

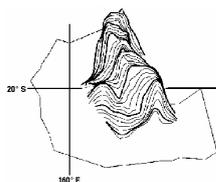
Étude du stock exploité de tazards des Bélep : détermination de l'unité de gestion



Photo : M. Juncker

**Dominique Ponton, Marc Léopold, Philippe Borsa
& Cécile Fauvelot**

**IRD Nouméa
Décembre 2010**



ZoNéCo

PROGRAMME D'ÉVALUATION DES RESSOURCES MARINES
DE LA ZONE ÉCONOMIQUE DE NOUVELLE-CALÉDONIE

Sommaire

1. Cadre de l'étude	5
2. Evaluation de la pêche de tazard du lagon en Nouvelle-Calédonie (M. Léopold)	6
2.1 Matériels et méthodes.....	6
2.1.1 Sources des données de pêche.....	6
2.1.2 Protocole de collecte et analyse des données d'enquêtes	7
2.2 Résultats	10
2.2.1 La distribution spatiale et temporelle de la pêche du tazard du lagon	10
2.2.2 Le risque de ciguatera	12
2.3 Discussion et conclusions volet 1	16
2.3.1 Qualité des données d'enquêtes	16
2.3.2 L'importance de la pêche de tazards en Nouvelle-Calédonie	16
2.3.3 Existe-t-il plusieurs pêcheries de tazards en Nouvelle-Calédonie ?	17
3. Structure génétique de la population du tazard (<i>Scomberomorus commerson</i>) de Nouvelle-Calédonie (P. Borsa & C. Fauvelot).....	20
3.1 Phylogéographie de <i>Scomberomorus commerson</i> à l'échelle de son aire de distribution.....	20
3.2 La population de <i>Scomberomorus commerson</i> de Nouvelle-Calédonie	26
3.3 La population de <i>Scomberomorus commerson</i> de l'archipel des Bélep : échelle spatio-temporelle	29
3.4 Conclusions volet 2	30
4. Volet biologique (D. Ponton).....	32
4.1 Contexte de ce volet.....	32
4.2 Matériel et méthodes	32
4.2.1 Paramètres recueillis sur chaque individu	32
4.2.2 Analyses au laboratoire	32
4.3 Résultats	37
4.3.1 Nombre d'individus analysés	37
4.3.2 Sex ratio	37
4.3.3 Age et croissance.....	38
4.3.4 Forme des otolithes	44
4.4 Conclusions volet 3	47
5. Références citées	49

1. Cadre de l'étude

Dans le contexte d'un développement de la pêche commerciale au tazard du lagon *Scomberomorus commerson* à Bélep, la première phase (2007-08) de l'étude du stock exploité a permis : 1) de faire l'état des lieux des connaissances sur l'écologie et l'exploitation de l'espèce dans l'Indo-Pacifique et en Nouvelle-Calédonie, 2) de mettre en place un suivi des captures commercialisées à Bélep afin de récolter des paramètres biologiques, 3) de faire une description complète de l'activité de pêche et de la suivre pendant la même période, et 4) de définir les études prioritaires à conduire en 2008-2009.

Les résultats présentés ici correspondent à l'opération de recherche proposée en 2008 qui comprenait des volets halieutique, génétique et biologique :

- Pour le volet halieutique, le suivi des débarquements à Bélep devait être poursuivi sur le même protocole mais selon un échantillonnage ajusté, afin d'obtenir une première évaluation de la variabilité inter-annuelle des paramètres mesurés et de permettre la mise en place d'un suivi de la pêche sur le long terme. Parallèlement, les activités de pêche devaient être évaluées à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie de manière quantitative et spatialisée à partir d'enquêtes auprès des pêcheurs, afin de dégager des informations sur le fonctionnement de la (des) pêcherie(s) et d'émettre des hypothèses sur la dynamique de la ressource, notamment l'existence de plusieurs populations (ou stocks).
- Pour le volet génétique, le but était de déterminer si la population de tazards dans la zone des îles Bélep représente une unité biologique géographiquement identifiée et fonctionnellement indépendante des autres (c'est-à-dire une unité de gestion), ou s'il s'agit d'un sous-ensemble d'une population unique géographiquement étendue à tout le pourtour de la Grande Terre, à l'archipel de Nouvelle-Calédonie, voire à tout le Pacifique Ouest.
- Enfin, l'échantillonnage en plusieurs sites de l'archipel calédonien devait permettre de développer un volet biologique destiné à compléter les informations obtenues sur la biologie de cette espèce (sex-ratio, croissance, etc.), et à conforter éventuellement les résultats de l'étude génétique via une étude de la forme des otolithes.

La synthèse de ces trois volets figure dans un rapport séparé :

Léopold M., Ponton D., Borsa P., Fauvelot C., 2010. Gestion de la ressource en tazards du lagon aux îles Bélep (Nouvelle-Calédonie). Rapport ZONECO/IRD, Nouméa, 30 p.

2. Evaluation de la pêcherie de tazard du lagon en Nouvelle-Calédonie (M. Léopold)

2.1 Matériels et méthodes

2.1.1 Sources des données de pêche

En l'absence de données statistiques de pêche représentatives à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, la pêcherie de tazards a été évaluée de manière quantitative et spatialisée en compilant trois enquêtes, dont deux réalisées antérieurement à la présente étude, afin de valoriser les informations disponibles, utiliser des données homogènes, et minimiser les coûts de collecte de données supplémentaires :

- une enquête réalisée par Hugues Casabonnet aux îles Bélep en 2007 auprès des 18 pêcheurs de tazards les plus actifs l'année précédente (Casabonnet, 2007). Ces enquêtes ont permis d'estimer la distribution géographique de l'activité de pêche en 2006 à Bélep (effort de pêche et captures). Pour information, la production a été plus élevée de 30 % en 2007 et de 13 % en 2008,
- une enquête réalisée par Isabelle Jollit entre octobre 2004 et octobre 2005 dans le lagon sud-ouest dans les communes de Boulouparis, Païta, Dumbéa, Nouméa et Mont-Dore, auprès de 333 pêcheurs plaisanciers interviewés aux rampes de mises à l'eau (Jollit, 2010). L'enquête a permis d'estimer la production de la pêche plaisancière et sa distribution en 2005 dans le lagon sud-ouest, et pour le tazard du lagon en particulier. La flottille n'a pas subi de transformation majeure entre 2005 et 2007, et à notre connaissance, la ressource n'a pas montré de fluctuations exceptionnelles sur cette période,
- une enquête de Matthieu Junker menée dans le cadre de la présente étude ZONECO, complétant les données précédentes, réalisée entre août et octobre 2008 auprès de 95 pêcheurs de tazards de la Grande-Terre (professionnels ou non). Cette enquête porte sur l'activité des pêcheurs de tazards en 2007.

Il est important de noter que les sources de données utilisées dans cette synthèse, et qui couvrent la période 2005-2007, sont ainsi le résultat d'un compromis entre le coût de l'information et la précision requise des évaluations pour répondre aux questions de gestion de la pêcherie du tazard du lagon en Nouvelle-Calédonie (et à Bélep en particulier). Bien que provenant d'enquêtes différentes, les données de pêche sont homogènes dans la mesure où elles ont été collectées selon une méthodologie comparable (cf. ci-dessous). Les estimations permettent de définir un état approximatif de la pêcherie néo-calédonienne de tazard sur la période 2005-2007.

2.1.2 Protocole de collecte et analyse des données d'enquêtes

2.1.2.1 Echantillonnage des pêcheurs de tazards

Pour les enquêtes réalisées à Bélep et dans le lagon sud-ouest, le lecteur est renvoyé aux publications respectives qui décrivent la stratégie d'échantillonnage (Casabonnet, 2007 ; Jollit, 2010). Dans le lagon sud-ouest, le nombre de bateaux ciblant le tazard a été estimé à partir de l'échantillon total de pêcheurs rencontrés par Jollit (n = 542), et non dénombré comme dans les autres communes.

L'enquête réalisée sur la Grande-Terre pour la présente étude a été conduite selon un échantillonnage des pêcheurs de tazards dans chaque commune visitée, après une réunion d'information publique. Seuls les propriétaires d'embarcations sont interrogés pour éviter les doubles comptages. Au sein de chaque commune, ces pêcheurs ont été recensés et dénombrés lors de cette réunion et au fil des enquêtes, puis 95 d'entre eux ont été rencontrés de manière aléatoire. Les pêcheurs ont été classés selon deux catégories d'activité suivant leur propre activité et/ou les perceptions de leurs pairs (dans le cas des pêcheurs non enquêtés notamment) : « pêcheur occasionnel » ou « pêcheur spécialisé ». A posteriori, les enquêtes ont permis de définir des seuils pour distinguer ces deux classes : activité occasionnelle (production annuelle estimée ≤ 310 kg ou nombre annuel de sorties estimé ≤ 25) et activité soutenue (production annuelle estimée > 310 kg ou nombre annuel de sorties estimé > 25). Ces seuils concordent avec les perceptions enregistrées pour 81 % des pêcheurs enquêtés.

2.1.2.2 Administration des questionnaires

Les trois enquêtes ont été réalisées selon une approche ayant apporté des résultats satisfaisants en terme de fiabilité des données de pêche sur la côte ouest de Nouvelle-Calédonie (Guillemot et al., 2009 ; Guillemot et Léopold, 2009 ; Jollit et al., 2009).

L'enquête réalisée sur la Grande-Terre en 2008 pour la présente étude a utilisé la même approche que celle développée à Bélep en 2007, et qui a été décrite dans un précédent rapport ZONECO (Léopold et al., 2009).

Brièvement, un questionnaire est administré pas à pas pendant 20 minutes à 2 heures selon la complexité de l'activité de pêche. Il doit permettre à chaque pêcheur i) d'estimer son activité (effort et captures) chaque mois de l'année précédente à partir des captures moyennes par sortie et de l'effort mensuels, et ii) de localiser ses zones de pêches sur une image satellitaire (1 :100 000).

Cette approche repose sur la mémoire des pêcheurs et procède à partir des événements récents pour reconstruire progressivement l'historique de leur activité. Des silhouettes de tazards mesurant de 70 à 130 cm leur étaient présentées pour déterminer la structure en longueurs de leurs captures, qui étaient convertie en kg par la relation longueur-poids de l'espèce. Certains pêcheurs ont estimé directement leurs captures en kg.

Des informations sur la période d'abondance maximale et le caractère ciguatérique de l'espèce ont été collectées en complément des données quantitatives sur l'activité de pêche.

L'enquête de 2005 n'a pas été effectuée spécifiquement pour le tazard, et les silhouettes n'ont pas été présentées (Jollit, 2010). Une carte nautique du lagon sud-ouest (1 :770 000) a été utilisée.

2.1.2.3 Analyse des données d'enquêtes

L'activité de pêche a été analysée sur une base géographique. Les captures annuelles ont été estimées par commune par inférence statistique :

- Aux îles Bélep, la production de 2006 a été estimée par les enquêtes de Casabonnet en 2007 (Léopold et al., 2009).
- Sur la Grande-Terre, la production a été estimée :
- à partir des deux enquêtes dans le lagon sud-ouest (communes de Boulouparis, Païta, Dumbéa, Nouméa et Mont-Dore). Les données de l'enquête de Jollit (2005) ont été utilisées pour évaluer la catégorie de pêcheurs ayant une activité occasionnelle, et les données d'enquêtes de Junker (2008) ont complété ces informations et permis d'évaluer la catégorie de pêcheurs ayant une activité soutenue. Pour chaque enquête, l'extrapolation des données de l'échantillon a été effectuée selon une simple stratification par commune. Les données de production des deux enquêtes ont ensuite été additionnées pour estimer la production des cinq communes de la zone.
- à partir de l'enquête de Junker (2008) uniquement dans les autres communes de la Grande-Terre. L'extrapolation des données de captures est alors basée sur une double stratification a posteriori de l'échantillonnage (catégories de pêcheurs et communes).

La procédure de cartographie de la densité de captures de tazard (kg.km^{-2}) dans un système d'information géographique (SIG) a été introduite dans un précédent rapport ZONECO pour le cas des îles Bélep (Léopold et al., 2009). Elle est rappelée ici de manière schématique (Figure 1). Le maillage de 10 km^2 est adapté à l'échelle de l'étude, mais surestime l'aire exacte des zones de pêche (dont il englobe les contours dessinés par les pêcheurs). La méthode a été appliquée conjointement aux trois enquêtes de manière à produire une carte homogène couvrant l'ensemble de la pêcherie de tazards de Nouvelle-Calédonie. On notera cependant que l'enquête réalisée dans le lagon sud-ouest peut avoir conduit à une sous-estimation de la couverture spatiale de l'effort de pêche dans cette zone.

La connaissance des pêcheurs sur le risque d'intoxication par la ciguatera (ou « gratte ») suite à la consommation de tazards a également été cartographiée, en comptabilisant le nombre de pêcheurs ayant mentionné des cas d'intoxication (saisonniers ou non) sur chaque zone de pêche.

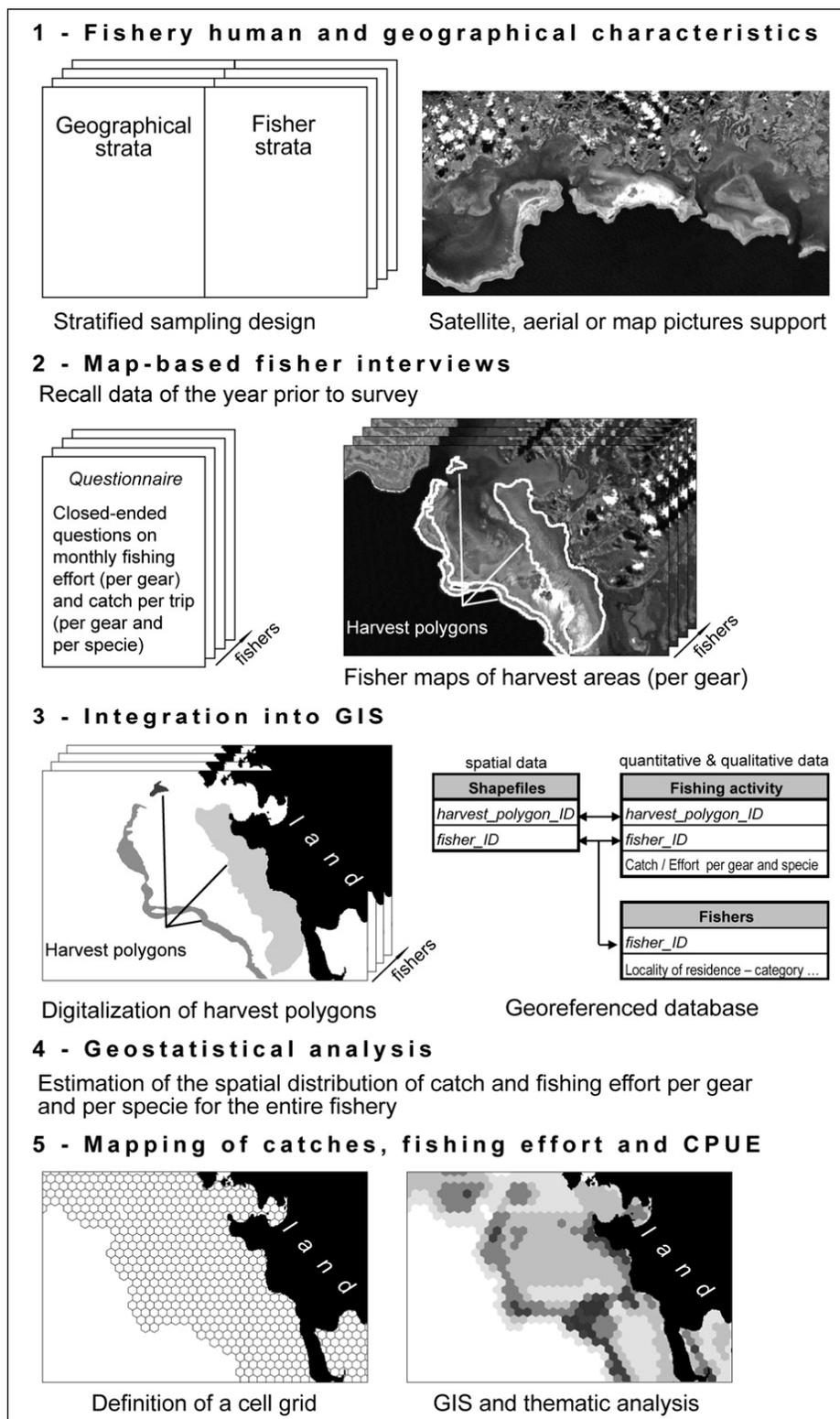


Figure 1. Procédure de collecte et d'analyse de l'information géographique pour cartographier les données d'interviews des pêcheurs en cinq étapes (adapté de Léopold et al., soumis). La maille utilisée dans la carte finale est de 10 km².

2.2 Résultats

2.2.1 La distribution spatiale et temporelle de la pêche du tazard du lagon

2.2.1.1 L'activité à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie

Le nombre d'embarcations ciblant le tazard en Nouvelle-Calédonie a été estimé à 550 environ, dont 24 % des propriétaires ont été échantillonnés (Figure 2). La production annuelle a été estimée à 165 t environ. Il n'a pas été possible de calculer statistiquement l'incertitude de cette estimation, mais compte tenu des erreurs d'estimations observées par commune, il est raisonnable de considérer un intervalle de confiance à 95 % de l'ordre de [140 t - 190 t], hors erreurs d'estimation dues à la méthode elle-même (cf. § 4.3). D'après les enquêtes, la flottille totalise un effort annuel de 4700 sorties environ, soit seulement 8,5 sorties.bateau⁻¹.an⁻¹ en moyenne (Figure 3). Cette fréquence varie cependant de 1 à 40 d'un pêcheur à l'autre.

2.2.1.2 La répartition spatiale de la pêche

La production déclarée par les pêcheurs est extrêmement variable : de 10 à 2400 kg.an⁻¹ sur la Grande-Terre, et jusqu'à plus de 4000 kg.an⁻¹ à Bélep. La traîne (appât mort ou leurre artificiel) est l'engin majoritaire (9 pêcheurs sur 10 l'utilisent, dont la plupart comme engin principal) mais le fusil sous-marin est employé par près de 50 % des pêcheurs enquêtés. Les 4/5 des bateaux pratiquent une activité occasionnelle et 1/5 une activité soutenue selon la classification retenue. Ce taux est cependant beaucoup plus élevé aux îles Bélep (46 % contre 15 % sur la Grande-Terre) où la pêche commerciale du tazard est plus développée. Cette commune compte ainsi seulement 4 % des embarcations ciblant le tazard dans le pays, mais représente 20 % de la production totale. Près de la moitié des bateaux (n = 256) opère dans le lagon sud-ouest (communes situées entre Boulouparis et Mont-Dore), où est capturé près de 37 % de la production.

Bien que quatre fois plus nombreux que les pêcheurs dits « spécialisés », les pêcheurs « occasionnels » débarqueraient ainsi une production annuelle équivalente.

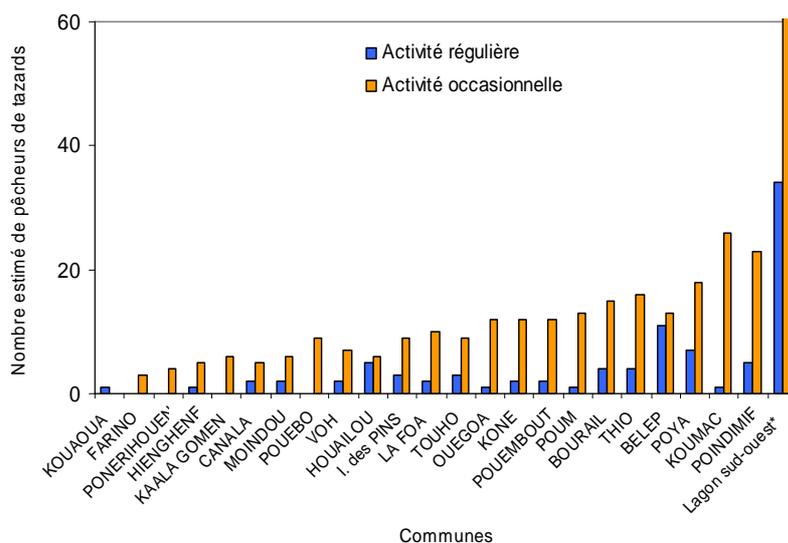


Figure 2. Nombre estimé de pêcheurs de tazard par commune en Nouvelle-Calédonie (données d'enquêtes 2005 (lagon sud-ouest), 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)). * Lagon sud-ouest : communes comprises en Boulouparis et Mont-Dore.

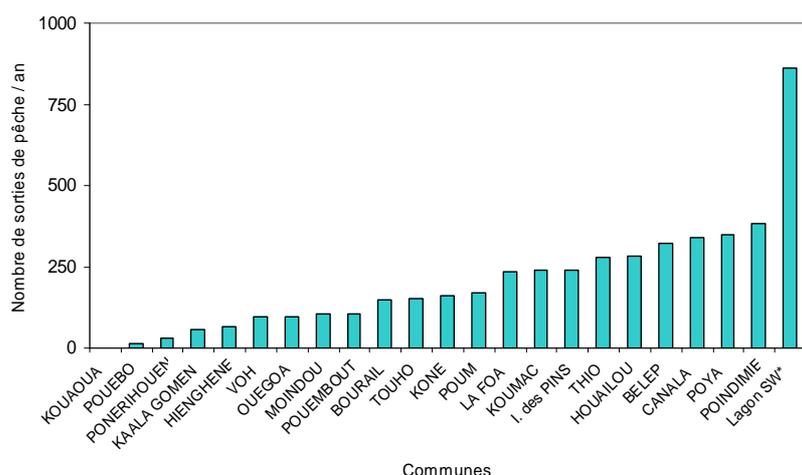


Figure 3. Nombre estimé de sorties de pêche du tazard par commune en Nouvelle-Calédonie (données d'enquêtes 2005 (lagon sud-ouest), 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)). * Lagon sud-ouest : communes comprises en Boulouparis et Mont-Dore.

Les principaux foyers de pêche du tazard sont localisés dans le Grand-Nouméa et à Bélep, et dans une moindre mesure à Poindimié, Houailou et Poya (Figure 5). Le tazard reste rarement capturé aux îles Loyauté (Ouvéa). Si les zones de pêche s'étendent du nord au sud de la Grande-Terre, le lagon est très inégalement exploité. La surface exploitée couvre 930 km², soit 4 % seulement de l'espace lagonaire disponible autour de la Grande-Terre. Les captures estimées sont les plus importantes par km² de lagon autour des îles Bélep (85 kg.km⁻² en moyenne), dans le lagon sud-ouest (66 kg.km⁻²), sur la côte est dans le secteur compris entre Touho et Thio (31 kg.km⁻²), et plus localement sur la côte ouest dans la zone de Koné-Pouembout (40 kg.km⁻²) et Népoui (100 kg.km⁻²) (Figure 6). Les zones de pêche apparaissent très localisées, le long du littoral, au niveau des passes du récif barrière et autour de certains récifs des lagons.

2.2.1.3 Les variations temporelles de la pêche

La saisonnalité de l'activité de pêche est très marquée. D'après la grande majorité des pêcheurs enquêtés en 2008 sur la Grande-Terre, il existe une « haute saison » de la pêche du tazard, c'est à dire une période d'abondances maximales et donc d'activité de pêche maximale, où les rendements peuvent atteindre plusieurs dizaines de kg par sortie (voire plus dans les cas exceptionnels). Ainsi 68 % des pêcheurs enquêtés sur la Grande-Terre ciblent le tazard uniquement pendant cette période, ce taux étant comparable (63 %) chez les pêcheurs dits « spécialisés ». Plus de 90 % des captures auraient lieu à ce moment de l'année.

La « haute saison » de pêche diffère selon les régions en Nouvelle-Calédonie. Elle se situe clairement en novembre et décembre sur la côte ouest (92 % des pêcheurs) et la côte est (82 %), au moment de la reproduction, octobre et janvier apparaissant comme des mois de transition (Figure 4). Cependant, l'activité semble se poursuivre le reste de l'année sur la côte est pour 17 à 33 % des pêcheurs enquêtés, contre seulement 4 à 19 % sur la côte ouest (voire moins de 8 % entre mars et août). Cette saisonnalité n'est pas liée à l'engin de pêche utilisé.

La situation apparaît différente à l'île des Pins, où la pêche est plus productive entre mai et octobre avec un pic en août (38 à 75 % des pêcheurs interrogés). Cette saisonnalité est similaire à celle observée à Bélep (Léopold et al., 2009).

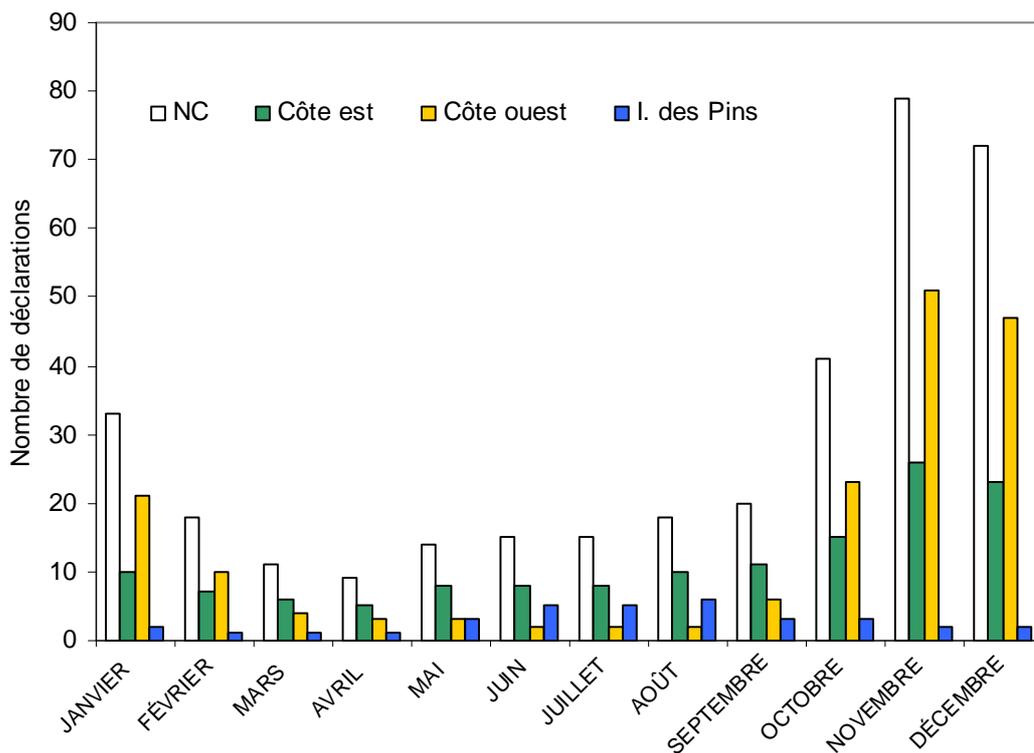


Figure 4. Haute saison de la pêche du tazard en Nouvelle-Calédonie selon les déclarations des pêcheurs interrogés en 2008 (côte est : 30 pêcheurs ; côte ouest : 53 pêcheurs ; île des Pins : 8 pêcheurs).

2.2.2 Le risque de ciguatera

Compte tenu de l'importance de la production (et donc de la consommation) de tazards en Nouvelle-Calédonie, il est implicite que l'espèce y est globalement réputée peu « gratteuse ». L'enquête réalisée montre cependant que les perceptions du risque de « gratte » impactent de manière différente la pêche du tazard à l'échelle du pays (Figure 7). Près de 60 % des zones de pêche seraient ainsi indemnes de risque toute l'année, et 27 % présenteraient un risque faible (une seule déclaration de cas). Le risque semble cependant avéré dans des zones localisées près de la passe de Koné, à Népoui, à La Foa, à Thio et dans le nord de l'île des Pins, soit une vingtaine de km² au total.

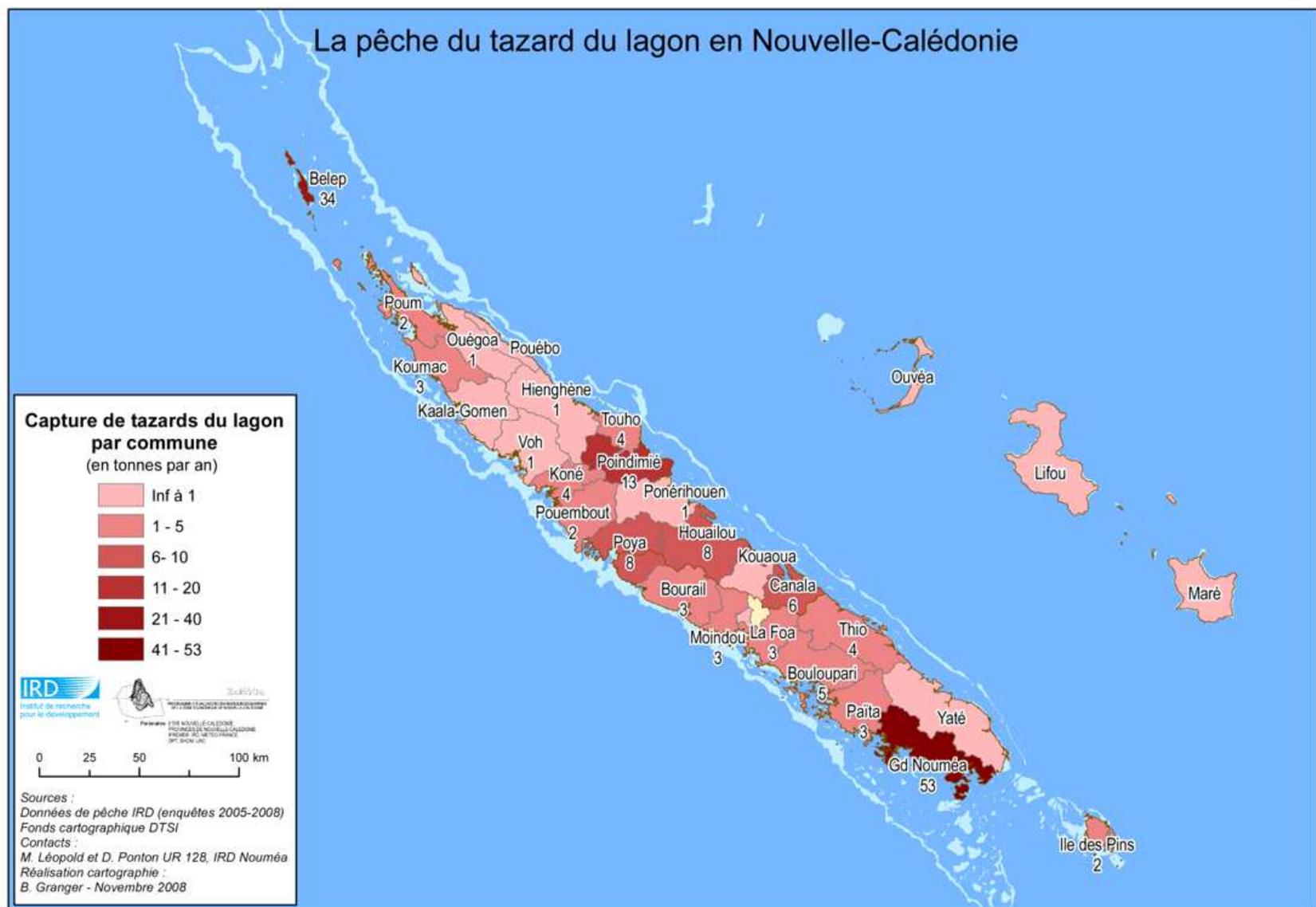


Figure 5. Production de tazarids du lagon par commune en Nouvelle-Calédonie (données d'enquêtes 2005 (lagon sud-ouest), 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)).



Figure 6. Distribution spatiale de la densité de captures de tazarads du lagon en Nouvelle-Calédonie (données d'enquêtes 2005 (lagon sud-ouest), 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)).



Figure 7. Distribution spatiale du risque d'intoxication par la ciguatera (« gratte ») par le tazard du lagon en Nouvelle-Calédonie (données d'enquêtes 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)).

2.3 Discussion et conclusions volet 1

2.3.1 Qualité des données d'enquêtes

La validation des données d'enquête est une difficulté récurrente et ancienne des approches quantitatives basées sur les perceptions des populations locales (Sudman et Bradburn 1973). L'estimation de la production de Nouvelle-Calédonie (soit 165 t.an⁻¹) est très probablement entachée d'une erreur, non quantifiable, évaluée grossièrement à +/- 25 t. Cette précision est à considérer comme un ordre de grandeur, et non une réalité statistique.

La comparaison entre les données de captures estimées par les pêcheurs et leurs débarquements réels a néanmoins pu être effectuée dans la pêcherie de Bélep, où ces deux sources de données étaient disponibles en 2006. Les résultats ont montré que les estimations par enquête étaient supérieures de 17,8 % (soit 3,4 t) aux quantités enregistrées dans l'atelier de transformation (Léopold et al. 2009). Cet écart a été jugé acceptable compte tenu des fluctuations interannuelles de la production.

L'origine de cet écart, bien qu'incertaine par nature, peut provenir d'erreur d'estimation de l'effort de pêche (nombre de sorties de pêche), des captures déclarées par sortie, et/ou du dénombrement des bateaux utilisés pour la pêche du tazard.

La surestimation des événements rares (c'est à dire des sorties de pêche à rendement supérieure à la médiane dans notre cas) est en particulier un phénomène statistique déjà observé (Bernard et al. 1984) mais que cette étude n'a pu mesurer. Il conduirait à une surestimation des captures.

Une autre source d'erreur pourrait provenir des outils mis à disposition des pêcheurs pour décrire leur production. Dans l'étude réalisée par Junker (2008), la taille moyenne des tazards des pêcheurs ayant décrit la structure en taille de leurs prises était en effet de 100 cm, contre 80 cm pour ceux ayant décrit leurs captures directement en kg indépendamment du lieu et de la période de pêche, soit une surestimation de 25 % (si l'on considère comme plus probable la valeur de 80 cm). Cet écart a été pris en compte pour corriger d'un facteur 0,8 les tailles des individus utilisées pour estimer la production dans l'enquête de Junker (2008).

2.3.2 L'importance de la pêcherie de tazards en Nouvelle-Calédonie

Avec environ 165 t débarquées par an, les captures de tazards représenteraient 4 % de la production de poissons récifo-lagonaires estimée en Nouvelle-Calédonie (David et al., 2010), composée de plus d'une centaine d'espèces. Cette part peut donc être considérée comme significative, d'autant que d'autres facteurs viennent renforcer l'importance de cette pêcherie :

- des raisons commerciales, notamment aux îles Bélep qui occupent une place à part car la pêche commerciale du tazard y est beaucoup plus développée que dans les autres communes. La partie commercialisée de la production calédonienne n'a cependant pas été évaluée par cette étude.
- des raisons sociales : le caractère récréatif de la pêche du tazard est très marqué, avec près de 500 embarcations concernées par ce type d'activité. L'organisation du concours annuel de pêche du tazard à Népoui début décembre est une autre illustration du caractère social de la pêche du tazard pour la majorité des embarcations concernées. L'espèce est emblématique de la pêche plaisancière en Nouvelle-Calédonie, et plus particulièrement dans certaines communes de la côte ouest (Koné, Népoui, La Foa, Païta, Grand Nouméa).

Plus de 90 % de la production de la Grande-Terre serait réalisée pendant la « haute saison » de la pêche. Cette période correspond principalement à la période de frai du tazard (novembre-décembre), notamment sur la côte ouest et dans une moindre mesure sur la côte est, où des bancs de tazards sont alors la cible des pêcheurs. Ce phénomène est moins marqué aux îles Bélep et à l'île des Pins, où des bancs sont observés et exploités également en hiver.

La minorité de pêcheurs ciblant le tazard toute l'année témoigne de sa présence dans tout l'espace lagunaire en dehors du frai. Le pic d'activité observé au moment de la ponte est donc sans doute responsable en grande partie de la distribution discontinue des zones de pêche dans le lagon calédonien, les tazards se regroupant pour frayer dans des sites particuliers (passes, récifs, etc.) et bien connus des pêcheurs. Comme de nombreuses espèces récifales ayant ce comportement d'agrégation, le tazard est alors plus accessible à la pêche.

Ce phénomène apparaît exacerbé dans le lagon sud-ouest en particulier, où l'effort de pêche est le plus élevé pendant le frai. A titre de comparaison, les rendements estimés par km² y sont deux fois plus forts que sur la côte est, et seulement 20 % plus faibles qu'aux Bélep, mais la production est réalisée en trois à quatre mois, contre huit mois aux Bélep. Le niveau de pression de pêche actuel sur la côte ouest (centre et sud), combiné à sa localisation sur les zones de frai et au moment du frai, pourrait compromettre l'intégrité de la ressource en tazard sur ces zones. S'il s'avère que ces populations sont connectées à celles des autres lagons et récifs de Nouvelle-Calédonie, cette pression pourrait se répercuter sur la ressource à l'échelle du pays.

2.3.3 Existe-t-il plusieurs pêcheries de tazards en Nouvelle-Calédonie ?

Les données de pêche seules ne permettent pas de conclure clairement sur l'existence de plusieurs populations (ou stocks) de tazards en Nouvelle-Calédonie, mais quelques observations et hypothèses sur la distribution de la ressource en Nouvelle-Calédonie et le fonctionnement de la (des) pêcherie(s) peuvent être établies :

- Les fortes productions et productivités enregistrées aux îles Bélep entre mai et décembre proviennent probablement de la présence d'habitats favorables au frai et à la croissance des tazards après le stade de recrue (c'est à dire vers 60 cm). L'agrégation de frai semble plus importante au sud (îles Daos).
- L'île des Pins abriterait une petite population de tazards présente presque toute l'année, soit un comportement comparable à celui des Bélep mais une ressource bien moins abondante.
- La production et la forte productivité enregistrées sur la côte ouest proviennent presque exclusivement de l'exploitation d'agrégations de ponte.
- Sur la côte est, la situation semble intermédiaire entre le cas des Bélep et de la côte ouest. La ressource est principalement exploitée lors des agrégations de ponte, mais aussi dans une faible mesure le reste de l'année.
- La plus forte concentration de la pêche au moment du frai observée sur la côte ouest par rapport aux îles Bélep, à l'île des Pins, et la côte est dans une moindre mesure, pourrait être induite (a) par des considérations écologiques : la rareté d'habitats préférentiels dans le lagon ouest à proximité des zones urbanisées en dehors du frai provoquerait une baisse de la densité des tazards dans cette zone à cette période, et un désintérêt des pêcheurs préférant alors cibler d'autres ressources (comportement opportuniste) ; (b) par un comportement et/ou un profil socio-économique différent des pêcheurs sur les deux côtes.
- L'hypothèse d'un déplacement restreint (<200 km) de la ressource présente sur les côtes ouest et est n'est donc pas à écarter : une partie des tazards pourrait se rapprocher des côtes des îles

hautes pour frayer (octobre-décembre), et évoluer le reste de l'année dans des zones plus ouvertes et plus profondes, qui sont plus éloignés des ports et mise à l'eau (et donc moins accessibles) sur la côte ouest que sur la côte est, les îles Bélep et l'île des Pins (Fig. 8). Ces déplacements pourraient de proche en proche concerner toute la Nouvelle-Calédonie, ou être restreints à de grands secteurs géographiques (ex. côte ouest, côte est, îles Bélep). Les extrémités nord et sud (île des Pins incluse) de la Grande-Terre pourraient jouer un rôle de pont entre des populations est et ouest. Selon l'une ou l'autre hypothèse, un à plusieurs stocks de tazaras pourrai(en)t être différencié(s) en Nouvelle-Calédonie.

- L'hypothèse d'une grande migration (<400 km) de tazaras de la côte ouest et de la côte est dans une moindre mesure vers les îles Bélep (voire l'île des Pins marginalement) en fin de saison chaude (janvier-février), puis inverse en début de saison chaude (septembre-octobre), n'est pas incompatible avec la baisse de densité constatée entre février et septembre sur la Grande-Terre, et l'abondance de la ressource aux îles Bélep pendant l'année (Figure 8). Les îles Bélep (et plus marginalement l'île des Pins) seraient alors considérées comme la zone principale favorable à la croissance des tazaras en Nouvelle-Calédonie (zone de « puits » en hiver), où on ne rencontrerait donc qu'une seule population (ou stock).

Des études complémentaires en biologie et génétique ont été réalisées pour évaluer la pertinence de ces hypothèses.

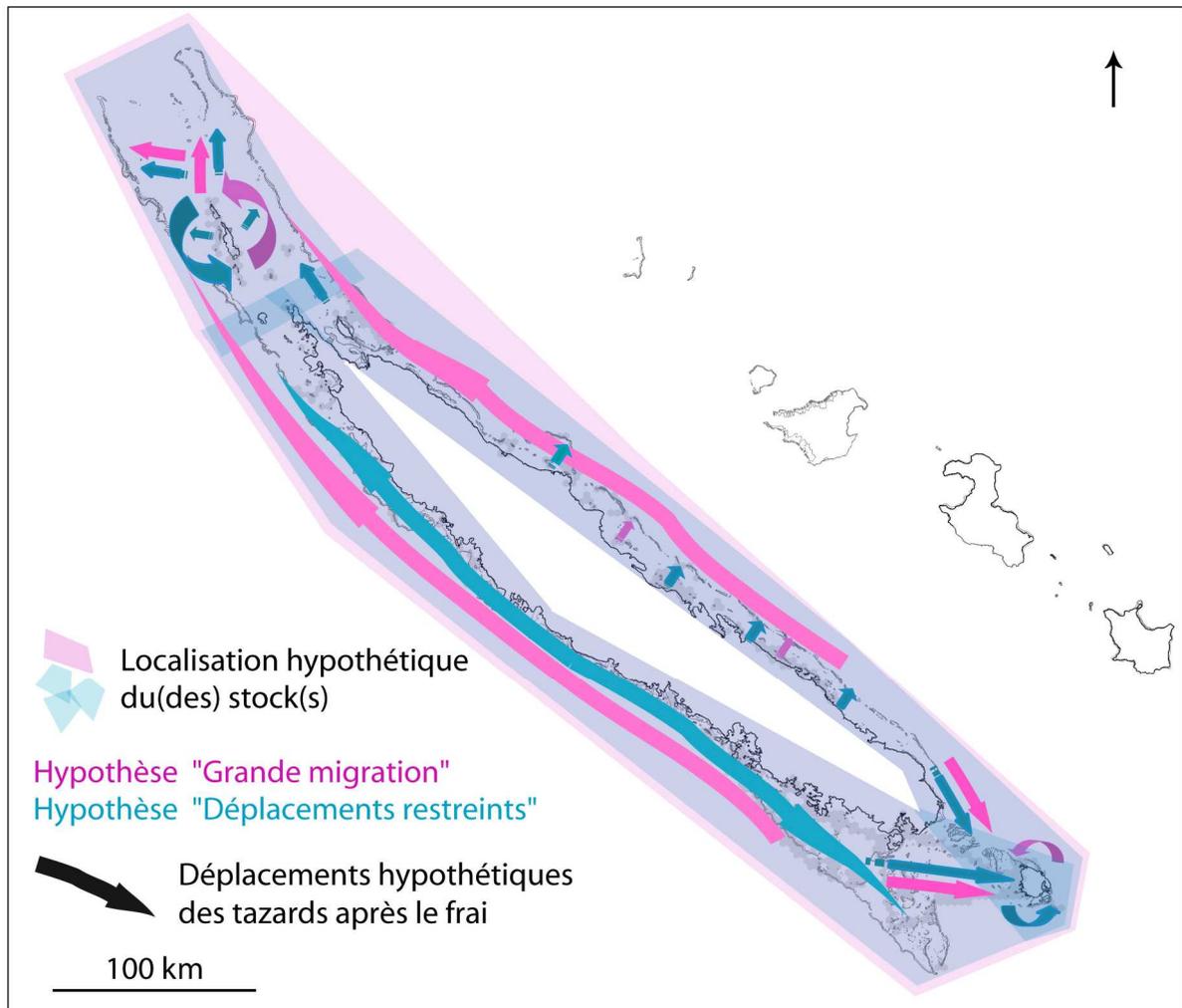


Figure 8. Déplacements du tazaré après la période de frai (novembre-décembre) dans le lagon de Nouvelle-Calédonie selon l'hypothèse de la présence d'une ou plusieurs populations (ou stocks). Des déplacements inverses seraient alors réalisés avant le frai. (D'après les données d'enquêtes 2006 (îles Bélep) et 2007 (Grande-Terre)).

3. Structure génétique de la population du tazard (*Scomberomorus commerson*) de Nouvelle-Calédonie (P. Borsa & C. Fauvelot)

L'objectif de cette étude est de déterminer si la population de tazards (*Scomberomorus commerson*) de la zone des îles Bélep représente une unité biologique géographiquement identifiée et fonctionnellement indépendante des autres (c'est-à-dire une unité de gestion), ou s'il s'agit d'un sous-ensemble d'une population unique géographiquement étendue à tout le pourtour de la Grande Terre, à l'archipel de Nouvelle-Calédonie, voire à tout le Pacifique Ouest.

Un total de 353 tazards capturés par des pêcheurs sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie ont été analysés génétiquement à l'aide de marqueurs moléculaires mitochondriaux et nucléaires. L'échantillonnage était composé de 85 individus de Bélep Nord (toutes saisons confondues), 121 de Bélep Sud (toutes saisons confondues), 50 individus de Canala, 38 individus de Népoui et 59 individus de Nouméa + Mont Dore.

L'ensemble de ces individus ont été soumis à une analyse du polymorphisme de longueur à 8 locus microsatellites. Le polymorphisme de séquence nucléotidique de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial a été analysé, en outre, chez un sous-échantillon de 194 individus.

Nous présenterons la synthèse des résultats obtenus dans ce volet selon trois niveaux d'étude : (1) l'échelle Indo-Pacifique, qui est l'échelle spatiale de la distribution de *Scomberomorus commerson*, ceci afin de placer la population de Nouvelle-Calédonie dans son contexte biogéographique ; (2) l'échelle spatiale de la Nouvelle-Calédonie ; (3) l'échelle spatio-temporelle de l'archipel des Bélep.

3.1 Phylogéographie de *Scomberomorus commerson* à l'échelle de son aire de distribution

En premier lieu, un fragment (385 paires de bases) de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial a été séquencé pour un sous-ensemble de 194 individus de Nouvelle-Calédonie. Ce marqueur a été choisi en raison de son taux de polymorphisme, réputé être le plus élevé pour l'ensemble de la molécule d'ADN mitochondrial, du fait qu'il en constitue la seule partie non codante. Les séquences nucléotidiques des individus ont été comparées à celles d'échantillons d'Indonésie [Bali ($N = 6$ individus), Mer de Java ($N = 4$)] et de Papouasie-Occidentale [Sorong ($N = 13$)] ainsi qu'à toutes les séquences disponibles dans la littérature, soit essentiellement deux jeux de données, l'un d'échantillons du Golfe Persique et de la Mer d'Oman (Hoolihan et al. 2006), l'autre de l'archipel Indo-Malais et d'Australie (Ovenden & Street 2007 ; Sulaiman & Ovenden 2010).

Deux clades majeurs sont observés, l'un dans l'Océan Indien (*I*) et l'autre dans le Pacifique (*II*), démontrant une nette partition géographique de l'espèce à l'échelle de son aire de distribution (en grisé sur la Figure 16). Le clade *II* comprend un haplogroupe diffus basal, présent dans toute la zone Pacifique et dans le Coral Triangle, et quatre sous-clades bien distincts (*Ila*, *Ilb*, *Ilc*, et *Ild*, Figure 9) présents essentiellement en périphérie et issus d'un nœud réticulé central. Ces données sont compatibles avec un modèle de spéciation centrifuge

du Coral Triangle en direction du Pacifique Ouest et, peut-être, en direction de l'Océan Indien. En fait, nos données révèlent une grande complexité de la structure phylogéographique chez le tazard. S'agissant d'un grand poisson pélagique à large distribution Indo-Pacifique, une telle complexité était inattendue : nos résultats se démarquent de ceux publiés dans la littérature sur les grands poissons pélagiques (par ex. le wahoo, le thon obèse, la bonite à ventre rayé, le voilier, ou encore les grands requins pélagiques).

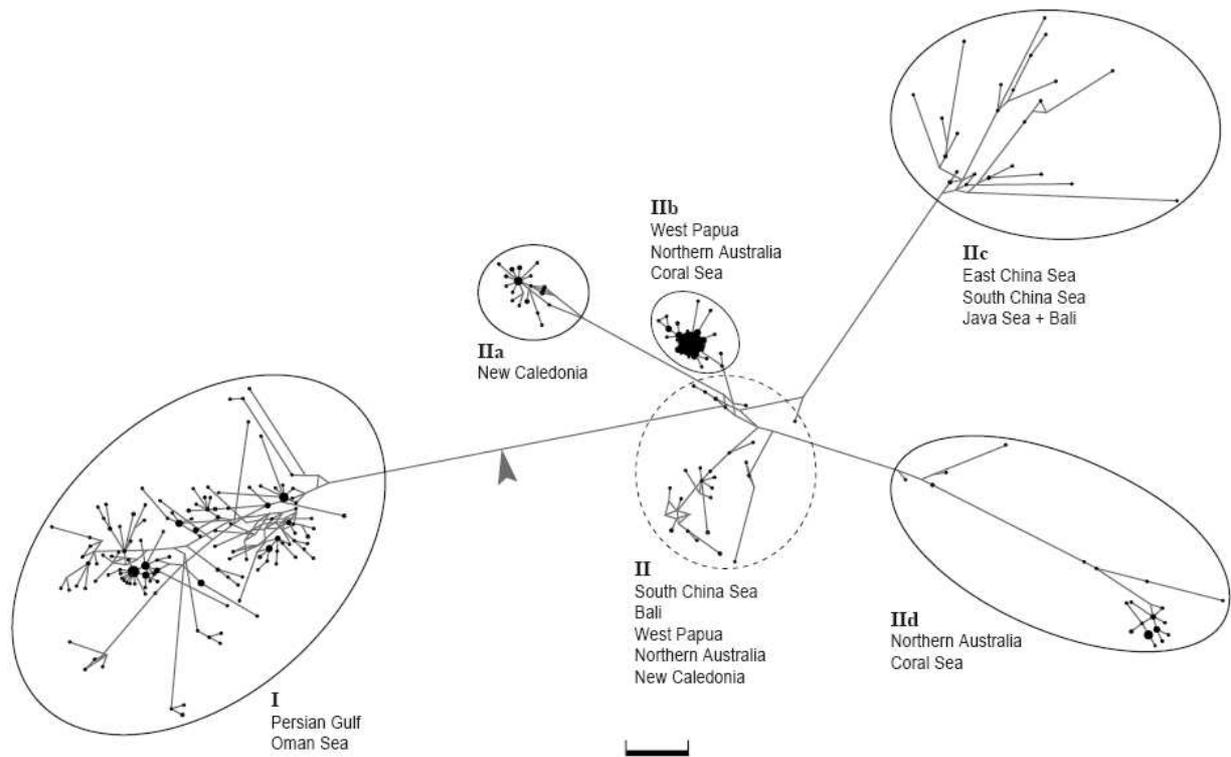


Figure 9. Tazard, *Scomberomorus commerson*. Réseau de parcimonie (réalisé selon l'algorithme du *Median-Joining* ; Bandelt et al. 1999) des haplotypes obtenus à partir des séquences de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial. Chaque point noir correspond à un haplotype, c'est à dire à une séquence unique. La taille du point est proportionnelle à la fréquence de l'haplotype. Chaque clade est identifié par une ellipse. Les provenances géographiques des haplotypes sont indiquées pour chaque clade. La flèche indique la racine de l'arbre (là où se branchent les haplotypes de *S. niphonius*, choisi comme groupe externe). Echelle : 5 substitutions nucléotidiques.

Basé sur le polymorphisme des séquences, l'échantillon de la Nouvelle-Calédonie se distingue significativement de tous ceux des autres localités échantillonnées (Tableau 1), sauf celui de Brunei (échantillon 7 sur la Figure 16) et celui du nord de l'Australie (échantillon 11 sur la Figure 16). Cependant, il faut noter que le nombre d'individus originaires de ces deux localités et dont les séquences s'avèrent disponibles dans la littérature est faible. Aussi, bien que les différences génétiques observées ne soient pas significativement différentes de 0 après correction du seuil de significativité, les probabilités associées sont tout de même inférieures à 1% ($P < 0,010$, voir Tableau 1).

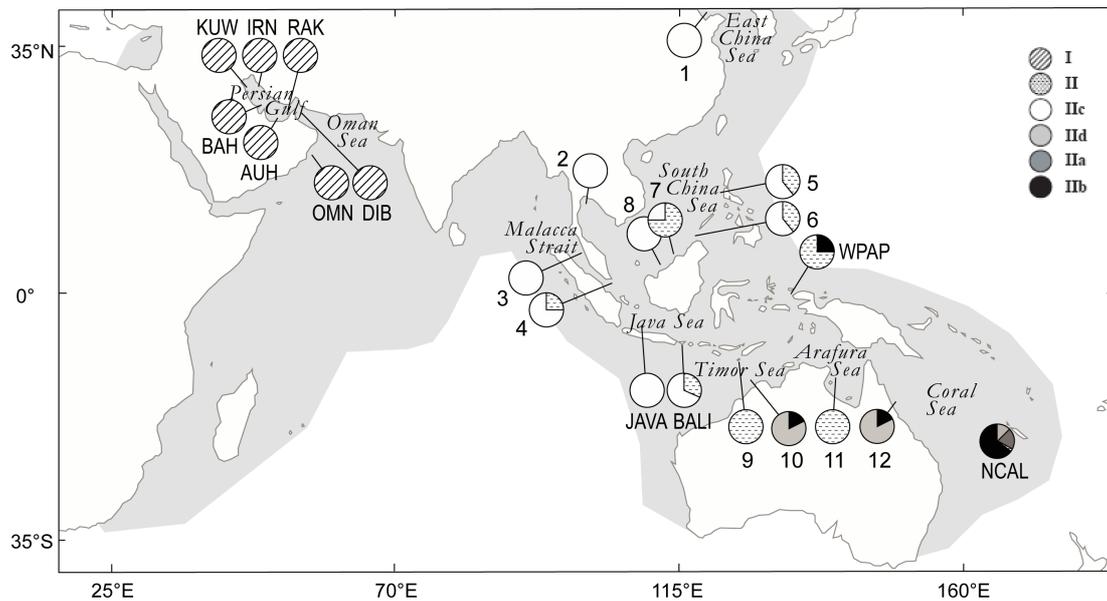


Figure 10. Caractérisation des échantillons de tazarids (*Scomberomorus commerson*) par la séquence nucléotidique d'un fragment de 385 pb de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial : proportions des différents clades observés (voir Figure 9). Les échantillons AUH, BAH, DIB, IRN, KUW et RAK sont ceux de Hoolihan et al. (2006). Les échantillons 1 à 12 sont ceux de Sulaiman and Ovenden (2010). BALI : Bali ; JAVA : Mer de Java ; NCAL : Nouvelle-Calédonie ; WPAP : Papouasie Occidentale. Grisé : aire de distribution de *S. commerson* (Collette & Russo 1984).

L'ADN mitochondrial étant quasi-uniquement transmis par voie femelle, nous avons utilisé des marqueurs nucléaires (transmis par les deux parents) dans le but de compléter l'étude phylogéographique. Les marqueurs nucléaires sont 8 locus microsatellites caractérisés spécifiquement pour cette espèce (van Herwerden et al. 2006). Cette analyse a été faite pour les 194 individus de Nouvelle-Calédonie pour lesquels l'ADN mitochondrial avait été préalablement séquencé, de même que pour les individus provenant d'Indonésie [Bali ($N = 6$ individus), Mer de Java ($N = 4$)] et de Papouasie-Occidentale [Sorong ($N = 13$)].

L'analyse des données montre une forte partition géographique de la variabilité génétique, avec une nette différenciation des individus de Nouvelle-Calédonie par rapport à ceux de l'Indonésie et de la Papouasie-Occidentale (Figure 11, Tableau 2 et Tableau 3).

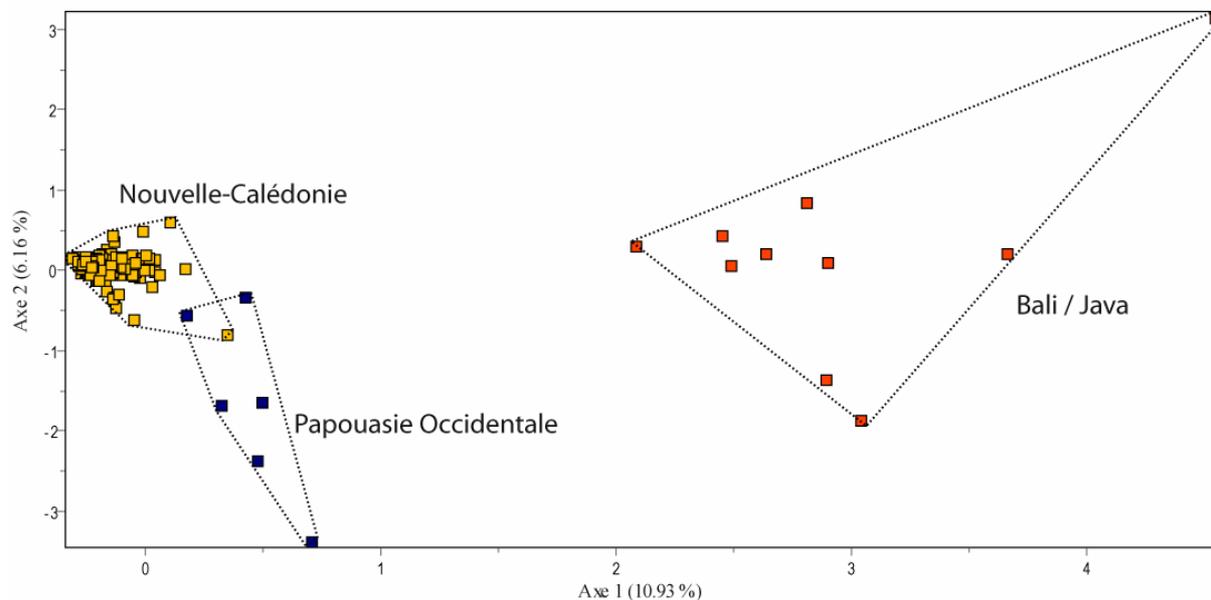


Figure 11. Analyse factorielle des correspondances : projection sur le plan défini par les axes 1 et 2 de l'analyse, des individus *Scomberomorus commerson* échantillonnés en Nouvelle-Calédonie ($N=194$), à Bali ($N=6$), en Mer de Java ($N=4$) et en Papouasie-Occidentale (Sorong, $N=10$), caractérisés par leur génotype multilocus à 8 loci microsatellites développés par van Herwerden et al. (2006) et par la séquence nucléotidique d'un fragment (385 pb) de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial.

Ces analyses montrent que le flux de gènes entre les populations de Nouvelle-Calédonie et de Papouasie-Occidentale est restreint sinon nul, ceci bien qu'elles soient situées dans la même région océanique (i.e. le Pacifique tropical SW), et malgré les possibilités migratrices du tazard.

Tableau 1. Indice de différenciation génétique (Φ_{ST}) par paire d'échantillons de *Scomberomorus commerson* basé sur l'analyse des séquences d'un fragment de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial (matrice supérieure). *GP+MO* = Golfe Persique + Mer d'Oman (échantillons *AUH, BAH, DIB, IRN, KUW, OMN* et *RAK* de Hoolihan *et al.* (2006); échantillons *1-12* de Sulaiman et Ovenden (2009); autres échantillons : voir Figure 9. *n* = nombre de séquences (entre parenthèses). Niveaux de significativité (basés sur 10 000 permutations des haplotypes entre échantillons) indiqués dans la matrice inférieure: NS non significatif; * *P*<0,05; ** *P*<0,010; * et gras dans la matrice supérieure: valeurs significatives après la correction séquentielle de Bonferroni du seuil de significativité (Rice 1989).**

Sample	(n)	<i>GP+MO</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	<i>JAVA</i>	<i>BALI</i>	9	10	11	12	<i>WPAP</i>	<i>NCAL</i>	
<i>GP + MO</i>	(193)	-	0,742	0,743	0,749	0,715	0,699	0,727	0,709	0,747	0,718	0,754	0,770	0,739	0,723	0,746	0,758	0,743	
1	(2)	***	-	0,000	0,110	-0,142	0,074	-0,043	0,448	-0,082	0,229	0,350	0,921	0,660	0,716	0,631	0,803	0,664	
2	(2)	***	NS	-	0,348	-0,076	0,138	0,091	0,510	0,012	0,292	0,438	0,959	0,697	0,762	0,661	0,829	0,656	
3	(2)	***	NS	NS	-	-0,181	0,055	0,044	0,411	-0,201	0,250	0,294	0,881	0,636	0,687	0,598	0,782	0,664	
4	(4)	***	NS	NS	NS	-	-0,080	-0,111	0,191	-0,117	0,146	0,270	0,641	0,465	0,455	0,461	0,634	0,573	
5	(5)	***	NS	NS	NS	NS	-	-0,053	-0,039	0,104	0,157	0,323	0,465	0,289	0,182	0,290	0,461	0,422	
6	(5)	***	NS	NS	NS	NS	NS	-	0,123	0,051	0,156	0,312	0,497	0,426	0,355	0,438	0,542	0,562	
7	(4)	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	0,443	0,302	0,552	0,333	0,251	-0,107	0,288	0,367	0,348	
8	(3)	***	NS	-	0,266	0,304	0,844	0,635	0,674	0,621	0,773	0,665							
<i>JAVA</i>	(4)	***	NS	-	0,015	0,578	0,508	0,466	0,521	0,446	0,517								
<i>BALI</i>	(6)	***	NS	NS	NS	*	*	*	*	*	NS	-	0,839	0,702	0,716	0,687	0,729	0,652	
9	(5)	***	*	*	*	*	**	**	*	*	*	**	-	0,629	0,476	0,623	0,532	0,497	
10	(5)	***	NS	NS	NS	*	*	**	*	*	**	**	**	-	0,322	0,230	0,573	0,389	
11	(5)	***	NS	*	*	*	NS	*	*	*	*	**	**	*	-	0,377	0,401	0,313	
12	(5)	***	NS	*	*	**	**	**	*	*	**	**	**	*	*	-	0,586	0,374	
<i>WPAP</i>	(8)	***	*	*	*	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	-	0,306
<i>NCAL</i>	(194)	***	***	***	***	***	***	***	**	***	***	***	***	**	**	**	**	**	-

Tableau 2. Tazard, *Scomberomorus commerson*. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique de Wright) par paire d'échantillons, à partir des génotypes multilocus à 8 locus microsatellites. * : $P < 0,0001$.**

	Bali – Java	Papouasie Occidentale
Nouvelle-Calédonie	0,324***	0,228***
Bali - Java		0,255***

Tableau 3. Tazard, *Scomberomorus commerson*. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique de Wright) par paires d'échantillons, à partir des génotypes multilocus à 8 locus microsatellites et des séquences de la région contrôle de l'ADN mitochondrial (385pb). * : $P < 0,0001$.**

	Bali – Java	Papouasie Occidentale
Nouvelle-Calédonie	0,352***	0,252***
Bali - Java		0,289***

En conclusion, les résultats obtenus par l'analyse des séquences de la région contrôle de l'ADN mitochondrial montrent une partition très nette entre, d'une part, les tazards du Golfe Persique et de la Mer d'Oman et, d'autre part, ceux du Coral Triangle et du Pacifique Ouest. La profondeur de la divergence suggère qu'il s'agit de deux espèces génétiquement distinctes, ce qui, incidemment, permet d'expliquer les différences morphométriques et méristiques rapportées pour quelques populations de l'Indo-Pacifique (Collette & Russo 1984). De plus, des différences génétiques marquées sont observées au sein des populations échantillonnées dans la partie orientale de l'aire de distribution de l'espèce. En particulier, la population de la Nouvelle-Calédonie est très différenciée génétiquement des autres populations de tazards de la région Indo-Ouest Pacifique. Davantage de données sont nécessaires pour pouvoir conclure quant à l'existence ou non d'un stock unique à la Nouvelle-Calédonie, voire à toute la Mer de Corail. Afin d'approfondir l'histoire évolutive de l'espèce à l'échelle régionale (Coral Triangle, Mer de Corail et bassins adjacents), nous démarrons une collaboration scientifique avec Paul Barber de l'Université de Californie à Los Angeles, très impliqué sur des programmes de recherche en Indonésie, et Jennifer Ovenden du laboratoire moléculaire halieutique d'Agri-Science (Queensland, Australie). Enfin, aucune corrélation n'a été détectée entre l'haplotype mitochondrial et le génotype microsatellite chez les individus de Nouvelle-Calédonie. Ces résultats suggèrent que les divergences observées entre haplotypes mitochondriaux correspondent à une histoire évolutive complexe de l'espèce en Nouvelle-Calédonie, et non à des populations distinctes. Il est néanmoins possible qu'une partition en stocks génétiquement différenciés soit présente en Nouvelle-Calédonie (voir ci-dessous).

3.2 La population de *Scomberomorus commerson* de Nouvelle-Calédonie

Sur la base de l'analyse des séquences de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial uniquement, les individus échantillonnés en Nouvelle-Calédonie ($N = 194$) s'organisent en trois clades majeurs, indépendamment de leur origine géographique (Figure 12). Il n'existe pas de relation entre l'appartenance à un clade particulier et la localisation géographique de l'individu, c'est-à-dire qu'il n'a pas été observé de partition géographique significative de la variabilité génétique mitochondriale. Les trois clades correspondent aux clades déjà mises en évidence par l'analyse d'un échantillon de taille plus importante, à l'échelle Indo-Pacifique (voir précédemment). Ces résultats montrent que la Nouvelle-Calédonie a certainement subi plusieurs événements de colonisation indépendants. Cependant, nous sommes dans l'incapacité de définir les populations d'origine à partir des données présentes.

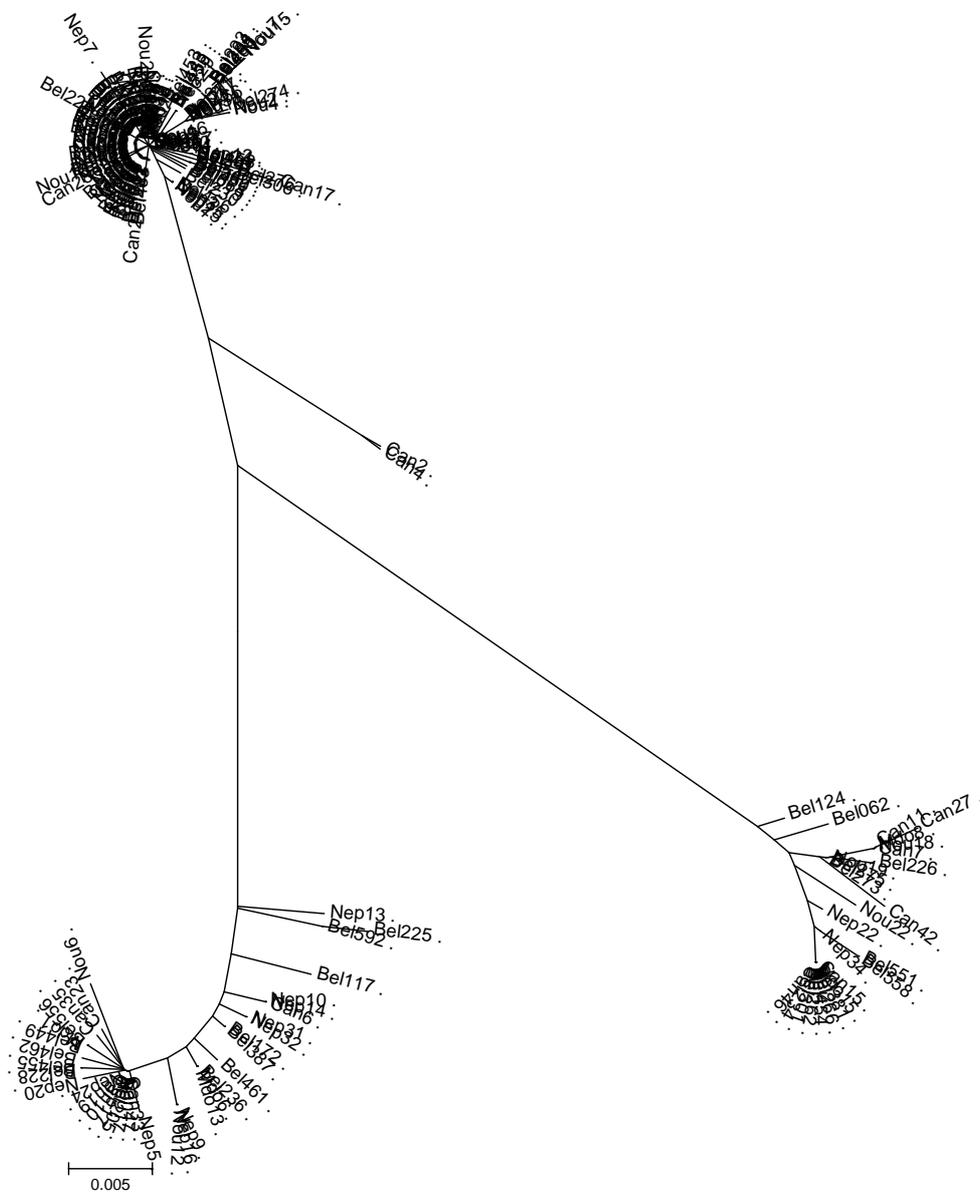


Figure 12. *Scomberomorus commerson*. Arbre de Neighbor-Joining, non raciné, des séquences nucléotidiques d'un fragment de 385 pb de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial pour l'échantillon de Nouvelle-Calédonie.

Lorsque les données nucléaires, obtenues par l'analyse du polymorphisme de longueur à 8 locus microsatellites, sont ajoutées aux données mitochondriales, on peut voir que les populations de Nouvelle-Calédonie ne forment pas un ensemble génétiquement homogène. En effet, des individus de Népoui et Nouméa apparaissent comme génétiquement très différents des autres (Figure 13). Cette distinction de quelques individus de Népoui et Nouméa entraîne une différenciation génétique significative des échantillons de ces deux localités comparés à ceux de Bélep et Canala (Tableau 4).

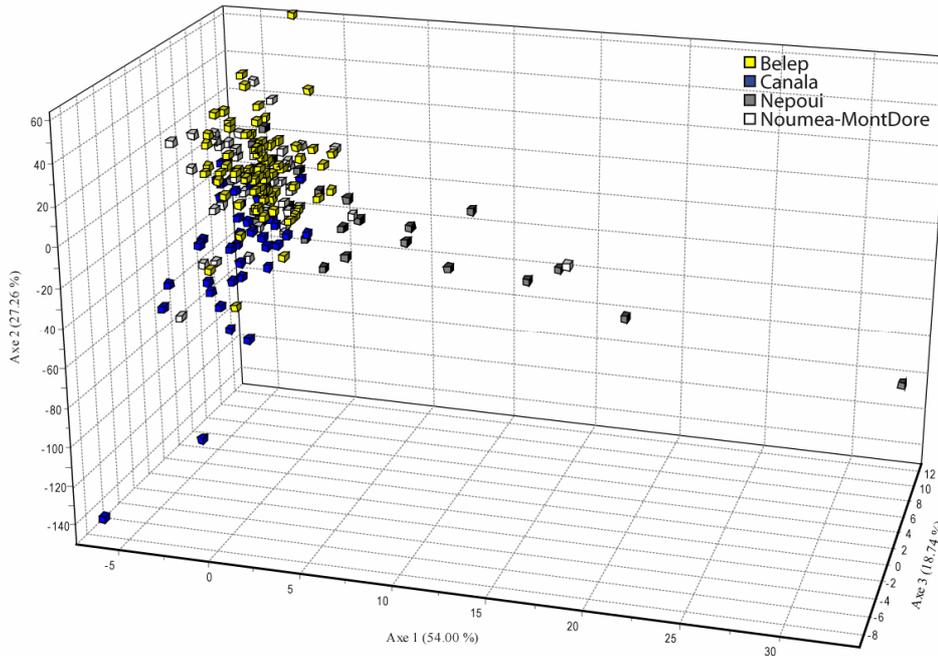


Figure 13. Analyse des correspondances : projection dans l'espace défini par les axes 1, 2 et 3 des *Scomberomorus commerson* échantillonnés en Nouvelle-Calédonie ($N=194$), caractérisés simultanément par leur génotype multilocus à 8 locus microsatellites et par leur séquence (385 pb) de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial.

Tableau 4. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique) par paire d'échantillons en Nouvelle-Calédonie, estimés à partir des génotypes multi locus à 8 locus microsatellites et des séquences de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial (385pb). Les comparaisons significatives sont indiquées en gras. $N=194$

Echantillon	Echantillon		
	Canala	Nouméa	Népoui
Bélep	0,0036	0,0045	0,0165
Canala		0,0095	0,0193
Nouméa			0,0136

Afin d'obtenir une estimation plus fine des différences génétiques entre régions au sein de la Nouvelle-Calédonie, l'ensemble des individus de Nouvelle-Calédonie (N = 353 : 85 individus de Bélep Nord, 121 de Bélep Sud, 50 individus de Canala, 38 individus de Népoui et 59 individus de Nouméa + Mont Dore) ont été analysés par le polymorphisme de longueur aux mêmes 8 locus microsatellites précédemment développés pour cette espèce dans le Golfe Persique (voir plus haut).

Une première analyse réalisée avec les échantillons de Nouvelle-Calédonie et ceux de Papouasie Occidentale nous permet de mieux discerner l'une de l'autre les populations de Nouvelle-Calédonie et de Papouasie-Occidentale (voir Figure 11). En effet, dans l'analyse factorielle des correspondances réalisée à partir des génotypes multilocus, les individus analysés montrent des distributions non chevauchantes, ce qui suggère une distinction génétique très nette de ces deux populations (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), ainsi qu'une sévère restriction des migrations entre ces deux stocks.

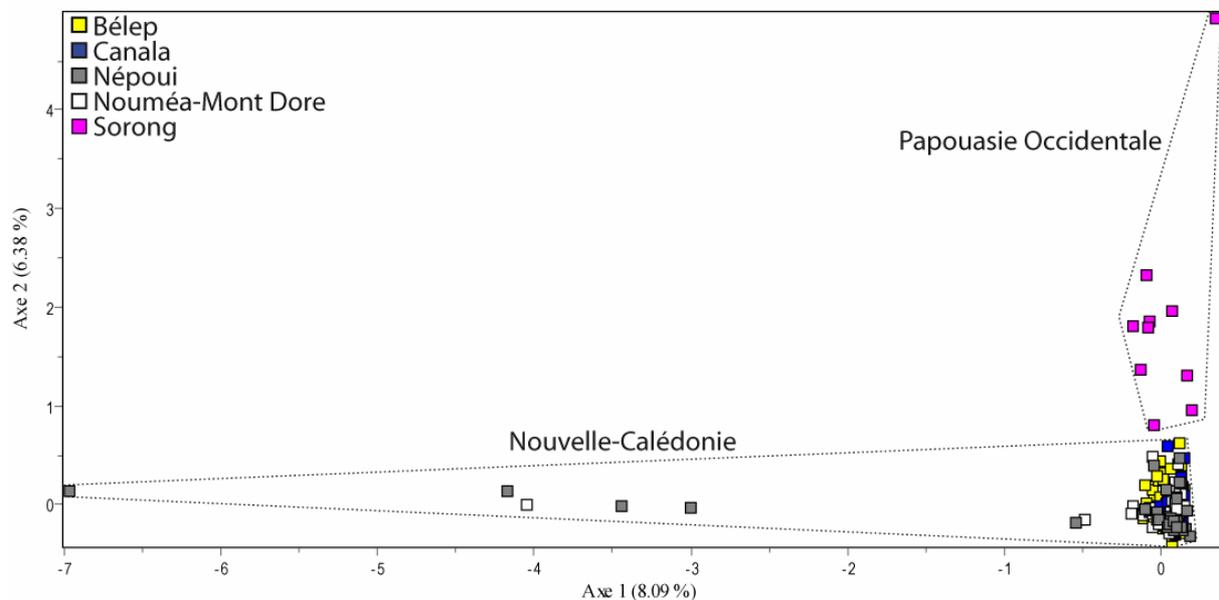


Figure 14. Analyse des correspondances : projection sur le plan principal, de *Scomberomorus commerson* échantillonnés en Nouvelle-Calédonie (N=353) et en Papouasie-Occidentale (Sorong, N = 10) et caractérisés par leur génotype multilocus à 8 locus microsatellites.

Ces résultats montrent à nouveau une différenciation significative entre localités échantillonnées en Nouvelle-Calédonie puisque les échantillons Népoui et Nouméa sont significativement différents de tous les autres échantillons alors qu'ils n'apparaissent pas significativement différents l'un de l'autre (Tableau 5).

Tableau 5. *Scomberomrus commerson*. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique) par paire d'échantillons en Nouvelle-Calédonie, uniquement à partir de génotypes multi-locus à 8 locus microsattellites. Les comparaisons significatives sont indiquées en gras. $N=353$

Echantillon	Echantillon			
	Bélep sud	Canala	Népoui	Nouméa
Bélep nord	0,0027	0,0026	0,0093	0,0050
Bélep sud		0,0031	0,0137	0,0089
Canala			0,0138	0,0079
Népoui				0,0040

En conclusion, l'analyse génétique des échantillons de tazarads récoltés sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie suggère l'existence de deux populations génétiquement distinctes (ou « stocks » selon la terminologie des halieutes). L'une des populations comprend une partie des tazarads des Bélep et de Canala, l'autre une partie des individus de Népoui et de Nouméa + Mont Dore. Il s'agit, à ce stade, d'une hypothèse, qu'il convient de tester en lançant une étude ciblée, sur la base d'un nouveau plan d'échantillonnage stratifié spatialement à l'échelle de la Mer de Corail, voire du Pacifique sud-ouest, ainsi que temporellement.

3.3 La population de *Scomberomorus commerson* de l'archipel des Bélep : échelle spatio-temporelle

L'analyse génétique (microsattellites) des 206 individus des Bélep montre une différenciation faible, mais significative des échantillons entre la saison 1 (début de l'année) et la saison 3 (fin de l'année) (Tableau 6). Aucune différence n'apparaît entre le Nord et le Sud. Ces résultats restent visibles quand les échantillons sont divisés par saison, et par localités également (nord-saison 1 : 61 individus ; nord-saison 2 : 19 individus ; sud-saison 2 : 54 individus, sud-saison 3 : 66 individus) (Tableau 7). On note la présence de quelques individus génétiquement distincts de l'ensemble des individus (i.e individus 'outliers'), sans que la provenance de ces individus puisse être identifiée (Figure 15).

Tableau 6. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique) par paires d'échantillons collectés aux îles Bélep, par saison, à partir de génotypes multi locus à 8 locus microsattellites. Les comparaisons significatives sont indiquées en gras. Tailles des échantillons : Saison1, $N = 62$; Saison2, $N = 73$; Saison3, $N = 71$.

Echantillon	Echantillon	
	Saison 2	Saison 3
Saison 1	0,00052	0,00879
Saison 2		0,00388

Tableau 7. Estimation des F_{ST} (indice de différenciation génétique) par paire d'échantillons au sein des Bélep, par saison et par localité, à partir de génotypes multi locus à 8 locus microsattellites. Les comparaisons significatives sont indiquées en gras.

Echantillon	Echantillon		
	nord – saison 2	sud – saison 2	sud – saison 3
nord – saison 1	0	0	0,0072
nord – saison 2		0,0026	0,0051
sud – saison 2			0,0025

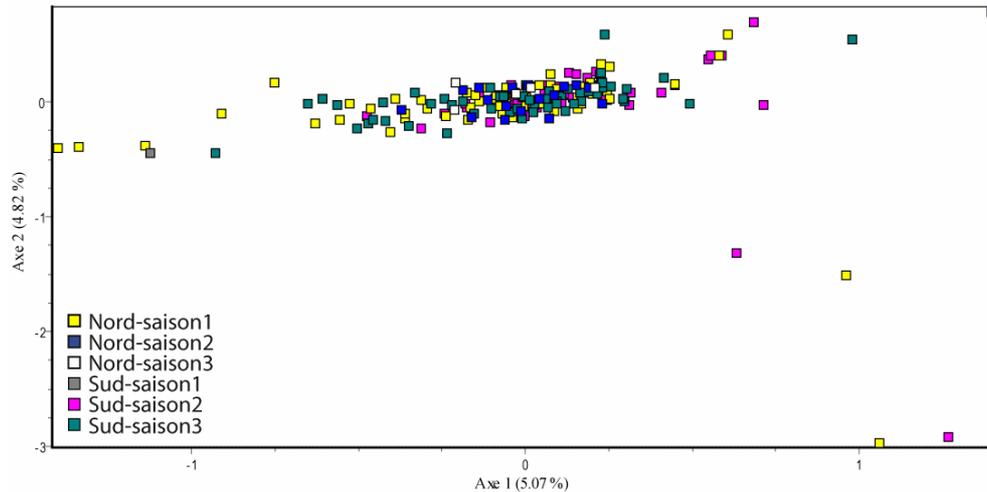


Figure 15. Analyse des correspondances : projection sur le plan principal des *Scomberomorus commerson* échantillonnés dans l'archipel des Belep ($N = 206$), caractérisés par leur génotype multilocus à 8 locus microsatellites.

En conclusion, bien que ces différenciations génétiques soient faibles, elles sont significatives et indiquent que l'échantillon de l'archipel des Bélep ne peut être considéré comme appartenant à une population panmictique, c'est-à-dire au sein desquelles les individus se reproduisent au hasard. Ces analyses ayant été obtenues par l'analyse du polymorphisme de longueur à 8 locus microsatellites, il serait nécessaire d'accroître le nombre de marqueurs génétiques pour confirmer ces résultats, de même qu'un échantillonnage supplémentaire permettrait de valider cette différenciation temporelle. Enfin, ces résultats sont à rapprocher de ceux obtenus en dynamique des populations afin de tester l'hypothèse selon laquelle les tazards du début de saison et de fin de saison correspondent à des stocks reproductifs distincts.

3.4 Conclusions volet 2

A l'échelle Indo-Pacifique, une forte partition génétique de *S. commerson* a été mise en évidence. Il est vraisemblable que les *S. commerson* échantillonnés dans l'Indo-Ouest Pacifique appartiennent à une espèce différente de ceux de l'Océan Indien. Au sein de la forme Indo-Ouest Pacifique, la population de la Nouvelle-Calédonie s'avère être génétiquement distincte des populations de régions adjacentes (Papouasie-Occidentale, Australie) et de toutes les autres populations analysées ailleurs dans le monde. Ceci a des implications sur les interprétations des résultats obtenus localement : par exemple, il serait sans doute inapproprié de transposer à la population calédonienne des taux de croissance estimés sur d'autres populations.

A l'échelle de l'archipel de Nouvelle-Calédonie, les analyses phylogénétiques sur l'ADN mitochondrial mettent en évidence une histoire évolutive complexe de populations. D'autres marqueurs mitochondriaux, ajoutés à un échantillonnage plus complet dans la mer de Corail pourraient permettre de définir l'origine évolutive de la population calédonienne de tazards. Bien que nous n'ayons pas démontré que les différents groupes mitochondriaux (« clades ») correspondaient à des populations distinctes, les résultats des analyses microsatellites suggèrent la possibilité de populations distinctes (temporellement et

spatialement) au sein des échantillons calédoniens : les tazaras de Nouvelle-Calédonie, ne peuvent donc être considérés comme formant une population panmictique, c'est-à-dire au sein desquelles les individus se reproduisent au hasard.

Nous avons pu observer que quelques individus de Népoui et Nouméa apparaissent génétiquement différents de tous les autres tazaras étudiés. Il est possible que ces individus soient des migrants venus d'une autre population génétiquement différenciée (Australie ? Chesterfield ? Loyauté ? Vanuatu ? Fiji ?). De ce fait, et en raison de l'implication de ce résultat en terme de gestion des populations exploitées par la pêche, il conviendrait de tester les hypothèses relatives à la structure des populations en Nouvelle-Calédonie par une étude approfondie et élargie géographiquement, à tout le Pacifique Sud-Ouest si possible.

A l'échelle de l'archipel des Bélep, l'analyse génétique montre une différenciation faible, mais significative entre la Saison 1 (début de l'année) et la Saison 3 (fin de l'année). Ce résultat suggère l'existence de stocks reproductifs différents fréquentant l'archipel de Bélep au cours de l'année. Comme précédemment, il serait nécessaire de renouveler l'échantillonnage afin de vérifier la stabilité temporelle de la partition présumée en deux populations ségréguées temporellement. Enfin, pour davantage de puissance, il serait intéressant d'augmenter la taille d'échantillon pour tenter de relier les populations saisonnières présumées des Bélep à des populations géographiquement identifiées ailleurs en Nouvelle-Calédonie, voire ailleurs dans le Pacifique sud-ouest.

4. Volet biologique (D. Ponton)

4.1 Contexte de ce volet

L'étude précédente (Ponton et al. 2009) qui concernait uniquement les tazarids des îles Bélep avait permis de déterminer que :

- dans les secteurs de pêche où un nombre important d'individus a été capturé, un sex-ratio en faveur des mâles pouvait être observé,
- l'âge à la première maturité sexuelle est de 1 à 2 ans, ce qui correspond à une longueur moyenne de 78,5cm LF pour les femelles et 76,0 cm LF pour les mâles,
- la période de reproduction se situe en début de période chaude (novembre-décembre),
- l'interprétation des structures observées dans leurs otolithes peut se faire à partir d'observations in toto,
- la zone opaque des otolithes se forme pendant la saison fraîche,
- la pêche aux îles Bélep cible principalement des tazarids âgés de 1 à 10 ans,
- la croissance des individus est rapide lors des deux premières années (soit avant la maturité sexuelle), les individus atteignant une taille de 70 à 85cm LF au cours de leur seconde année, puis lente par la suite, cette croissance étant faible si on la compare aux autres régions où des études similaires ont été effectuées,
- la forme 2D des otolithes est très variable, y compris pour des individus de même taille,
- cette variabilité importante dans la forme des otolithes semble pouvoir difficilement s'expliquer par le fait que des individus provenant d'ailleurs se mêlent aux individus des îles Bélep.

Dans ce contexte, le but de ce volet était de mieux connaître les principaux paramètres biologiques de cette espèce tout autour de la Nouvelle-Calédonie et d'étudier la forme 2D des otolithes d'individus de différentes provenance. Ce travail a été effectué grâce à des individus obtenus par la pêche professionnelle ou amateur en différents sites. Il doit être noté que de jeunes individus de l'année ont pu être obtenus à Nouméa grâce aux pêcheurs professionnels qui les capturent accidentellement lorsqu'ils pêchent des maquereaux.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Paramètres recueillis sur chaque individu

Seuls deux paramètres biologiques ont été recueillis de manière identique sur tous les poissons dès leur débarquement : longueur à la fourche (LF en cm) et sexe (immature, femelle et mâle). Les têtes de tous les individus mesurés ont été prélevées, étiquetées, congelées puis conservées au centre IRD de Nouméa.

4.2.2 Analyses au laboratoire

4.2.2.1 Extraction des otolithes

L'extraction des otolithes a été réalisée suivant le protocole standard de Lewis & Mackie (2002) comme décrit dans le rapport précédent (Ponton et al. 2009). Brièvement, la face ventrale de la tête est incisée et les branchies et le pharynx sont ôtés afin d'atteindre les capsules otiques. Celles-ci sont découpées de part et d'autres pour permettre le prélèvement

des sagittae. Après extraction, chaque paire de sagitta est nettoyée et séchée sur du papier absorbant puis conservée à sec dans un tube portant le numéro d'identification du poisson.

4.2.2.2 Age et croissance

Préparation des otolithes et dénombrement des annuli

Un otolithe de chaque paire a été recouvert de quelques gouttes de glycérol (243 Laboratory Unilab Reagent) qui s'est avéré être un bon milieu éclaircissant tout en permettant de conserver l'otolithe (Ponton et al. 2009). Après quelques minutes, une image digitale a été obtenue en plaçant l'otolithe sous loupe binoculaire et en l'observant en lumière transmise.

Sur chaque image, le nombre de marques saisonnières a été déterminé en y associant une catégorie correspondant au type d'incrémentation marginale observée (Tableau 8).

Tableau 8 : Description des quatre catégories d'incrémentation marginale.

Catégorie	Description
1	Une zone opaque est clairement visible sur le bord de l'otolithe et il n'y a pas de zone translucide.
2	Une zone translucide est présente au bord de l'otolithe. Elle correspond à peu près à 25 à 33% de celle déposée précédemment.
3	Une zone translucide est présente au bord de l'otolithe. Elle correspond à plus de 50% de celle déposée précédemment.
4	Une zone opaque est partiellement visible sur le bord de l'otolithe, elle est discontinue.

Les travaux précédents ayant permis de vérifier que le dépôt des annuli se fait bien suivant un rythme annuel en Nouvelle-Calédonie (Ponton et al. 2009), l'âge de chaque individu a été ajusté suivant le principe utilisé par Lewis et Mackie (2002) :

- l'âge de l'individu est égal au nombre total de zones opaques dénombrées si l'otolithe présente un accroissement marginal de catégorie 1 ou 2 ;
- l'âge de l'individu est égal au nombre total de zones opaques dénombrées + 1 si l'otolithe présente un accroissement marginal de catégorie 3 ou 4.

Comme dans le travail précédent, un indice de confiance a été enfin associé à chaque dénombrement (Tableau 9).

Tableau 9 : Indice de confiance dans l'estimation du nombre d'annuli.

Indice de confiance	Nombre de marques saisonnières
1	± 5 ou plus
2	± 1 ou 2
3	certain

Ajustement de la relation taille vs âge estimé à un modèle de croissance

Deux modèles de croissance ont été utilisés, celui de von Bertalanffy, communément employé en dynamique des populations de poissons et un modèle de type puissance. Le modèle de von Bertalanffy est une représentation mathématique de la croissance basée sur des considérations biologiques (von Bertalanffy, 1938) dont l'équation est :

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad [1]$$

avec L_t : longueur à l'instant t ; L_{∞} : longueur asymptotique ou taille maximale que le poisson pourrait théoriquement atteindre si sa croissance pouvait se poursuivre indéfiniment ; k : constante de croissance qui correspond à la vitesse à laquelle la longueur du poisson s'approche de L_{∞} ; et t_0 : conséquence de la forme mathématique de l'équation de von Bertalanffy que l'on peut considérer comme un facteur d'échelle qui permet d'ajuster le point d'intersection de la courbe avec l'axe des Y de façon à obtenir un meilleur ajustement des points sur la courbe.

L'équation du modèle puissance employé est :

$$L_t = at^b \quad [2]$$

avec L_t : longueur à l'instant t ; a et b coefficients du modèle sans signification biologique.

4.2.2.3 *Forme des otolithes*

Les analyses n'ont été effectuées que pour les sagittae droites, remplacées éventuellement par la gauche lorsque la droite était perdue ou cassée. Du fait de leur courbure, chaque sagitta a été orientée sa face externe vers le haut sous une loupe binoculaire. Trois images correspondant à trois niveaux de mise au point différents ont été capturées à l'aide d'une caméra CCD connectée à un ordinateur (Figure 16).- Ces trois images ont été traitées à l'aide du logiciel Helicon Focus¹ afin d'obtenir une seule image nette. Le seuillage de cette image, la prise de mesures linéaires, la détection du contour et l'enregistrement des coordonnées du contour dans un fichier texte ont ensuite été effectués de manière semi-automatique à l'aide du logiciel ImageJ², le rostre étant pris comme origine pour chaque contour (Figure 16).

¹ www.heliconsoft.com/heliconfocus.html

² rsbweb.nih.gov/ij/

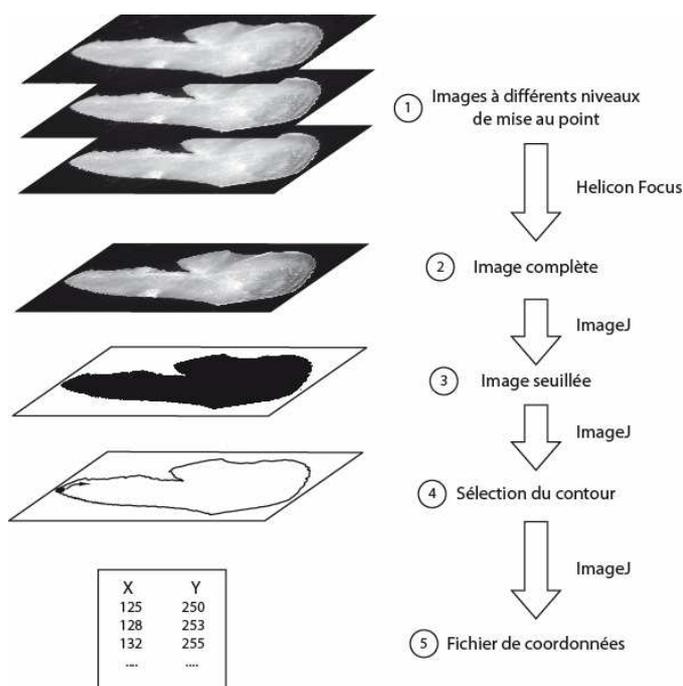


Figure 16. Étapes du traitement des images d'un otolithe depuis la prise des images à différents niveaux de mise au point jusqu'au fichier de coordonnées du contour et logiciels utilisés.

Les mesures linéaires effectuées sur chaque otolithe ont été utilisées pour calculer plusieurs descripteurs (longueur, largeur, périmètre, surface, diamètre de Feret, etc.) certains étant sans dimension comme *FormFactor*, *Roundness* et *Aspect Ratio* (Russ 1994), ainsi que *Solidity*².

Le *FormFactor* (nommé aussi « circularity » sous ImageJ²) est l'inverse du rapport du périmètre au carré d'un objet sur le périmètre au carré d'un cercle de même surface (équation [3]). Plus la valeur est faible, plus le contour de l'otolithe est sinueux.

$$\text{FormFactor} = \frac{4 \pi \text{Surface}}{\text{Périmètre}^2} \quad [3]$$

Roundness est le rapport entre la surface de l'objet et la surface d'un cercle de même diamètre maximal (équation [4]). Plus la valeur est élevée, plus la forme de l'otolithe approche celle d'un disque.

$$\text{Roundness} = \frac{4 \text{Surface}}{\pi \text{DiamètreMax}^2} \quad [4]$$

L'*Aspect Ratio* est le résultat de la division de la longueur par la largeur (équation [5]). Plus la valeur est élevée, plus l'otolithe est allongé.

$$\text{AspectRatio} = \frac{\text{Longueur}}{\text{Largeur}} \quad [5]$$

Le paramètre *Solidity* est le rapport entre la surface et la surface convexe, la surface convexe d'un objet étant la surface délimitée par un élastique virtuel entourant cet objet (Figure 17).

$$\text{Solidity} = \frac{\text{Surface}}{\text{Surface convexe}} \quad [6]$$

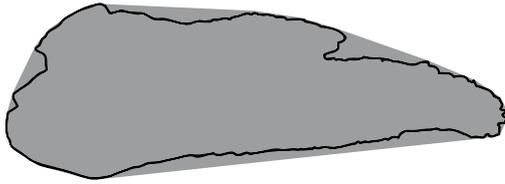


Figure 17. surface convexe (en gris) d'un otolithe dont le contour 2D est indiqué par la ligne noire.

Les coordonnées de tous les contours ont été analysés à l'aide d'une série de programmes développés par Crampton & Haines (1996) permettant d'effectuer des analyses de Fourier (Fast Fourier Transform ou FFT) qui se basent sur la méthode de Zahn & Roskies (1972) améliorée par Haines & Crampton (2002). Les 20 premières harmoniques, et les 20 paires de coefficients de Fourier associés, ont ainsi été obtenues. Les sagittae n'ayant pas une forme prononcée décrite par une seule des harmoniques, les coefficients de Fourier ont été normalisés pour la position de départ, et donc l'orientation du tracé, en se basant sur les propriétés de la totalité de la population analysée (Crampton & Haines 1996).

Les coefficients de Fourier obtenus ont ensuite été soumis à deux types d'analyses :

- des analyses en composantes principales (ACP) basées sur les valeurs de coefficients,
- des analyses de type non-metric multi-dimensional scaling (MDS), SIMPROF et classification hiérarchique basées sur les distances Euclidiennes entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques.

Analyses MDS, SIMPER et classifications hiérarchiques ont été effectués à l'aide du logiciel Primer6, toutes les autres analyses ont été effectuées à l'aide de Systat v13.

4.3 Résultats

4.3.1 Nombre d'individus analysés

Au total, les otolithes de 729 individus provenant de captures effectuées entre avril 2007 et décembre 2009, ont été analysés (Tableau 10). En dehors de Bélep, les nombres d'individus obtenus varient de 16 au Mont-Dore à 50 pour Canala. Si on considère que Mont-Dore et Nouméa ne forment qu'un seul site, seul celui de Népoui regroupe moins de 50 individus.

Tableau 10. Nombre d'individus analysés par site, avec F : femelles, M : mâles, I : immatures i : indéterminés, et LF_{max} : taille maximale observée (cm).

Sites	Période	Nombre d'individus				Total	LF _{max}
		F	M	I	i		
BELEP	04/07-12/07	262	327		4	593	128
CANALA	11/08-12/08	35	15			50	150
MONT-DORE	12/08	8	8			16	150
NEPOUI	11/08-12/08	19	15		1	35	119
NOUMEA	12/08-04/09	3	6	26		35	104
Total		327	371	26	5	729	

4.3.2 Sex ratio

Le sex-ratio est fortement déséquilibré en faveur des femelles à Canala et un peu moins à Népoui, alors qu'il est en faveur des mâles à Nouméa et Bélep et qu'il est équilibré à Mont-Dore (Tableau 11).

Tableau 11. Nombre de mâles et femelles analysés par site, avec F : femelles, M : mâles.

Site	F		M		Total
	N	%	N	%	
BELEP	262	44,5	327	55,5	589
CANALA	35	70,0	15	30,0	50
MONT-DORE	8	50,0	8	50,0	16
NEPOUI	19	55,9	15	44,1	34
NOUMEA	3	33,3	6	66,7	9

4.3.3 Age et croissance

4.3.3.1 Age

L'âge a pu être estimé pour 684 individus, la majorité des valeurs (> 99%) ayant été estimées de manière certaine (indice = 1) ou à ± 1 ou 2 années près (indice = 2, Tableau 12).

Tableau 12. Pourcentage d'individus par indice de confiance dans l'estimation de l'âge (voir Tableau 9 pour la signification). Les estimations ont été effectuées par J. Tiavouane ⁽¹⁾ et D. Ponton ⁽²⁾.

Site	Indice de confiance		
	1	2	3
BELEP ¹	0,37	8,58	91,05
CANALA ²	4,00	50,00	46,00
MONT-DORE ²	6,25	37,25	56,25
NEPOUI ²	2,86	54,29	42,85
NOUMEA ²	0,00	14,29	85,71
TOUS	0,73	15,06	84,21

Plus les individus sont âgés, plus l'estimation de leur âge est incertaine (Figure 18). Ainsi, les individus dont l'estimation de l'âge est certaine (indice = 3) vont de 0⁺ à 11⁺ (médiane = 4), ceux dont l'estimation de l'âge est moins certaine (indice = 2) vont de 1⁺ à 11⁺ (médiane = 6,5), et enfin ceux dont l'estimation de l'âge est très incertaine vont de 5⁺ à 13⁺ (médiane = 8,5).

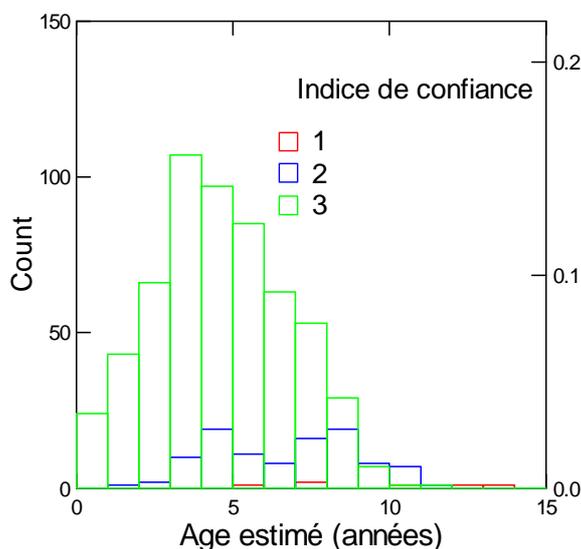


Figure 18. Distributions des âges estimés par indice de confiance (voir Tableau 9 pour la signification).

Etant donné que pour la majorité des individus l'âge a été estimé avec un indice de confiance élevé, tous les individus ont été conservés pour la suite des analyses. L'âge de ces individus va de 1⁺ à 12⁺ à Bélep, 1⁺ à 13⁺ à Canala, 2⁺ à 8⁺ à Mont-Dore, 2⁺ à 9⁺ à Népoui et 0⁺ à 7⁺ à Nouméa (Figure 19). Les plus gros individus pêchés sur la côte ouest apparaissent donc plus jeunes (de 3 à 5 ans) que ceux de la côte est et de Bélep (Figure 20).

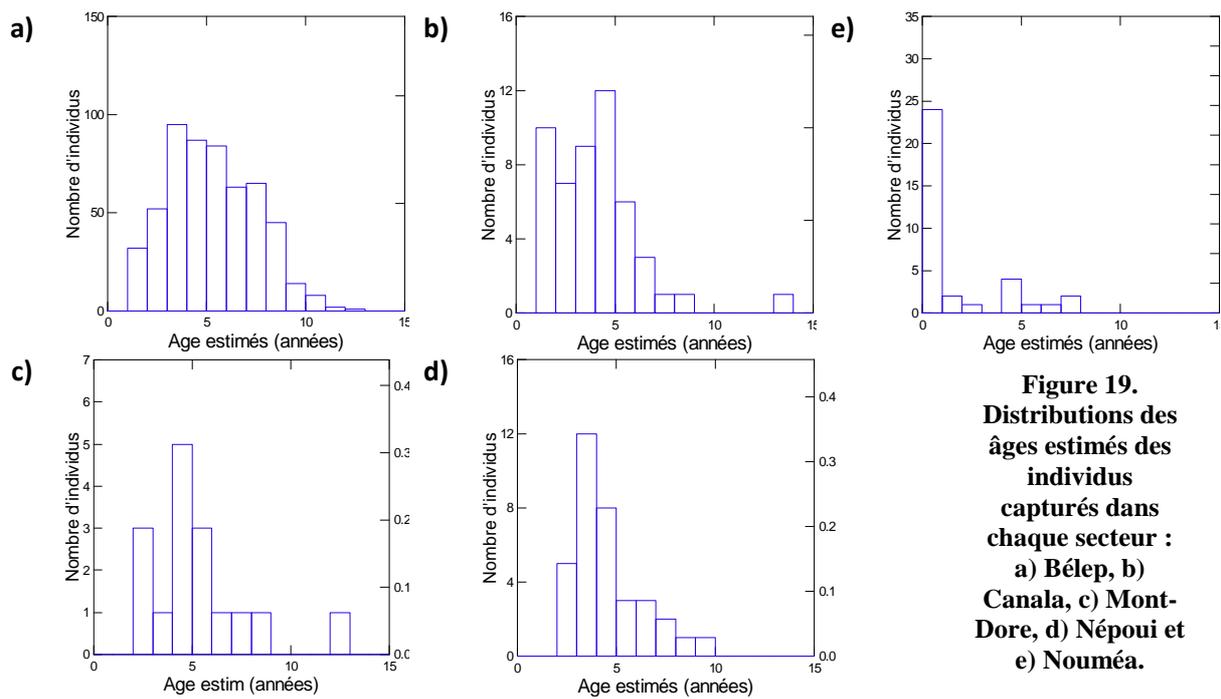


Figure 19.
Distributions des
âges estimés des
individus
capturés dans
chaque secteur :
a) Bélep, b)
Canala, c) Mont-
Dore, d) Népoui et
e) Nouméa.

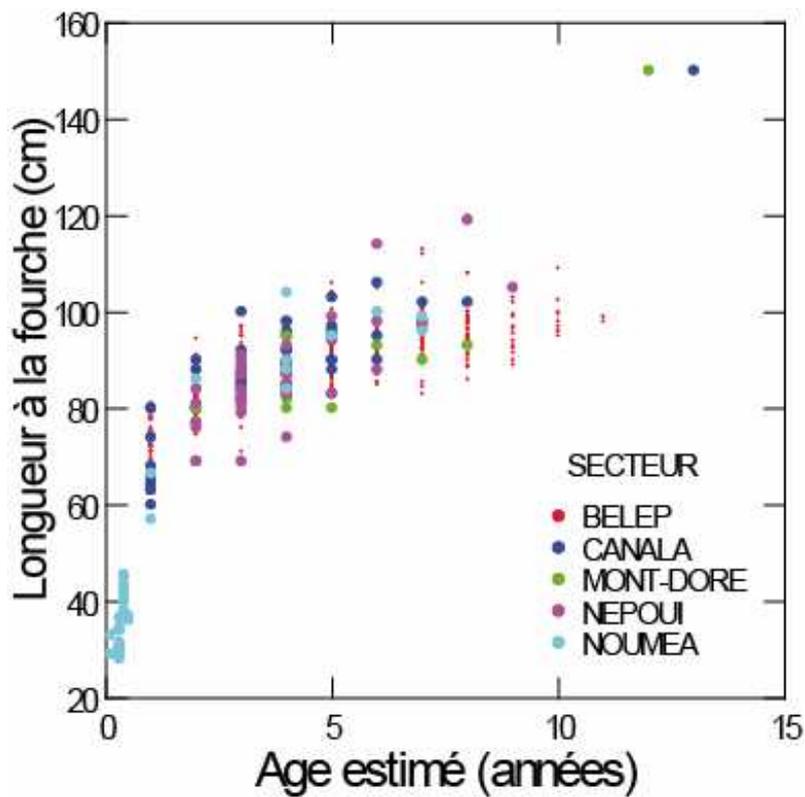


Figure 20. Longueur à la fourche vs âge estimés pour tous les individus des différents secteurs.

4.3.3.2 Croissance

Lorsqu'on prend tous les individus, aucun ajustement à un modèle de croissance général du tazard en Nouvelle-Calédonie n'apparaît comme réellement satisfaisant (Figure 21). En effet, les résidus obtenus présentent une structure quel que soit le modèle considéré (Figure 22). Ainsi, le modèle de von Bertalanffy passant par l'origine s'ajuste bien aux points correspondant aux individus 0^+ capturés à Nouméa mais comme le modèle original dont il provient, il s'ajuste mal à la taille des individus à partir de 6-7 ans (Figure 21). Le modèle puissance s'ajuste par contre assez bien pour les individus à partir de 5-6 ans mais plutôt mal pour les plus jeunes (Figure 21).

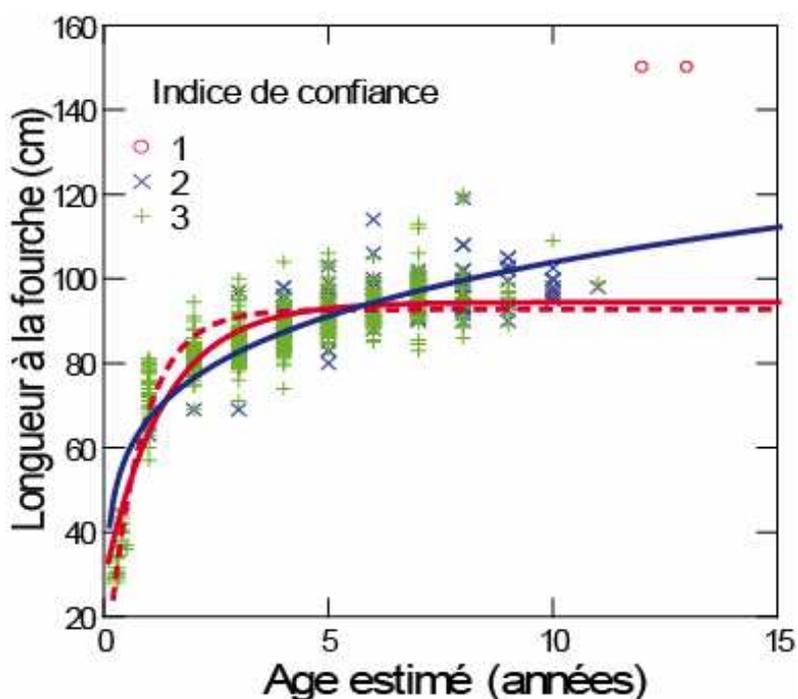


Figure 21. Relations taille (longueur à la fourche en cm) vs âge estimé (en années) pour tous les individus analysés avec les courbes de croissance en rouge ajustées suivant le modèle de von Bertalanffy (en pointillée le modèle passant par l'ordonnée à l'origine) et en bleu selon de modèle puissance.

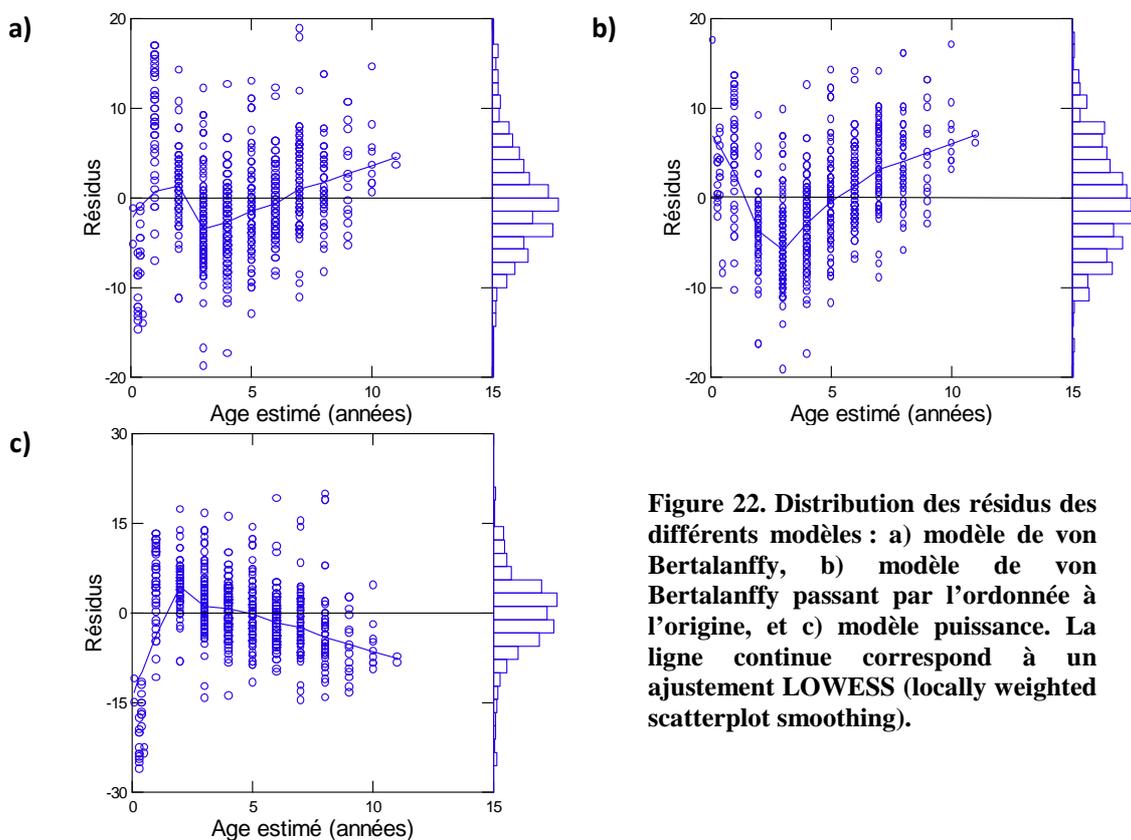


Figure 22. Distribution des résidus des différents modèles : a) modèle de von Bertalanffy, b) modèle de von Bertalanffy passant par l'ordonnée à l'origine, et c) modèle puissance. La ligne continue correspond à un ajustement LOWESS (locally weighted scatterplot smoothing).

Bien que provenant de modèles qui représentent mal la croissance des tazarde de Nouvelle-Calédonie, les paramètres des deux modèles de von Bertalanffy sont donnés dans un but de comparaison avec les valeurs observées dans la littérature (Tableau 13).

Tableau 13. Paramètres de deux modèles de von Bertalanffy et intervalle de confiance à 95% de Wald pour tous les individus analysés en Nouvelle-Calédonie (N = 729). Le modèle 1 correspond à l'équation complète, le modèle 2 passe par l'ordonnée à l'origine

	Modèle 1		Modèle 2	
L_{∞}	94,349	(93,492 – 95,206)	91,817	(91,174 – 92,460)
k	0,761	(0,692 – 0,830)	1,320	(1,248 – 1,391)
t_0	-0,490	(-0,606 – 0,374)	0	
r^2	0,732		0,708	

Un modèle de von Bertalanffy pour les individus 0^+ à 5^+ et un modèle puissance pour les individus de 5^+ et plus (Figure 23, Tableau 14 et Tableau 15) permettent d'obtenir des résidus dont les distributions présentent peu de structure (Figure 24).

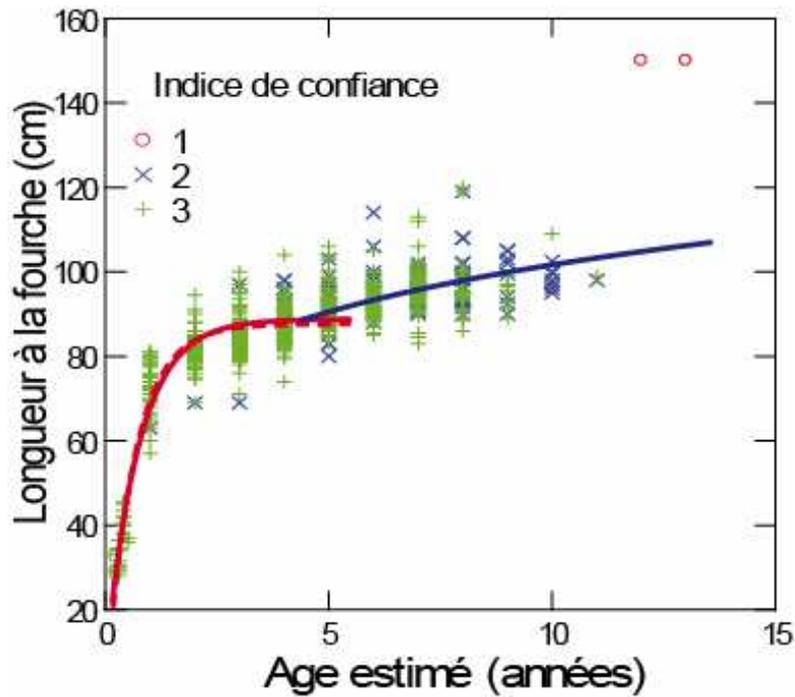


Figure 23. Relations taille (longueur à la fourche en cm) vs âge estimé (en années) pour tous les individus analysés avec les courbes de croissance en rouge ajustées suivant le modèle de von Bertalanffy (en pointillée le modèle passant par l'ordonnée à l'origine) pour les individus 0⁺ à 5⁺ et en bleu selon de modèle puissance pour les individus de 5⁺ et plus.

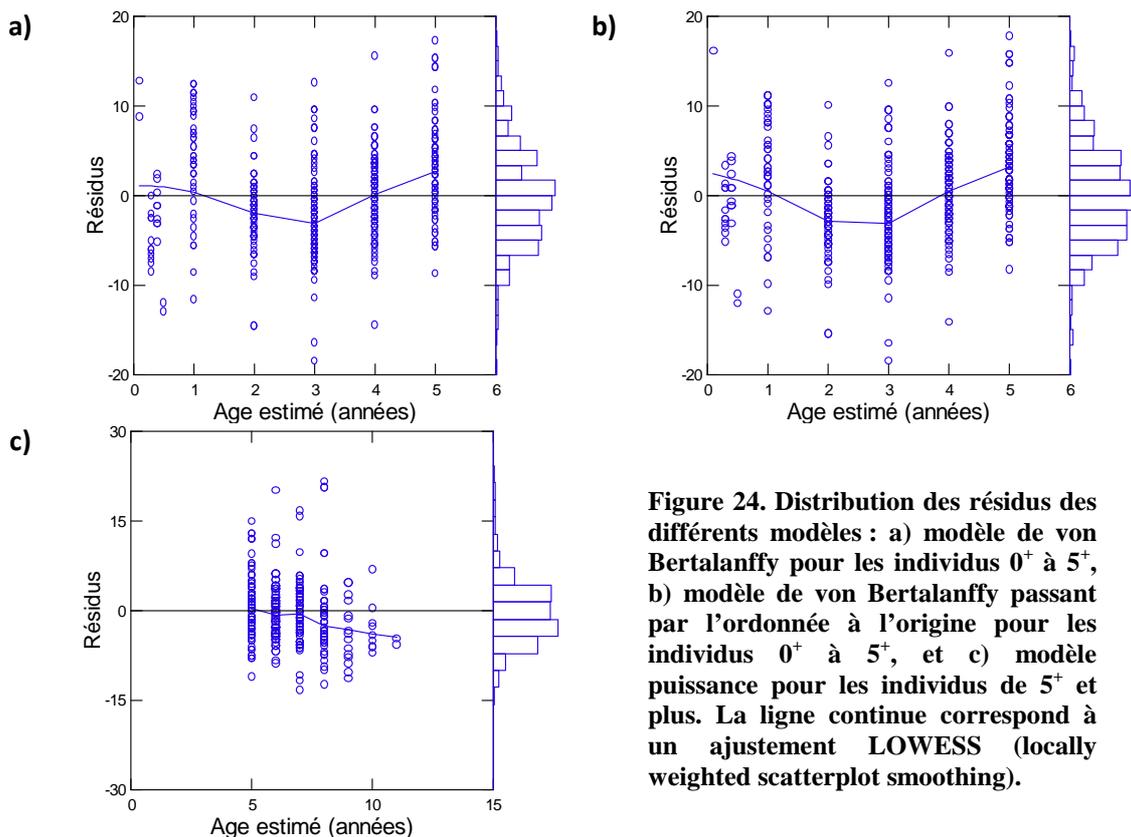


Figure 24. Distribution des résidus des différents modèles : a) modèle de von Bertalanffy pour les individus 0⁺ à 5⁺, b) modèle de von Bertalanffy passant par l'ordonnée à l'origine pour les individus 0⁺ à 5⁺, et c) modèle puissance pour les individus de 5⁺ et plus. La ligne continue correspond à un ajustement LOWESS (locally weighted scatterplot smoothing).

Tableau 14. Paramètres de deux modèles de von Bertalanffy et intervalle de confiance à 95% de Wald pour les individus 0⁺ à 5⁺ (N = 465). Le modèle 1 correspond à l'équation complète, le modèle 2 passe par l'ordonnée à l'origine

	Modèle 1		Modèle 2	
L _∞	88,719	(88,025 – 89,413)	88,221	(87,600 – 88,842)
k	1,358	(1,240 – 1,417)	1,569	(1,491 – 1,646)
t ₀	-0,090	(-0,144 – -0,035)	0	
r ²	0.823		0,820	

Tableau 15. Paramètres du modèle puissance ($L_t = at^b$) et intervalle de confiance à 95% de Wald pour tous les individus pour les individus 5⁺ et plus (N = 314).

	$L_t = at^b$	
a	69,774	(65,132 – 74,415)
b	0,165	(0,130 – 0,200)
r ²	0.207	

4.3.3.3 Clés simplifiées « taille – âge » pour le tazard de Nouvelle-Calédonie

Les modèles de croissance globaux ne s'ajustant qu'imparfaitement aux données observées, seuls les modèles par classe de taille permettent de prédire l'âge d'un individu dont on connaît la taille. Plus simplement, les données obtenues permettent d'établir des clés simplifiées « taille – âge », soit en utilisant tous les individus (Tableau 16), soit en n'utilisant que ceux dont l'âge a été estimé avec certitude (Tableau 17).

Tableau 16. Clé simplifiée « taille – âge » pour le tazard de Nouvelle-Calédonie basée sur tous les individus. Le nombre d'individus observés par classe d'âge estimé (de 0+ à 13+ = colonnes) est indiqué pour les gammes de tailles [20-30[à [150-160[(longueur à la fourche en cm = lignes).

LF (cm)	Age estimé (indice de confiance 1 à 3)													Total	
	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺	6 ⁺	7 ⁺	8 ⁺	9 ⁺	10 ⁺	11 ⁺	12 ⁺		13 ⁺
[20-30[	4														4
[30-40[	12														12
[40-50[	8														8
[50-60[		1													1
[60-70[		10	2	1											13
[70-80[		26	17	11	2										56
[80-90[		7	46	88	66	35	14	4	3	1					264
[90-100[			3	16	47	55	51	51	34	10	5	2	1		275
[100-110[				1	1	7	5	14	8	4	3				43
[110-120[							1	2	2						5
[120-130[									1						1
[150-160[							1						1		2
Total	24	44	68	117	116	97	72	71	48	15	8	2	1	1	684

Tableau 17. Clé simplifiée « taille – âge » pour le tazard de Nouvelle-Calédonie basée uniquement sur les individus dont l'âge a été estimé avec certitude (indice = 3). Le nombre d'individus observés par classe d'âge estimé (de 0+ à 13+ = colonnes) est indiqué pour les gammes de tailles [20-30[à [150-160[(longueur à la fourche en cm = lignes).

LF (cm)	Age estimé (indice de confiance = 3 uniquement)											Total	
	0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+		11+
[20-30[	4												4
[30-40[	12												12
[40-50[	8												8
[50-60[		1											1
[60-70[		9	1										10
[70-80[		26	17	11	2								56
[80-90[		7	45	80	56	31	13	4	3	1			240
[90-100[			3	15	38	48	47	37	21	6		1	216
[100-110[				1	1	6	3	10	3		1		25
[110-120[								2	1				3
[120-130[									1				1
Total	24	43	66	107	97	85	63	53	29	7	1	1	576

Ainsi, en ne se basant que sur les individus dont l'âge a été estimé avec certitude, un individu de moins de 50cm est un jeune de l'année, un individu de 60 à 70 cm LF peut avoir de une à deux années, un individu de 90 à 100cm peut atteindre jusqu'à 11 années (Tableau 17).

4.3.4 Forme des otolithes

4.3.4.1 Analyses de forme des otolithes pour les individus analysés par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites

La forme des otolithes n'a pu être étudiée que pour 326 des 353 individus analysés par ailleurs par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites (Tableau 18).

Tableau 18. Nombre d'individus analysés par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites et dont la forme des otolithes a pu être étudiée.

SECTEUR	N
BELEP_N	85
BELEP_S	120
CANALA	45
MONT-DORE	16
NEPOUI	32
NOUMEA	28
Total	326

Analyses de la forme à partir de mesures linéaires

Etudiées une à une, les différentes mesures linéaires ne permettent pas de discriminer les otolithes en fonction de leur origine et seuls les jeunes individus provenant de Nouméa se singularisent (Figure 25).

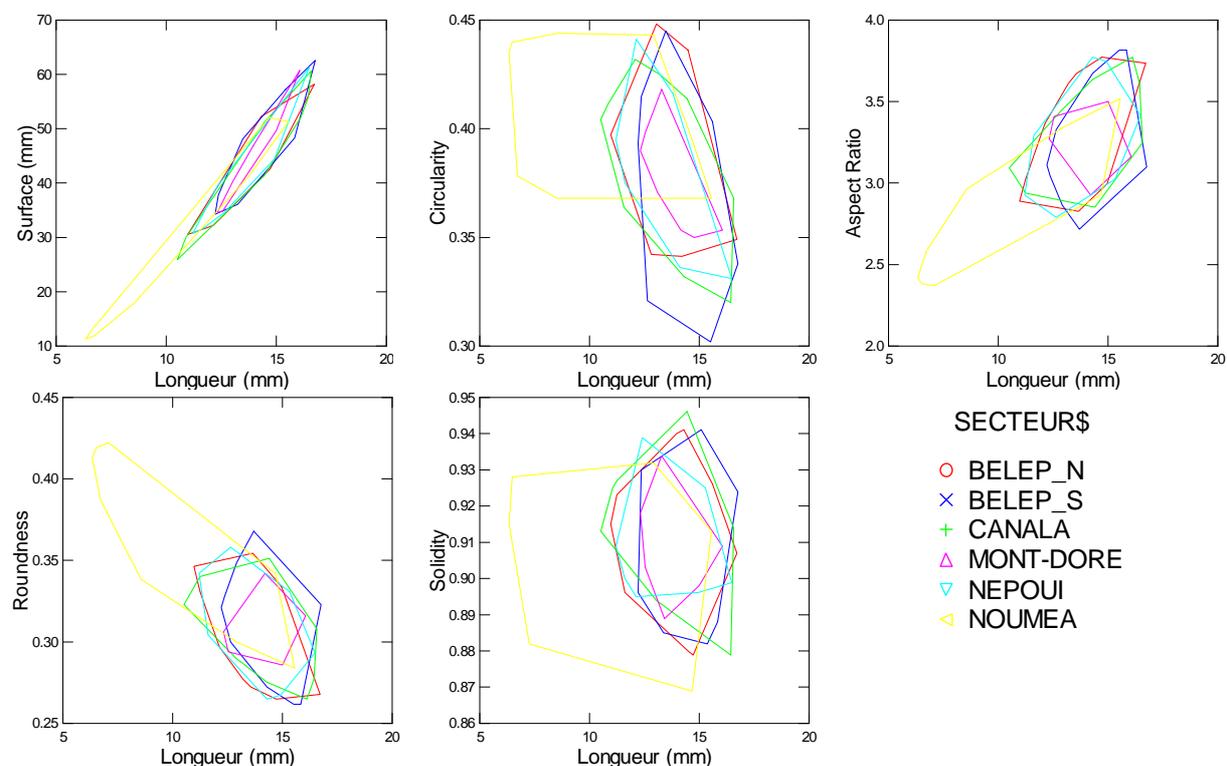


Figure 25. Mesures linéaires en fonction de la longueur des otolithes en fonction de la provenance des individus. Seule l'enveloppe est dessinée afin de simplifier les graphes.

La conséquence logique de ces observations sur les variables prises une à une est que lorsque toutes les mesures linéaires sont considérées, les observations s'ordonnent suivant la taille des otolithes et non pas leur provenance (Figure 26).

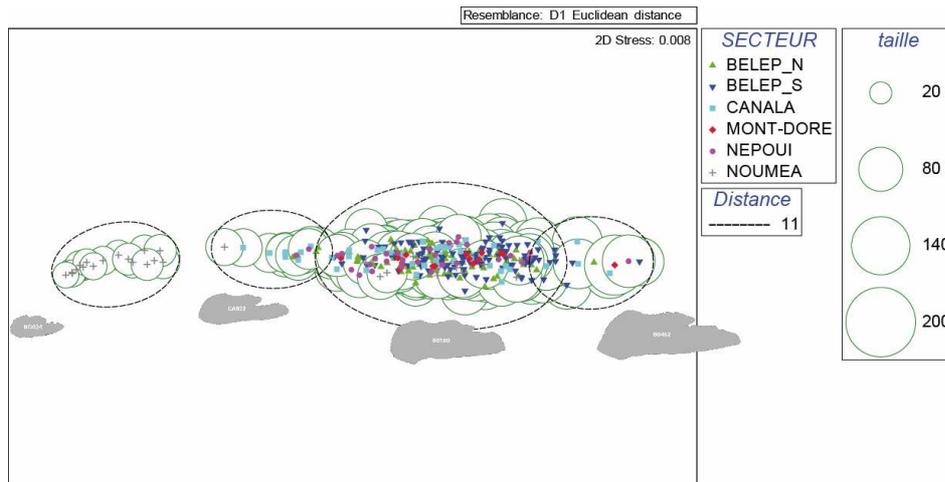


Figure 26. Résultats de l'analyse MDS sur les distances euclidiennes calculées à partir des descripteurs de forme (N = 11) des otolithes de 326 individus analysés par ailleurs par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites. Les symboles correspondent aux différents secteurs (Bélep nord et sud, Canala, Mont-Dore, Népoui et Nouméa). Les pointillés regroupent les individus détectés comme similaires au seuil de 0,26 dans une analyse par groupement moyen sur les distances euclidiennes. Les cercles sont proportionnels à la taille (LF en cm) des individus. La forme de quelques otolithes est présentée pour information.

Les mesures linéaires effectuées sur l'observation 2D des otolithes ne permet donc pas de séparer les individus suivant leur provenance géographique.

Analyses de la forme du contour par FFT

A l'échelle de la Nouvelle-Calédonie, l'étude de la forme du contour des otolithes ne permet pas de mettre en évidence des différences en fonction de l'origine géographique des individus, seuls quelques individus singuliers se distinguent (Figure 27).

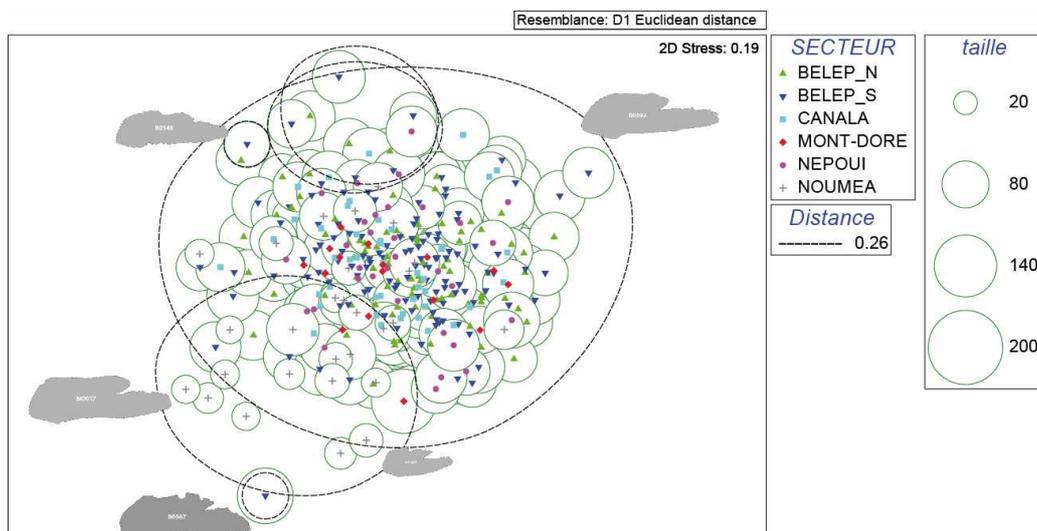


Figure 27. Résultats de l'analyse MDS sur les distances euclidiennes calculées à partir des descripteurs de Fourier 2 à 20 (N = 38) des otolithes de 326 individus analysés par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites. Les symboles correspondent aux différents secteurs (Bélep nord et sud, Canala, Mont-Dore, Népoui et Nouméa). Les pointillés regroupent les individus détectés comme similaires au seuil de 0,26 dans une analyse par groupement moyen sur les distances euclidiennes. Les cercles sont proportionnels à la taille (LF en cm) des individus. La forme de quelques otolithes est présentée pour information.

De même pour les individus capturés à Bélep, aucune différence de la forme 2D ne peut être mise en évidence en fonction de l'origine spatiale (nord ou sud d'une ligne passant par Wala) ou de la saison de capture (avril-juin, juillet-septembre et octobre-décembre) des individus (Figure 28).

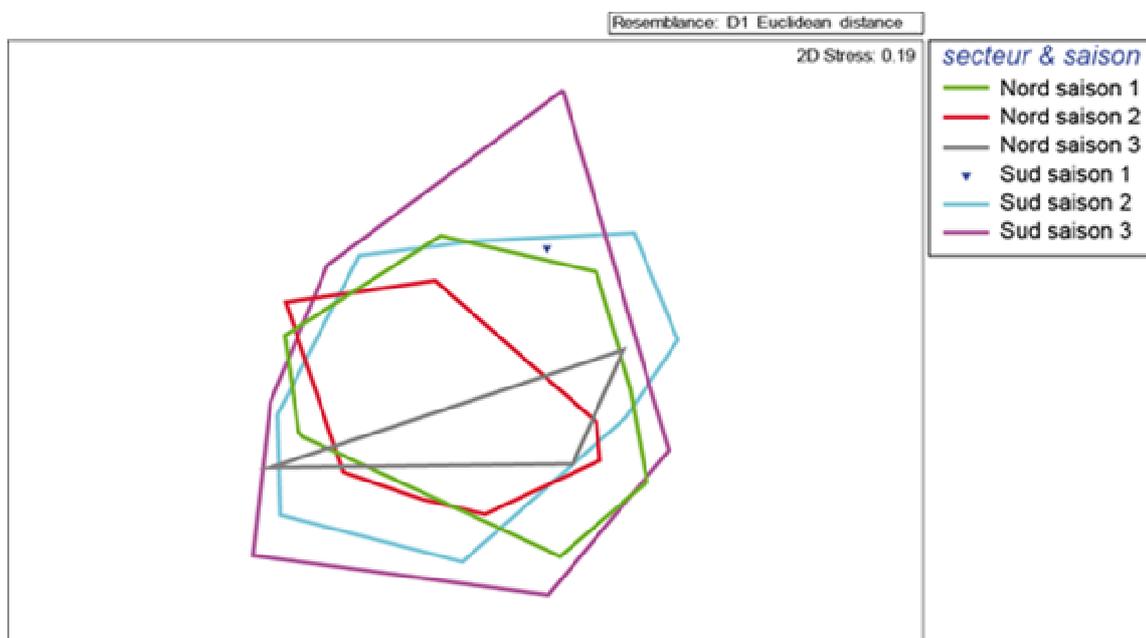


Figure 28. Résultats de l'analyse MDS sur les distances euclidiennes calculées à partir des descripteurs de Fourier 2 à 20 (N = 38) des otolithes de 205 individus provenant de Bélep analysés par le polymorphisme de longueur à 8 loci microsatellites. Les couleurs correspondent aux secteurs au sud et au nord d'une ligne passant par Wala et saisons (1 : avril-juin, 2 : juillet-septembre et 3 : octobre-décembre). Seuls les contours, et l'individu unique de la saison 1 dans le sud, sont représentés afin de simplifier le graphe.

4.4 Conclusions volet 3

Aucun patron n'apparaît clairement dans les variations du sex-ratio en fonction des sites échantillonnés. Comme cette valeur est importante en termes de connaissance de la biologie de cette ressource et de sa gestion, il faudra analyser plus d'individus, capturés à différentes saisons en chacun des sites afin d'affiner les valeurs obtenues.

La croissance de *S. commerson* étudiée à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie est confirmée comme étant faible même si l'ajout d'individus supplémentaires durant cette étude, en particulier ceux de petite taille, démontre que le modèle de Von Bertalanffy n'est peut-être pas le modèle le plus adapté pour décrire cette croissance à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie pour les poissons de plus de 5 ans (soit environ 90cm). Un second modèle d'ajustement est par ailleurs proposé pour les individus de plus de 5 ans. Déterminer si les individus des populations mises en évidence par les analyses microsatellites grandissent de manière différente demanderait d'obtenir en chacun des sites des individus 0⁺ afin de préciser l'allure de la partie basse de la courbe du modèle. De la même manière, il faudrait pouvoir analyser des individus 1⁺ obtenus par d'autres moyens que la pêche à la traîne, celle-ci

sélectionnant potentiellement les individus les plus grands de la cohorte et entraînant donc possiblement une surestimation de la taille des individus à cet âge.

Ces premières mesures réalisées sur la côte est et la côte ouest pendant la période de reproduction suggèrent par ailleurs que les tazarids capturés sur la côte ouest (Nouméa, Mont-Dore et Népoui) n'atteindraient pas (ou rarement) l'âge des gros individus de la côte est (Canala) et des îles Bélep, avec un écart de 3 à 5 ans. Ces observations, importantes à considérer en matière de gestion de la pêcherie sur la côte ouest, seraient à confirmer par un échantillonnage plus élevé des prises sur les principaux sites de pêche de cette zone.

Enfin il a été démontré que la forme 2D des otolithes de *S. commerson* étant très variable en Nouvelle-Calédonie, elle ne peut pas être utilisée afin de déterminer l'origine géographique d'un individu, ni son appartenance à une population. L'appartenance d'un individu à une population ne peut donc être déterminée que grâce aux outils moléculaires.

5. Références citées

- Bandelt HJ, Forster P, Röhl A (1999) Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution* 16, 37-48.
- Bernard, H.R., Killworth, P., Kronenfeld, D., Sailer, L. (1984) The problem of informant accuracy: The validity of retrospective data. *Annual Review of Anthropology* 13, 495-517.
- Bertalanffy L von (1938) A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biol.* 10, 181-213.
- Casabonnet H. (2007) La pêche au tazard *Scomberomorus commerson* aux îles Bélep (Nouvelle-Calédonie). Stage de Master 2 Univ. La Rochelle/IRD, Nouméa, 58 p.
- Collette BB, Russo JL (1984) Morphology, systematics, and biology of the Spanish mackerels (Scombridae). *Fishery Bulletin* 82, 545-692
- Crampton JS, Haines AJ (1996) Users' manual for programs HANGLE, HMATCH, and HCURVE for the Fourier shape analysis of two-dimensionnal outlines. Institute of Geological and Nuclear Sciences science report 96/37, 1-28.
- David G., Léopold M., Fontenelle G., Dumas P., Ferraris J., Herrenschmidt J.B. (2010). Integrated coastal zone management perspectives to ensure the sustainability of the coral reefs in New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin* 61, 323-334.
- Guillemot N., Léopold M. (2010) Atlas of non-professional reef fishing activities in the Vook-Koohnê-Pwëëbuu (Voh-Koné-Pouembout) area, New Caledonia (2007 data). IRD, Nouméa, 38p. www.coreus.ird.fr/documents/publications/2010/Guillemot-&-Leopold_IRD_2010_Atlas-reef-fisheries-NC_low.pdf
- Guillemot N., Léopold M., Chabanet P., Cuif M. (2009) Characterization and Management of Informal Fisheries Confronted with Socio-Economic Changes in New Caledonia (South Pacific). *Fisheries research* 98:51-61.
- Haines AJ, Crampton JS (2002) Improvements to the method of Fourier Shape Analysis as applied in morphometric studies. *Palaeontology* 43, 765-783.
- Hoolihan JP, Anandh P, van Herwerden L (2006) Mitochondrial DNA analyses of narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) suggest a single genetic stock in the ROPME sea area (Arabian Gulf, Gulf of Oman, and Arabian Sea). *ICES Journal of Marine Science* 63, 1066-1074
- Jollit I., 2010. Spatialisation des activités humaines et aide à la décision pour une gestion durable des écosystèmes coralliens : la pêche plaisancière dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat UNC/IRD, Nouméa, 800p.
- Jollit I., M. Léopold, N. Guillemot, G. David, P. Chabanet, J.M. Lebigre, J. Ferraris (2010). Geographical aspects of informal reef fishery systems in New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin* 61, 585-597.
- Léopold M., Casabonnet H., Ponton D., 2009. Etude du stock exploité de tazards de Bélep : évaluation des paramètres halieutiques. Rapport ZONECO, Nouméa, 53 p.
- Léopold M, Guillemot N, Rocklin D (soumis). Mapping small-scale fisheries through fisher interviews. *Fish and Fisheries*.
- Lewis PD, Mackie MC (2002) Methods used in the collection, preparation and interpretation of narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) otoliths for study of age growth in Western Australia. *Fisheries Research Report No 143, Department of Fisheries, Western Australia*, 23p.
- Ovenden JR, Street R (2007) Genetic population structure of Spanish mackerel. In: Buckworth RC, Newman SJ, Ovenden JR, Lester RJG, McPherson GR (eds) *The stock structure of Northern and Western Australian Spanish mackerel. Fishery Report 88 (FDRC98/159). Northern Territory Government, Australia*, pp 93–143
- Ponton D, Tiavouane J, Léopold M (2009) Étude du stock exploité de tazards des Bélep : évaluation de paramètres biologiques et halieutiques. Volet 2 : évaluation des paramètres biologiques. Rapport Zonéco, 52p.
- Rice WR (1989) Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43:223–225
- Russ JC (1994) *The Image Processing Handbook*. CRC Press, Boca Raton, 674pp.
- Sudman, S. and Bradburn, N.M. (1973) Effects of time and memory factors on response surveys. *Journal of the American Statistical Society* 68, 805-815.
- Sulaiman ZH, Ovenden JR (2010) Population genetic evidence for the east-west division of the narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*, Perciformes: Teleostei) along Wallace's Line. *Biodiversity and Conservation* 19, 563-574
- van Herwerden L, McIlwain J, Al-Oufi H, Al-Amry W, Reyes A (2006) Development and application of microsatellite markers for *Scomberomorus commerson* (Perciformes; Teleostei) to a population genetic study of Arabian Peninsula stocks. *Fisheries Research* 79, 258-266
- Zahn CT, Roskies RZ (1972) Fourier descriptors for plane closed curves. *IEEE Transactions on Computers* C-21, 269-281.