# Étude du stock exploité de tazards des Bélep :

# Évaluation des paramètres biologiques et halieutiques

**Volet 3 : étude de la forme des otolithes**

**Dominique Ponton & Marc Léopold**

**IRD Nouméa**

Juillet 2009

Institut de recherche pour le développement

ZoNéCo

PROGRAMME D'EVALUATION DES RESSOURCES MARINES DE LA ZONE ECONOMIQUE DE NOUVELLE-CALEDONIE

**Sommaire**

1 Introduction ..... 5
2 Matériels et méthodes ..... 5
2.1 Origine des échantillons ..... 5
2.2 Extraction des otolithes ..... 5
2.3 Acquisition des images et des mesures ..... 7
2.4 Analyses des données ..... 7
3 Résultats ..... 9
3.1 Matériel disponible ..... 9
3.2 Tailles des otolithes ..... 9
3.3 Forme des otolithes ..... 11
3.3.1 Descripteurs de forme sans dimension ..... 11
3.3.2 Analyses du contour par ACP ..... 13
3.3.3 Analyses du contour par groupement hiérarchique et MDS ..... 15
3.4 Relation entre forme et période ou site de capture ..... 17
3.5 Choix des individus pour les analyses génétiques ..... 17
4 Discussion et conclusion ..... 20
5 Références citées ..... 21

# 1 Introduction

Le rapport présenté ici constitue le quatrième et dernier volet de l'étude du stock exploité de tazards aux Bélep qui a été inscrite dans le programme ZoNéCo 2007-2008. L'approche présentée ici avait pour objectif principal de permettre d'émettre des hypothèses sur l'existence d'une ou plusieurs population(s) de tazards présente(s) aux iles Bélep et sur quelques éléments de leur fonctionnement, en particulier en ce qui concerne le déplacement des individus. Ces hypothèses sont issues des enquêtes des pêcheurs (cf. volet 1) et du suivi biologique (cf. volet 2).

Ce travail s'est basé sur la forme 2D du contour des otolithes entiers, approche qui permet non seulement d'identifier les espèces de *Scomberomorus* (Johnson 1996), mais aussi des individus ayant vécus dans des milieux différents (Campana & Casselman 1993; Tuset et al. 2003).

La forme 2D du contour des otolithes est généralement effectuée par analyse de Fourier. Le but de cette analyse est de décomposer le contour d'une forme 2D irrégulière en des composants simples que sont les harmoniques (Lestrel 1997), chaque harmonique ajoutant des détails plus précis à la description de la forme (Campana & Casselman 1993). L'utilité de cette technique réside dans le fait que l'amplitude associée à chaque harmonique indique sa contribution à la forme totale et que les harmoniques, une fois sommées, peuvent être utilisées pour recréer le contour. L'approche la plus couramment utilisée pour convertir des données de contours en coordonnées polaires avant une analyse de Fourier est basée sur des mesures depuis le centre de la forme (Lestrel 1997). Comme un rayon tracé depuis le centre d'un otolithe peut intercepter le contour en plus d'un point, c'est l'utilisation d'algorithmes de fonctions angulaires (Zahn & Roskies 1972 ; Haines & Crampton 2002) qui lui a été préféré dans le cadre de cette étude.

# 2 Matériels et méthodes

## *2.1 Origine des échantillons*

Les poissons étudiés, récoltés en collaboration étroite avec les pêcheurs des Bélep, sont les mêmes que ceux qui ont servi à l'étude des paramètres biologiques de *S. commerson* dans cet archipel (cf. volet 2).

## *2.2 Extraction des otolithes*

L'extraction des sagittae a été réalisée au laboratoire suivant un protocole standard (Lewis & Mackie 2002). Brièvement, la face ventrale de la tête est incisée et les branchies et le pharynx sont ôtés. De cette manière on atteint les capsules otiques qu'on découpe de part et d'autres pour récupérer les sagittae. Chaque paire de sagittae est ensuite nettoyée et séchée sur du papier absorbant puis conservée à sec dans des tubes portant le numéro du poisson.

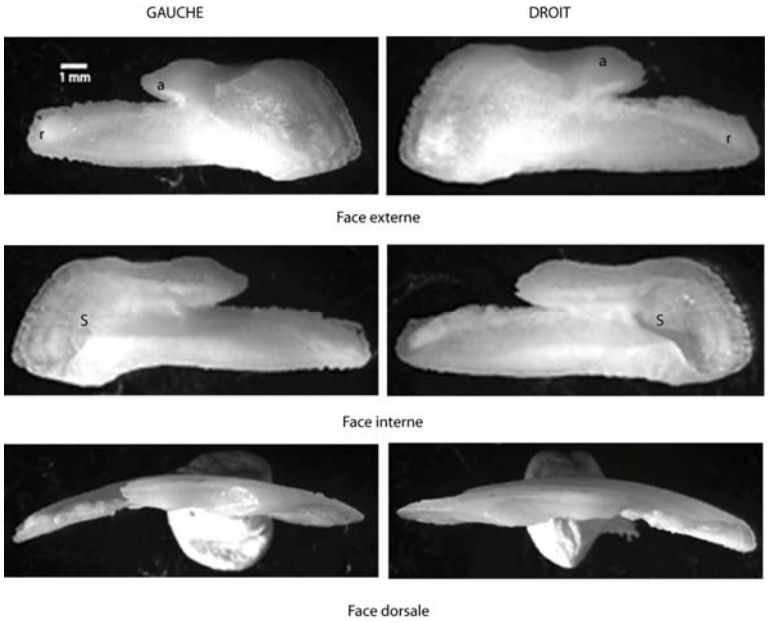



Figure 1 : Otolithe de tazard gauche et droit présentés face externe (concave), face interne (convexe) et face dorsale. Avec r= rostre, a= antirostre, s= sillon.

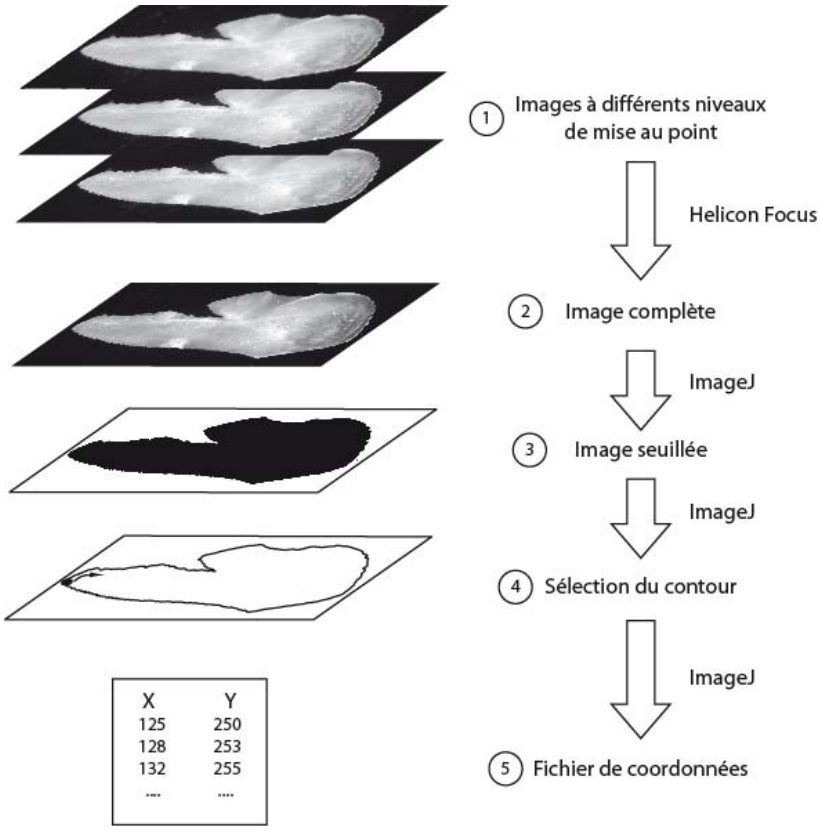



Figure 2 : Étapes du traitement des images d'un otolithe depuis la prise des images à différents niveaux de mise au point jusqu'au fichier de coordonnées du contour et logiciels utilisés.

## 2.3 Acquisition des images et des mesures

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 (Figure 1), 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 2). Ces trois images ont été traitées à l'aide du logiciel Helicon Focus[1] 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 ImageJ[2], le rostre étant pris comme origine pour chaque contour (Figure 2).

## 2.4 Analyses des données

Les mesures linéaires effectuées sur chaque otolithe ont été utilisées pour calculer trois descripteurs de forme sans dimension : FormFactor, Roundness et Aspect Ratio (Russ 1994) avec :

$$FormFactor = \frac{4\pi Surface}{Perimètre^2}$$

Le FormFactor est l'inverse du rapport du périmètre au carré d'un objet sur le périmètre au carré d'un cercle de même surface. Plus la valeur est faible, plus le contour de l'otolithe est sinueux.

$$Roundness = \frac{4Surface}{\pi DiamètreMax^2}$$

Roudness est le rapport entre la surface de l'objet et la surgace d'un cercle de même diamètre maximal. Plus la valeur est élevée, plus la forme de l'otolithe approche celle d'un disque.

$$AspectRatio = \frac{Longueur}{L\arg eur}$$

L'Aspect Ratio est le résultat de la division de la longueur par la largeur. Plus la valeur est élevée, plus l'otolithe est allongé.

[1] www.heliconsoft.com/heliconfocus.html
[2] rsbweb.nih.gov/ij/

Tableau 1. Nombre d'otolithes dont la forme a été analysée par site de pêche et par mois pour chacun des sexes. Voir annexe 1 pour la localisation des sites.

**Femelles**

| | Secteurs | | | | | | | | | | | | - |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MOIS** | **?** | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** | **Total** |
| **Avril** | - | 15 | - | - | 9 | - | 4 | - | - | - | - | - | **28** |
| **Mai** | - | - | - | 6 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | **26** |
| **Juin** | - | - | - | 4 | - | - | - | - | 7 | - | - | - | **11** |
| **Juillet** | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 3 | 16 | - | - | **24** |
| **Août** | - | - | 4 | - | - | 2 | - | 2 | 7 | - | - | - | **15** |
| **Septembre** | - | 12 | - | 10 | - | - | - | 8 | 5 | - | 5 | 6 | **46** |
| **Octobre** | 6 | - | 2 | 3 | - | - | - | 9 | 1 | - | 6 | - | **27** |
| **Novembre** | 6 | - | - | - | - | - | - | 3 | - | 8 | - | - | **17** |
| **Décembre** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | **1** |
| **Total** | **12** | **27** | **6** | **23** | **29** | **2** | **4** | **27** | **23** | **24** | **12** | **6** | **195** |

**Mâles**

| | Secteurs | | | | | | | | | | | | - |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MOIS** | **?** | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** | **H** | **I** | **J** | **K** | **Total** |
| **Avril** | - | 12 | - | - | 18 | - | 2 | 1 | - | - | - | - | **33** |
| **Mai** | - | - | - | 5 | 10 | 3 | - | - | - | - | - | - | **18** |
| **Juin** | - | - | - | 8 | - | - | - | - | 9 | - | - | - | **17** |
| **Juillet** | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 3 | 7 | - | - | **17** |
| **Août** | - | - | 15 | - | - | 2 | - | 2 | 4 | - | - | - | **23** |
| **Septembre** | - | 11 | 1 | 10 | - | - | - | 19 | 11 | - | 10 | 12 | **74** |
| **Octobre** | 4 | - | 1 | 2 | - | - | - | 19 | 2 | - | 13 | - | **41** |
| **Novembre** | 1 | - | - | - | - | - | - | 11 | - | 6 | - | - | **18** |
| **Décembre** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | **3** |
| **Total** | **5** | **23** | **17** | **25** | **28** | **5** | **2** | **59** | **29** | **13** | **26** | **12** | **244** |

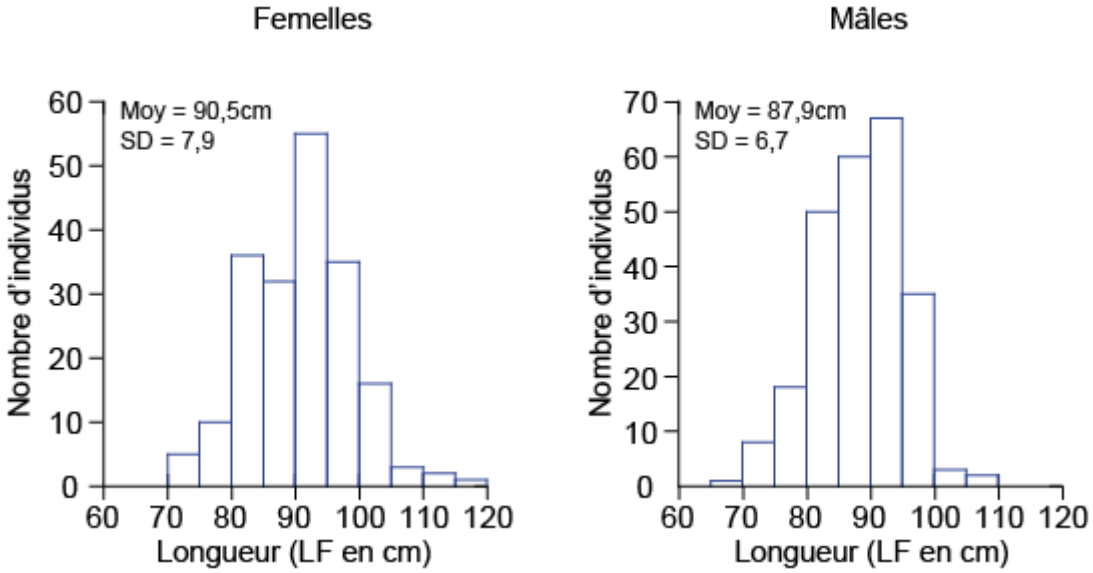



Figure 3. Distributions de tailles des femelles et des mâles dont la forme des otolithes a été analysée.

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 :

a) des analyses en composantes principales (ACP) basées sur les valeurs de coefficients,

b) 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 v11.

# 3 Résultats

## 3.1 Matériel disponible

Au total, les otolithes de 195 femelles et 244 mâles ont été analysés (Tableau 1), les femelles étant légèrement plus grandes que les mâles (Figure 3).

## 3.2 Tailles des otolithes

La taille des otolithes des tazards des Bélep varie de 10,5-11,0mm de long par env. 3,5mm de large pour les individus les plus petits à plus de 16mm de long par 5mm de large pour les individus les plus gros (Figure 4).

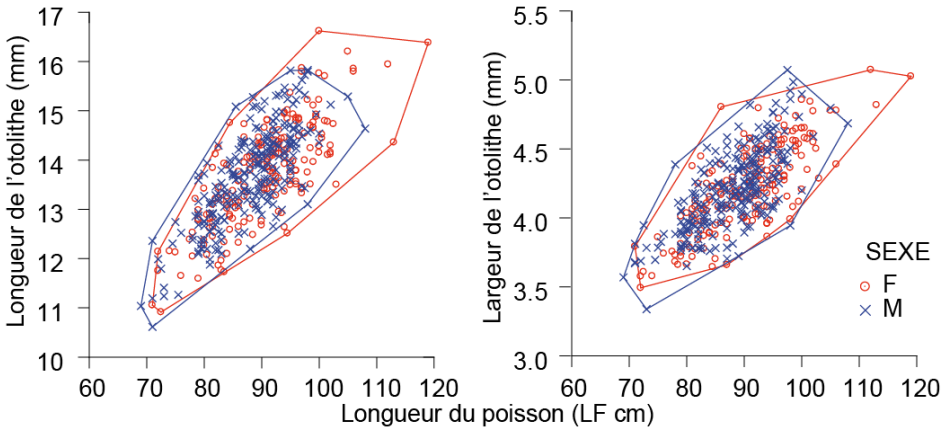



Figure 4. Longueur et largeur des otolithes de tazards des Bélep en fonction de la taille des individus. Tous sexes confondus, longueur et largeur augmentent de manière linéaire avec la taille (respectivement pente=0,104, F=618,1, P<0,001 et pente=0,030, F=541,0, P<0,001) mais on notera que la variabilité de la longueur augmente fortement avec la taille des individus.

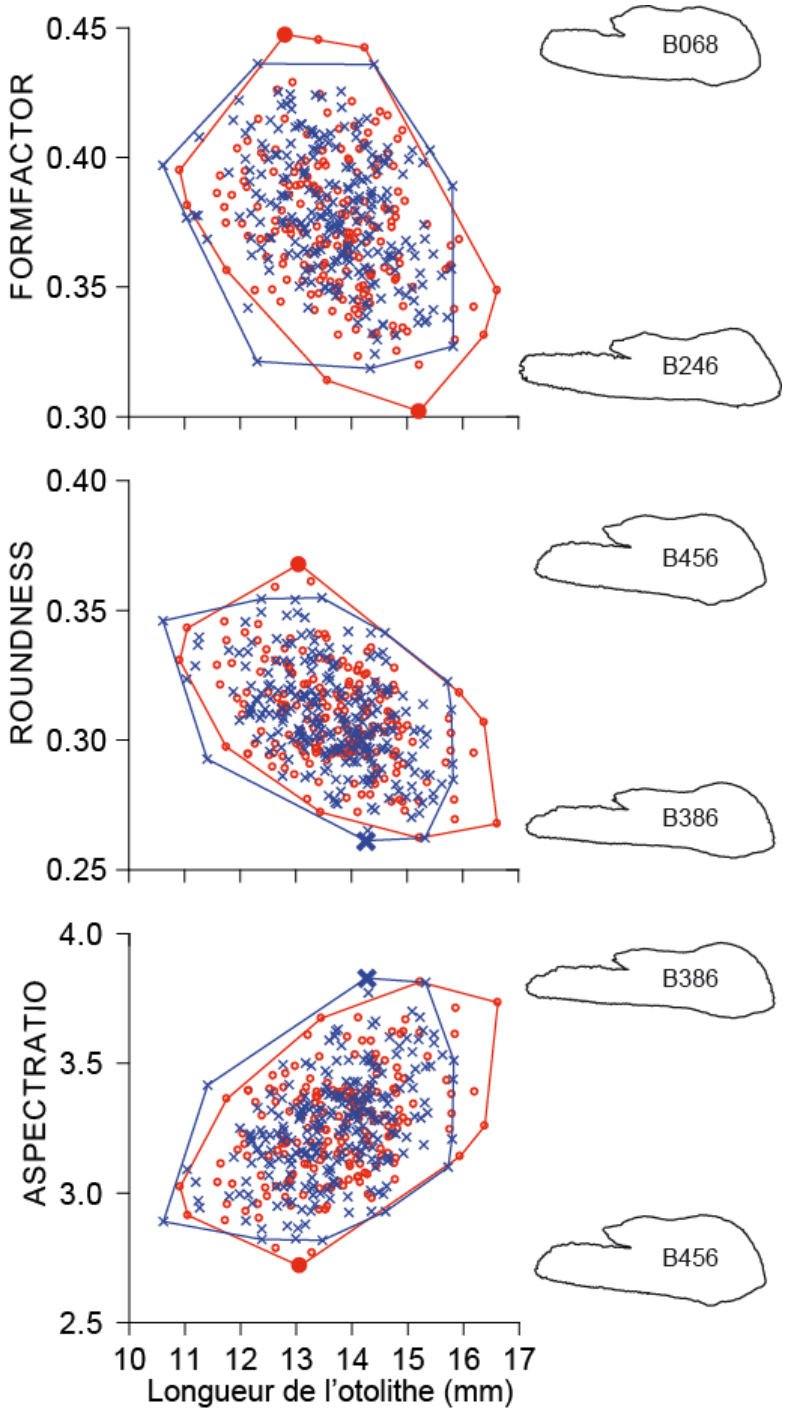



Figure 5. Valeurs de descripteur sans dimension (FormFactor, Roundness et Aspect Ratio, voir page 7 pour les définitions) en fonction de la longueur des otolithes. Avec ronds rouges=femelles et croix bleues=mâles. Les formes d'otolithes les plus extrêmes sont identifiées par un symbole en gras et les contours des otolithes correspondant incluant le numéro d'identification du poisson sont présentés à droite.

## 3.3 *Forme des otolithes*

### 3.3.1 Descripteurs de forme sans dimension

Les valeurs des descripteurs varient linéairement avec la taille de l'otolithe (Tableau 2) malgré une forte variabilité pour une taille donnée d'otolithe (Figure 5).

Tableau 2. Paramètres de la relation linéaire liant chaque descripteur à la longueur de l'otolithe.

| Descripteur | Pente | Intervalle 95% | F | P |
|---|---|---|---|---|
| **FormFactor** | -0,008 | -0,011 - -0,006 | 54,8 | <0,001 |
| **Roundness** | -0,008 | -0,010 - -0,007 | 112,6 | <0,001 |
| **Aspect Ratio** | 0,089 | 0,073 – 0,106 | 114,2 | <0,001 |

Les résidus de ces relations, c'est-à-dire les valeurs des descripteurs auxquelles l'effet de la taille a été enlevé, ne montrent pas de différences entre les secteurs nord et sud excepté en saison 3, saison à laquelle peu d'individus proviennent du nord de Waala (Figure 6).

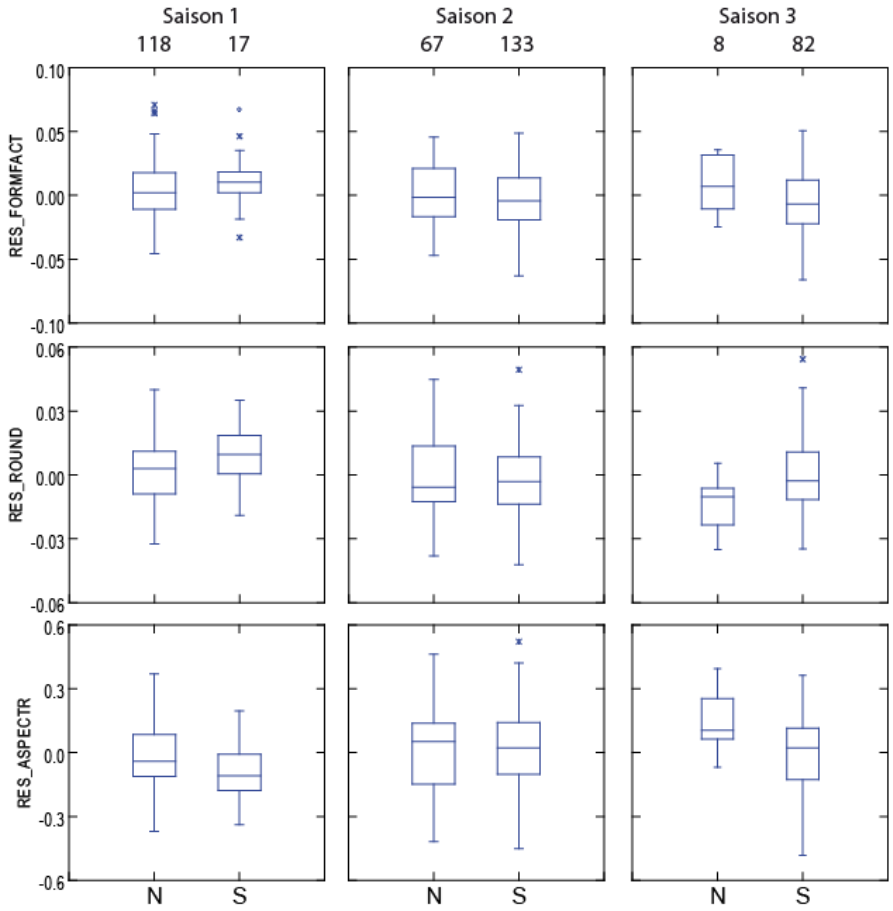



Figure 6. Distributions des résidus des relations linéaires liant chaque descripteur à la longueur de l'otolithe pour les secteurs au nord et au sud d'un ligne passant par Waala (voir Annexe 2) et pour chacune des saisons. Avec Saison 1 = avril-juin, Saison 2 = juillet – septembre et Saison 3 = octobre – décembre. Les chiffres au dessus des graphes indiquent les nombres d'individus.

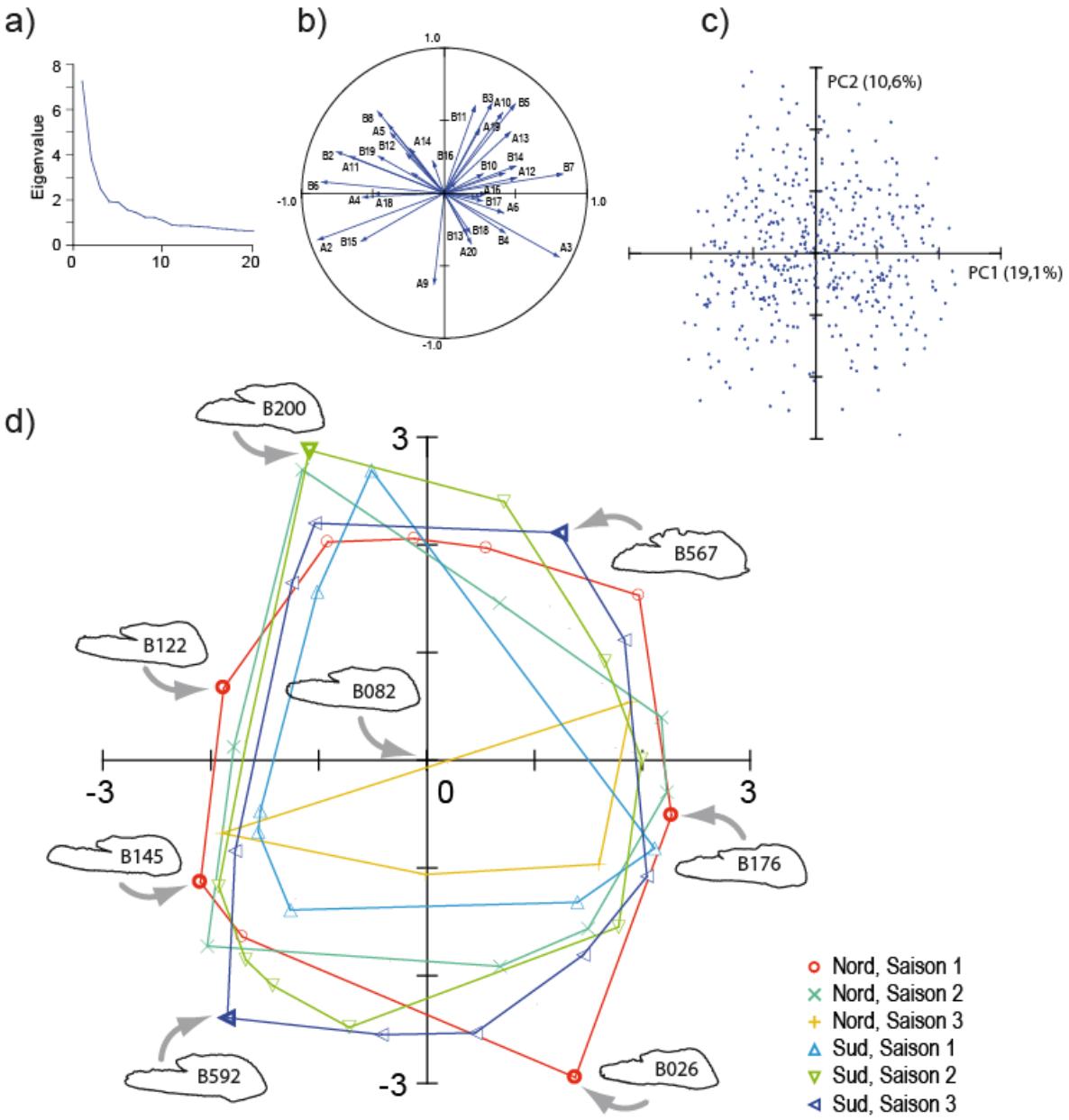



Figure 7. ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques. Avec a) distribution des valeurs propres, b) cercle de corrélation, c) projection des individus sur le premier plan factoriel avec pourcentage de variabilité totale expliquée par chaque axe, et d) distribution des individus sur ce même plan factoriel selon leur provenance géographique (nord ou sud d'une ligne passant par Waala) et temporelle (Saison 1 = avril-juin, Saison 2 = juillet – septembre et Saison 3 = octobre – décembre). Les formes d'otolithes les plus extrêmes, ainsi que celle d'un individu proche de l'origine, sont identifiées par un symbole en gras et le contour de l'otolithe correspondant incluant le numéro d'identification du poisson sont présentés. Pour permettre la lecture, tous les individus qui ne sont pas positionnés sur un contour ont été supprimés.

### 3.3.2 Analyses du contour par ACP

La projection des individus sur le premier plan factoriel de l'ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques ne met aucun groupement en évidence (Figure 7c). De plus les individus capturés aux trois saisons, au nord et au sud d'une ligne passant par Waala, se superposent presque totalement sur ce plan factoriel (Figure 7d). Le premier axe factoriel correspond en grande partie à la profondeur de l'indentation entre le rostre et l'anti-rostre (Figure 7d), les valeurs négatives correspondant aux otolithes avec une indentation très marquée, les valeurs positives aux individus avec une indentation de moins en moins marquée. Les valeurs négatives sur second axe correspondent à des otolithes plutôt allongés alors que les valeurs positives correspondent à des otolithes moins allongé (Figure 7d) comme le confirme la forte corrélation entre coordonnées sur cet axe et les valeurs d'aspect ratio ($R_{Pearson}$=-0,329, N=442, P<0,001). Les variations de forme décrites par ces deux axes ne se confondent ni avec la taille des otolithes (Figure 8), ni avec celle des individus (Figure 9).

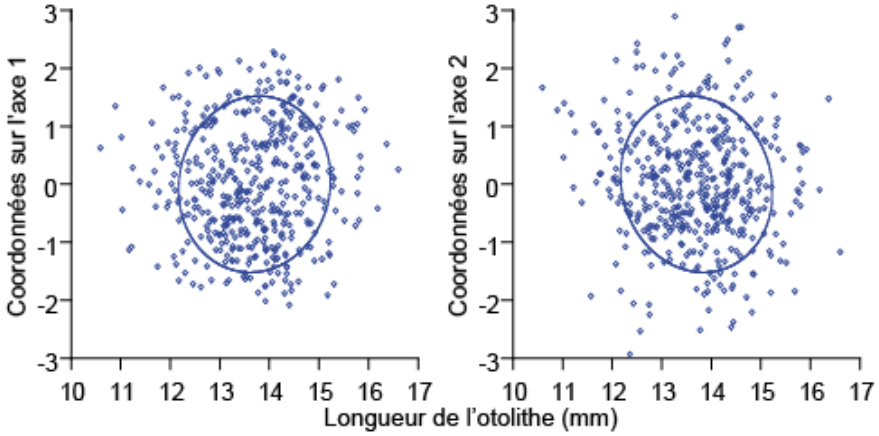



Figure 8. Coordonnées des individus sur les axes 1 et 2 de ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques en fonction de la longueur des otolithes.

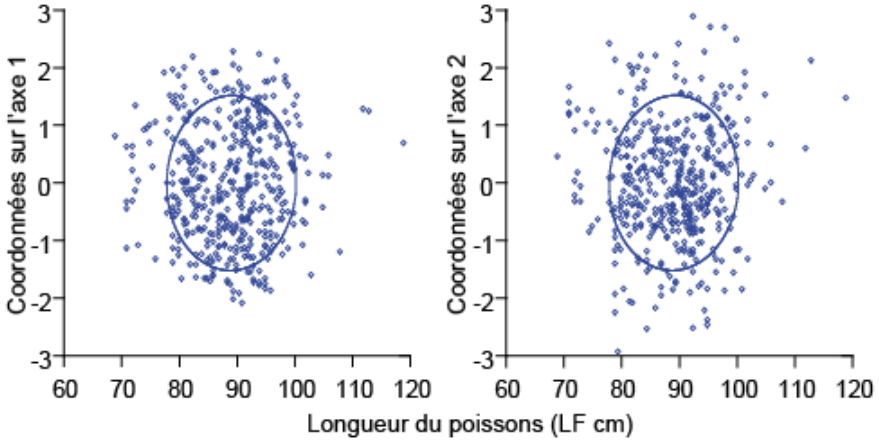



Figure 9. Coordonnées des individus sur les axes 1 et 2 de ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques en fonction de la taille des individus.

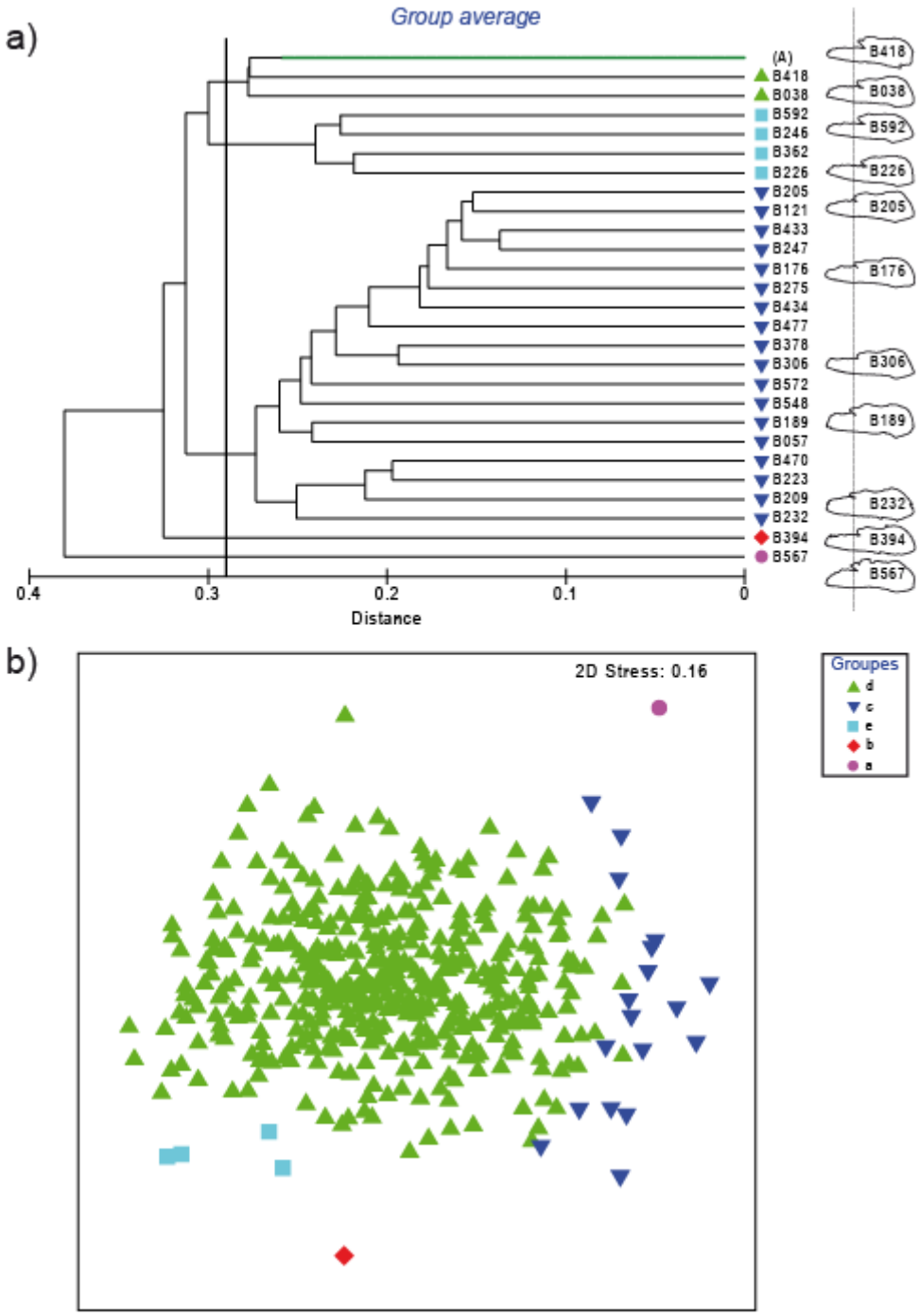



Figure 10. Analyses de la forme du contour des otolithes des tazards des Bélep basées sur les distances Euclidiennes entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques. Avec a) classification hiérarchique qui met en évidence cinq groupes, la branche notée (A) regroupant tous les individus du groupe « d » non représentés et contour de quelques otolithes de chaque groupe et b) résultats de l'analyse MDS avec représentation des individus des cinq groupes. La ligne verticale pointillée est tracée pour visualiser la position relative de l'anti-rostre.

Les résultats obtenus par analyse de la forme du contour des otolithes des tazards de Bélep sont donc bien indépendants de la taille des individus (ou de celle de leurs otolithes). Ils permettent d'identifier les formes extrêmes d'otolithe (principalement ouverture du sillon très indenté ou pas, otolithe très allongé ou pas) mais il existe un gradient continu de formes d'otolithes entre ces formes extrêmes.

D'autres ACP ont été effectuées, soit en diminuant le nombre de paires de coefficients, soit en ajoutant les descripteurs de forme sans dimension, soit encore en faisant les analyses pour chacune des saisons séparément. Toutes aboutissent aux mêmes résultats : 1) les formes extrêmes d'otolithes sont bien identifiées par les ACP mais un continuum de formes d'otolithes est toujours observé entre ces formes extrêmes, 2) la variabilité observée dans la forme de tous les otolithes se retrouve au sein des individus capturés en un même moment et au même endroit. Cette variabilité ne semble donc pas due à des poissons qui rejoindraient les poissons des Bélep à un moment donné et/ou en un site précis.

### 3.3.3 Analyses du contour par groupement hiérarchique et MDS

L'analyse SIMPROF basée sur les distances Euclidienne entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques indique que l'hypothèse nulle d'une absence de structure en groupes peut être rejetée (Annexe 3).

Cette structure en groupes est mise en évidence par classification hiérarchique qui permet de séparer les individus en cinq groupes qui se différencient par l'aspect du contour pour les individus isolés B394 et B 567, l'échancrure peu prononcée de l'ouverture du sillon pour les 18 individus du groupe « c », les positions relatives du rostre et de l'anti-rostre pour les individus des groupes « e » et « d », ces derniers présentant une échancrure prononcée de l'ouverture du sillon (Figure 10a). L'analyse MDS permet de visualiser les individus isolés, ceux des groupes « e » et « c » qui se retrouvent à la marge du groupe « d » renfermant la grande majorité (94.6%) des individus (Figure 10b). Visualisés sur le premier plan factoriel de l'ACP présentée plus haut, les individus des groupes a, b, c et c se retrouvent aussi à la périphérie du groupe d, même si la séparation est moins évidente (Figure 11).

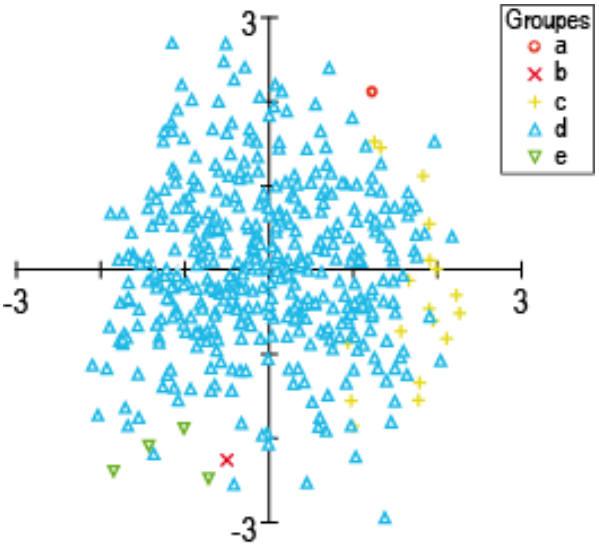



Figure 11. Groupes d'individus mis en évidence par la classification hiérarchique et visualisés sur le premier plan de l'ACP.

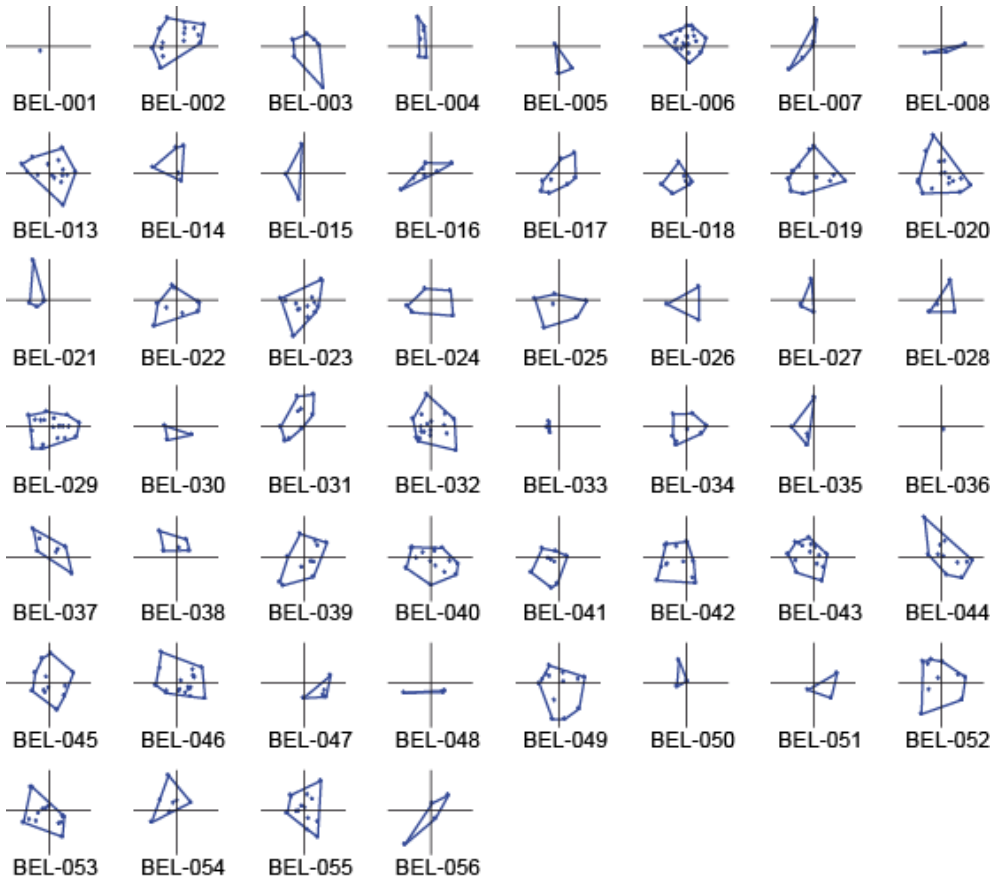



Figure 12. Position des individus sur le premier plan factoriel de l'ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques représentées pour chacune des pêches (= toutes les poissons d'un pêcheur d'un jour donné sur un site donné). Voir annexe 2 pour la date et le site de chaque pêche et annexe 1 pour la localisation des sites.

Tableau 3. Nombre d'individus de chacun des groupes identifiés par classification hiérarchique basée sur les distances Euclidiennes entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques par saison et localisation. Avec Saison 1 = avril-juin, Saison 2 = juillet – septembre et Saison 3 = octobre – décembre, N et S = respectivement nord et sud d'une ligne passant par Waala.

| | Groupes | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Saisons** | **a** | **b** | **c** | **d** | **e** | **Total** |
| **1** | 0 | 0 | 4 | 131 | 0 | **135** |
| **2** | 0 | 1 | 10 | 186 | 3 | **200** |
| **3** | 1 | 0 | 4 | 101 | 1 | **107** |
| **Total** | **1** | **1** | **18** | **418** | **4** | **442** |

| | Groupes | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Localisation** | **a** | **b** | **c** | **d** | **e** | **Total** |
| **N** | 0 | 0 | 7 | 186 | 0 | **193** |
| **S** | 1 | 1 | 11 | 215 | 4 | **232** |
| **Total** | **1** | **1** | **18** | **401** | **4** | **425** |

## 3.4 Relation entre forme et période ou site de capture

La position des individus sur le premier plan factoriel de l'ACP effectuée sur les 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques pour chacune des pêches indique que les individus ayant des formes extrêmes d'otolithes ne correspondent pas à des pêches particulières (Figure 12). En d'autres termes la variabilité observée dans la forme des otolithes se retrouve au sein des individus capturés au même moment et au même endroit.

De la même manière les groupes « c » et « e » identifiés par classification hiérarchique basée sur les distances Euclidiennes entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques ne semblent pas correspondre à des individus capturés à une saison particulière (Tableau 3). On remarque seulement que la plupart des individus du groupe « c » et tous les individus du groupe « e » proviennent de sites de pêche au sud d'une ligne passant par Waala (Tableau 3).

## 3.5 Choix des individus pour les analyses génétiques

Même si aucune structure n'a été détectée dans la distribution des individus sur le premier plan factoriel de l'ACP des formes très différentes de l'ouverture du sillon (indentation entre rostre et anti-rostre) ont été mises en évidence le long du premier axe (Figure 7d). Le fait qu'il existe tous les intermédiaires morphologiques possibles entre ces deux formes extrêmes plaide en faveur d'une seule population. Afin de tester cette hypothèse nulle par les analyses moléculaires, deux groupes d'individus ont été retenus : le premier correspondant à ceux dont les coordonnées le long de l'axe un sont inférieures à -1, le second à ceux dont les coordonnées sont supérieure à 1 (Tableau 4). Au sein de chacun de ces groupes, 30 individus, 10 par saison, seront sélectionnés au hasard et seront prochainement analysés dans le cadre de l'opération 2008-09.

Tableau 4. Nombre d'individus dont les coordonnées le long de l'axe un sont inférieures à -1ou supérieure à 1 par saison et localisation géographique par rapport à une ligne passant par Waala.

**Coordonnées inférieures à -1**

| | Nord ou sud de Waala | | |
|---|---|---|---|
| **Saison** | **N** | **S** | **Total** |
| **1** | 21 | 4 | **25** |
| **2** | 15 | 26 | **41** |
| **3** | 1 | 12 | **13** |
| **Total** | **37** | **42** | **79** |

**Coordonnées supérieures à 1**

| | Nord ou sud de Waala | | |
|---|---|---|---|
| | **N** | **S** | **Total** |
| **1** | 20 | 3 | **23** |
| **2** | 10 | 25 | **35** |
| **3** | 4 | 21 | **25** |
| **Total** | **34** | **49** | **83** |

A ces individus seront rajoutés tous les individus des groupes « a » (N=1), « b » (N=1), « c » (N=18) et « e » (N=4) ainsi que 120 individus sélectionnés au hasard (30 par saison) du groupe « d » dont les coordonnées le long de l'axe un sont comprises entre -1 et 1, soit au total 213 individus

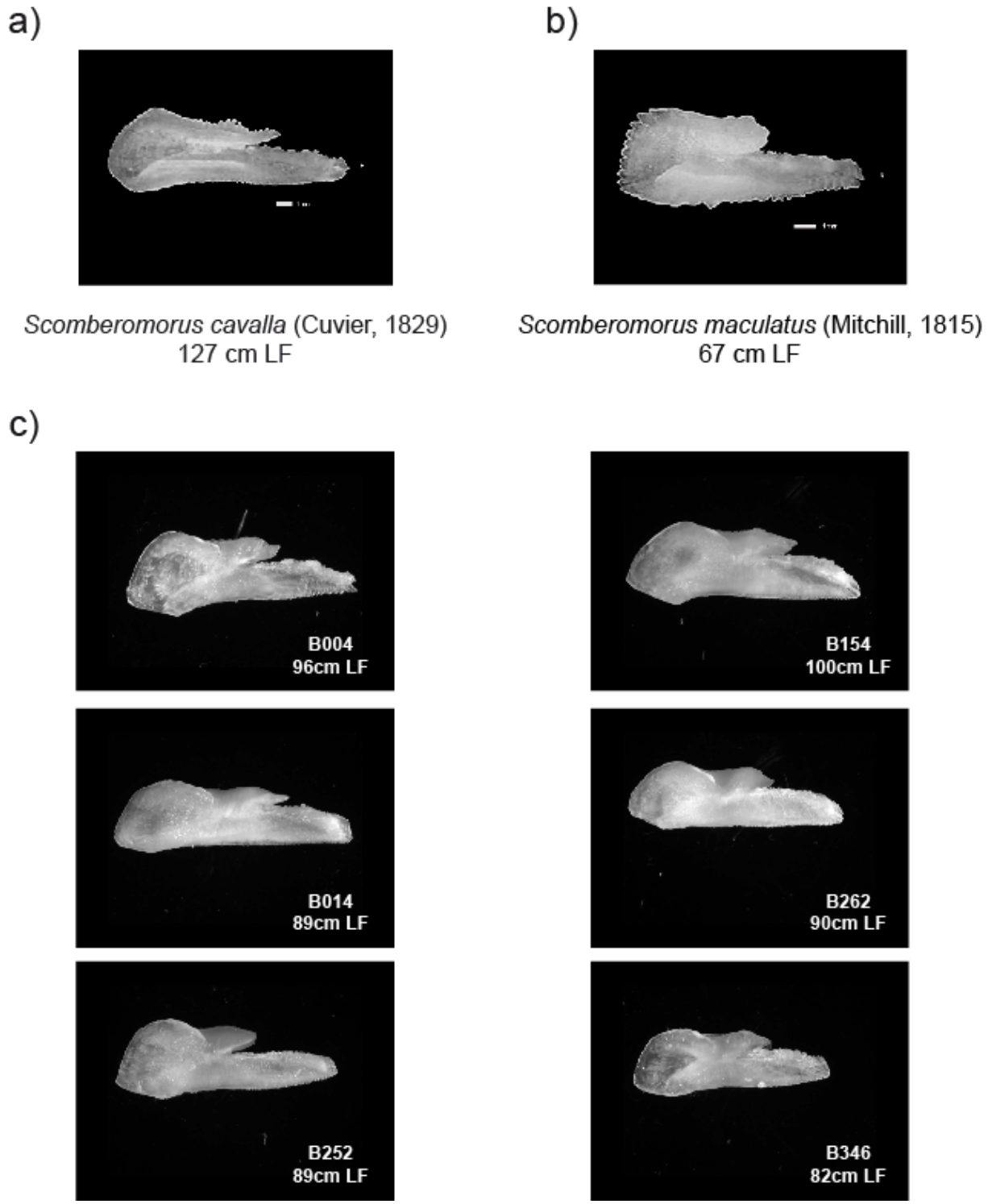



Figure 13. Images de sagittae de *S. cavalla* (a) et *S. maculatus* (b) capturés dans le nord du Golfe de Mexico (images provenant de la base AFORO, http://www.cmima.csic.es/aforo/index.jsp) et *S. commerson* (c) provenant des îles Bélep.

# 4 Discussion et conclusion

Les différentes analyses effectuées lors de ce travail montrent que les otolithes des tazards des Bélep présentent des différences importantes dans leur forme : ils sont plus ou moins allongés, présentent une ouverture de sillon plus ou moins indentée et leur contour est plus ou moins sinueux. Une partie de ces différences est liée à la taille des individus, et donc des otolithes, mais les analyses ont montré que des différences très importantes dans la forme des otolithes peuvent être observées pour des individus d'une même taille. Ainsi les différences de forme observées chez les otolithes de *S. commerson* au Bélep sont presque aussi importantes que celles observées entre deux espèces de l'Atlantique (Figure 13).

Cette variabilité importante observée dans la forme des otolithes semble pouvoir difficilement s'expliquer par le fait que des individus provenant d'ailleurs se mêlent aux individus des iles Bélep. En effet, aucune relation entre la forme des otolithes, ou la variabilité de ces formes, et le site et/ou la date de pêche n'a pu être mise en évidence. A ce stade du travail, seules des analyses génétiques, effectuées sur des individus présentant des otolithes de formes différentes et pour différentes saisons, permettront de tester l'hypothèse d'homogénéité de la population (un seul stock).

Il est probable qu'une part de la variabilité observée dans la forme des otolithes provient de la technique utilisée. Les sagittae de *S. commerson* sont incurvées (Figure 1) et le contour étudié dépend donc aussi en partie du degré de flexion du rostre. Des mesures de ce degré de flexion ont été tentées sur des sagittae observées en vue dorsale (Figure 1) mais ces mesures manuelles se sont avérées peu pratiques à effectuer et surtout à standardiser. Une approche aurait pu être de ne s'intéresser qu'à la partie postérieure de l'otolithe comme DeVries et al. ( 2002) l'ont fait dans leur étude sur la forme des otolithes de *S. cavalla*[3]. Cette approche n'a pas été choisie car à l'exception de ce travail, toutes les autres études se sont intéressées à la forme 2D de la totalité du contour des otolithes, c'est-à-dire à la totalité de la forme de l'objet biologique étudié.

Dans la suite de cette étude, d'autres techniques pourraient être testées pour étudier la forme 2D des otolithes de *S. commerson*. La morphométrie géométrique est une approche qui semble prometteuse pour discriminer des espèces (Ponton 2006) mais elle n'a jamais été utilisée pour étudier les différences intra-spécifiques. De plus, contrairement à la méthode utilisée dans ce travail, la prise de mesure ne peut se faire que manuellement, elle est donc beaucoup plus couteuse en temps.

Une autre approche qui pourrait être prometteuse est celle de l'analyse de forme par ondelettes (Parisi-Baradad et al. 2005). Comme la prise de données s'effectue sur les mêmes images que celles utilisées ici, et que la procédure peut être automatisée, le coût en temps d'acquisition est plus réduit que dans l'approche par morphométrie géométrique. Comme les procédures et logiciels d'analyses sont très

[3] Ces auteurs ont choisi de ne s'intéresser qu'à la partie postérieure des sagittae de *S. cavalla* car ils avaient un nombre important d'otolithes présentant un rostre endommagé ce qui n'était pas notre cas.

spécifiques, et n'ont été développés que par quelques équipes, la série d'images utilisées pour ce travail a été transmise à des collègues espagnols[4].

DeVries et al. ( 2002) ayant montré que la forme des otolithes de *S. cavalla* permet de discriminer des individus vivant dans des zones différentes (Golfe du Mexique et Océan Atlantique), lorsqu'ils se regroupent pour se reproduire, la prochaine étape de ce travail sera de déterminer si des différences de formes peuvent être détectées entre des individus capturés aux îles Bélep, à Népoui, à Canala et dans la région de Nouméa.

# 5 Références citées


Campana, S.E., Casselman, J.M. 1993. - Stock discrimination using otolith shape analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 50, 1062-1083.

Crampton, J.S., Haines, A.J. 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.

Casabonnet, H. (2007). Étude de la pêche au tazard (*Scomberomorus commerson*) aux îles Bélep, Nouvelle-Calédonie. Hypothèse sur son fonctionnement à partir de la perception des pêcheurs et mise en place d'un suivi d'exploitation. Rapport de Master 2 pro, Université de la Rochelle. 60p.

DeVries, D.A., Grimes, C.B., Prager, M.H. 2002. - Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. Fisheries Research 57, 51-62.

Haines, A.J., Crampton, J.S. 2002. - Improvements to the method of Fourier Shape Analysis as applied in morphometric studies. Palaeontology 43, 765-783.

Johnson, A.G. 1996. - Use of otolith morphology for separation of king mackerel (Scomberomorus cavalla) and Spanish mackerel (Scomberomorus maculatus). Gulf of Mexico Science 14, 1-6.

Lestrel, P.E. 1997. - Fourier Descriptors and their Applications in Biology. Cambridge University Press, Cambridge, 466pp.

Lewis, P.D. & Mackie, M.C. (2002). Methods used in the collection, preparation and interpretation of narrow-barred Sapnish mackerel (*Scomberomorus commerson*) oyoliths for study of age growth in Western Australia. Fisheries Research Report No **143**, Departement of Fisheries, Western Australia, 23p.

Parisi-Baradad, V., Lombarte, A., Garcia, L.E., Cabestany, J., Piera, J., Chic, O. 2005. - Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. Marine and Freshwater Research 56, 795-804.

Ponton, D. 2006. - Is geometric morphometrics efficient for comparing otolith shape of different fish species? Journal of Morphology 267, 750-757

Russ, J.C. 1994. - The Image Processing Handbook. CRC Press, Boca Raton, 674pp.

Tiavouane, J. (2008). Étude du stock exploité de tazards des îles Bélep (Nouvelle-Calédonie) : évaluation des paramètres biologiques. Rapport de Master 2 pro « Biologie, chimie, environnement », spécialité professionnelle « biodiversité et développement durable », Université de Perpignan, 47p.

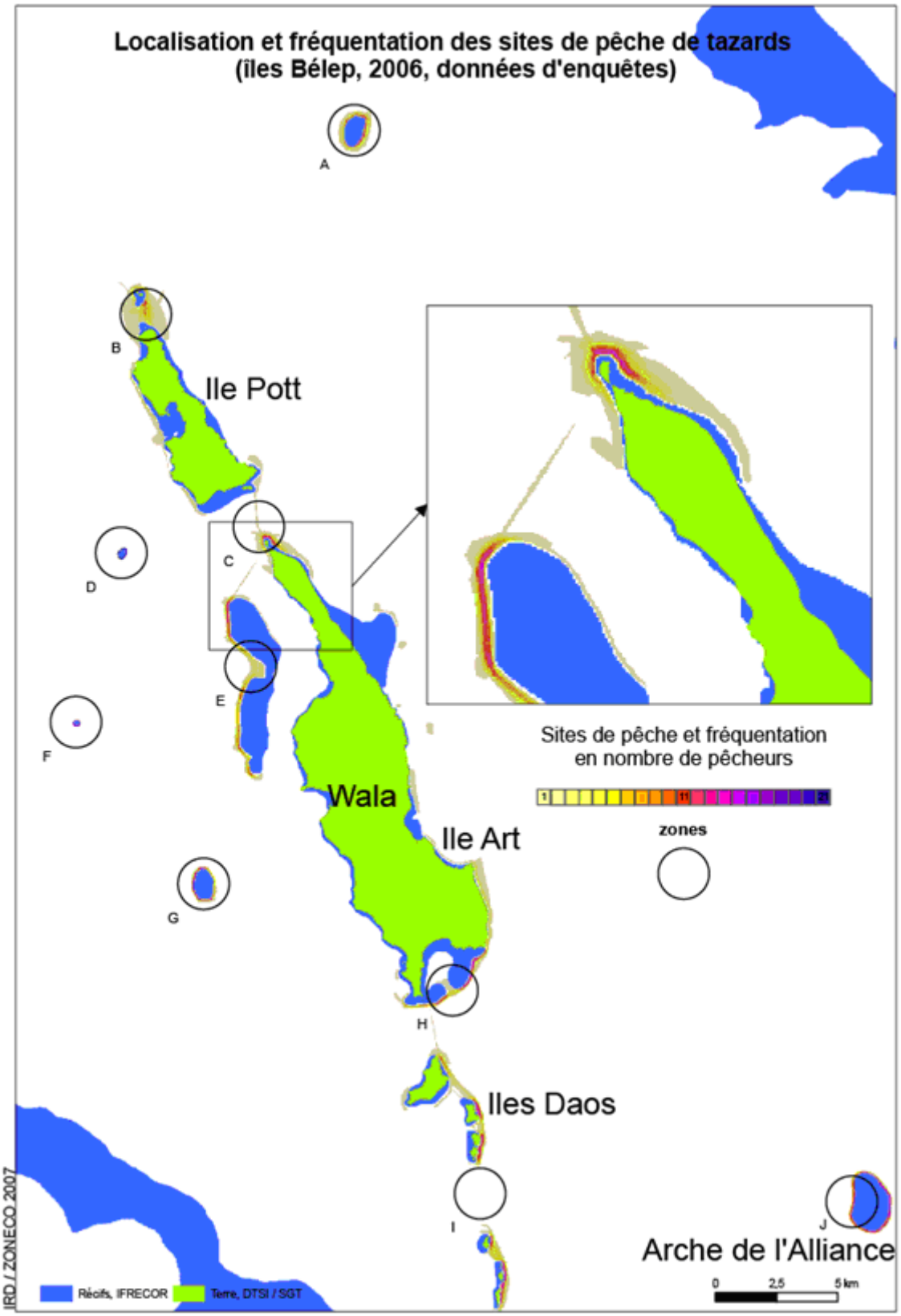
Tuset, V.M., Lozano, I.J., Gonzalez, J.A., Pertusa, J.F., Garcia-Diaz, M.M. 2003. - Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, Serranus cabrilla (L., 1758). Journal of Applied Ichthyology 19, 88-93.

Zahn, C.T., Roskies, R.Z. 1972. - Fourier descriptors for plane closed curves. IEEE Transactions on Computers C-21, 269-281.


[4] V.M. Tuset, Instituto Canario de Ciencias Marinas,Departamento de Biologı´a Pesquera, P.O. Box 56, E-35200 Telde (Las Plamas) Canary Islands, Spain

# ANNEXES

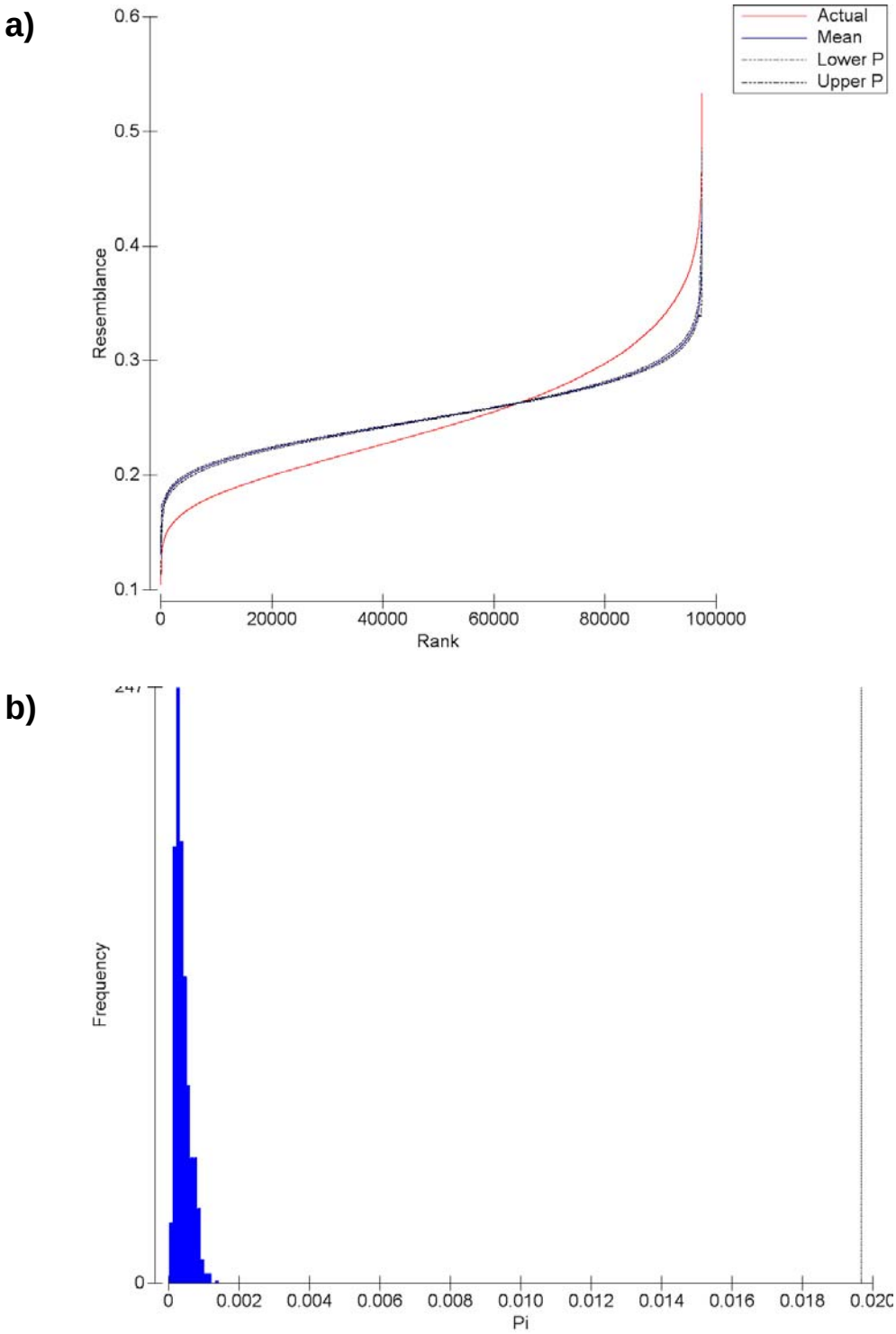
Annexe 1. Localisation et fréquentation des sites de pêches de tazards et des dix zones définies par Casabonnet (2007) aux îles Bélep. Les sites A à F correspondent à la zone nord définie par Tiavouane (2008), les sites G à J à la zone sud.



Annexe 2. Date et zone de chacune des pêches avec saison et position au nord (N) ou au sud (S) de Waala.

| Code pêche | date | Saison | Zone | N / S |
|---|---|---|---|---|
| BEL-001 | 10-avr-07 | 1 | G | S |
| BEL-002 | 10-avr-07 | 1 | D | N |
| BEL-003 | 13-avr-07 | 1 | D | N |
| BEL-004 | 15-avr-07 | 1 | D | N |
| BEL-005 | 17-avr-07 | 1 | F | N |
| BEL-006 | 18-avr-07 | 1 | A | N |
| BEL-007 | 19-avr-07 | 1 | A | N |
| BEL-008 | 25-avr-07 | 1 | F | N |
| BEL-009 | 03-mai-07 | 1 | G | S |
| BEL-013 | 10-mai-07 | 1 | D | N |
| BEL-014 | 21-mai-07 | 1 | C | N |
| BEL-015 | 21-mai-07 | 1 | E | N |
| BEL-016 | 23-mai-07 | 1 | D | N |
| BEL-017 | 24-mai-07 | 1 | D | N |
| BEL-018 | 26-mai-07 | 1 | C | N |
| BEL-019 | 15-juin-07 | 1 | C | N |
| BEL-020 | 19-juin-07 | 1 | H | S |
| BEL-021 | 04-juil-07 | 2 | G | S |
| BEL-022 | 05-juil-07 | 2 | I | S |
| BEL-023 | 06-juil-07 | 2 | I | S |
| BEL-024 | 26-juil-07 | 2 | G | S |
| BEL-025 | 30-juil-07 | 2 | H | S |
| BEL-026 | 31-juil-07 | 2 | G | S |
| BEL-027 | 02-août-07 | 2 | G | S |
| BEL-028 | 03-août-07 | 2 | E | N |
| BEL-029 | 08-août-07 | 2 | B | N |
| BEL-030 | 10-août-07 | 2 | H | S |
| BEL-031 | 11-août-07 | 2 | H | S |
| BEL-032 | 08-sept-07 | 2 | K | S |
| BEL-033 | 09-sept-07 | 2 | H | S |
| BEL-034 | 10-sept-07 | 2 | H | S |
| BEL-035 | 11-sept-07 | 2 | H | S |
| BEL-036 | 13-sept-07 | 2 | B | N |
| BEL-037 | 14-sept-07 | 2 | G | S |
| BEL-038 | 16-sept-07 | 2 | C | N |
| BEL-039 | 22-sept-07 | 2 | G | S |
| BEL-040 | 24-sept-07 | 2 | J | S |
| BEL-041 | 25-sept-07 | 2 | G | S |
| BEL-042 | 26-sept-07 | 2 | A | N |
| BEL-043 | 27-sept-07 | 2 | C | N |
| BEL-044 | 29-sept-07 | 2 | A | N |
| BEL-045 | 01-oct-07 | 3 | G | S |
| BEL-046 | 02-oct-07 | 3 | J | S |
| BEL-047 | 04-oct-07 | 3 | C | N |
| BEL-048 | 06-oct-07 | 3 | B | N |
| BEL-049 | 07-oct-07 | 3 | G | S |
| BEL-050 | 08-oct-07 | 3 | G | S |
| BEL-051 | 10-oct-07 | 3 | H | S |
| BEL-052 | 11-oct-07 | 3 | ? | |
| BEL-053 | 13-nov-07 | 3 | G | S |
| BEL-054 | 14-nov-07 | 3 | ? | |
| BEL-055 | 29-nov-07 | 3 | I | S |
| BEL-056 | 03-déc-07 | 3 | J | S |

Annexe 3. Mise en évidence d'une structure interne en groupes à l'aide d'une analyse SIMPROF basée sur les distances Euclidiennes entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques. Avec a) graphe du profil réel de similarité (en rouge), du profil moyen simulé par randomisation sous l'hypothèse nulle de l'absence de structure en groupes (en bleu) et de ses limites à 95% (en pointillé) et b) distribution de la statistique π sous l'hypothèse nulle de l'absence de structure en groupes (en bleu) et valeur réelle observée (ligne verticale).



**Résumé**

La forme 2D d'otolithes (sagittae) de 195 femelles et 244 mâles de *S. commerson* capturés aux îles Bélep entre avril et décembre 2007 a été étudiée à l'aide descripteurs de forme sans dimension (FormFactor, Roundness et Aspect Ration) et par analyse de Fourier de la forme du contour. Les valeurs des trois descripteurs varient linéairement avec la taille de l'otolithe mais présentent une forte variabilité pour une taille donnée d'otolithe. Les résidus de ces relations, c'est-à-dire la valeur des descripteurs auxquelles l'effet de la taille a été enlevé, ne montrent pas de différences entre les secteurs nord et sud excepté en saison 3, une saison à laquelle trop peu d'individus ont été capturés au nord de Waala pour en tirer une conclusion. Des ACP effectuée sur les 5, 10 et 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 5, 10 et 20 premières harmoniques n'ont permis de mettre en évidence aucun regroupement des individus projetés sur le premier plan factoriel. De plus, quelle que soit l'analyse effectuée, les individus capturés aux trois saisons, au nord et au sud d'une ligne passant par Waala, se sont avérés se superposer presque totalement sur ce plan factoriel. Une classification hiérarchique basée sur les distances Euclidienne entre otolithes calculées à partir des 20 paires de coefficients de Fourier associés aux 20 premières harmoniques a permis de séparer les individus en cinq groupes. Ceux-ci se différencient par l'aspect du contour pour deux individus isolés, l'échancrure peu prononcée de l'ouverture du sillon pour un groupe de18 individus, les positions relatives du rostre et de l'anti-rostre pour un groupe de quatre individus ainsi que la presque totalité des individus, ceux-ci présentant une échancrure prononcée de l'ouverture du sillon.

Ces différentes analyses ont donc permis d'identifier des formes extrêmes d'otolithe (principalement ouverture du sillon très indenté ou pas, otolithe très allongé ou pas) mais elles ont aussi mis en évidence qu'il existe un gradient continu de formes d'otolithes entre ces formes extrêmes. Elles ont aussi mis en évidence que la variabilité observée dans la forme des otolithes se retrouve au sein des individus capturés au même moment et au même endroit.

Même s'il est possible qu'une part de la variabilité observée dans la forme des otolithes provienne de la technique utilisée, ces résultats semblent pouvoir difficilement s'expliquer par le fait que des individus provenant d'ailleurs se mêlent aux individus des îles Bélep à un moment particulier et/ou en un site donné. A ce stade du travail, seules des analyses génétiques, effectuées sur des individus présentant des otolithes de formes très différentes et pour différentes saisons, permettra de vérifier s'il s'agit bien de poissons appartenant au même stock.