

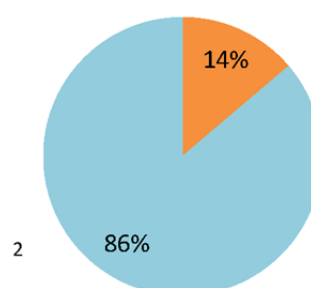
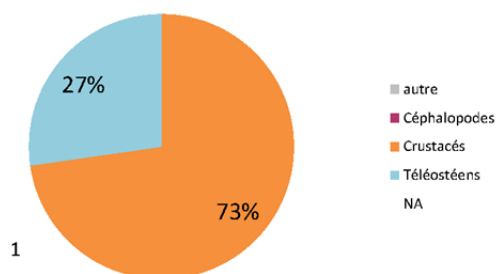


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire est dominé numériquement par les crustacés et par les poissons en masse. Le faible nombre d'estomacs non vides étudiés ne permet pas de conclusion robuste.

Nom scientifique : ***Lutjanus notatus***      Nom français :      Nom local :      Code FAO :  
**Ti jaune gueule rose**      **QKU**

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>14</b>	<b>[19 ; 28]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[75 ; 168]</b>	<b>22/09/2014-07/11/2014</b>	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>5</b>	<b>11,31 ± 0,30</b>	<b>[11,03 ; 11,81]</b>	<b>-17,73 ± 0,08</b>	<b>[-17,84 ; -17,65]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>11</b>	<b>0,61 ± 0,45</b>	<b>[0,1 ; 1,5]</b>	<b>20</b>



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire est dominé par les crustacés et les poissons. Quelques organismes gélatineux ont également été retrouvés dans les restes alimentaires. Parmi les crustacés, des larves de crabes, des crevettes Caridae et des stomatopodes ont été identifiés.

Nom scientifique :

Nom français :

Nom local :

Code FAO :

***Rexea  
prometheoides***

Escolier royal

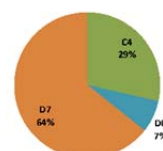
Snoek | ti-sabre

RXP



## Description

Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
14	[27 ; 34]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[164 ; 453]	17/06/2014- 27/11/2014	



## Isotopes

Effectif :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	12,04 $\pm$ 0,41	[11,68 ; 12,54]	-17,81 $\pm$ 0,06	[-17,90 ; -17,75]

## Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne $\pm$ écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
11	3,28 $\pm$ 2,42	[0,45 ; 8,2]	15

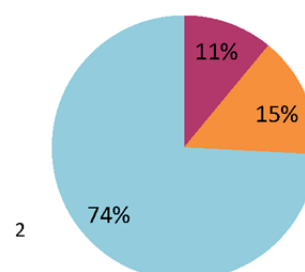
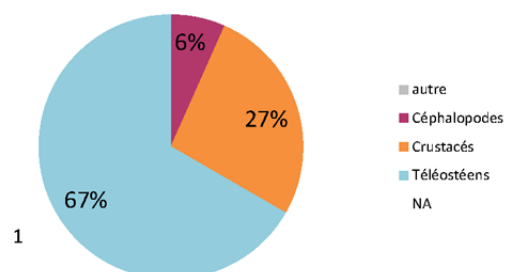


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

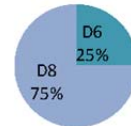
Le régime alimentaire est dominé en nombre et en poids frais par les poissons (Myctophidae). Les crustacés (crevettes Caridae) et les céphalopodes constituent les autres proies.

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Pontinus nigerimum</i></b>	Rascasse 1	Rascasse de creux -1	<b>SC1</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>4</b>	<b>[25 ; 37]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[218 ; 267]</b>	<b>19/05/2014-02/09/2014</b>	



### Isotopes

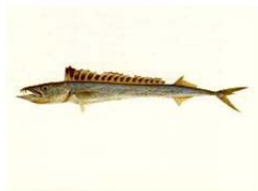
Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>4</b>	<b>12,96 ± 0,37</b>	<b>[12,46 ; 13,32]</b>	<b>-17,73 ± 0,18</b>	<b>[-17,94 ; -17,53]</b>

### Estomacs

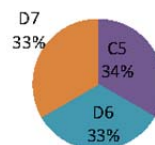
Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>0</b>			

Nom scientifique :	Nom français :	Nom local :	Code FAO :
<b><i>Thyrsitoides marleyi</i></b>	Escolier gracile	Snoek   Sabre noir	<b>THM</b>

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>9</b>	<b>[102 ; 160]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[240 ; 482]</b>	<b>22/05/2014-03/11/2014</b>	



### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>5</b>	<b>14,14 ± 0,81</b>	<b>[12,94 ; 15,17]</b>	<b>-17,12 ± 0,30</b>	<b>[-17,45 ; -16,79]</b>

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>8</b>	<b>31,19 ± 47,14</b>	<b>[2,3 ; 141,54]</b>	<b>11</b>



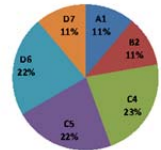
Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire est dominé par les poissons qui sont diversifiés compte tenu des effectifs. Il semble exister du cannibalisme chez cette espèce. Le faible nombre d'estomacs et de proies ne permet pas d'étude approfondie.

Nom scientifique : ***Branchiostegus doliatus***      Nom français : Malacanthé à rayures      Nom local : Jacquot, Sangol      Code FAO : TIS

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
9	[28 ; 40]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[262 ; 425]	25/08/2014-03/11/2014	

### Isotopes

Effectif :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne $\pm$ écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	12,04 $\pm$ 0,46	[11,26 ; 12,42]	-17,82 $\pm$ 0,39	[-18,49 ; -17,57]

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne $\pm$ écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
7	0,93 $\pm$ 0,99	[0,1 ; 2,8]	7



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

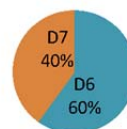
Le régime alimentaire semble diversifié. Les faibles effectifs ne permettent pas de conclure sur le régime alimentaire de l'espèce.

Nom scientifique : ***Upeneus vittatus***      Nom français : Rouget souris à queue rayée      Nom local :      Code FAO : UPI

### Description



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
5	[13 ; 20]	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
[91 ; 370]	22/05/2014-14/10/2014	



### Isotopes

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
5	10,23 ± 0,74	[8,97 ; 10,75]	-18,08 ± 0,63	[-18,79 ; -17,05]

### Estomacs

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
3	1,1 ± 0,79	[0,2 ; 1,7]	3



Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Les faibles effectifs ne permettent pas d'étudier le régime alimentaire de cette espèce.



Nom scientifique : ***Myripristis chryseres***      Nom français : Soldat à queue jaune      Nom local : Cardinal Zaille jaune      Code FAO : **YJ1**

**Description**



Effectif :	Gamme de taille (cm) :	Secteurs de pêche :
<b>15</b>	<b>[19 ; 24]</b>	
Gamme de profondeur (m) :	Période :	
<b>[104 ; 146]</b>	<b>01/08/2014-03/11/2014</b>	

**Isotopes**

Effectif :	Moyenne ± écart type $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{15}\text{N}$ (‰) :	Moyenne ± écart type $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :	Intervalle $\delta^{13}\text{C}$ (‰) :
<b>5</b>	<b>10,66 ± 0,29</b>	<b>[10,25 ; 10,87]</b>	<b>-18,22 ± 0,06</b>	<b>[-18,28 ; -18,16]</b>

**Estomacs**

Effectif estomac :	Moyenne ± écart type PCS (g) :	Intervalle PCS (g) :	Effectif de proies
<b>15</b>	<b>0,47 ± 0,57</b>	<b>[0,1 ; 2,04]</b>	<b>17</b>

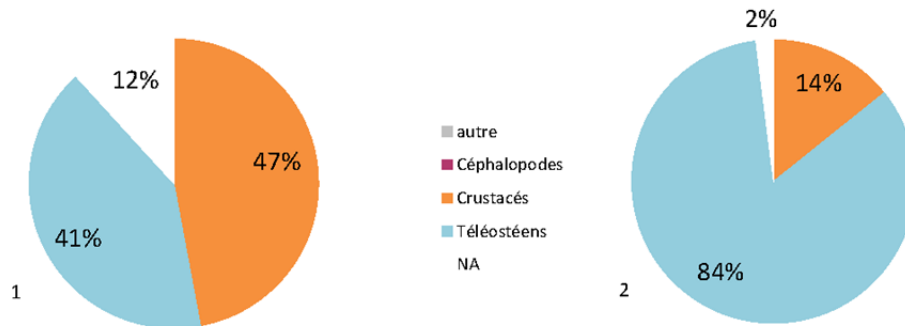


Figure : Proportions des catégories de proies en nombre (1) et en poids frais (2)

Le régime alimentaire semble dominer par les poissons et les crustacés. Parmi les poissons, seules deux larves de poissons de récif ont été identifiées. Chez les crustacés, les crevettes Caridæe, les crabes et un amphipode ont été recensés.

**ANNEXE 8:** Dénomination des numéros d'échantillons et des espèces correspondantes traitées dans l'action 5 (Génétique).

Code	Espèce
DMX497	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-192	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-229	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-667	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-671	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-674	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-710	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-870	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-876	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-929	<i>Etelis radiosus</i>
EEW-1624	<i>Etelis radiosus</i>
ETA-46	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-57	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-58	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-75	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-76	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-77	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-92	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-99	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-100	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-101	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-103	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-106	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-112	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-115	<i>Etelis carbunculus</i>

Code	Espèce
ETA-116	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-118	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-163	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-193	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-249	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-254	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-952	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1387	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1388	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1389	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1390	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1429	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1430	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1433	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1437	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1515	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1520	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1523	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1524	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1531	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1583	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1585	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1772	<i>Etelis carbunculus</i>
ETA-1798	<i>Etelis carbunculus</i>
RAI-1211	<i>Randallichtys filamentosus</i>