

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2017 N° d'ordre : 201704



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie et gestion des écosystèmes

Présentée par :

Ousseynou SAMBA

*Nouvelle évaluation des caractéristiques biologiques
et comparaisons historiques des captures
des principales espèces de petits poissons pélagiques au Sénégal*

Soutenue le 12 janvier 2017 devant le jury composé de :

Président :

M. Cheikh Tidiane BA

Professeur FST / UCAD

Rapporteurs :

Mme. France Lyse Clotilde BA
M. Didier JOUFFRE
M. Malick DIOUF

Maitre de Conférences FST / UCAD
Chargé de Recherche IRD / Montpellier
Maitre de Conférences IUPA / UCAD

Examinateurs :

M. Jacques PANFILI
Mme. Khady DIOUF GOUDIABY
M. Vaque NDIAYE

Directeur de Recherche IRD / Montpellier
Chargée de Recherche IFAN / UCAD
Docteur vétérinaire USAID / COMFISH

Directeur de thèse :

M. Papa NDIAYE

Directeur de Recherche IFAN / UCAD

Sommaire

| | |
|--|-------|
| Sommaire | ii |
| Avant propos | vi |
| Remerciements | vii |
| Résumé | x |
| Abstract | xii |
| Abréviations | xiv |
| Liste des Figures..... | xv |
| Liste des Tableaux..... | xvii |
| Liste des Annexes..... | xviii |
| Chapitre 1 : INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| 1 Contexte scientifique..... | 1 |
| 2 Justification du choix des modèles biologiques | 2 |
| 3 Objectifs et plan de la thèse..... | 4 |
| Chapitre 2 : ZONE D'ETUDE | 6 |
| 1 Situation géographique, climat et hydrographie..... | 6 |
| 2 Le plateau continental | 8 |
| 3 Caractéristiques des masses d'eaux océaniques | 8 |
| 3. 1 Hydrologie | 9 |
| 3. 2 Upwelling : définition, propriétés et répartition | 9 |
| Chapitre 3 : GENERALITES SUR LA BIOLOGIE DES TROIS ESPECES | 13 |
| 1 Position systématique | 13 |
| 2 Traits morphologiques..... | 13 |
| 3 Répartition spatiale et déplacements | 15 |

| | | |
|---------------------------------|---|----|
| 3. 1 | <i>Sardinella aurita</i> | 15 |
| 3. 2 | <i>Sardinella maderensis</i> | 16 |
| 3. 3 | <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 17 |
| Chapitre 4 : ALLOMETRIE | | 19 |
| Introduction | | 19 |
| 1 | Matériel et méthodes | 20 |
| 1. 1 | Stratégie d'échantillonnage | 20 |
| 1. 2 | Relations biométriques | 21 |
| 1. 3 | Facteur de condition | 21 |
| 2 | Résultats | 21 |
| 2. 1 | Relations biométriques | 21 |
| 2. 2 | Facteur de condition | 24 |
| 3 | Discussion | 27 |
| 3. 1 | Relations biométriques | 27 |
| 3. 2 | Facteur de condition | 27 |
| Conclusion | | 29 |
| Chapitre 5 : REPRODUCTION | | 31 |
| Introduction | | 31 |
| 1 | Matériel et méthodes | 31 |
| 1. 1 | Rapport gonado-somatique et période de reproduction | 32 |
| 1. 2 | Taille à la première maturité sexuelle | 33 |
| 1. 3 | Fécondité | 33 |
| 2 | Résultat | 35 |
| 2. 1 | Rapport gonado-somatique et période de reproduction | 35 |
| 2. 2 | Taille à la première maturité sexuelle | 39 |

| | | |
|------|---|----|
| 2. 3 | Fécondité | 42 |
| 3 | Discussion | 44 |
| 3. 1 | Rapport gonado-somatique et période de reproduction..... | 44 |
| 3. 2 | Taille à la première maturité sexuelle..... | 49 |
| 3. 3 | Fécondité | 53 |
| | Conclusion..... | 55 |
| | Chapitre 6 : AGE ET CROISSANCE | 57 |
| | Introduction | 57 |
| 1 | Matériel et méthodes | 57 |
| 2 | Résultats | 60 |
| 2. 1 | Interprétation des otolithes et validation des âges | 60 |
| 2. 2 | Croissance..... | 61 |
| 3 | Discussion | 64 |
| 3. 1 | Validation de l'âge..... | 64 |
| 3. 2 | Croissance..... | 65 |
| | Conclusion | 69 |
| | Chapitre 7 : COMPOSITION ET EVOLUTION TEMPORELLE DES CAPTURES | 71 |
| | Introduction | 71 |
| 1 | Matériel et méthodes | 72 |
| 1. 1 | Composition en longueur des captures | 72 |
| 1. 2 | Captures et effort de pêche | 72 |
| 2 | Résultats | 73 |
| 2. 1 | Composition en longueur des captures | 73 |
| 2. 2 | Captures et effort de pêche | 76 |
| 3 | Discussion | 79 |

| | | |
|--|--|-----|
| 3. 1 | Composition en longueur des captures | 79 |
| 3. 2 | Captures et effort de pêche | 81 |
| Conclusion..... | | 83 |
| Chapitre 8 : CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES | | 85 |
| Références | | 88 |
| Annexes..... | | 105 |
| Article publié | | 123 |

Avant propos

En 2010-2011, j'ai effectué mon stage de Diplôme d'Etudes Approfondies, dans le cadre du projet de recherche de la Jeune Equipe Associée à l'Institut de Recherche pour le Développement du Laboratoire de Biologie d'Ecologie des Poissons en Afrique de l'Ouest (JEAI LABEP-AO) travaillant sur une nouvelle approche d'évaluation des caractéristiques biologiques des principales espèces de poisson des milieux côtiers et d'intérêt économique au Sénégal et dans la sous région. Cette étude a été mes premiers pas dans la recherche et m'a permis d'acquérir certaines notions de bases en ichtyologie, puis a été une occasion de définir un projet de thèse sur le même thème, en approfondissant certains aspects et en étendant la problématique à d'autres zones. La thèse a été financée par le projet USAID / COMFISH «Collaborative Management for a Sustainable Fisheries Future in Sénégal». Ce projet a été mis en œuvre par l'Université de Rhode Island. Dans le cadre du projet « Gestion concertée pour une pêche durable au Sénégal » (USAID/COMFISH), le LABEP-AO a été sollicité pour l'étude des paramètres biologiques d'espèces clés au Sénégal (sardinelles, ethmalose et thiof). La tâche du LABEP-AO était de faire:

- une nouvelle évaluation des traits de vie d'espèces clés : croissance (âge estimé à partir des otolithes) et reproduction (taille de première maturité sexuelle, cycles reproducteurs, fécondité, taille des œufs).
- une comparaison temporelle (sur plusieurs décennies) de l'évolution des traits de vie.

Je profite de cette occasion pour remercier les représentants de l'USAID / COMFISH à Dakar, Christopher Mathew, Khady Sané Diouf et Vaque Ndiaye pour leur soutien permanent à la réalisation de cette thèse.

Remerciements

J'exprime ma profonde reconnaissance au **Pr Papa NDIAYE**, Directeur du LAPEB-AO, d'avoir assuré la direction de cette thèse. Ses conseils et ses remarques judicieuses ont permis d'enrichir, de préciser et de compléter mon travail. Je voudrais qu'il trouve dans ces modestes mots, l'expression de ma profonde gratitude pour l'accueil qu'il m'a réservé au sein de son laboratoire. A travers lui je remercie l'ensemble du personnel de l'IFAN-Ch. A. Diop.

J'adresse mes plus sincères remerciements à **M. Jacques PANFILI**, Directeur de recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), codirecteur et examinateur de cette thèse, qui a bien voulu m'initier à la recherche. Cette épreuve difficile nécessite un excellent cadre qui passe par une bonne écoute, de l'attention et une bonne méthode de travail. Toutes ces qualités sont présentes chez Jacques. Il est un atout de taille pour réussir sa thèse dans de bonnes conditions morales. Je rends ici hommage à ses qualités humaines, pédagogiques, scientifiques, sa profonde connaissance de la biologie et son culte du travail bien fait. La pertinence de ses interventions est restée très utile voir déterminante pour l'aboutissement de ce travail. Je profite également de l'occasion pour remercier l'ensemble des membres de l'équipe de l'IRD. Merci beaucoup Jacques

J'adresse mes sincères remerciements à la vaillante, **Mme. Khady Diouf GOUDIABY**, Chargée de recherche à l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN-CAD), qui par ses conseils et ses remarques constructives ont permis d'enrichir, de préciser et de compléter mon travail. Je voudrais qu'elle trouve dans ces modestes mots, l'expression de ma profonde gratitude pour l'accueil qu'elle m'a réservé au sein du laboratoire. Elle m'a fait profiter de son expérience et de ses connaissances sur la biologie des poissons.

Je tiens à remercier chaleureusement le **Professeur Cheikh Tidiane BA**, enseignement à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, d'avoir bien accepté la présidence du jury.

J'adresse mes vifs remerciements à **Mme. France Lyse Clotilde BA**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, pour avoir accepté d'être rapportrice de cette thèse malgré ses nombreuses occupations.

Mes remerciements les plus chaleureux à **M. Didier JOUFFRE**, Chargé de recherche à Institut de Recherche pour le Développement (IRD / Dakar), qui a accepté d'être rapporteur de ce travail. Sa présence dans mon jury est un grand honneur pour moi.

J'exprime ma profonde gratitude à **M. Malick DIOUF**, Maître de conférences et Directeur de l'IUPA et rapporteur de cette thèse, l'intérêt que vous portez à la Biologie Marine et particulièrement à l' Ichtyologie a suscité en nous une motivation et une grande curiosité. Dans ce domaine, cher Directeur, je reste convaincu qu'il existe des pistes à développer pour une gestion durable des ressources aquatiques.

Je tiens à remercier très vivement **M. Vaque Ndiaye**, examinateur et représentant du projet USAID / COMFISH, pour le soutien permanent qu'il m'a toujours apporté durant des années et de l'intérêt qu'il accorde à la recherche scientifique.

Je remercie tous ceux qui n'ont jamais cessé de m'orienter, de m'encourager et d'apporter leurs précieux conseils. Je veux m'adresser particulièrement à messieurs **Youssouf DIATTA** chercheur à l'IFAN, **Moustapha MBENGUE** technicien au LABEP-AO, **Alassane SARR** enseignant à l'IUPA, **Mme Fambaye SOW** chercheur au CRODT, **Jean-Baptiste NDIAYE** et **Mme FALL** du département informatique de l'IFAN.

Ce fut un motif de joie d'avoir partagé le laboratoire avec **Waly, Abdoulaye et Khady DIOP** mon intégration au sein de l'équipe n'a connu aucune difficulté grâce à votre hospitalité, votre ouverture, et votre accueil chaleureux. J'associe à ces remerciements les plus jeunes, **Luc, Yacine, Méry, Fatou DIOM, Fatou NDAO, Babacar DIOP, Babacar NDIAYE**

Je remercie également **Khady gaye DIOUF** et sa famille, mes voisins **Adèle et Lazare MENDY** pour leur soutien, sur tous les plans, qu'ils n'ont jamais cessé de me témoigner durant la réalisation de ce travail.

Enfin je dois un très grand merci à ma famille, à tous mes amis et à mes proches dont l'importance pour moi va bien au-delà des mots. Je vous remercie pour votre compréhension et votre patience à mon égard.

Résumé

Une étude actualisée des paramètres biologiques (traits d'histoire de vie) des principales espèces de poissons pélagiques, *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) et *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825), a été menée dans les eaux côtières du Sénégal, ainsi qu'une évaluation des captures et de l'effort de pêche au cours des 33 dernières années. Chez les sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*), le facteur de condition (Kc) est significativement plus élevé en saison froide qu'en saison chaude soulignant l'importance de la période d'upwelling dans le cycle biologique de ces espèces côtières. Pour l'ethmalose (*E. fimbriata*), un poisson plus estuarien, la variation du Kc est irrégulière au cours de l'année, avec deux pics significatifs, un au début de la saison sèche (janvier) et un autre au début de la saison des pluies (juillet). *S. aurita* se reproduit principalement de janvier à avril et d'août à novembre et sa taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) varie en fonction des sexes : 218-225 mm pour les femelles et 181-206 mm pour les mâles. La fécondité absolue est très variable, $119\ 000 \pm 58\ 000$ œufs (moyenne \pm écart-type) avec une fécondité relative de 416 ± 200 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,64 \pm 0,03$ mm. *S. maderensis* se reproduit pratiquement toute l'année mais certaines périodes paraissent plus favorables que d'autres suivant les régions, et la L_{50} des femelles (183-197 mm) est légèrement supérieure à celle des mâles (168-177 mm). La fécondité absolue est estimée à $101\ 000 \pm 55\ 100$ œufs par femelle avec une fécondité relative de 346 ± 176 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,60 \pm 0,07$ mm. *E. fimbriata* étale sa période de reproduction sur un semestre, de janvier à juillet, les femelles et les mâles atteignent leur maturité à la même taille (180 mm). La fécondité absolue est de $133\ 200 \pm 72\ 000$ œufs avec une fécondité relative de 416 ± 145 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,62 \pm 0,04$ mm. La croissance est très variable et rapide pour les trois espèces, avec une longévité de 6 à 7 ans. Les longueurs asymptotiques modélisées par la fonction de croissance de Von Bertalanffy sont de 304-340 mm pour *S. aurita*, de 318-385 mm pour *S. maderensis* et de 289-319 mm pour *E. fimbriata*. Les paramètres biologiques mis à jour montrent une réduction de la taille moyenne individuelle et une raréfaction des gros poissons dans les captures actuelles. Les stocks de sardinelles et d'ethmaloses sont pleinement exploités au Sénégal. Pour une bonne gestion de ces stocks, la taille minimale autorisée pour les captures devrait être augmentée à la taille de première maturité estimée, l'effort de pêche devrait être

réduit et l'exploitation de ces espèces devrait être interdite ou limitée durant la période de reproduction principale afin d'encourager un meilleur recrutement dans les populations.

Mots clés : Sénégal, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Ethmalosa fimbriata*, traits de vie, Captures

Abstract

An updated study of the biological parameters (life history traits) of main pelagic fish species *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) and *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825), was undertaken in Senegalese coastal waters, together with an evaluation of the captures and fishing effort during 33 years. For sardinellas (*S. aurita* and *S. maderensis*), condition factor (Kc) was significantly higher in the cold season than in the warm season highlighting the importance of upwelling period in the life cycle of these coastal species. For ethmalosa (*E. fimbriata*), more estuarine fish, the condition factor varied irregularly during the year, with two significant peaks, one at the beginning of the dry season (January) and one at the beginning of the rainy season (July). The reproductive periods of *S. aurita* occurred from January to April and from August to November and its size at first sexual maturity (L_{50}) varied according to sex: 218-225 mm for females and 181-206 mm for males. Absolute fecundity was very variable, $119,000 \pm 58,000$ eggs (mean \pm standard deviation), relative fecundity was 416 ± 200 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.64 ± 0.03 mm. *S. maderensis* reproduced throughout the year but some periods would be more favourable than others depending on the area, the females L_{50} (183-197 mm) were slightly greater than for males (168-177 mm). Absolute fecundity was estimated at $101\ 000 \pm 55\ 100$ eggs, relative fecundity was 346 ± 176 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.60 ± 0.07 mm. *E. fimbriata* spread its reproductive period on a semester, from January to July, the size at first sexual maturity was similar for both sexes (180 mm). Absolute fecundity was $133\ 200 \pm 72\ 000$ eggs, relative fecundity was 416 ± 145 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.62 ± 0.04 mm. Growth was very variable and rapid for the three species, with a longevity from 6 to 7 years. Asymptotic lengths modelled by the Von Bertalanffy growth function were 304-340 mm for *S. aurita*, 318-385 mm for *S. maderensis* and 289-319 mm for *E. fimbriata*. The biological parameters updated showed a reduction of the mean individual size and a scarcity of large fish in current catches. The stocks of sardinellas and bonga are fully exploited in Senegal. For good management of these stocks, the minimum legal sizes at capture should be revised upwards, based on the updated sizes at first maturity found in this study, fishing effort should be reduced and exploitation of these species should be prohibited or restricted during the reproductive periods to encourage better recruitment in populations.

Keywords : Sénégal, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Ethmalosa fimbriata*, Life history traits, Captures

Abréviations

- **ANOVA** : Analysis Of Variance (Analyse de variance)
- **COMFISH** : Collaborative Management for a Sustainable Fisheries Future in Senegal
- **COPACE** : Comité des Pêches pour l'Atlantique Centre-Est
- **CRODT** : Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye
- **DPM** : Direction des Pêches Maritimes
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **FCFA** : Franc de la communauté Française d'Afrique
- **IFAN Ch. A. Diop** : Institut Fondamental d'Afrique Noire-Cheikh Anta Diop
- **IRD** : Institut de Recherche pour le Développement
- **IUPA** : Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture
- **JEAI** : Jeune Equipe Associée à l'IRD
- **LABEP-AO** : Laboratoire de Biologie et d'Ecologie des Poissons en Afrique de l'Ouest
- **ORSTOM** : Institut français de recherche scientifique et technique pour le développement en coopération
- **PIB** : Produit Intérieur Brut
- **USAID** : United States Agency for International Development
- **ZEE** : Zone Economique Exclusive

Liste des Figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Situation géographique et pluviométrie annuelle du Sénégal | 7 |
| Figure 2. Réseau hydrographique du Sénégal | 7 |
| Figure 3. Variation de la moyenne mensuelle de la température de l'eau de surface (SST) | 11 |
| Figure 4. Variation de la moyenne mensuelle de la concentration de chlorophylle-a..... | 12 |
| Figure 5. Morphologie des trois espèces | 14 |
| Figure 6. Répartition géographique de <i>Sardinella aurita</i> | 15 |
| Figure 7. Répartition géographique de <i>Sardinella maderensis</i> | 16 |
| Figure 8. Répartition géographique d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 17 |
| Figure 9. Localisation des trois stations échantillonnées | 20 |
| Figure 10. Relation taille vs poids chez <i>Sardinella aurita</i> : | 23 |
| Figure 11. Relation taille vs poids chez <i>Sardinella maderensis</i> : | 23 |
| Figure 12. Relation taille vs poids chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> : | 24 |
| Figure 13. Variation mensuelle du facteur de condition chez <i>Sardinella aurita</i> :..... | 25 |
| Figure 14. Variation mensuelle du facteur de condition chez <i>Sardinella maderensis</i> : | 26 |
| Figure 15. Variation mensuelle du facteur de condition chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> : | 26 |
| Figure 16. Comptage et mesures des œufs | 34 |
| Figure 17. Variation mensuelle du RGS chez <i>Sardinella aurita</i> : | 36 |
| Figure 18. Variation mensuelle du RGS chez <i>Sardinella maderensis</i> : | 37 |
| Figure 19. Variation mensuelle du RGS chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> : | 38 |
| Figure 20. Taille à la première maturité sexuelle chez <i>Sardinella aurita</i> | 40 |
| Figure 21. Taille à la première maturité sexuelle chez <i>Sardinella maderensis</i> | 41 |
| Figure 22. Taille à la première maturité sexuelle chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 42 |
| Figure 23. Image d'otolithe d' <i>E. fimbriata</i> | 59 |
| Figure 24. Pourcentages mensuels des otolithes à bord translucide pour <i>S. aurita</i> , <i>S. maderensis</i> et <i>E. fimbriata</i> | 60 |
| Figure 25. Croissance de <i>Sardinella aurita</i> à partir de l'équation de Von Bertalanffy..... | 62 |
| Figure 26. Croissance de <i>Sardinella maderensis</i> à partir de l'équation de Von Bertalanffy | 63 |
| Figure 27. Croissance d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> à partir de l'équation de Von Bertalanffy..... | 64 |
| Figure 28. Les principales régions de débarquement de petits poissons pélagiques | 73 |
| Figure 29. Composition des captures de <i>Sardinella aurita</i> | 74 |
| Figure 30. Composition des captures de <i>Sardinella maderensis</i> | 75 |
| Figure 31. Composition des captures de <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 76 |

| | |
|--|----|
| Figure 32. Captures annuelles et effort de pêche pour <i>Sardinella aurita</i> | 77 |
| Figure 33. Captures annuelles et effort de pêche pour <i>Sardinella maderensis</i> | 78 |
| Figure 34. Captures annuelles et effort de pêche pour <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 79 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Relation longueur à la fourche vs longueur totale | 22 |
| Tableau 2. Relation poids total vs longueur totale | 22 |
| Tableau 3. Echelle de maturité des gonades de sardinelles | 32 |
| Tableau 4. Fécondités et taille des œufs de <i>Sardinella aurita</i> | 43 |
| Tableau 5. Fécondités et taille des œufs de <i>Sardinella maderensis</i> | 43 |
| Tableau 6. Fécondités et taille des œufs d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 43 |
| Tableau 7. Périodes de reproduction de <i>Sardinella aurita</i> | 46 |
| Tableau 8. Périodes de reproduction de <i>Sardinella maderensis</i> | 47 |
| Tableau 9. Périodes de reproduction d' <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 49 |
| Tableau 10. Taille à la première maturité sexuelle observée chez <i>Sardinella aurita</i> | 50 |
| Tableau 11. Taille à la première maturité sexuelle observée chez <i>Sardinella maderensis</i> | 51 |
| Tableau 12. Taille à la première maturité sexuelle observée chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 52 |
| Tableau 13. Les paramètres de croissance et de l'indice de performance | 64 |
| Tableau 14. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez <i>Sardinella aurita</i> | 67 |
| Tableau 15. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez <i>Sardinella maderensis</i> | 68 |
| Tableau 16. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 69 |

Liste des Annexes

| | |
|--|-----|
| Annexe 1. Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition de <i>Sardinella aurita</i> | 105 |
| Annexe 2 : Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition de <i>Sardinella maderensis</i> .. | 106 |
| Annexe 3 : Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition de <i>Ethmalosa fimbriata</i> | 107 |
| Annexe 4. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. aurita</i> de Hann..... | 108 |
| Annexe 5 : Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. aurita</i> de Mbour | 109 |
| Annexe 6. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. aurita</i> de Joal | 110 |
| Annexe 7. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. maderensis</i> de Hann..... | 111 |
| Annexe 8. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. maderensis</i> de Mbour | 112 |
| Annexe 9. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>S. maderensis</i> de Joal..... | 113 |
| Annexe 10. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>E. fimbriata</i> de Mbour | 114 |
| Annexe 11. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique des femelles et des mâles de <i>E. fimbriata</i> de Joal | 115 |
| Annexe 12. Paramètres de fécondité de <i>S. aurita</i> | 116 |
| Annexe 13. Paramètres de fécondité de <i>S. maderensis</i> | 117 |
| Annexe 14. Paramètres de fécondité d' <i>E. fimbriata</i> | 118 |
| Annexe 15. Comparaison des paramètres de fécondité de <i>S. aurita</i> | 119 |
| Annexe 16. Comparaison des paramètres de fécondité de <i>S. maderensis</i> | 120 |
| Annexe 17. Comparaison des paramètres de fécondité d' <i>E. fimbriata</i> | 120 |
| Annexe 18. Comparaison des modèles de croissance entre les femelles et les mâles | 121 |
| Annexe 19. Comparaison des modèles de croissance en longueur entre les zones | 122 |

Chapitre 1 : INTRODUCTION GENERALE

1 Contexte scientifique

Les pêcheries mondiales ont considérablement décliné depuis le début des années 70, en raison notamment de la surexploitation des principaux stocks d'intérêt économique (FAO, 2008). Ce résultat découle de la conjugaison d'une demande très soutenue de produits de la mer et du développement des pêches artisanales et industrielles s'appuyant sur une modernisation des flottilles et une grande amélioration des techniques de pêche (Kébé, 1994). Ainsi, l'offre en poissons destinés à la consommation a rapidement augmenté avec un taux de croissance annuel moyen de 3,2% soit un taux plus élevé que celui de la population mondiale qui s'est établi à 1,6%. Jamais auparavant les populations n'avaient consommé autant de poissons, ni dépendu si fortement de ce secteur pour leur bien-être. La consommation mondiale de poissons par personne est passée d'une quantité moyenne de 9,9 kg /an dans les années 1960 à 19,2 kg / an en 2012 (FAO, 2014a). Le poisson revêt une importance particulière pour les pays en développement, où il représente parfois la moitié de la valeur totale des produits négociés.

En Afrique de l'Ouest, les profonds bouleversements des cinquante dernières années, à la fois politiques, sociaux et économiques, exacerbés par la sécheresse dans la zone sahélienne à partir de la fin des années soixante, ont conduit à une migration conjoncturelle des populations humaines vers les rivages qui s'est traduite par une croissance démographique dans les zones littorales (Clark, 1992). Plus de 60% de la population mondiale est localisée à moins de 60 km des rivages. Ces populations côtières exercent de fortes pressions sur les écosystèmes conduisant à une surexploitation des ressources halieutiques par la pêche qui découle de l'émergence de nouvelles formes d'exploitation du milieu aquatique, et des techniques de pêche plus performantes et plus sophistiquées (Lae et Lévéque, 1999). A cela s'ajoute les conséquences de la pêche illégale qui sont mal connues, même si de plus en plus d'efforts sont menés pour la combattre : elle est supposée importante pour de nombreuses pêcheries des pays en développement (Greenpeace, 2015). La coexistence, parfois conflictuelle et concurrentielle, d'un secteur national (à dominante artisanale) et d'un secteur industriel (à majorité étrangère) a amplifié la pression sur les stocks, en particulier dans les pays du sud (Kane, 2007; Le Roux et Noël, 2007). Sur le plan bioéologique, des

modifications qualitatives et quantitatives de l'abondance des ressources halieutiques consécutives à une exploitation abusive des ressources biologiques et à des mutations environnementales importantes sont apparues. Des pressions sous des formes multiples, d'origine anthropique, se développent dans les zones côtières avec un impact négatif sur les ressources halieutiques, dont les plus importantes sont la destruction des habitats (chalut de font), la dégradation des océans (pêche fantôme, rejets de captures) et le recours aux techniques et matériaux de pêche illégaux (e.g. explosifs, poisons).

Au Sénégal, depuis des années de sécheresse et de crise du secteur agricole, la pêche est devenue le premier secteur de l'économie. Elle représente environ 1,9% du PIB (produit intérieur brut) total, et contribue pour 11% au PIB du secteur primaire (www.ecomaritime.gouv.sn). Le nombre de personnes travaillant dans ce secteur est estimé à 600 000 emplois directs ou induits, soit 15% de la population totale active, et 1 à 2 millions de personnes sont directement dépendantes de la pêche maritime (FAO, 2008). Une production annuelle de 460 871 tonnes de produits halieutiques (poissons, crustacés et mollusques) place le pays en deuxième position au niveau de la sous région derrière le Nigéria (668 754 tonnes) et devant le Ghana (364 949 tonnes) (FAO, 2014b). L'intérêt porté sur ce secteur se justifie par la richesse et la diversité des ressources halieutiques des eaux du littoral sénégalais qui est induit par la rencontre du courant froid des Canaries et des eaux chaudes guinéennes. Parmi les caractéristiques environnementales les plus marquantes de cette zone, se trouvent les remontées saisonnières des eaux côtières froides : les upwellings qui alimentent l'une des plus importantes zones de pêche au monde (Binet, 1995). Ces pêcheries, considérées longtemps comme un secteur artisanal et de subsistance avec une ressource inépuisable, ont connu de profondes mutations (Kébé, 1994). Elles passent d'un mode d'exploitation artisanale à un mode d'exploitation industrielle, d'un secteur informel et traditionnel à un secteur moderne et organisé, d'une activité de subsistance à une activité économique bien structurée. Cependant le développement durable et la gestion de la pêche paraissent de plus en plus compromis avec la raréfaction des ressources en voie de généralisation pour la plupart des écosystèmes (Thiao, 2009; FAO, 2014b).

2 Justification du choix des modèles biologiques

Les « petits pélagiques », c'est-à-dire les espèces de poissons pélagiques de petite taille, constituent un potentiel halieutique important le long des côtes ouest africaines et plus

particulièrement sur le littoral sénégalais où ils représentent plus de 70% des prises réalisées dans sa zone économique exclusive. Considérées encore il y a quelques années comme n'étant pas surexploitées, en raison de leurs richesses, la plupart des ressources de petits pélagiques sont, aujourd'hui, pleinement exploitées voire surexploitées. Parmi les plus importantes économiquement, les sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) et l'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*) occupent une place prépondérante. Les sardinelles sont exploitées aussi bien par la pêche artisanale que par la pêche industrielle dans les eaux côtières d'Afrique de l'ouest (Boëly, 1982). Elles représentent 27% de la capture totale des principales espèces de petits poissons pélagiques de la sous-région avec 21% pour la sardinelle ronde (*S. aurita*) et 6% pour la sardinelle plate (*S. maderensis*). La sardinelle ronde est la deuxième espèce la plus importante en termes de captures, derrière la sardine (*Sardina pilchardus* : 783 000 tonnes en 2011), avec des prises annuelles fluctuant autour de 535 000 tonnes. Les captures annuelles de sardinelle plate sont estimées à 132 000 tonnes (FAO, 2012). L'exploitation de l'ethmalose (*E. fimbriata*) est exclusivement artisanale (filets maillants, sennes tournantes et sennes de plage). La pêcherie d'ethmalose représente 2% environ du total des captures des principaux petits pélagiques dans la sous-région avec en moyenne 45 000 tonnes par année. Au Sénégal les prises sont dominées par les deux espèces de sardinelles qui constituent environ 47% de la capture totale de petits pélagiques pour une valeur commerciale de 16 milliards de franc CFA contre 1,3 milliard pour les ethmaloses en 2011 (DPM, 2011). Le rôle économique dévolu à ces espèces dépasse les considérations alimentaires car elles sont utilisées comme appât par la pêche artisanale et par la pêche industrielle thonière (Stretta, 1988; Misund *et al.*, 2002).

L'importance accordée à ces espèces a motivé très tôt de nombreuses études portant sur leur biologie dans la sous-région ouest africaine. Certains aspects de la reproduction des sardinelles du Sénégal ont été abordés pour la première fois par Blanc (1950) puis par Postel (1955). Leur cycle de reproduction est influencé par les fortes variations saisonnières et interannuelles du milieu liées aux conditions climatiques, et une modification du calendrier de la reproduction le long des côtes serait une réponse aux fluctuations de l'environnement (Roy *et al.*, 1989). Postel (1955) avait émis les premières hypothèses sur l'âge de sardinelles capturées au Sénégal après avoir montré que la croissance était très rapide chez les juvéniles. L'auteur avait souligné, à cette occasion, les difficultés des études de croissance en milieu tropical. Deux méthodes complémentaires ont été souvent utilisées pour étudier la croissance des sardinelles au Sénégal : la méthode de Petersen, ou déplacement dans le temps du mode des différentes cohortes observées, et la détermination de l'âge basée sur la lecture directe de marques de croissance dans les écailles (Boëly, 1979; Boëly *et al.*, 1982a; Camarena-Luhrs,

1986). Toutefois les résultats de croissance obtenus par la méthode de Petersen (méthode statistique) ne pouvaient être représentatifs que pour les juvéniles. D'autre part chez les jeunes reproducteurs et les adultes, il était très difficile de suivre la croissance des différentes cohortes par la méthode de Petersen en raison du fort brassage (Boëly *et al.*, 1982a; Camarena-Luhrs, 1986). Chez les sardinelles du Sénégal dès les premières observations, l'aspect des écailles fut déroutant. Par exemple chez les jeunes, tout incident arrivé à l'individu est marqué sur l'écaille, ce qui pouvait donner de nombreux annuli (marques de croissance) sans signification réelle du point de vue de la croissance. Chez un même poisson adulte certains annuli ne se trouvaient pas souvent sur toutes les écailles (Boëly *et al.*, 1982a). Malgré ces nombreuses difficultés les travaux antérieurs ont pu montrer que la croissance des deux espèces de sardinelles au large des côtes sénégalaises était très rapide et s'effectuait essentiellement au cours des deux premières années de vie.

Dans les milieux estuariens sénégalais (fleuve Sénégal, delta du Saloum), où l'ethmalose est plus présente, certains paramètres de sa biologie ont été publiés dans les années 70 (Scheffers *et al.*, 1972; Scheffers, 1973). D'une manière générale l'essentiel des travaux ont été consacrés à l'évaluation de la pêche (effort de pêche, captures et composition des captures) en fonction des paramètres hydrologiques tels que la température et la salinité (Scheffers et Conand, 1976). Parfois, les études ont été limitées à une simple comparaison des caractères méristiques (Boëly et Elwertowski, 1970) ou récemment à des flux génétiques (Durand *et al.*, 2013) ou encore à une description des saisons et lieux de pontes (Blanc, 1951; Boëly et Elwertowski, 1970). Dans ces habitats, des observations empiriques ont pu également montrer que les caractéristiques biologiques de l'espèce sont influencées par les variations saisonnières et interannuelles de l'environnement associé au climat (Diouf, 1996; Panfili *et al.*, 2004a). Depuis, très peu d'études ont été menées sur l'exploitation de l'espèce et son lien avec le cycle de vie et l'environnement. Malgré l'intérêt socio-économique que ces pêcheries suscitent, la revue bibliographique montre que les études sur la biologie des trois espèces sont très anciennes (sardinelles), rares ou fragmentaires (ethmalose).

3 Objectifs et plan de la thèse

Il est important d'actualiser les principaux paramètres biologiques des espèces de petits pélagiques dans le but d'améliorer la compréhension de leurs cycles biologiques, et de contribuer à l'évaluation des stocks et à la mise en place d'un plan de gestion efficace. Cette

thèse propose d'abord une nouvelle évaluation (et actualisation) des caractéristiques biologiques des principaux traits d'histoire de vie incluant la reproduction (via le cycle sexuel, la taille de première maturité sexuelle et la fécondité) et la croissance (via les otolithes) de *S. aurita*, *S. maderensis* et *E. fimbriata*. Ensuite elle évalue l'état actuel des stocks en produisant une analyse comparative de la façon dont les débarquements et l'effort de pêche (sorties) ont changé au cours des 33 dernières années au Sénégal (1981-2013). Ces données seront comparées aux données anciennes obtenues dans la même zone afin de rendre compte d'éventuelles évolutions qui seraient mises en parallèle avec des pressions environnementales notables (changements climatiques et/ou de pêche).

Le document est structuré en huit (8) chapitres : après une introduction générale (chapitre 1), le chapitre 2 rappelle les principales caractéristiques climatiques, hydrologiques et trophiques de la zone d'étude. Le chapitre 3 donne une brève présentation des espèces étudiées en rappelant leurs caractéristiques morphologiques, biologiques et écologiques. Les chapitres 2 et 3 font l'objet d'une synthèse bibliographique tirée des études antérieures. Les trois chapitres suivants présentent l'étude des principaux aspects des traits d'histoire de vie incluant la relation taille-poids et le facteur de condition (chapitre 4), la biologie de la reproduction (chapitre 5) et l'âge et la croissance (chapitre 6). L'avant dernier chapitre traite la composition et l'évolution temporelle des captures (chapitre 7). Enfin, une conclusion générale et des perspectives de gestion durable sont proposées à la fin de cette thèse (chapitre 8).

Chapitre 2 : ZONE D'ETUDE

1 Situation géographique, climat et hydrographie

Le Sénégal forme la partie occidentale la plus avancée de l'Afrique. Il est situé en zone intertropicale et s'étend entre 12°8 et 16°41 de latitude nord et 11°21 et 17°32 de longitude ouest et couvre une superficie de 196 712 km². Il est limité à l'est par la Falémé et le Mali, au nord par le fleuve Sénégal, à l'ouest par l'Océan Atlantique, au sud par la Guinée-Bissau et la Guinée-Conakry. La Gambie, ancien territoire anglais, constitue à l'intérieur du Sénégal une enclave longue de 300 km et large de 60 km (Figure 1). Le climat est tropical avec deux saisons : une saison des pluies de juin à octobre, c'est l'hivernage ; une saison sèche, plus fraîche, d'octobre à juin. La durée de l'hivernage diminue du sud au nord : six mois au sud, quatre mois au centre, deux mois au nord tandis que la durée de la saison sèche s'allonge : six mois au sud, huit mois au centre, dix mois au nord (Bodian *et al.*, 2014). Durant la saison sèche, l'alizé du nord, sec à l'intérieur, frais et humide sur la côte, provoque brume, brouillard et poussière. L'harmattan, vent d'est, apporte sécheresse, chaleur et sable. La mousson venant de l'océan (sud-ouest du golf de Guinée) apporte les pluies d'hivernage. Les températures moyennes annuelles oscillent entre 18 et 26°C sur le littoral et entre 24 et 30°C à l'intérieur du pays pendant la saison sèche. Pendant la saison des pluies, les températures oscillent alors entre 25 et 30°C sur le littoral et entre 30 et 40°C à l'intérieur du pays avec des maxima de 50°C (Bodian *et al.*, 2014). Le réseau hydrographique est représenté essentiellement par le fleuve Sénégal (1 800 km), la Gambie (1150 km), le Sine-Saloum (bras de mer de 130 km) et la Casamance (300 km), vaste estuaire marin avec de nombreux affluents (Rochette, 1974; Thiam et Singh, 1988; Lamagat *et al.*, 1990; Lévéque, 2006) (Figure 2).



2 Le plateau continental

Les côtes ont 718 km de long, du fleuve Sénégal au Cap Roxo. Le littoral sénégalais est subdivisé en trois grands secteurs côtiers : la côte nord, la presqu'île du Cap-Vert et la côte sud. La côte nord, de Saint-Louis au Cap-Vert, est basse, sablonneuse, bordée de hautes dunes formant par endroits des seyanes (Niayes) favorables aux cultures. La presqu'île du Cap-Vert est formée de falaises découpées (Almadies, Cap Manuel); ses abords sont bordés de récifs et d'îles (Yoff, Ngor, les Madeleines, Gorée). De Dakar à la pointe de Sangomar ou Petite-Côte, la côte est basse et sablonneuse, avec des falaises et des pointes rocheuses (Cap de Nase). De la pointe de Sangomar au Cap Roxo, la côte est basse avec des rivières aux larges estuaires encombrés d'îles et bordés de palétuviers (Domain, 1976). Le plateau continental du Sénégal est peu profond (<100 m) et relativement étroit d'environ 28 700 km² (Rebert, 1983). Il s'étend jusqu'à 100 km à son point d'envergure maximale, mais ne s'étend que 2 km au large de la péninsule du Cap-Vert (Sall, 1983). La pente continentale (ou talus) est coupée par un système de canyons importants qui caractérise pratiquement toute la marge, mais qui est davantage notable dans la région la plus australe où la pente est à son gradient maximal. Ce talus ainsi que le plateau continental sont entaillés par une série de fosses dont les plus importantes sont celles de Dakar et de Kayar (Barry-Gérard, 1990). Au nord de la presqu'île, le plateau continental est étroit et orienté N-NE. Tandis qu'au niveau de la presqu'île du Cap -Vert le continent s'avance vers l'ouest réduisant à quelques milles la largeur du plateau. Plus au sud, le plateau continental est large et descend en pente très douce, le talus est situé entre 10 et 30 milles des côtes et est orienté N puis NW-N (Fréon, 1988).

3 Caractéristiques des masses d'eaux océaniques

La dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers est étroitement associée à celle des facteurs environnementaux tels que l'intensité et la variabilité saisonnière ou interannuelle des upwellings, les aspects de la production primaire ou secondaire, ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques de ces régions mais aussi à de multiples autres facteurs (Roy *et al.*, 1989). La connaissance des conditions hydroclimatiques régnant sur le plateau continental de la région est indispensable à la compréhension de la répartition des petits pélagiques et de leurs déplacements saisonniers. Elle permet aussi d'expliquer la forte productivité biologique, donc la richesse et la diversité des ressources halieutiques dans les

eaux où il y a rencontre des espèces appartenant à la faune tropicale et de celles appartenant à l'ensemble subtropical, ces deux types de faune étant normalement situées de part et d'autre du front thermique séparant les eaux chaudes des eaux froides auxquelles sont inféodés les poissons pélagiques (Domain, 1980; Binet, 1988).

3. 1 Hydrologie

La circulation océanique peut être subdivisée en deux composantes : la circulation de surface et la circulation profonde (Dubrovin *et al.*, 1991). La circulation superficielle est largement dépendante du régime éolien. Ce dernier dépend quant à lui du déplacement saisonnier de l'anticyclone des Açores, de la dépression saharienne et de la zone intertropicale de convergence. L'action du vent sur la surface de l'eau est transmise aux couches profondes avec diminution progressive de la vitesse du courant induit. Ces systèmes anticycloniques forment ainsi des boucles fermées par des courants orientaux comme le courant des Canaries. Ce courant froid et salé ($T < 24^{\circ}\text{C}$, $S > 35$), profond et côtier est entretenu par les alizés (Binet, 1988). Le long de la côte ouest africaine, il existe également un ensemble de courants dirigés vers le nord, à l'opposé de la dérive générale des alizés. Ce système est situé en subsurface ou en profondeur, au dessus du plateau ou du talus continental (Binet, 1988). Venant de l'ouest, le contre courant équatorial apporte sur le plateau continental les eaux chaudes et salées ($T > 24^{\circ}\text{C}$, $S > 35$) et s'infléchit vers le sud-est formant le courant guinéen chaud et dessalé (Fréon, 1988; Dubrovin *et al.*, 1991). Ces courants se forment grâce à l'existence d'un gradient de densité, en raison de l'augmentation générale de la température en allant vers l'équateur, et en raison des apports importants des fleuves du golf de Guinée, aussi bien qu'en raison des précipitations élevées dans le secteur côtier. Ce système de sous-courant atteint parfois la surface et son noyau est situé vers 100 mètres au sud du Cap-Vert, plus au nord il s'enfonce et s'éloigne de la côte (Maus, 1997). Dans les zones côtières, en particulier sur le Banc d'Arguin et au sud du Cap-Vert, peuvent se développer de petits contre-courants côtiers dûs à des processus thermohalins (Fréon, 1988).

3. 2 Upwelling : définition, propriétés et répartition

L'upwelling est un phénomène de remontée d'eaux profondes et froides à la côte s'accompagnant de l'apport des sels nutritifs dans la zone euphotique. Dans un upwelling, les eaux à une profondeur de quelques centaines de mètres, ou moins, sont amenées sous l'action du vent (alizés) dans la zone euphotique au voisinage de la côte ; on y observe un mouvement

ascendant des eaux profondes, riches en sels nutritifs, vers la surface (Figures 3, 4). Ces sels nutritifs, amenés dans les couches superficielles où règne une photosynthèse importante due à l'insolation, favorisent le développement du phytoplancton, premier élément du réseau trophique dans un écosystème pélagique (Roy, 1992). Les écosystèmes d'upwellings sont considérés comme les plus productifs du monde, approximativement 50% de la production mondiale de poissons provient de zones d'upwelling (Teisson, 1983). La variabilité du régime des systèmes d'upwelling est un élément majeur à l'origine des fluctuations saisonnières et interannuelles observées dans les pêcheries de poissons pélagiques (Fréon, 1988). Elles sont en parties responsables des années de fortes abondances et des années d'effondrement des pêcheries. L'upwelling démarre sur le plateau continental sénégalais avec l'installation des alizés entre novembre et janvier ; il s'étend ensuite de la côte nord à la côte sud (Samb et Mendy, 2004). Le littoral sénégalais se divise en trois régions aux conditions hydrologiques distinctes en saison froide :

- la Grande Côte au niveau de Saint-Louis où l'upwelling se développe dans une bande côtière d'une vingtaine de kilomètres de large, il est extrêmement côtier et maximal de février à avril.
- la région située entre Kayar et la Presqu'île du Cap-Vert où l'upwelling a les mêmes caractéristiques qu'au niveau de Saint-Louis (strictement côtier). Dans cette zone, la saison d'upwelling est très prononcée : de janvier à mi-avril, les eaux sont plus froides que celles du milieu de l'océan, jusqu'à plus de 100 km du rivage (Wooster *et al.*, 1976).
- la côte sud, de Dakar à la Casamance, siège d'un upwelling très intense généré par la presqu'île du Cap-Vert, qui prend la forme d'une langue d'environ 250 km de long sur 60 km de large. En général, la langue d'eau froide commence à se développer en janvier, atteint son extension maximale en mars et disparait vers juin (Roy, 1998). De Dakar à Mbour, où les isobathes 15-20 m sont proches de la côte, les eaux froides peuvent atteindre le rivage (Teisson, 1983). A partir de Mbour, où l'isobathe 10-20 m s'éloigne de la côte (isobathe 20 m à 6 km au large devant Popenguine, à 25 km devant Joal, 10 m à 15 km au large de Songomar et 15 m à 80 km au large du Cap Roxo), les eaux froides n'atteignent plus la côte et la langue d'eaux froides se détache du rivage : l'upwelling se développe au milieu du plateau.

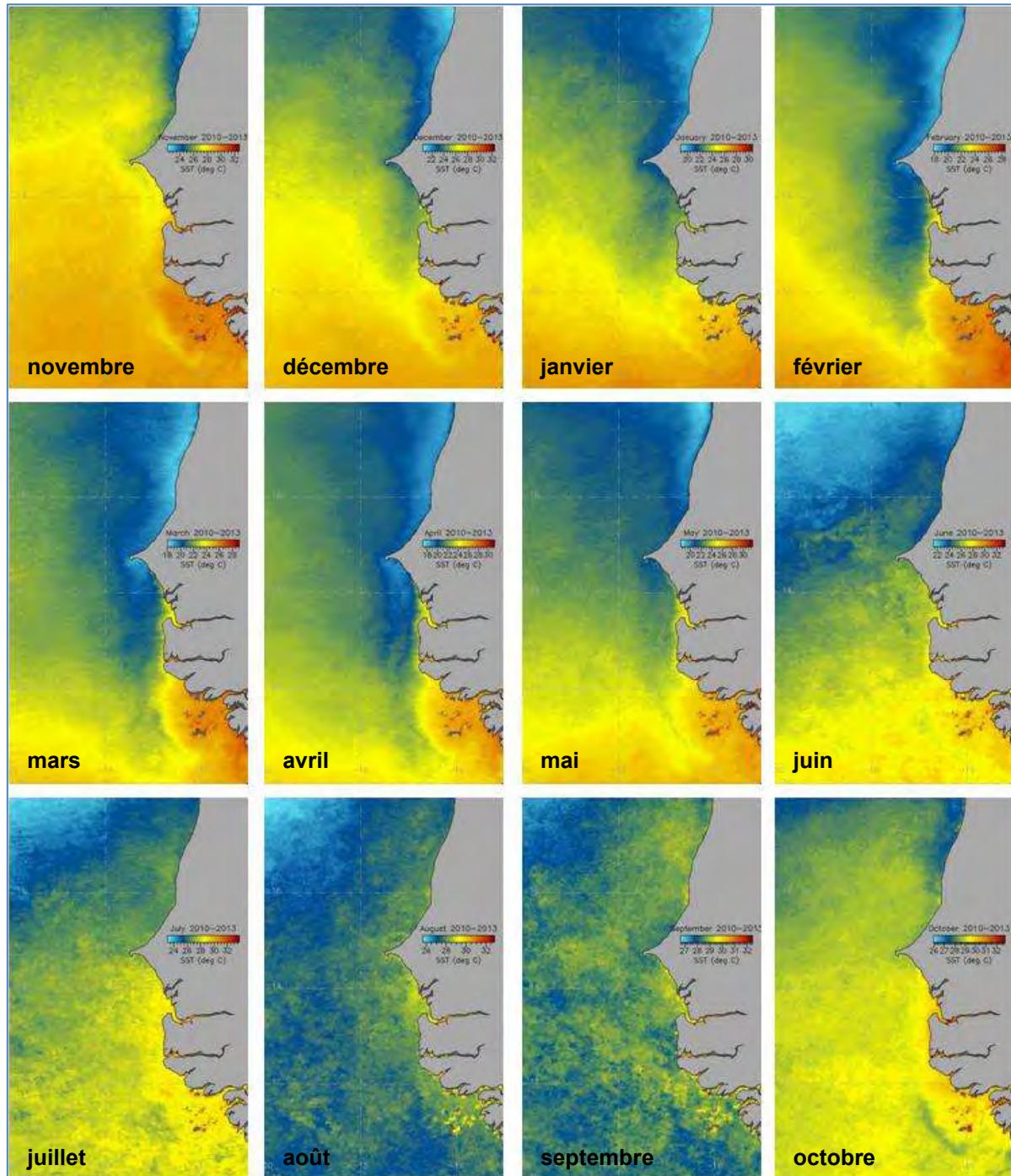


Figure 3. Variation de la moyenne mensuelle de la température de l'eau de surface (SST) des côtes sénégalaises
(Source : H. Demarcq, IRD Sète)

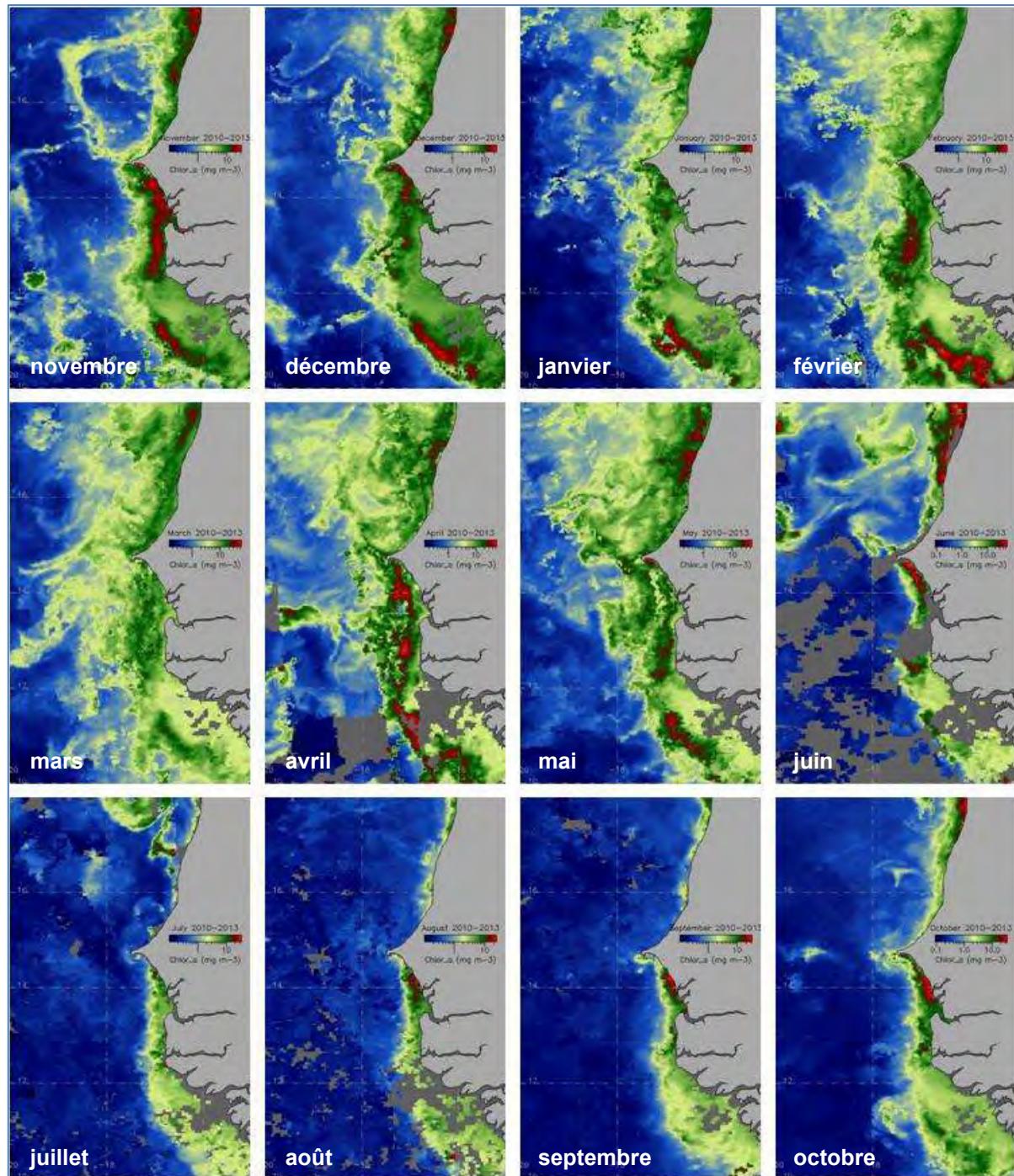
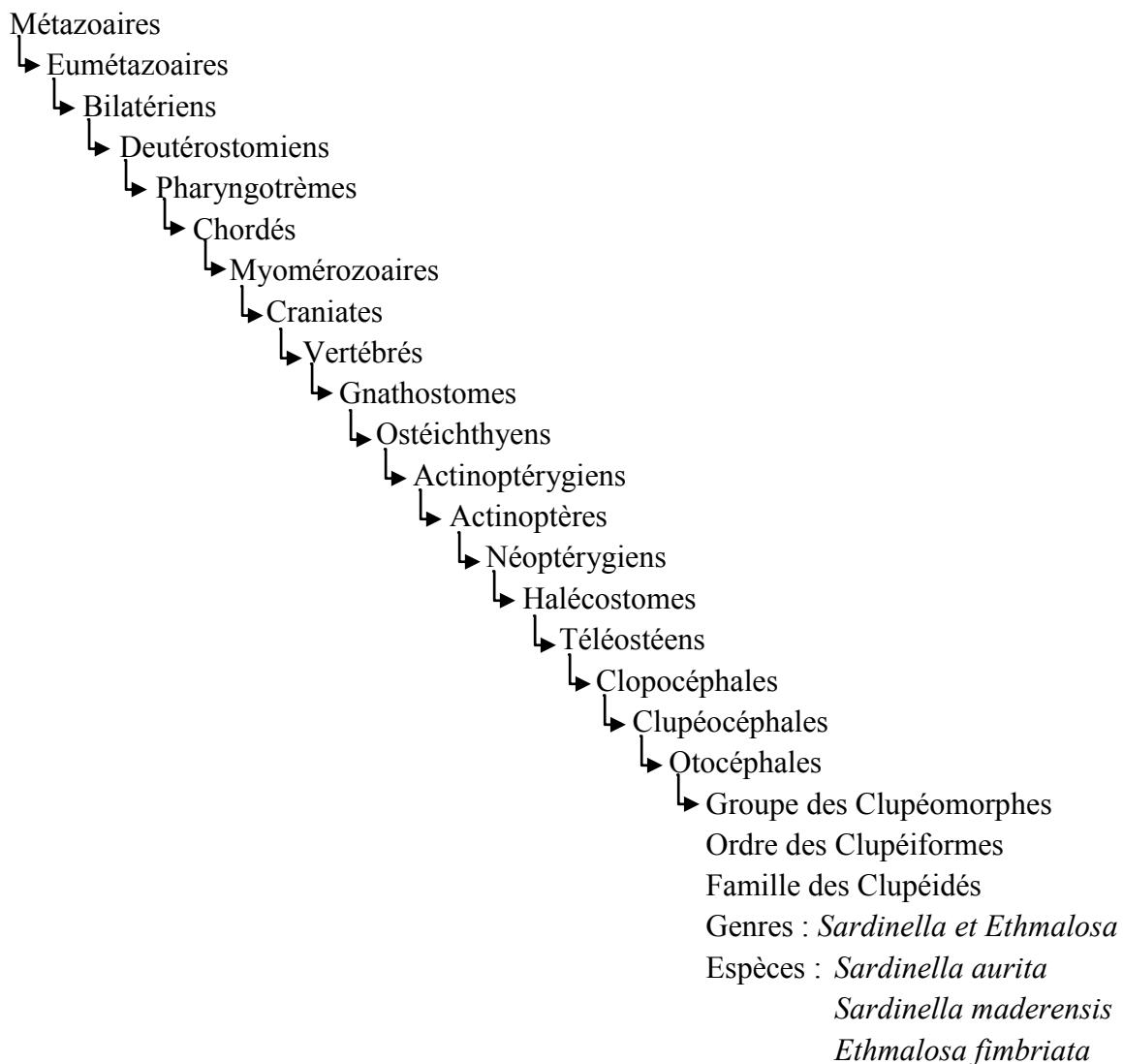


Figure 4. Variation de la moyenne mensuelle de la concentration de chlorophylle-a (mg m^{-3}) des côtes sénégalaises
(Source : H. Demarcq, IRD Sète)

Chapitre 3 : GENERALITES SUR LA BIOLOGIE DES TROIS ESPECES

1 Position systématique

La classification phylogénique des 3 espèces ciblées s'établit comme suit (Lecointre et Le Guyader, 2013)



2 Traits morphologiques

L'importante famille des Clupéidés est constituée de petits poissons argentés au corps oblong plus ou moins comprimé. Des écailles lisses et caduques en chevrons forment une

carène aiguë sur le bord ventral de l'abdomen. La bouche a une mandibule prognathe typique du groupe. Il n'existe qu'une seule nageoire dorsale, sans rayon épineux située au milieu du dos ; la caudale est fourchue bien échancrée. Les Clupéidés ont un système branchial bien développé agissant comme un véritable filtre à plancton. C'est une famille cosmopolite qui comprend des espèces d'eau froide et des espèces d'eau chaude, ces dernières étant les plus diversifiées (Seret, 1990).

Le genre *Sardinella* a été décrit par Valenciennes et il apparaît pour la première fois dans son « Histoire naturelle des poissons (Cuvier et Valenciennes) » en 1847. *Sardinella aurita* est qualifiée de « sardinelle ronde » et *Sardinella maderensis* de « sardinelle plate ». *S. aurita* est plus arrondie que *S. maderensis* mais sa section transversale n'est cependant pas ronde mais plutôt ovale et sa carène ventrale est moins aiguë. Outre l'allure générale du corps, ces deux espèces peuvent se distinguer par le nombre de rayons de la nageoire pelvienne, 9 chez *S. aurita* et 8 chez *S. maderensis*, et par leur coloration. *S. aurita* a le dos bleu, les flancs et le ventre blanc-argenté. Chez *S. aurita* à la limite du dos et des flancs se situe une bande jaune doré chez les spécimens frais et il existe une tache diffuse sombre à l'angle supérieur de l'opercule (Figure 5a). *S. maderensis* est de couleur gris-bleuté dorsalement, les flancs et le ventre sont blanc-argenté sans bande dorée, une tache diffuse et sombre est située en arrière de l'opercule et il en existe une à la base des premiers rayons de la dorsale (Figure 5b).

Le genre *Ethmalosa* est monotypique et se distingue des autres Clupéidés par une échancrure sur le milieu de la mâchoire supérieure (Regan, 1917; Whitehead, 1967). L'ethmalose a un corps beaucoup plus élevé et plus comprimé que celui des sardinelles et ses profils ventraux et dorsaux sont très convexes, les écailles sont à bord libre lacinié. *E. fimbriata* a un dos brun-olivâtre, les flancs sont clairs aux reflets argentés, la nageoire caudale souvent jaune paille, surtout chez les adultes. Il existe une tache noire arrondie en arrière de la partie supérieure de l'opercule suivie ou non d'une série de 2 à 4 autres taches juste en arrière de la précédente (Figure 5c).



Figure 5. Morphologie des trois espèces : a) *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) ; b) *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) ; c) *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825) (source : www.fishbase.org)

3 Répartition spatiale et déplacements

3.1 *Sardinella aurita*

La répartition géographique de *Sardinella aurita* concerne essentiellement les zones côtières de l'Atlantique tropical et le pourtour méditerranéen (Ben-Tuvia, 1960a; Ghéno et Fontana, 1981) (Figure 6). On la trouve également en Mer Noire et en Adriatique et même à l'est de la péninsule ibérique (Furnestin, 1952). Elle est aussi présente le long des côtes américaines de l'Atlantique entre le Cap Cod aux U.S.A. et le nord de l'Argentine, alimentant d'importantes pêcheries au Venezuela et au Brésil (Bakun et Parrish, 1990; Fréon *et al.*, 1997). Dans le Pacifique elle est signalée au large du Japon et de la Chine ainsi qu'autour des Philippines et de l'archipel indo-australien (Bebars, 1981). Sur le littoral africain, la sardinelle ronde se rencontre sur le plateau continental où elle préfère les eaux salées (>35), non turbides et de température inférieure à 24°C . Elle est particulièrement abondante dans les trois secteurs de l'Atlantique centre-est caractérisés par l'apparition saisonnière des upwellings (Boëly et Fréon, 1979) :

- de la Mauritanie à la Guinée, les adultes, de taille comprise entre 250 et 320 mm, se déplacent saisonnièrement le long des côtes ;
- entre la Côte d'Ivoire et le Ghana, avant les remontées d'eau froide (première moitié de l'année), les adultes hivernent sur les fonds de 50 à 80 m entre les longitudes du cap des Trois Pointes et d'Accra, au début de l'upwelling, ils se rapprochent des terres ghanéennes ;
- et du sud du Gabon au sud de l'Angola.

Entre ces trois régions la sardinelle ronde est présente mais plus rare (Postel, 1960).

Dans la zone ouest africaine, deux nourrisceries importantes ont été localisées, l'une s'étendant du sud de Dakar aux îles Bissagos, l'autre située au niveau du Banc d'Arguin et au sud du Cap Timiris (Boëly et Fréon, 1979). Dans cette zone, après s'être reproduit, les jeunes reproducteurs participent aux déplacements saisonniers des adultes entre la Mauritanie et l'archipel des Bissagos. Ainsi, les premiers adultes arrivent vers la presqu'île du Cap-Vert en décembre-janvier et se concentrent entre Dakar et la Guinée-Bissau. Ils restent dans ce secteur jusqu'en avril, puis, avec le réchauffement des eaux de surface, ils envahissent le plateau continental et entament leur migration vers le nord tout en se reproduisant. Ces poissons

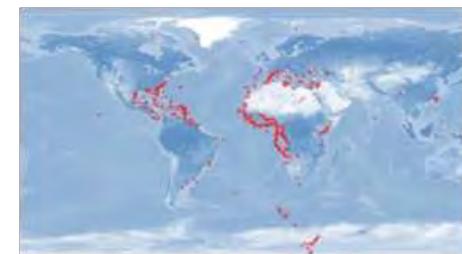


Figure 6. Répartition géographique de *S. aurita* (www.Fishbase.org)

atteignent en juillet la latitude du Banc d'Arguin et recommencent un nouveau déplacement vers le sud (Boëly, 1979; Boëly *et al.*, 1982b).

3.2 *Sardinella maderensis*

La sardinelle plate occupe une aire de répartition relativement plus restringée, puisque limitée à la Méditerranée septentrionale à l'Atlantique est où elle se rencontre sans interruption de la Mauritanie à l'Angola, elle est absente des côtes américaines (Figure 7). Bien qu'ayant des exigences écologiques sensiblement différentes, elle possède



Figure 7. Répartition géographique de *S. maderensis* (www.fishbase.org)

une aire de répartition semblable à la sardinelle ronde sur l'Atlantique est. Elle est plus côtière, plus euryhaline, souvent plus abondante au voisinage des estuaires, préfère les eaux plus chaudes de température supérieure à 24°C et paraît éviter les eaux turbides (Boëly et Fréon, 1979; Binet, 1988). C'est dans la zone subtropicale sud (Congo-Angola) que les déplacements de l'espèce sont les mieux connus (Ghéno et de Campos, 1972). Une même population occuperait le littoral depuis Mayumba au Gabon jusqu'au sud de Lobito en Angola, les juvéniles se répartissant le long des côtes sur toute l'aire de distribution. A partir de 200 mm, les jeunes se déplacent vers le sud et rejoignent les adultes concentrés devant l'Angola. Comparativement à la sardinelle ronde, les adultes de sardinelles plates sont nettement plus sédentaires et n'effectuent que des déplacements limités le long des côtes (Boëly et Fréon, 1979). En Afrique de l'ouest, deux nourriceries ont été identifiées avec sensiblement les mêmes positions que celles de *S. aurita*. Les migrations sont de faible amplitude et s'effectuent en saison chaude vers le nord de la Petite-Côte et en saison froide vers la Gambie (CRODT, 1986). Dans la zone sénégalo-mauritanienne, l'hypothèse de l'existence de deux stocks de *S. maderensis* avait été émise, l'un situé près du Cap Timiris et l'autre au niveau de la Gambie et du sud du Sénégal. Au nord les adultes et les jeunes reproducteurs se situent en face de la Mauritanie de février à septembre, et aux environs du Cap Blanc d'octobre à janvier. Une forte concentration des jeunes reproducteurs se situe au niveau de la Gambie et de la Guinée Bissau en mars et en avril (Boëly et Ostvedt, 1976). Les adultes de 250-260 mm sont rares au sud de la presqu'île du Cap-Vert. D'autre part les liens qui unissent ces deux fractions de stocks sont mal connus (Boëly *et al.*, 1982b). Les deux espèces de sardinelles n'exploitent pas les mêmes franges bathymétriques. *S. maderensis* est une espèce strictement

côtière qui ne descend pas au-delà de l'isobathe des 30 m au Sénégal (Boëly, 1979). *S. aurita* effectuent des déplacements pouvant atteindre jusqu'à 100 à 200 m de profondeur (Boëly *et al.*, 1982b).

En conclusion, *S. aurita* et *S. maderensis* sont côtières durant les périodes de fort enrichissement trophique (upwellings), mais seule *S. aurita* effectue des déplacements en profondeur vers le large pendant les saisons chaudes, périodes de faible enrichissement du milieu (Sikoki et Hart, 1999).

3.3 *Ethmalosa fimbriata*

L'ethmalose est une espèce d'origine marine mais qui a une forte affinité avec les estuaires, les deltas et les lagons et peut tolérer une large gamme de salinité allant des eaux oligohalines jusqu'aux eaux hyperhalines (Charles-Dominique et Albaret, 2003). Elle habite les eaux côtières du golfe de Guinée entre la Mauritanie (24°N) et l'Angola (12°S) et effectue des migrations catadromes (Bainbridge, 1963; Charles-Dominique, 1982; Ama-Abasi, 2002; CRODT, 2004). La distribution des espèces le long de la côte africaine montre deux domaines de concentration (Figure 8). Un secteur qui s'étend de l'embouchure du Sénégal à la Sierra Leone et l'autre du Nigeria au Congo (Oyelese, 2006).

Les principales concentrations d'*E. fimbriata* se trouvent au Sénégal, en Gambie, en Guinée, en Sierra Leone, au Nigéria et au Cameroun. Trois aires distinctes de distribution s'observent au Sénégal, chacune associée à un estuaire ou à une zone d'estuaire : Sénégal, Saloum-Gambie et Casamance. On ignore les relations qui peuvent exister entre les concentrations présentes dans ces différentes aires, mais des différences dans leur biologie ont été notées. L'hypothèse de l'existence de deux stocks, situés de part et d'autre de la presqu'île du Cap-Vert, a été émise, mais n'a pas été trouvée, par quelques auteurs : comparaison génétique, Gourène *et al.* (1993) ; comparaison biologique, Scheffers et Conand, (1976), bien que Fréon (1979) ait trouvé des différences morphométriques significatives entre les populations de la Mauritanie et de la Sénégambie. Comme on les trouve partout près du rivage, la possibilité d'échanges entre les zones de concentration sont fort probables. Plus euryhaline que la sardinelle plate, l'ethmalose se rencontre, aussi bien en estuaire qu'en mer ou en lagune, dans les endroits sujets à de fortes variations de salinité et préfère les eaux chaudes et turbides



Figure 8. Répartition géographique d'*E. fimbriata* (www.fishbase.org)

(Scheffers, 1973; Panfili *et al.*, 2004a). On peut la capturer jusqu'à 200 kilomètres à l'intérieur des terres (fleuves Sénégal et Gambie) dans les zones soumises à l'influence de l'onde saline (Osorio, 1905; Scheffers et Correa, 1971).

Chapitre 4 : ALLOMETRIE

Introduction

En écologie marine, la surveillance de la qualité de l'environnement peut se faire suivant plusieurs approches comme la détection et la quantification des polluants dans l'eau et les sédiments mais aussi par l'évaluation de l'état de santé des organismes qui peuplent le milieu. Les écosystèmes marins côtiers constituent des nourriceries pour de nombreuses espèces marines, en particulier pour les petits poissons pélagiques (Boëly et Fréon, 1979). Plusieurs facteurs d'origine naturelle ou anthropique sont susceptibles de modifier la qualité de ces habitats côtiers et par conséquent d'affecter la condition des poissons. La qualité d'un habitat résulte d'interactions diverses et ne peut être mesurée directement ; elle peut seulement être décrite sur la base d'une comparaison intersites. Les habitats de bonne qualité sont supposés être ceux où la croissance et la survie des espèces sont optimales (Gibson, 1994). Une des méthodes les plus utilisées en écologie pour apprécier la qualité d'un habitat est l'usage d'indices indirects, également appelé indices morphométriques, qui permettent de transformer des données collectées sur le terrain en indicateur utilisable directement pour l'aménagement. Ces indices sont basés sur les données de taille et de poids des individus. Les relations biométriques établies à partir de ces données permettent de corriger les données manquantes et d'interpréter aisément les résultats exprimés via l'un ou l'autre de ces paramètres (Bert et Écoutin, 1982). L'une des relations les plus utilisées est celle liant la longueur du poisson à son poids et en tenant compte du fait qu'elle est variable au cours des saisons (indice de condition) sous l'influence des facteurs externes et internes (Bagenal et Tesch, 1978; Laléyé, 1995). L'objectif de la présente étude est d'actualiser ces différentes relations biométriques pour les espèces ciblées et de les comparer avec celles de données historiques.

1 Matériel et méthodes

1.1 Stratégie d'échantillonnage

Les premiers échantillons, composés uniquement de sardinelles, provenaient des missions scientifiques effectuées à la baie de Hann sur la presqu'île du Cap-Vert à Dakar de janvier à décembre 2010. Une deuxième phase d'échantillonnage a été faite de juillet 2012 à juin 2013 sur deux sites de débarquement des pêcheries artisanales de Mbour et de Joal (Figure 9). Pour chaque station, un échantillonnage stratifié (de 30 individus / espèces / mois / station) a été adopté à raison de 5 individus par classe de taille de 50 mm entre 100 et 400 mm. Des tailles inférieures à 100 mm ont été occasionnellement ajoutées aux échantillons de Hann. Les poissons échantillonnés ont été capturés par les pêcheurs locaux avec différents types d'engins : sennes de plage, sennes tournantes ou filets maillants. Après une enquête préliminaire auprès des pêcheurs sur la provenance des poissons, des échantillons ont été achetés et conservés sous glace. Au laboratoire, tous les poissons ont été mesurés (longueur totale, LT en mm ; longueur à la fourche, LF en mm) et pesés (poids total, PT en g).



Figure 9. Localisation des trois stations échantillonnées
(Source : Nicolas Manga, département géographie, IFAN-CAD)

1.2 Relations biométriques

Les relations entre la longueur à la fourche et la longueur totale d'une part et la longueur totale et le poids total d'autre part ont été calculées tous sexes confondus selon les formules :

$$LF = a \times LT + b \text{ (relation longueur à la fourche – longueur totale)}$$

$$PT = a \times LT^b \text{ (relation taille – poids)}$$

a est une constante, b est le coefficient d'allométrie. Le coefficient d'allométrie (b) traduit le type d'allométrie. Suivant la valeur de b, trois cas se présentent : lorsque : b = 3, il y a relation isométrique ; si $b < 3$, la masse croît proportionnellement moins vite que la longueur : allométrie minorante ; si $b > 3$, la masse croît proportionnellement plus vite que la longueur : allométrie majorante (Ricker, 1980).

1.3 Facteur de condition

Le facteur ou coefficient de condition (Kc) a été calculé pour chaque poisson en utilisant la formule suivante :

$$Kc = \frac{PT}{LT^3} \times 10^5$$

Après vérification des conditions d'analyse (vérification de la normalité et de l'homoscedasticité), le test U de Mann-Whitney (test non paramétrique) à un facteur (mois) a été utilisé pour comparer les moyennes mensuelles deux à deux.

2 Résultats

2.1 Relations biométriques

Pour l'ensemble des espèces ciblées, la relation entre la longueur à la fourche et la longueur totale est une fonction linéaire avec une très forte corrélation positive indiquée par un très fort coefficient de détermination ($R^2 \approx 1$). Pour la même espèce, les droites de régression ont la même pente (a) dans les trois stations (Tableau 1). Ce qui indique qu'un seul modèle de régression par espèce peut être utilisé au Sénégal.

La relation liant la longueur totale et le poids total est une fonction puissance avec une très forte corrélation. Les valeurs de la constante a et du coefficient d'allométrie b, ainsi que les tailles et poids pour lesquelles ces relations sont valides sont également mentionnées (Tableau 2). Les droites de régression sont présentées sur les Figures 10, 11 et 12. Le coefficient d'allométrie (b), calculé pour chaque espèce, varie très légèrement d'une station à une autre. Le coefficient moyen de chaque espèce très proche de 3 (test t, $p > 0,05$) signifie une isométrie au cube entre la taille et le poids, c'est-à-dire que le poids croît en proportion directe avec la longueur.

Tableau 1. Relation longueur à la fourche vs longueur totale : a= constante (pente de la droite de régression),
b= constante correspondant à l'ordonnée à l'origine, R^2 = coefficient de détermination,
LF= longueur à la fourche, LT= longueur totale

| Espèces | Stations | a | b | R^2 | Limite de validité | | Effectifs (n) |
|----------------------|----------|------|-------|-------|--------------------|---------|---------------|
| | | | | | LF (mm) | LT (mm) | |
| <i>S. aurita</i> | Hann | 0,82 | 8,22 | 0,99 | 77-307 | 84-365 | 350 |
| | Mbour | 0,82 | 8,52 | 0,99 | 110-300 | 120-362 | 344 |
| | Joal | 0,82 | 7,94 | 0,99 | 110-296 | 126-359 | 349 |
| <i>S. maderensis</i> | Hann | 0,79 | 7,92 | 0,99 | 82-303 | 94-363 | 338 |
| | Mbour | 0,79 | 8,63 | 0,99 | 97-276 | 113-339 | 357 |
| | Joal | 0,79 | 7,13 | 0,99 | 98-278 | 115-345 | 358 |
| <i>E. fimbriata</i> | Mbour | 0,82 | 0,53 | 0,99 | 114-304 | 135-370 | 359 |
| | Joal | 0,82 | -0,02 | 0,99 | 132-300 | 147-370 | 358 |

Tableau 2. Relation poids total vs longueur totale : a= constante, b= coefficient d'allométrie, R^2 = coefficient de détermination, PT= poids total, LT= longueur totale, t= test t de Student, ddl= degrés de liberté, p= p-value

| Espèces | Stations | a | b | R^2 | Limite de validité | | Test | | |
|----------------------|----------|-------------------|------|-------|--------------------|---------|------|-----|------|
| | | | | | PT (g) | LT (mm) | t | ddl | p |
| <i>S. aurita</i> | Hann | 7E ⁻⁰⁶ | 3,04 | 0,99 | 5,10-516 | 84-365 | 2,50 | 2 | 0,13 |
| | Mbour | 4E ⁻⁰⁶ | 3,16 | 0,99 | 16,90-450,60 | 120-362 | | | |
| | Joal | 6E ⁻⁰⁶ | 3,07 | 0,98 | 20,80-420,70 | 126-359 | | | |
| <i>S. maderensis</i> | Hann | 9E ⁻⁰⁶ | 3,01 | 0,99 | 8,30-442 | 94-363 | 1,49 | 2 | 0,27 |
| | Mbour | 7E ⁻⁰⁶ | 3,04 | 0,99 | 12,70-335,50 | 113-339 | | | |
| | Joal | 4E ⁻⁰⁶ | 3,17 | 0,98 | 14,90-366 | 115-345 | | | |
| <i>E. fimbriata</i> | Mbour | 7E ⁻⁰⁶ | 3,09 | 0,98 | 25,30-556,30 | 135-370 | 10 | 1 | 0,63 |
| | Joal | 6E ⁻⁰⁶ | 3,11 | 0,98 | 26,70-471,20 | 147-370 | | | |

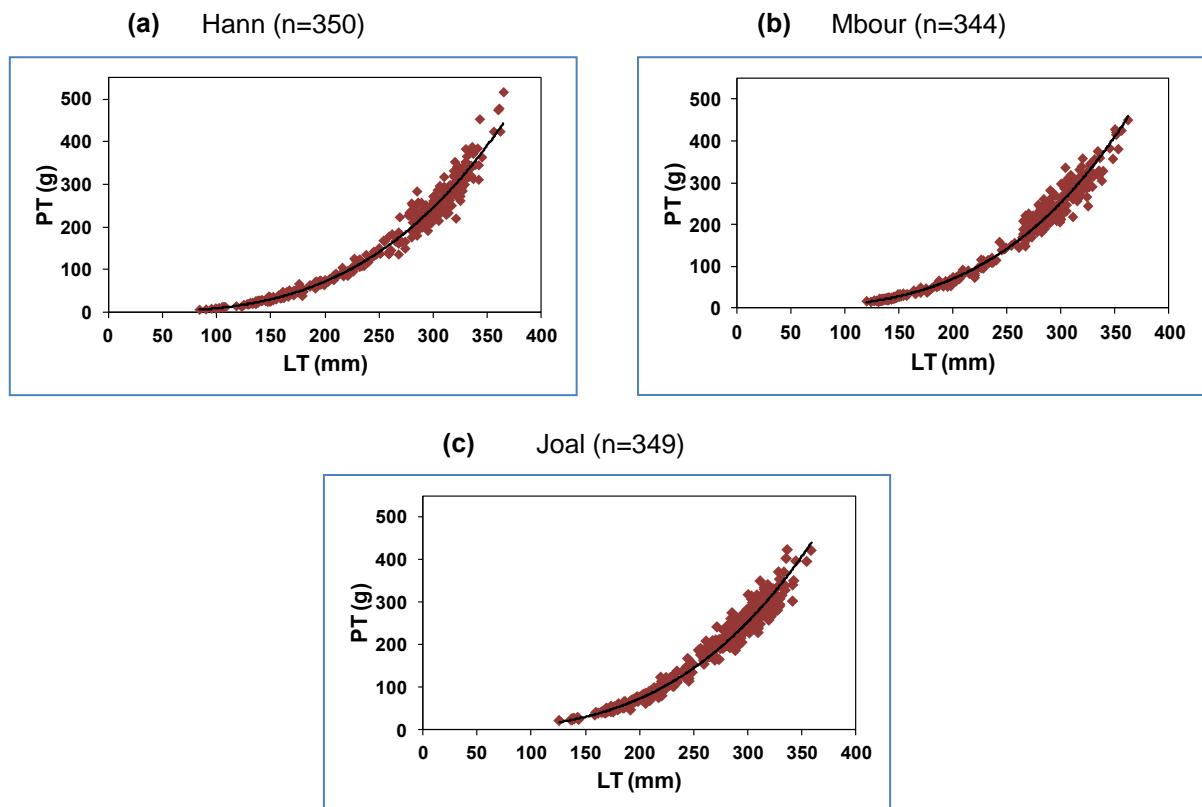


Figure 10. Relation taille vs poids chez *Sardinella aurita* :
LT= longueur totale ; PT= poids total

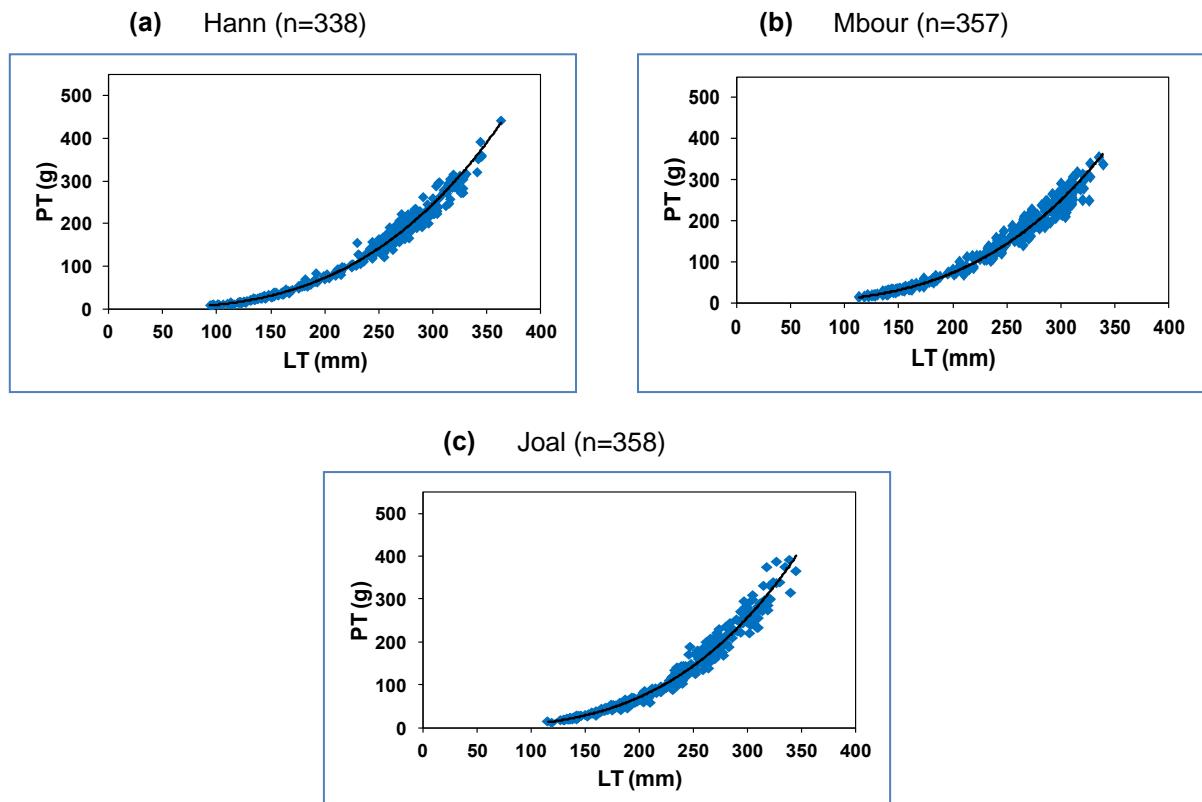


Figure 11. Relation taille vs poids chez *Sardinella maderensis* :
LT= longueur totale ; PT= poids total

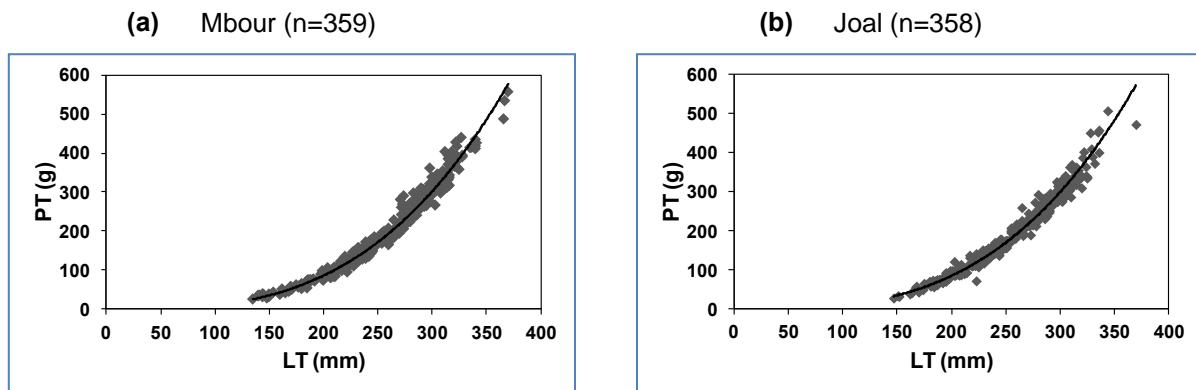


Figure 12. Relation taille vs poids chez *Ethmalosa fimbriata* :
LT= longueur totale ; PT= poids total

2.2 Facteur de condition

A Hann, *S. aurita* présente les plus fortes valeurs de coefficient de condition moyen (Kc) pendant la saison froide (de février à mai) avec un maximum en avril. Puis le Kc diminue progressivement au fur et à mesure que les eaux se réchauffent (juillet, août et septembre) pour atteindre un niveau minimal en août (Figure 13a). D'après les résultats des tests, les Kc calculés en février, mars et mai sont statistiquement identiques (Mann-Whitney, $p > 0,05$). Cependant les Kc trouvés pour ces mois sont significativement plus élevés du reste des autres mois, excepté avril (Annexe 1a ; Mann-Whitney, $p < 0,05$). Sur la Petite-Côte (Mbour et Joal), la période de bonne condition est plus étendue et dure un semestre. Les valeurs moyennes de coefficient de condition sont également faibles en saison chaude et commencent à chuter depuis juillet pour atteindre les plus faibles valeurs en août à Joal et en octobre à Mbour (Figures 13b, 13c ; Annexes 1b, 1c ; Mann-Whitney, $p < 0,05$). La moyenne mensuelle du Kc reste faible jusqu'à décembre, période qui coïncide à l'arrivée d'eau froide dans la zone, et atteint de fortes valeurs de janvier à juillet.

Pour *S. maderensis*, l'évolution mensuelle du facteur de condition au cours d'un cycle annuel est comparable à celle de *S. aurita*. La période de bonne condition est observée en saison froide et la moins bonne en saison chaude. Sur la baie de Hann, où la période d'engraissement est plus courte, les plus fortes valeurs du Kc se retrouvent de février à avril et les plus faibles en janvier et août (Figure 14a ; Annexe 2a ; Mann-Whitney, $p < 0,05$). La variation de la moyenne mensuelle du Kc est plus homogène à Mbour qu'en Joal. La moyenne minimale du Kc est décalée d'un mois entre Mbour et Joal (Figures 14b, 14c ; Annexes 2b, 2c ; Mann-Whitney, $p < 0,05$)

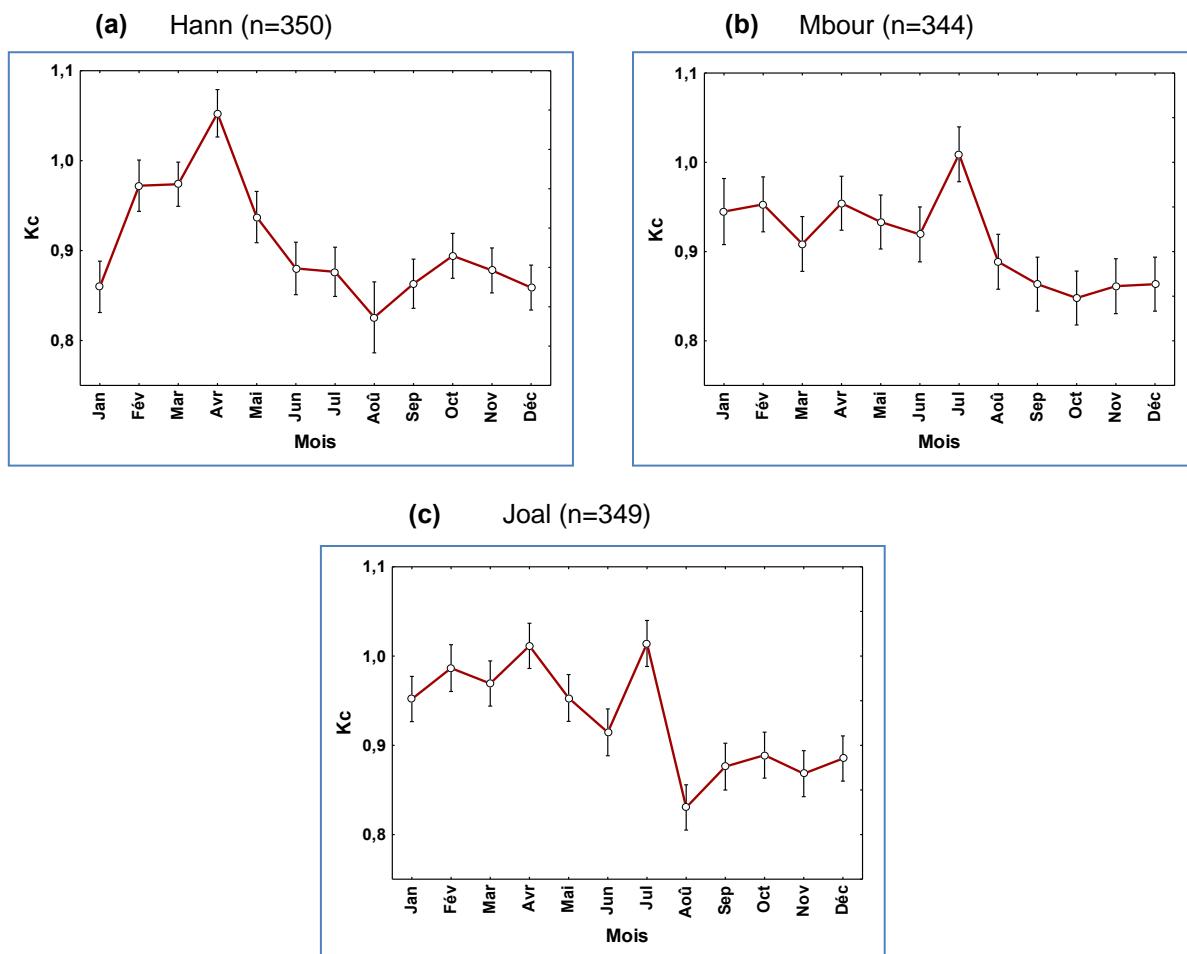


Figure 13. Variation mensuelle du facteur de condition (Kc) chez *Sardinella aurita* : Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-types

Chez *E. fimbriata*, les tendances du Kc sont similaires dans les deux sites, avec des valeurs élevées au début de la saison sèche, un pic en janvier, puis une baisse, et des valeurs élevées au début de la saison des pluies (Juin-Juillet). Il y a deux cycles par an pour le Kc, mais les différences entre les valeurs extrêmes mensuelles sont plus importantes à Mbour (Figure 15). Les intervalles entre les minima ne sont pas les mêmes entre les deux endroits : 5 mois pour Mbour (d'octobre à février) et 7 mois pour Joal (de septembre à mars). Pour Mbour, le Kc moyen en janvier est significativement plus élevé que ceux de tous les autres mois, sauf juin, et en septembre le Kc est significativement plus faible que ceux des autres mois, sauf mars (Figure 15a ; Annexe 3a ; Mann-Whitney, $p < 0,05$). Pour Joal, le Kc moyen de janvier est significativement plus élevé que ceux des autres mois, sauf juillet, et en avril le Kc est significativement plus faible que ceux des autres mois, sauf août (Figure 15b ; Annexe 3b ; Mann-Whitney, $p < 0,05$).

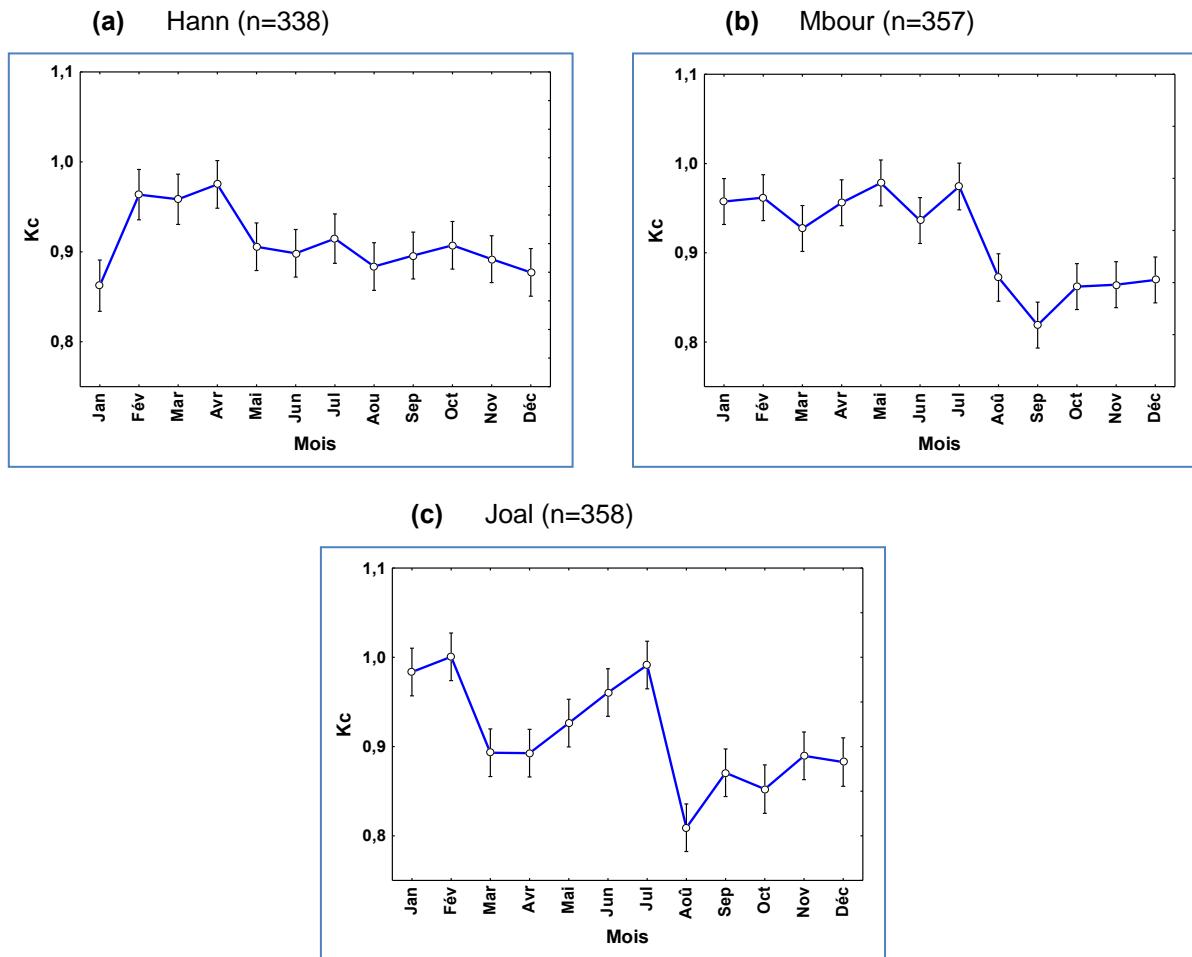


Figure 14. Variation mensuelle du facteur de condition (Kc) chez *Sardinella maderensis* : Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-types

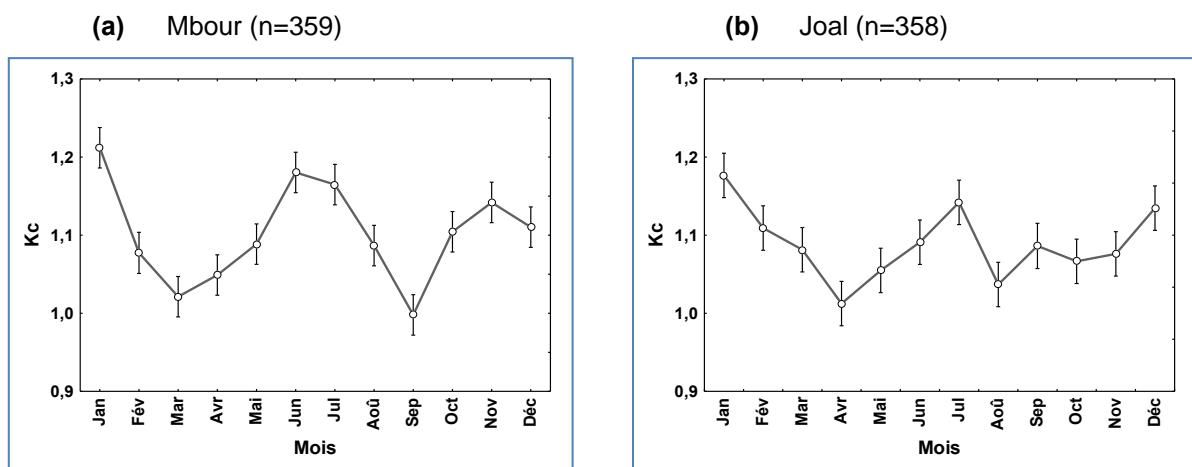


Figure 15. Variation mensuelle du facteur de condition (Kc) chez *Ethmalosa fimbriata* : Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-type

3 Discussion

3.1 Relations biométriques

Les valeurs du coefficient d'allométrie sont concordantes avec celles habituellement rapportées et admises par la littérature et qui se situent entre 2,50 et 3,50 (Pauly et Moreau, 1997). En effet, chez un poisson idéal qui maintient en parfaite égalité les dimensions du poids et de la longueur, la valeur isométrique de b est égale à 3. Pour les trois espèces étudiées, la forme du corps ne change pas avec la croissance. Chez *S. aurita* la relation taille-poids trouvée ne diffère pas des observations faites par d'autres auteurs. Les travaux effectués au Sénégal (Boëly, 1979; Camarena-Luhrs, 1986) au Congo (Ghéno et Fontana, 1981), en Mauritanie (Wagué et Mbodj, 2002) et en Méditerranée (Gaamour *et al.*, 2004) ont montré une allométrie légèrement majorante. Pour *S. maderensis* les résultats de la relation taille-poids sont semblables à ceux obtenus pour *S. aurita* dans notre étude. Le coefficient d'allométrie trouvé confirme les résultats obtenus par Camarena-Lurhs (1986) et Boëly (1979) au Sénégal. En Mauritanie, Holzlochner *et al.* (1983) ont mesuré une croissance plus rapide du poids durant le premier et le troisième trimestre. Au Congo, Ghéno et Fontana (1981) ont noté une allométrie majorante durant la saison froide et minorante en saison chaude. Une relation isométrique a également été signalée pour l'ethmalose dans le delta du Niger (Abowei, 2009), et auparavant au Sénégal (Scheffers et Conand, 1976; Diouf, 1996). Cependant, ces auteurs ont constaté des différences très hautement significatives entre les populations du nord et celles du sud du Sénégal, ainsi qu'une différence très significative entre la Gambie et le sud du Sénégal.

3.2 Facteur de condition

La variation du facteur de condition de *S. aurita* est différente entre le Cap-Vert et la Petite-Côte. Sa valeur moyenne atteint son maximum en saison froide à Hann (avril) et au début de saison chaude à Mbour et à Joal (juillet), puis diminue progressivement pour atteindre son minimum en saison chaude (août pour Hann et Joal ; octobre pour Mbour). Des études menées au Sénégal pendant plusieurs années par Boëly (1979) et Conand (1977a) ont montré qu'en moyenne *S. aurita* présentait un facteur de condition faible durant la saison chaude (juillet-octobre) et des valeurs maximales durant la saison froide (janvier-juin), conformément aux résultats de cette étude. Un comportement similaire a été observé en Mauritanie où le K_c moyen de *S. aurita* était très élevé de janvier à juin et commençait à

chuter en juillet (Ter hofstede *et al.*, 2007). Dans le cas de notre étude, le facteur de condition moyen de *S. maderensis* est fort pendant la saison froide, tout comme pour *S. aurita*. Ce résultat confirme les études effectuées au Congo et au Sénégal : au Congo (hémisphère sud), Fontana et Pianet (1973) ont montré qu'en moyenne sur plusieurs années d'observations, les deux espèces présentaient les faibles valeurs de Kc durant la saison chaude (février à avril) et des valeurs maximales durant les saisons froides (mai à septembre et janvier). Au Sénégal Boëly (1979) a obtenu des résultats identiques avec un Kc fort durant la saison froide (janvier à juin) et faible le reste de l'année.

Les valeurs mensuelles du coefficient de condition ont montré des variations saisonnières significatives pour les deux espèces. Il est donc évident que le cycle biologique des sardinelles est directement influencé par les conditions du milieu, l'activité métabolique étant plus intense en saison froide. Ces périodes froides correspondent à la présence d'eaux riches en éléments nutritifs et en plancton concomitante avec les événements d'upwellings dans les eaux sénégalaises (Nieland, 1982). Toutefois, il faut noter que les périodes de bonne condition sont généralement plus longues et plus stables au sud (deux trimestres) qu'en presqu'île du Cap-Vert (environ un trimestre). Cette différence entre le centre et le sud du Sénégal pourrait être liée à la quantité et/ou à la qualité d'aliments disponibles dans ces milieux (Diouf, 1991). Sur la presqu'île du Cap-Vert l'upwelling est beaucoup plus instable et disparaît plus tôt que dans les autres régions (mi-avril au lieu de mi-mai), dès que les vents amorcent leur rotation vers le nord-ouest (Teisson, 1983). Par comparaison avec la précédente, la région sud est une zone nourricière d'où en saison froide, l'upwelling est plus intense donc favorable au développement des sardinelles (Boëly *et al.*, 1982b). Les sardinelles restent concentrées dans la zone de convergence, située plus au sud suivant l'intensité de l'upwelling (Teisson, 1982; Binet, 1988). Sur ce plateau large, peu profond (isobathe 10-20 m) et en présence d'un contre-courant sub-superficiel, le transfert de la production vers l'échelon secondaire se fera plus rapidement et à moindre distance de la côte permettant ainsi de maintenir une biomasse planctonique importante dans la zone littorale.

La condition d'*E. fimbriata* passe par deux périodes distinctes. Deux cycles de facteur de condition par an, avec un pic au début de la saison sèche quand les eaux sont froides en janvier, et un autre pic au début de la saison des pluies quand les eaux sont chaudes (juin-juillet) ont également été décrits il y a de nombreuses années par Mainguy et Doutre (1958) dans la même zone, et Watts (1957) en Sierra Leone. Ces auteurs ont associé les principales phases du cycle de l'état adulte à la faible disponibilité de la nourriture de janvier à mai, lorsque l'eau était froide, suivie d'une période d'engraissement de juin à début octobre, quand

l'eau était saline et plus chaude, avec un maximum de disponibilité alimentaire d'octobre à décembre. Le facteur de condition varie selon les saisons et est influencé par les conditions environnementales (Fréon, 1979; Nieland, 1980b; Braga, 1986). Si nous nous servons des mêmes repères chronologiques que pour *E. fimbriata*, on voit qu'à l'inverse de deux premières espèces (*S. aurita* et *S. maderensis*), celle-ci présente une stratégie différente. L'hypothèse d'une mauvaise disponibilité de la nourriture en saison froide pourrait expliquer la chute des valeurs du coefficient de condition chez l'ethmalose. Il est possible que cette dernière ne puisse pas profiter convenablement de l'upwelling, car plus côtière et plus estuarienne (Scheffers, 1973), entraînant par conséquent un amaigrissement en saison froide. Les principaux facteurs régissant la condition de ces trois espèces le long des côtes sénégalaises seraient donc essentiellement la température de l'eau et la disponibilité de la nourriture. Un lien direct est observé entre le facteur de condition et la saisonnalité climatique.

Conclusion

Les relations biométriques issues du présent travail sont similaires à celles qui ont été précédemment calculées au Sénégal par d'autres auteurs qui avaient abordé le sujet (Conand, 1977a; Boëly, 1979; Camarena-Luhrs, 1986). Pour l'ensemble des espèces étudiées les nuages de points des courbes de relation taille-poids par région se couvrent ce qui permet de conclure que les différences entre les régions ne sont pas significatives. Les valeurs moyennes, pour l'ensemble des eaux sénégalaises, des paramètres a et b peuvent être utilisées dans les études dynamiques pour les différentes régions. Par ailleurs, l'étude a montré que la nourriture joue un rôle important sur la croissance des espèces appartenant à la famille des Clupéidés conformément aux études antérieures (Scheffers, 1973; Conand, 1977b; Boëly *et al.*, 1982a; Cury et Fontana, 1988; Fréon, 1988; Maus, 1997). La croissance est ralentie en saison chaude alors qu'elle s'accélère en saison froide, période où le milieu est riche en nourriture. Cela se traduit par l'augmentation du facteur de condition pendant cette période. L'ethmalose aurait une stratégie différente dans l'utilisation de la nourriture. Par contre les deux espèces de sardinelles répondent de façon similaire à ces variations d'apports en nourriture en accumulant les apports énergétiques durant les saisons favorables. Cette stratégie d'exploitation du milieu rendrait la compétition alimentaire d'autant plus sévère que ces deux espèces possèdent un régime alimentaire proche. Elles possèdent cependant des stratégies différentes d'occupation et d'exploitation du milieu qui leur permettent d'éviter la compétition et de coexister. Comme

rapporté dans la littérature, *S. aurita* est sténohaline et préfère les eaux dont la température est plutôt froide. Alors que *S. maderensis* est plus euryhaline et semble préférer les eaux chaudes (Boëly et Fréon, 1979). En outre la stratégie d'occupation du milieu, les schémas migratoires sont différents en nombreux points. *S. aurita* effectue des migrations saisonnières de grandes amplitudes le long des côtes sénégalo-mauritanienes en relation avec la dynamique spatiale des upwellings. *S. maderensis* est une espèce côtière et relativement sédentaire puisque ses migrations saisonnières le long des côtes sont de faibles amplitudes (Boëly *et al.*, 1982b). Les deux espèces de sardinelles n'exploitent pas aussi les mêmes franges bathymétriques. *S. aurita* effectue des déplacements pouvant atteindre 100 à 200 m de profondeur. *S. maderensis* est une espèce strictement côtière qui ne descend pas au-delà de l' isobathe des 30 m au Sénégal (Boëly, 1979). Les espèces de sardinelle s'adaptent bien à leur habitat qui leur offre des conditions physicochimiques et biologiques nécessaires pour leur développement.

Chapitre 5 : REPRODUCTION

Introduction

Les petits pélagiques constituent un potentiel halieutique important le long des côtes ouest africaines et plus particulièrement sur le littoral sénégalais. Pour mieux comprendre l'état d'exploitation des stocks des espèces ciblées, et afin de collecter des données nécessaires à la mise en place d'un plan de gestion, des études d'évaluation de stocks doivent être entreprises (Cury et Fontana, 1988; Fréon, 1988; Roy *et al.*, 1989; Maus, 1997). La réalisation de ces études repose sur la détermination de certains paramètres caractéristiques de la population. La connaissance de la reproduction des poissons est l'un des éléments clés de la gestion des stocks de poissons (Wootton, 1998). Pour cela cette étude abordera différents aspects de la reproduction des poissons tels que la période et la durée de la reproduction, les tailles à la première maturité sexuelle et la fécondité. L'ensemble de ces données actualisées doit être utilisé pour planifier les stratégies de pêche comme la définition des tailles minimales de capture, et/ou l'établissement d'un plan de repos biologique.

1 Matériel et méthodes

L'étude de la maturité sexuelle des sardinelles du Congo (Fontana, 1969) a servi de base à notre travail pour déterminer le sexe et évaluer les stades sexuels (Tableau 3). Elle a montré la présence dans les ovaires de trois groupes d'œufs de tailles distinctes évoluant parallèlement vers la ponte, ce processus de maturation permettant un fractionnement de la ponte qui peut se produire plusieurs fois durant une même saison de reproduction. L'échelle de maturité décrite par Fontana comprend 7 stades et elle est déterminée par l'aspect macroscopique et la structure de la gonade.

Tableau 3. Echelle de maturité des gonades de sardinelles (Fontana, 1969)

| Stades | Femelle | Diamètre modal du groupe d'ovocytes le plus avancé | Male |
|--------|---|--|---|
| 1 | Gonade petite et ferme-transparente ou rose clair-ovocytes invisibles. | 100 µm | Gonade blanche ou légèrement translucide très fine et en lame de couteau |
| 2 | caractère sensiblement identique au stade 1. | 100 µm | caractère sensiblement identique au stade 1 |
| 3 | Gonade ferme et de couleur variant du rose pale à l'orange clair. Quelques ovocytes sont parfois visibles à travers la membrane ovarienne. | 450 µm | Gonade blanchâtre ferme ; aucun liquide ne coule si on y fait une incision. |
| 4 | Gonade plus grosse et moins ferme généralement orange clair puis foncé. Les ovocytes visibles à travers la membrane ovarienne rendent la surface de l'ovaire granuleuse. | 580 µm | Gonade plus molle et blanche ; un liquide blanchâtre s'écoule dès que l'on pratique une incision. |
| 5 | Gonade très grosse occupant toute la cavité abdominale. Membrane ovarienne très fine. Les ovules hyalins et de grosse taille sont parfaitement visibles et sont expulsés à la moindre pression exercée sur l'abdomen. | 900 µm | Gonade grosse et molle. Le sperme coule aux moindres pressions exercées sur l'abdomen. |
| 6 | L'ovaire est flasque très vascularisé. Sa couleur varie du rose saumon au rouge. A travers la membrane ovarienne les ovocytes de 460µ sont parfaitement visibles. Nombreux espaces hyalins. | 450 µm | Gonade flasque et présentant une vascularisation très fine particulièrement très fine dans la partie postérieure. |
| 7 | Ovaire complètement collapsé très flasque de couleur rouge due à une très forte vascularisation. A ce stade, l'ovaire a l'aspect caractéristique d'un sac vide. | Ovocytes en voie de nécrose | Gonade très flasque, épuisée et fortement vascularisée. |

1.1 Rapport gonado-somatique et période de reproduction

Chez les femelles et les mâles, la variation du rapport gonado-somatique (RGS) a été suivie pour établir le cycle sexuel et déterminer la période de ponte. Son évolution dans le temps traduit les modifications pondérales subies par les gonades au cours du cycle de reproduction, caractérisant ainsi d'une manière globale leur maturation. Afin d'éliminer la variabilité liée à l'état de réplétion de l'estomac, le poids éviscétré a été utilisé de préférence au poids total et le RGS a été calculé à partir de l'expression :

$$RGS = \frac{P_G}{P_{ev}} \times 10^2$$

P_G est le poids des gonades, P_{ev} est le poids éviscétré du poisson

Le RGS a été comparé entre les mois pour le même sexe en utilisant un test non paramétrique (test U de Mann-Whitney) car les conditions d'utilisation de tests paramétriques n'ont pas été respectées.

1.2 Taille à la première maturité sexuelle

La taille à la première maturité sexuelle (LF_{50}) correspond à la taille pour laquelle 50% des individus observés sont matures en période de reproduction (Conand, 1977b; Diouf, 1996). La proportion d'individus matures par classe de taille de 50 mm et par sexe est obtenue en fixant le seuil de maturité égal ou supérieur au stade 3 qui correspond à la phase de développement des ovaires dans un processus irréversible (Fontana, 1969). Chaque classe de taille est représentée par sa valeur centrale et l'estimation de la LF_{50} est faite à l'aide d'un modèle logistique par ajustement d'un modèle de régression non linéaire (méthode de quasi-Newton, Statistica ®) :

$$\%M = \frac{100}{1 + e^{-a(LF - LF_{50})}}$$

a est une constante, LF_{50} est une constante correspondant à la taille de première maturité sexuelle, LF est la valeur centrale des classes de longueur à la fourche, %M est le pourcentage d'individus matures par classe de taille. Les tailles à la première maturité sexuelle par sexe d'une même espèce ont été calculées et comparées entre les points d'échantillonnage en utilisant le test t de Student.

1.3 Fécondité

La fécondité correspond au nombre d'œufs dont les diamètres constituent la distribution modale la plus avancée et qui correspond au nombre d'œufs émis pendant la ponte (Bagenal, 1973; Fontana et Pianet, 1973). Elle est liée à la taille des reproducteurs et est sensiblement proportionnelle au poids du poisson (i.e. au cube de la longueur). Elle est aussi proportionnelle au poids des gonades lorsque les œufs sont au même stade de développement (Ghéno et Fontana, 1981).

Le calcul de la fécondité a été effectué uniquement à partir des gonades femelles de stade 5, c'est-à-dire en période de reproduction. Pour chaque individu, les deux gonades ont été pesées et un sous-échantillon de 0,05 g a été prélevé sur l'une d'elles et déposé dans une boîte de Pétri en présence de liquide de Gilson (100 ml d'éthanol, 9 ml d'acide acétique

glacial, 20 ml d'acide nitrique à 60%, 20 g de mercure (II) chloride et 875 ml d'eau distillée). Après séparation, les œufs ont été comptés manuellement sous une loupe binoculaire. La fécondité absolue (Fec.Abs) correspond au nombre d'œufs matures susceptibles d'être libérés à la prochaine ponte. La fécondité relative (Fec.Rel), nombre d'œufs produit par g de poids corporel, est obtenue en rapportant le nombre d'œufs compté au poids total de l'individu.

$$\text{Fec. Abs} = \frac{P_G \times N_{ov}}{P_g}$$

$$\text{Fec. Rel} = \frac{\text{Fec. Abs}}{PT}$$

N_{ov} est le nombre d'œufs compté dans le sous-échantillon, P_G est le poids total de la gonade et P_g est le poids du sous-échantillon

Pour mesurer les dimensions des œufs, 5 images par gonade ont été prises à l'aide du Logiciel LAS-EZ (Figure 16a). Le logiciel Image J a été utilisé pour mesurer automatiquement (à partir du développement d'une macro) le diamètre, le périmètre et la surface de chaque ovocyte (Figures 16b, 16c, 16d). Les moyennes de ces différents paramètres ont été calculées pour chaque poisson et comparées entre les points d'échantillonnage.

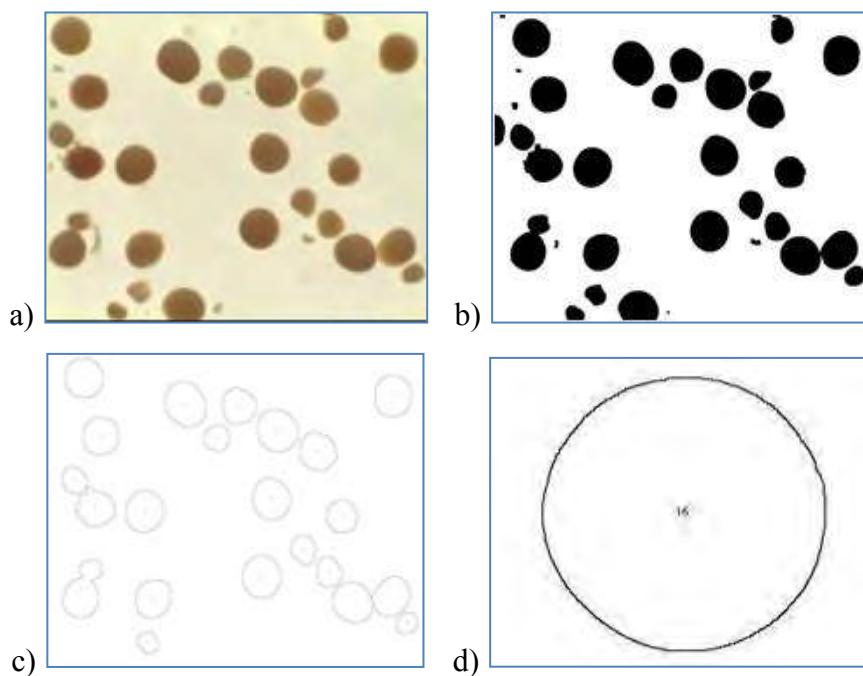


Figure 16. Comptage et mesures des œufs à partir d'une image numérisée à l'aide du logiciel Image J :
 a) Image originale, b) image binaire, c) contour binaire avec individualisation des ovocytes et élimination des artefacts, d) image du contour d'un ovocyte isolé ; barre d'échelle = 0,4 mm

2 Résultat

2.1 Rapport gonado-somatique et période de reproduction

Une interprétation rapide de la variation mensuelle du RGS des femelles et des mâles de *S. aurita* de Hann semble indiquer deux périodes de reproduction avec des amplitudes différentes. Une première période de reproduction qui se situe en février-mars et une seconde en octobre-novembre (Figure 17a). Le RGS moyen des femelles échantillonnées à Mbour est plus élevé entre janvier et avril, avec un pic en février, puis chute pour atteindre une valeur faible en juin. De juillet à décembre, le RGS moyen est relativement faible. Chez les mâles, l'évolution du RGS moyen est similaire à celle des femelles avec un pic très important en mars (Figure 17b). Le RGS moyen des femelles de Joal est comparable à celui de Mbour durant la saison froide, puis augmente et atteint des valeurs plus importantes d'août à novembre. La variation du RGS moyen des mâles montre trois pics importants en janvier, en mars et en novembre (Figure 17c). Pour simplifier l'analyse des résultats du test, les mois où sont observés les pics ont été comparés aux autres mois de l'année. Chez les femelles de Hann, le RGS en octobre est différent de ceux de tous les mois excepté novembre ($p = 0,83$; Annexe 4a). Chez les mâles de la même station, octobre n'est statistiquement identique qu'à septembre, novembre et décembre (Annexe 4b). Pour Mbour, le RGS moyen des femelles en février est statistiquement identique à ceux de janvier, mars, avril et novembre (Annexe 5a). Par contre pour les mâles échantillonnés à Mbour mars n'est statistiquement identique qu'à novembre (Annexe 5b). A Joal, le RGS moyen des femelles en février est statistiquement identique à ceux de janvier, mars, août, septembre, octobre, novembre (Annexe 6a). Chez les mâles, les résultats obtenus sont proches à ceux trouvés pour les femelles de la même station en comparant mars du reste des mois (Annexe 6b).

D'après ces résultats, *S. aurita* possède, sur la presqu'île du Cap-Vert, une seule période de reproduction principale qui se situe en octobre-novembre. Elle est peut être suivie d'une ponte secondaire, d'importance plus faible, en février-mars. Pour Mbour, tout comme pour Joal, il y a deux principales périodes de reproduction. Une première période de reproduction qui se situe de janvier à mars-avril et une seconde période de reproduction en novembre pour Mbour et d'août à novembre pour Joal.

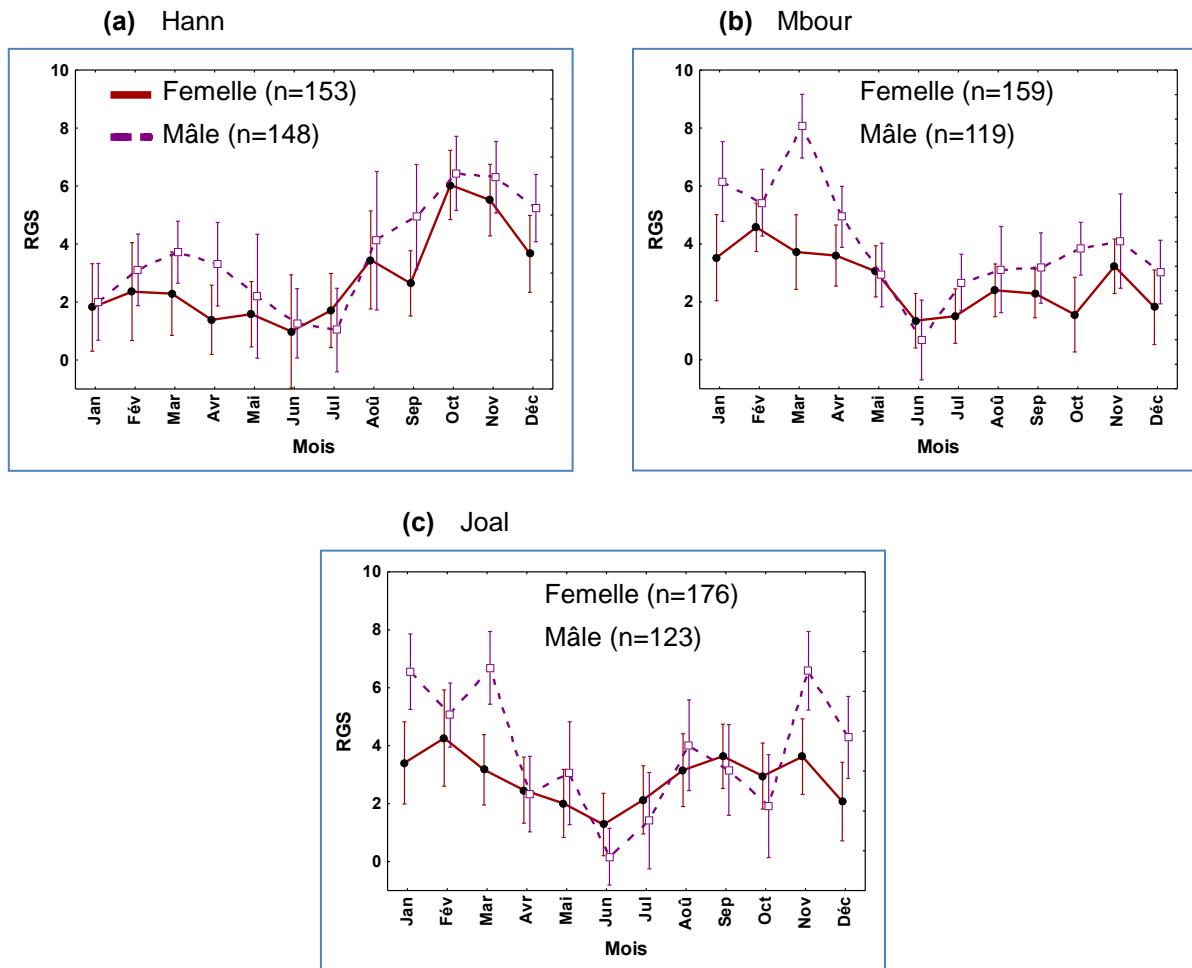


Figure 17. Variation mensuelle du RGS chez *Sardinella aurita* :
Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-types

L'interprétation du cycle annuel de reproduction chez *S. maderensis* de Hann à partir de l'évolution mensuelle du RGS est délicate. Chez les femelles, la variation du RGS montre deux pics de reproduction, un premier en juin-juillet suivi d'un second en octobre-novembre. Alors que chez les mâles trois pics de reproduction sont identifiés, en mai, en août et en octobre-novembre (Figure 18a). Pour Mbour, la variation du RGS des femelles montre un premier pic de reproduction en avril, suivi d'une baisse en mai, et un second en juin. Le RGS moyen des mâles est également élevé de janvier à avril, diminue en mai-juin puis augmente rapidement pour atteindre un pic en juillet. De septembre à décembre ce RGS est faible pour les deux sexes (Figure 18b). Pour Joal, les RGS moyens des mâles et des femelles sont élevés de janvier à avril, en juillet-août et en novembre, et faibles le reste de l'année. (Figure 18c). Le test U a été également utilisé pour situer plus rigoureusement les périodes de reproduction dans chaque station. Chez les femelles de Hann, le RGS d'octobre est statistiquement différent de ceux de mars, avril, mai et septembre (Annexe 7a). Alors que pour les mâles, le

RGS moyen de mai est significativement différent de ceux des autres mois, exceptés juillet, août, octobre et novembre (Annexe 7b). Pour Mbour, la comparaison des RGS moyens des femelles n'est pas concluante, car la moyenne d'avril n'est pas significativement différente de celles des autres mois (Annexe 8a). Par contre chez les mâles le RGS moyen de juillet est différent de la plupart des autres mois, sauf mars, avril et août (Annexe 8b). A Joal les périodes de reproduction établies par le suivi du RGS des femelles et mâles sont confirmées par les résultats du test (Annexes 9a, 9b).

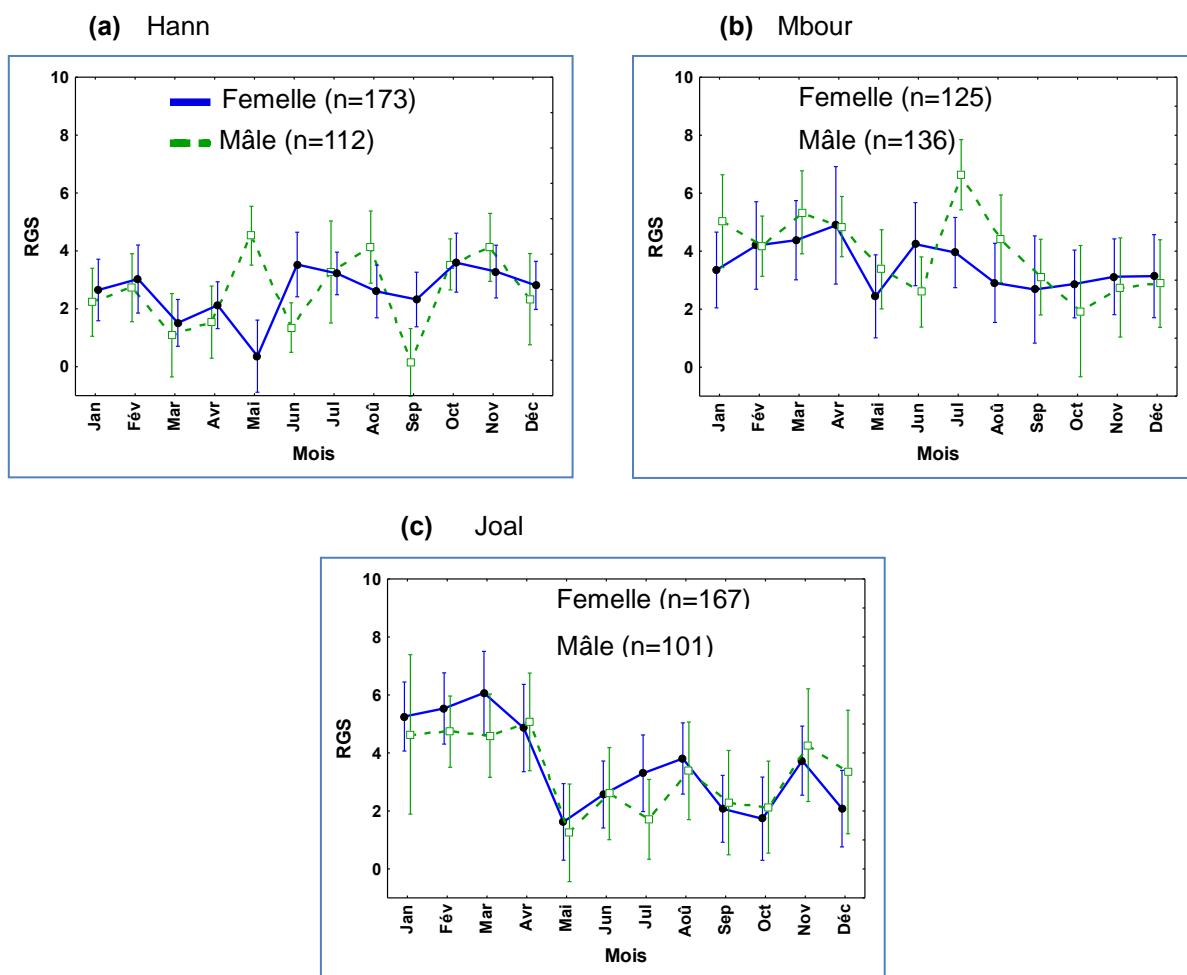


Figure 18. Variation mensuelle du RGS chez *Sardinella maderensis* :
Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-types

En conclusion, *S. maderensis* possède dans la zone de Hann deux périodes de reproduction principale : une reproduction étalée de mai à août pendant la saison chaude et une autre en octobre-novembre pendant la phase de transition saison chaude-saison froide. Deux périodes des reproductions sont identifiées à Mbour : de janvier à avril et de juin à août. Pour Joal, les saisons de ponte sont clairement mises en évidence par l'évolution du RGS, qui

montre trois périodes dont les deux premières correspondent à celles décrites à Mbour et une troisième en novembre.

Chez *E. fimbriata*, il y aurait deux cycles de reproduction par an à Mbour, comme le montre le RGS, avec un premier pic au début de la saison sèche (janvier), et un second en juin pour les femelles et en juillet pour les mâles au début de la saison des pluies, avec un ralentissement en février, en octobre et en décembre, respectivement (Figure 19a). D'août à décembre le RGS moyen des femelles est faible (moins de 4%), ce qui pourrait correspondre à un repos sexuel. Pour Joal, les variations du RGS moyen des femelles et des mâles sont synchrones. Il y aurait un seul cycle de reproduction par an avec un RGS des femelles qui reste élevé pendant plusieurs mois, de février à juin, et un pic en mai, correspondant à la fin de la saison sèche et le début de la saison des pluies (Figure 19b). Cette période de reproduction correspondrait à la deuxième période observée pour Mbour. Chez les femelles de Mbour, les comparaisons des valeurs du RGS moyen par paire en utilisant le test U de Mann-Whitney ne sont pas concluantes, mais montre que janvier et juin sont similaires ($P = 0,50$), et sont différents de la plupart des autres mois, sauf mars et mai (Annexe 10a). Pour Joal, les comparaisons entre les mois du RGS moyen des femelles sont plus claires, le mois de mai est statistiquement différent des autres mois ($p < 0,05$, Annexe 11a). Pour les deux sites, les valeurs moyennes de RGS des mâles sont relativement faibles et aucune tendance saisonnière n'est évidente (Annexes 10b, 11b).

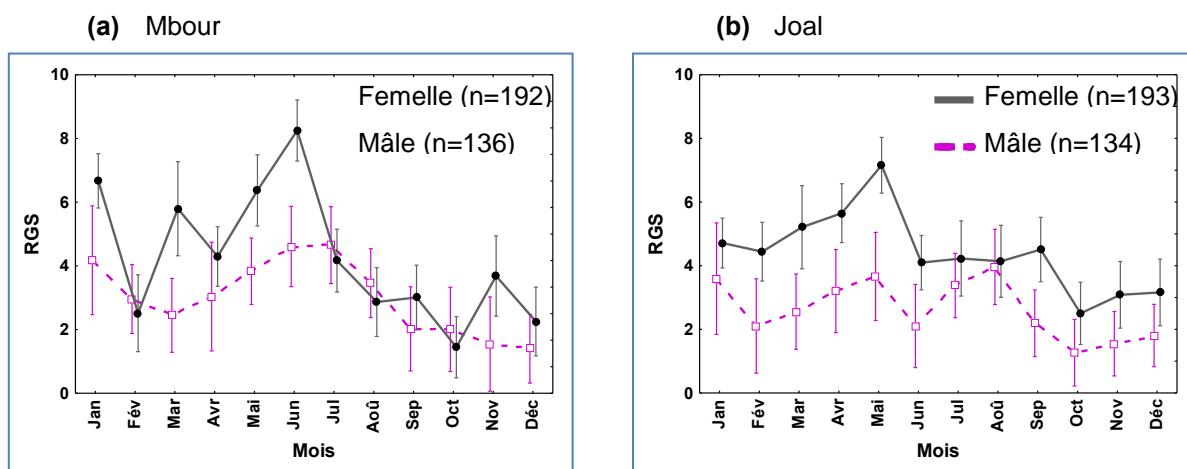


Figure 19. Variation mensuelle du RGS chez *Ethmalosa fimbriata* :
Les points représentent les moyennes mensuelles ; les barres verticales correspondent aux écarts-types

En conclusion, *E. fimbriata* a probablement une seule période de reproduction prolongée dans les deux endroits, entre janvier et juillet, même si deux pics sont identifiés pour Mbour, en janvier et juin, alors que le pic principal de Joal est en mai. La comparaison du RGS entre les deux sexes montre que sur plusieurs mois, les RGS moyens des mâles sont plus élevés que ceux des femelles chez *S. aurita* et plus faibles chez *E. fimbriata*. Alors que, les RGS moyens des mâles et des femelles sont très proches chez *S. maderensis*. Ces informations montrent que l'analyse combinée des deux types RGS est importante pour situer les périodes de reproduction.

2.2 Taille à la première maturité sexuelle

Les plus petites femelles et mâles matures de *S. aurita* de Hann mesurent respectivement 97 mm et 117 mm et les plus grands poissons mesurent respectivement 307 mm et 292 mm. Les tailles à la première maturité sexuelle se situent à 225 mm pour les femelles et à 181 mm les mâles (Figures 20a, 20b). Pour Mbour, le plus petit poisson mature est à 149 mm pour une femelle et à 146 mm pour un mâle et les grands poissons matures mesurent 300 mm pour les deux sexes. Les tailles à la première maturité sexuelle sont de 218 mm pour les femelles et de 200 mm pour les mâles (Figures 20c, 20d). Quant aux échantillons de Joal, les tailles des plus petits poissons matures sont proches de celles de Mbour : 143 mm pour une femelle et 152 mm pour un mâle. Les plus grands poissons mesurent 296 mm et 291 mm et les tailles à la première maturité sexuelle sont respectivement de 219 mm et de 206 mm (Figures 20e, 20f). Les femelles de *S. aurita* atteignent leur maturité sexuelle à une taille supérieure à celle des mâles ($t = 3,19$; $ddl = 4$; $p = 0,03$).

Chez *S. maderensis* les plus petits poissons matures mesurent 90 mm, 137 mm et 141 mm pour femelles et 103 mm, 140 mm et 149 mm pour les mâles respectivement pour Hann, Mbour et Joal. Les plus grands poissons matures mesurent 303 mm, 276 mm et 278 mm pour les femelles et 270 mm, 273 mm et 268 mm pour les mâles respectivement pour Hann, Mbour et Joal. Les tailles à la première maturité sexuelle trouvées à Hann sont de 183 mm pour les femelles et de 177 mm pour les mâles (Figures 21a, 21b). Pour Mbour, ces tailles sont de 197 mm pour les femelles et de 173 mm pour les mâles (Figures 21c, 21d). Les femelles de Joal arrivent à la première maturité sexuelle à une taille moyenne de 184 mm et les mâles à 168 mm (Figures 21e, 21f). Les femelles de *S. maderensis* atteignent leur maturité sexuelle à une taille légèrement supérieure à celle des mâles ($t = 2,95$; $ddl = 4$; $p = 0,04$).

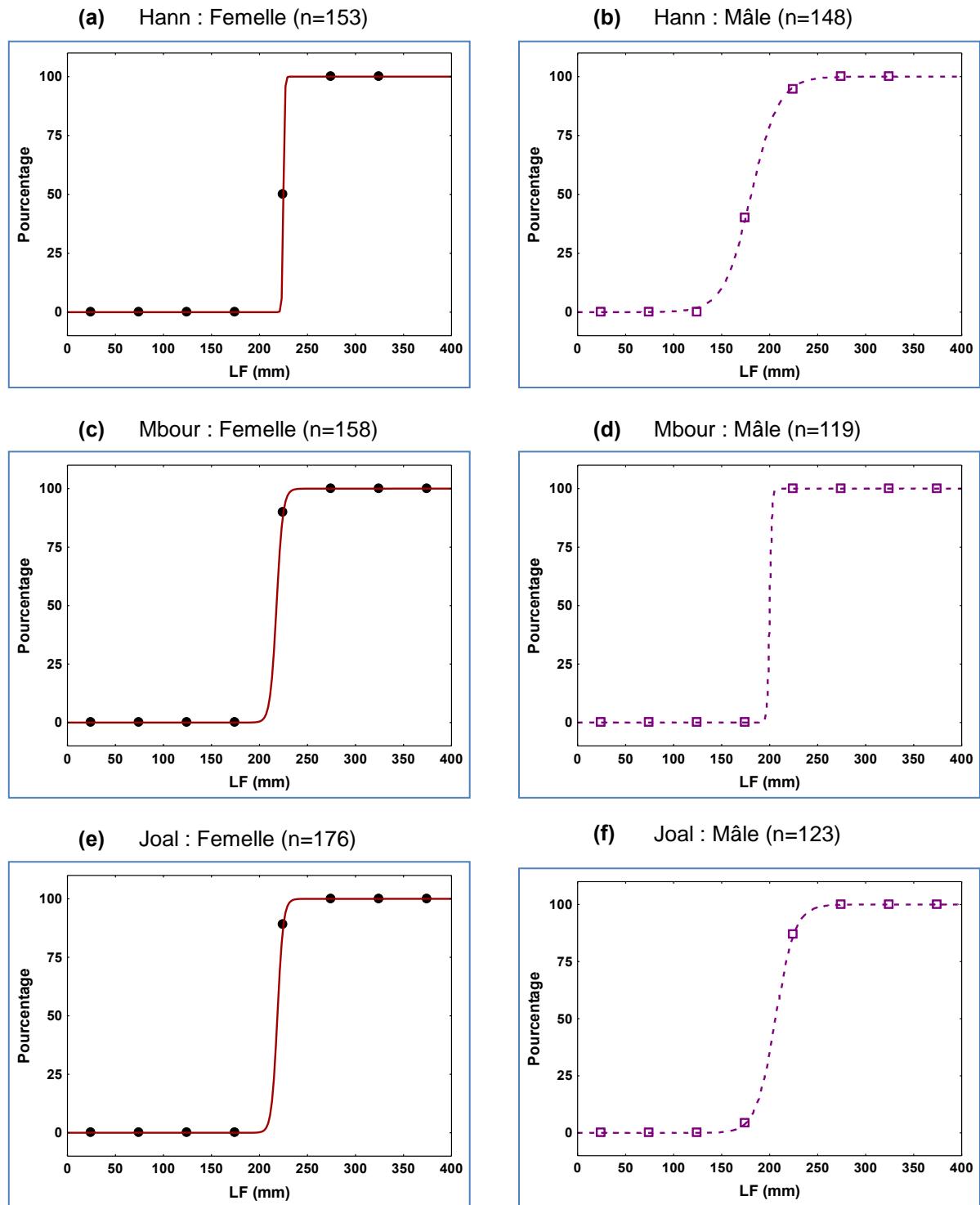


Figure 20. Taille à la première maturité sexuelle chez *Sardinella aurita*

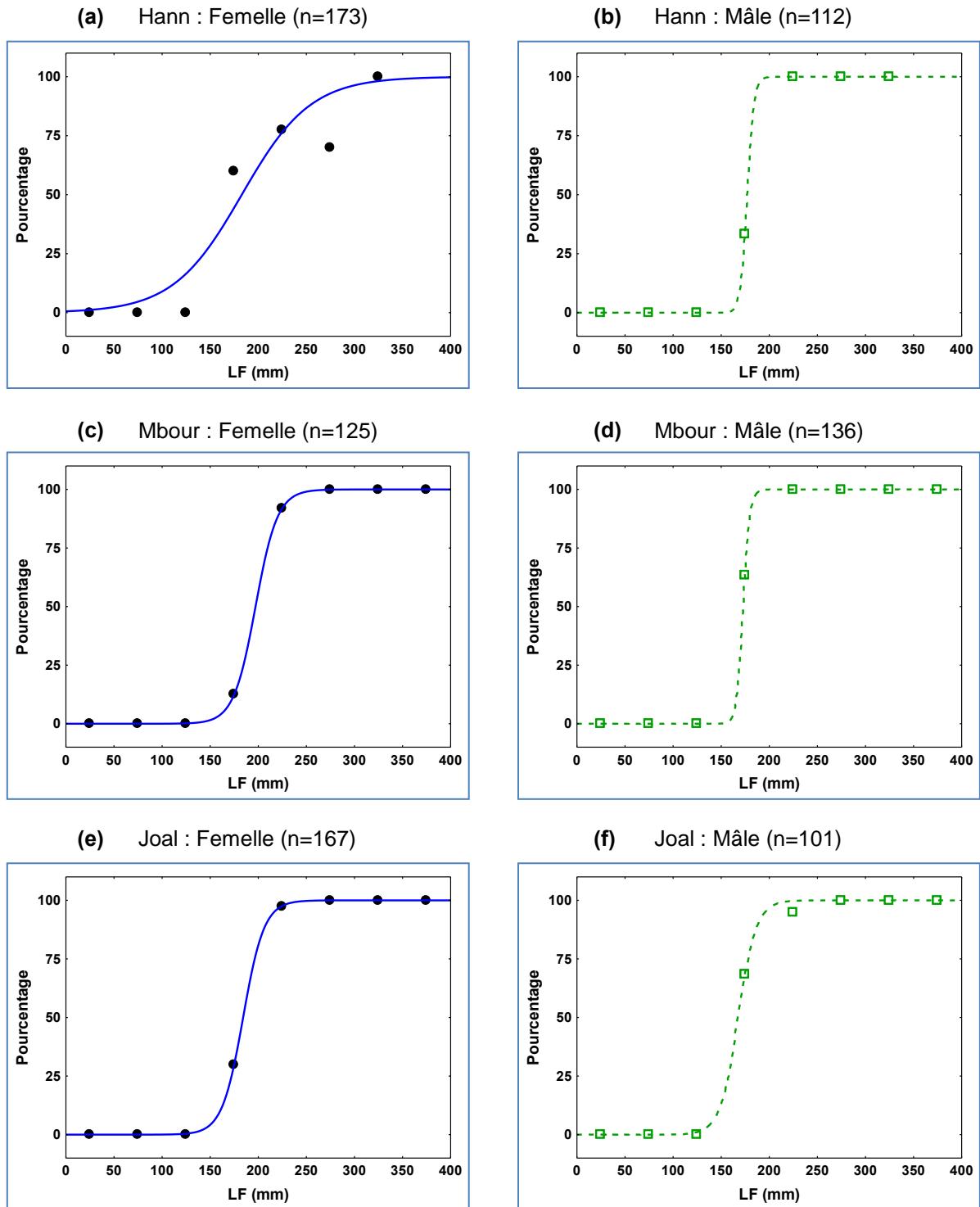


Figure 21. Taille à la première maturité sexuelle chez *Sardinella maderensis*

Chez *E. fimbriata*, les plus petits poissons matures de Mbour mesurent 178 mm pour une femelle et 147 mm pour un mâle, alors que les plus grandes tailles sont à 304 mm pour une femelle et à 277 mm pour un mâle. Les tailles de première maturité sexuelle pour Mbour sont de 176 mm pour les femelles et de 180 mm pour les mâles (Figures 22a, 22b). Alors que, pour Joal, les tailles des poissons adultes varient entre 160 mm et 300 mm pour les femelles et 160 mm et 268 mm pour les mâles. Leur taille à la première maturité sexuelle est de 177 mm pour les deux sexes (Figures 22c, 22d). Les femelles et les mâles d'*E. fimbriata* atteignent leur maturité sexuelle à la même taille ($t = -1,27$; $ddl = 2$; $p = 0,33$).

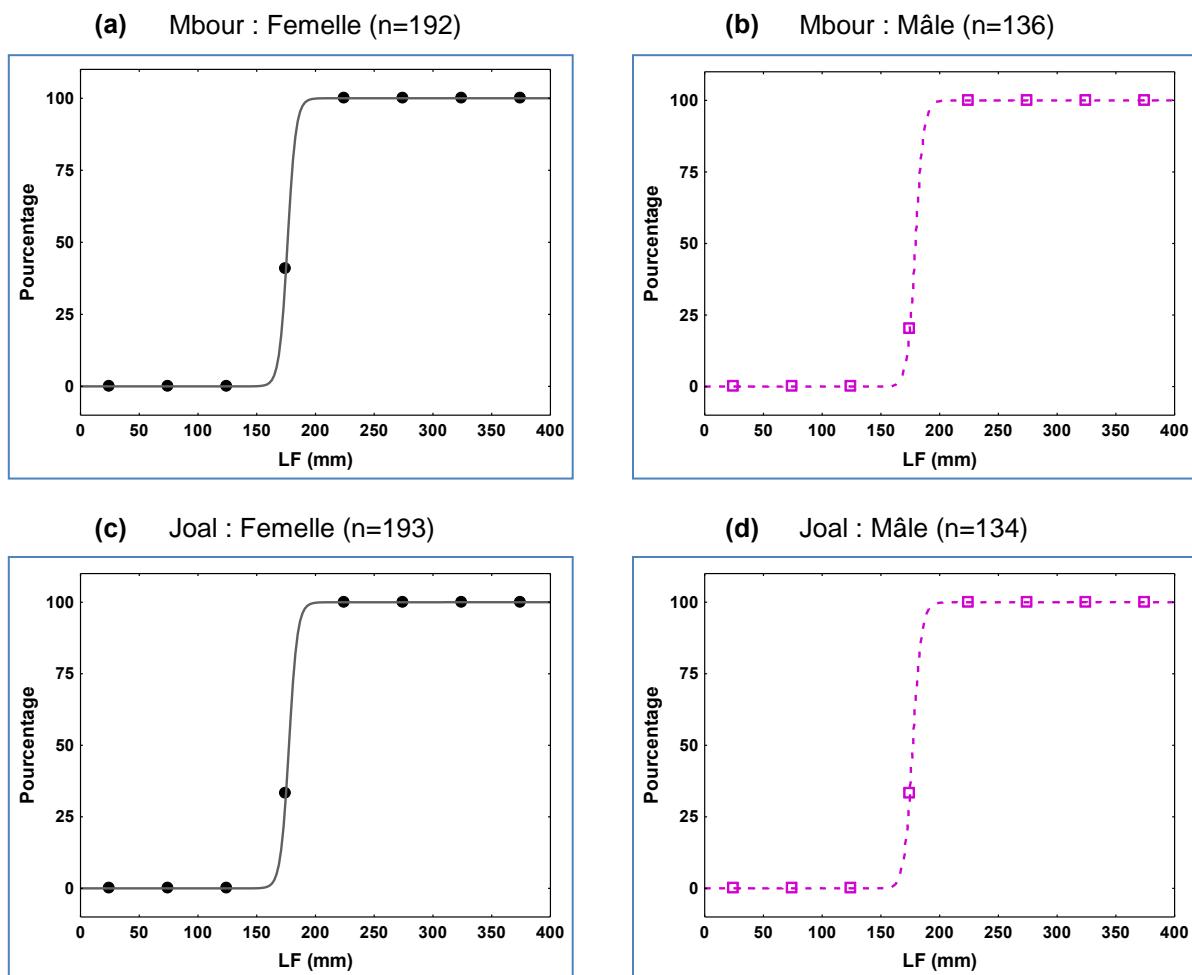


Figure 22. Taille à la première maturité sexuelle chez *Ethmalosa fimbriata*

2.3 Fécondité

Les fécondités (absolue et relative) moyennes de *S. aurita*, de *S. maderensis* et d'*E. fimbriata* sont très élevées avec une forte variabilité individuelle. Ces fécondités diminuent progressivement de Hann à Joal mais restent importantes. Les œufs émis durant la reproduction sont de petite taille (Tableaux 4, 5, 6 ; Annexes 12, 13, 14).

Tableau 4. Fécondités et taille des œufs de *S. aurita* : LF = longueur à la fourche ; PT = poids total ; PG = poids des gonades ; Fec. Abs = fécondité absolue ; Fec. Rel = fécondité relative ; Surf. = surface ovocytaire ; Périm. = périmètre ovocytaire ; Diam. = diamètre ovocytaire

| <i>S. aurita</i> (n=10 individus par station) | | | | | | |
|---|----------|-------------|-----------|-------------|----------|-------------|
| | Hann (a) | | Mbour (b) | | Joal (c) | |
| Paramètres | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types |
| LF (mm) | 261 | 14 | 272 | 18 | 260 | 21 |
| PT (g) | 268,27 | 46,67 | 333,88 | 66,86 | 279,43 | 67,80 |
| PG (g) | 18,84 | 4,22 | 17,59 | 4,65 | 18,34 | 5,50 |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 176315 | 45949 | 101036 | 45804 | 80784 | 31555 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 654 | 111 | 301 | 98 | 293 | 109 |
| Surf. (mm ²) | 0,33 | 0,02 | 0,31 | 0,03 | 0,30 | 0,04 |
| Périm. (mm) | 2,22 | 0,09 | 2,12 | 0,10 | 2,08 | 0,14 |
| Diam. (mm) | 0,66 | 0,03 | 0,63 | 0,03 | 0,63 | 0,04 |

Tableau 5. Fécondités et taille des œufs de *S. maderensis* : LF = longueur à la fourche ; PT = poids total ; PG = poids des gonades ; Fec. Abs = fécondité absolue ; Fec. Rel = fécondité relative ; Surf. = surface ovocytaire ; Périm. = périmètre ovocytaire ; Diam. = diamètre ovocytaire

| <i>S. maderensis</i> (n=10 individus par station) | | | | | | |
|---|----------|-------------|-----------|-------------|----------|-------------|
| | Hann (a) | | Mbour (b) | | Joal (c) | |
| Paramètres | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types |
| LF (mm) | 258 | 17 | 259 | 13 | 249 | 25 |
| PT (g) | 265,46 | 34,86 | 296,47 | 41,74 | 299,27 | 74,61 |
| PG (g) | 14,30 | 4,28 | 18,12 | 4,69 | 22,07 | 11,55 |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 121964 | 72236 | 94797 | 41367 | 86444 | 45702 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 449 | 236 | 310 | 104 | 277 | 121 |
| Surf. (mm ²) | 0,25 | 0,05 | 0,25 | 0,03 | 0,30 | 0,10 |
| Périm. (mm) | 1,92 | 0,18 | 1,88 | 0,14 | 2,07 | 0,36 |
| Diam. (mm) | 0,58 | 0,05 | 0,57 | 0,04 | 0,62 | 0,10 |

Tableau 6. Fécondités et taille des œufs d'*E. fimbriata* : LF = longueur à la fourche ; PT = poids total ; PG = poids des gonades ; Fec. Abs = fécondité absolue ; Fec. Rel = fécondité relative ; Surf. = surface ovocytaire ; Périm. = périmètre ovocytaire ; Diam. = diamètre ovocytaire

| <i>E. fimbriata</i> (n=10 individus par station) | | | | |
|--|-----------|-------------|----------|-------------|
| | Mbour (a) | | Joal (b) | |
| Paramètres | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types |
| LF (mm) | 235 | 28 | 252 | 22 |
| PT (g) | 290,69 | 95,92 | 320,75 | 80,01 |
| PG (g) | 28,09 | 13,97 | 27,72 | 9,65 |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 135481 | 88295 | 131056 | 55960 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 436 | 190 | 396 | 84 |
| Surf. (mm ²) | 0,29 | 0,04 | 0,31 | 0,04 |
| Périm. (mm) | 2,04 | 0,15 | 2,18 | 0,23 |
| Diam. (mm) | 0,61 | 0,04 | 0,64 | 0,04 |

Les conditions d'utilisation d'une analyse paramétrique étant respectées, le test t de Student a été utilisé pour comparer les fécondités (absolue et relative) de *S. aurita* entre les trois sites d'échantillonnage. D'après les résultats du test, la fécondité absolue de Hann est significativement différente de celles de Mbour et Joal. La fécondité absolue de *S. aurita* n'est pas significativement différente entre Mbour et Joal. Les mêmes résultats sont obtenus en comparant les fécondités relatives moyennes. Par contre aucune différence significative n'est trouvée entre les surfaces moyennes, les périmètres moyens et les diamètres moyens (Annexe 15). Pour *S. maderensis*, tout comme pour *E. fimbriata*, les résultats du test ne montrent aucunes différences significatives entre Hann, Mbour et Joal (Annexes 16, 17).

En conclusion, la taille des œufs libérés par les trois espèces durant la période de reproduction ne change pas selon les lieux pontes. Cependant il apparaît clairement que *S. aurita* pond beaucoup plus d'œufs à Hann qu'à Mbour et Joal. Par contre, pour *S. maderensis*, tout comme pour *E. fimbriata*, les fécondités moyennes ne sont pas significativement différentes entre les zones.

3 Discussion

3.1 Rapport gonado-somatique et période de reproduction

Sur la baie de Hann, durant le premier semestre, *S. aurita* se nourrit abondamment et d'importantes quantités de graisses sont stockées dans sa cavité abdominale. Ce comportement assure aux sardinelles leur maintien en bonne condition physique, la reprise de la croissance et l'accumulation de réserves pour la période de mauvaise condition qui s'accompagne d'un amaigrissement des individus. Seule une petite partie de ces réserves serait allouée à la reproduction. La période de reproduction principale est renvoyée durant la période de transition saison chaude-saison froide (octobre-novembre). L'énergie disponible au cours de la période de production maximale de planctons n'a pas été immédiatement utilisée pour la reproduction, mais stockée sous forme de graisse utilisable quelques mois plus tard. Cette stratégie de stockage peut être énergétiquement coûteuse puisque la croissance est affectée par la stratégie d'allocation d'énergie à la maturation et la production des gonades. Ceci pourrait expliquer la forte diminution du facteur de condition (Kc) durant la période de reproduction principale. Cette stratégie a été également observée au Venezuela, où la période de reproduction de *S. aurita* s'étend de novembre à mars, soit 5 à 6 mois après le pic du facteur de condition (Fréon *et al.*, 1997), en Côte d'Ivoire-Ghana et au Congo avec un

décalage d'environ 2 mois entre les pics de RGS et de Kc (Fontana et Pianet, 1973). Contrairement à Joal et à Mbour, où le Kc et le RGS sont simultanément élevés sur plusieurs mois, *S. aurita* se nourrit tout en se reproduisant. La stratégie des sardinelles rondes de la Petite-Côte serait donc d'accumuler des réserves durant une partie de l'année pour ensuite les utiliser majoritairement pour l'élaboration des produits génitaux ; seule une petite partie de ces réserves servirait pour le maintien de l'animal. Ce résultat est plus cohérent à Mbour car, durant le premier semestre, le facteur de condition est fort quand le RGS est élevé et donc quand les réserves sont maximales dans les ovaires et la deuxième période de reproduction (novembre) coïncide avec le début de l'upwelling dans la zone (Wooster *et al.*, 1976; Samb et Mendy, 2004). Un comportement similaire a été également décrit dans région sénégalo-mauritanienne (Roy *et al.*, 1989; ter Hofstede et Dickey-Collas, 2006) ; au Ghana (Quaatey et Maravelias, 1999), au Brésil (Bakun et Parrish, 1990) et au Venezuela (Fréon *et al.*, 1997). Les auteurs ont montré que le cycle de reproduction de *S. aurita* a souvent été lié aux zones de remontée d'eau froide (upwellings) dans l'ouest et l'est de l'Atlantique. D'autres études ont montré que la température de l'eau affecte la biologie de la reproduction de *S. aurita*. En Méditerranée, la ponte ne démarre qu'avec une augmentation de la température d'eau de surface (SST) jusqu'à 22 et 25 °C (Palomera et Sabatés, 1990; Mustać et Sinović, 2012), et qu'avec une baisse en dessous de 25°C dans le nord-ouest de l'Afrique (Conand, 1977b; Longhurst et Pauly, 1987) et au large du Ghana (Quaatey et Maravelias, 1999). Ces différences sont probablement liées à une gamme de température préférée pour la ponte et justifie le schéma migratoire de *S. aurita* le long des côtes ouest africaines (Garcia, 1982; Boëly *et al.*, 1982b). D'autre part, en utilisant une approche comparative, Bakun (1996) avait défini trois exigences (« triade ») qui sont nécessaires pour qu'un habitat soit adapté à la reproduction des poissons pélagiques : enrichissement (upwelling, mixage, etc.) ; processus de concentration et la rétention des ichtyoplanctons dans un habitat approprié. Il semble que la zone sud de la Petite-Côte sénégalaise réponde plus aux exigences écologiques de *S. aurita* et les résultats trouvés à Joal résument le cycle complet de sa reproduction au Sénégal. L'existence d'une période de reproduction maximale serait donc liée à l'association ou non de plusieurs facteurs environnementaux cycliques qui jouent le rôle de stimuli agissant sur la reproduction (Allain, 1999). *S. aurita*, comme la plupart d'autres Clupéidés présentant une grande vulnérabilité aux variations des conditions du milieu, est une espèce opportuniste qui réagit et s'adapte aux influences imposées par son environnement (Lowe-Mc Connell, 1987; Wootton, 1990). Cependant, au cours des ans, elle a pu garder le même calendrier de reproduction et la présente étude confirme les résultats antérieurs obtenus dans la même zone

(Tableau 7). La différence observée sur la durée des pontes est sans doute liée à une variabilité interannuelle du milieu qui a un impact réel sur son cycle de reproduction. Cette forte variabilité interannuelle, certes liée aux conditions climatiques, a été soulignée par Boëly (1982) après plusieurs années d'observations. Dans la présente étude nous avons utilisé des comparaisons statistiques qui ont permis de mieux localiser la période de reproduction de cette espèce contrairement aux études anciennes. Les différences observées sur la localisation temporelle des périodes de reproduction entre le Sénégal et d'autres pays seraient liées à des conditions climatiques différentes (Cury et Fontana, 1988).

Tableau 7. Périodes de reproduction de *Sardinella aurita* dans différentes régions de répartition. Les périodes de reproduction sont colorées en rouge

| Régions | Mois | | | | | | | | | | | | Références |
|-----------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------------------------|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| Sénégal (Hann) | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | (Cury et Fontana, 1988) |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | (Boëly, 1982) |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | (Conand, 1977b) |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | (Boëly <i>et al.</i> , 1978) |
| Ghana | | | | | | | | | | | | | (Quaatey et Maravelias, 1999) |
| Gambie-Cap Blanc | | | | | | | | | | | | | (Boëly <i>et al.</i> , 1978) |
| Congo | | | | | | | | | | | | | (Fontana et Pianet, 1973) |
| Sahara - Cap-Vert | | | | | | | | | | | | | (Boëly et Fréon, 1979) |
| Sahara - Cap-Vert | | | | | | | | | | | | | (Pham-Thuoc et Szypula, 1973) |
| Mauritanie | | | | | | | | | | | | | (Chavance <i>et al.</i> , 1991) |
| Mauritanie | | | | | | | | | | | | | (Wagué et Mbodj, 2002) |
| Mauritanie | | | | | | | | | | | | | (Ter hofstede <i>et al.</i> , 2007) |
| Nord-est Méditerranée | | | | | | | | | | | | | (Tsikliras et Antonopoulou, 2006) |
| Est Méditerranée | | | | | | | | | | | | | (Mustać et Sinović, 2012) |
| Centre Méditerranée | | | | | | | | | | | | | (Gaamour <i>et al.</i> , 2001) |
| Ouest Méditerranée | | | | | | | | | | | | | (Palomera et Sabatés, 1990) |
| Venezuela | | | | | | | | | | | | | (Fréon <i>et al.</i> , 1997) |
| Brésil | | | | | | | | | | | | | (Matsuura, 1996) |

Chez *S. maderensis* la période de reproduction est beaucoup plus étalée dans le temps dans notre étude. Bien que la ponte s'effectue tout le long de l'année, certaines périodes paraissent plus favorables que d'autres au Sénégal. Sur la presqu'île du Cap-Vert (Hann), le début de la reproduction en mai coïncide avec la fin de la bonne condition. Contrairement aux

sardinelles plates de la Petite-Côte (Mbour et Joal), dont le comportement est comparable aux sardinelles rondes de la même zone, les apports énergétiques sont simultanément utilisés dans la croissance et dans la reproduction. Une période de reproduction principale localisée en saison froide est un fait nouveau dans la zone sénégalo-mauritanienne et n'a été connue qu'à l'hémisphère sud, au Congo et Gabon (Fontana et Pianet, 1973). Dans le golfe de Guinée, la ponte de *S. maderensis* coïncide avec la période durant laquelle l'intensité de l'upwelling est maximale (Roy *et al.*, 1989). L'apparition de ponte principale de *S. maderensis* au sein d'un upwelling maximal est un fait intéressant car cette stratégie offre des conditions trophiques optimales permettant aux larves et aux adultes de satisfaire au mieux leur besoin énergétique, donc d'assurer le succès du recrutement. D'autre part, *S. maderensis* serait une espèce rustique, donc peu exigeante aux variations saisonnières du milieu, et pourrait se reproduire dans des conditions climatiques peu favorables (Ghéno et Fontana, 1981). Un décalage spatio-temporel des périodes de reproduction principale ne serait donc pas surprenant. La présence de femelles aptes à se reproduire pendant toute l'année confirme cette observation (Conand et Fagetti, 1971; Camarena-Luhrs, 1986). D'autre part le résultat obtenu à Hann confirme les observations antérieures effectuées dans la sous région ouest-africaine par de nombreux auteurs (Tableau 8).

Tableau 8. Périodes de reproduction de *Sardinella maderensis* dans différentes régions d'Afrique. Les périodes de reproduction sont colorées en bleu

| Régions | Mois | | | | | | | | | | | | | Références |
|--------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---------------------------------|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | | |
| Sénégal (Hann) | | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | | (Boëly, 1979) |
| Sénégal | | | | | | | | | | | | | | (Camarena-Luhrs, 1986) |
| Sénégalo-gambienne | | | | | | | | | | | | | | (Conand et Fagetti, 1971) |
| Mauritanie | | | | | | | | | | | | | | (Boëly, 1979) |
| Mauritanie | | | | | | | | | | | | | | (Chavance <i>et al.</i> , 1991) |
| Cameroun | | | | | | | | | | | | | | (Youmbi <i>et al.</i> , 1991) |
| Cameroun | | | | | | | | | | | | | | (Gabche et Hockey, 1995) |

La période de reproduction d'*E. fimbriata* s'étend principalement de janvier à juillet avec un pic de ponte au cours de la transition entre les saisons froides et chaudes (mai-juin), correspondant également à la fin de la saison sèche. Le début de la reproduction en janvier coïncide avec le facteur de condition maximal. Dans les deux endroits étudiés, les valeurs les

plus faibles du facteur de condition ont été mesurées dans le milieu ou à la fin de la saison de reproduction. Cela reflète probablement la capacité d'*E. fimbriata* à puiser dans ses réserves pour ses besoins en énergie pendant la saison de reproduction. Les plus récentes études sur la reproduction au Sénégal sont celles entreprises par Panfili et al. (2004a) et Faye et al. (2014a), dans le Delta du Saloum et sur la Petite-Côte, selon ces auteurs, la reproduction a lieu pendant la saison froide et au début de la saison chaude, répartie sur 6-8 mois avec une période de ponte principale en avril-mai. Ces résultats correspondent aux résultats de la présente étude. Faye et al. (2014a) ont décrit une deuxième période de reproduction de courte durée, de juillet à septembre (3 mois), non décrits dans d'autres études, ainsi que les femelles matures tout au long de la saison froide. Dans la même zone et plus au sud, Blanc (1951) a distingué deux zones de reproduction : dans le plateau de Joal s'étendant de Palmarin à Pointe Sarène et dans le "Banc Rouge" devant le Djomboss. Sur la première étendue, la ponte s'échelonne d'avril à octobre. Elle débute en avril-mai, atteint son maximum en juin-juillet, décline en août et se termine en septembre-octobre. Les études de Scheffers (1973) ont montré que le RGS d'*E. fimbriata* dans la région de Saint Louis (nord) avait rapidement augmenté de janvier à avril avec un nombre maximum de femelles matures (stade V) et une abondance de larves en mai et juin, puis diminué rapidement, pour atteindre un minimum en septembre-octobre. Dans les eaux gambiennes, la reproduction est continue tout au long de l'année avec une période principale de janvier à mai (Scheffers et Conand, 1976). Le calendrier de reproduction d'*E. fimbriata* tel que décrit au Sénégal n'a pas changé depuis plus de 40 ans : la reproduction commence toujours dans le premier trimestre de l'année et se termine à la fin de la saison des pluies. Le début de la reproduction peut passer de 2 à 3 mois en fonction de l'année, et dure au moins 5-6 mois, mais pas plus de 9 mois.

La période de reproduction d'*E. fimbriata* a été étudiée dans différents pays d'Afrique de l'ouest (Tableau 9). En général, le cycle de ponte est plus précoce dans les pays à latitude élevée que dans les régions équatoriales. Elle s'effectue principalement au cours de la première moitié de l'année au Sénégal (Scheffers et al., 1972; Panfili et al., 2004a; Faye et al., 2014a), à partir de juillet à décembre-janvier en Sierra Leone (Salzen, 1958; Bainbridge, 1961) et d'octobre-novembre à mai en Côte-d'Ivoire (Albaret et Gerlotto, 1976), au Ghana (Blay et Eyeson, 1982) et au Nigeria (Fagade et Olanyan, 1972). Des études antérieures ont montré que la salinité n'est pas un facteur majeur dans la reproduction d'*E. fimbriata* qui est capable de se reproduire dans des eaux à salinité très variable allant de oligohaline (Scheffers et al., 1972) à hypersaline (Panfili et al., 2004a). Cependant, la température semble jouer un rôle limitant en dessous de 22°C (Charles-Dominique, 1982).

Tableau 9. Périodes de reproduction d'*Ethmalosa fimbriata* en Afrique de l'ouest. Les périodes de reproduction sont colorées en gris

| Régions | Mois | | | | | | | | | | | | Références |
|------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------|
| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| Sénégal (Mbour) | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | | | | | | | | | | | | | Présente étude |
| Sénégal (Petite-Côte) | | | | | | | | | | | | | (Blanc, 1951) |
| Fleuve Sénégal | | | | | | | | | | | | | (Scheffers <i>et al.</i> , 1972) |
| Sénégal (Petite-Côte) | | | | | | | | | | | | | (Faye <i>et al.</i> , 2014a) |
| Sénégal (Saloum) | | | | | | | | | | | | | (Faye <i>et al.</i> , 2014a) |
| Sénégal (Saloum) | | | | | | | | | | | | | (Panfili <i>et al.</i> , 2004a) |
| Sierra Leone river | | | | | | | | | | | | | (Salzen, 1958) |
| Côte d'Ivoire (lagune Aby) | | | | | | | | | | | | | (N'goran, 1991) |
| Côte d'Ivoire (lagune Ebrié) | | | | | | | | | | | | | (Albaret et Gerlotto, 1976) |
| Côte Ghanéenne | | | | | | | | | | | | | (Blay et Eyeson, 1982) |
| Nigeria (Lagos lagoon) | | | | | | | | | | | | | (Fagade et Olanyan, 1972) |

Le cycle de reproduction des trois espèces est vraisemblablement dicté par les conditions physiques et biotiques du milieu. Malgré des changements climatiques qui seraient survenues dans la zone, *S. aurita* et *E. fimbriata* ont gardé les mêmes calendriers de reproduction. Par ailleurs chez *S. maderensis* l'apparition d'une nouvelle saison de reproduction principale, en plus de celle connue et déjà signalée en saison chaude, le long des côtes sénégalaises serait due aux conditions climatiques plus favorables liées à une hausse de la température de surface de la mer d'une part (Amraoui *et al.*, 2011), ou tout simplement à une nouvelle stratégie reproductive développée par l'espèce au cours des dernières décennies.

3.2 Taille à la première maturité sexuelle

Chez *S. aurita* la taille à la première maturité sexuelle est différente suivant les sexes dans notre étude. Chez cette espèce, comme pour la plus part des Clupéidés, une taille à la première maturité sexuelle plus élevée chez les femelles serait une règle générale car elle a été observée par d'autres auteurs dans différentes régions (Boëly, 1979; Quaatey et Maravelias, 1999; Gaamour *et al.*, 2001; Mustać et Sinović, 2012). Les tailles à la première maturité calculées lors de présente étude sont plus importantes que celles qui ont été mesurées auparavant au Sénégal (Tableau 10). Cette divergence observée dans la même zone pourrait se justifier par une modification des paramètres de reproduction au cours des ans. La nouvelle stratégie adoptée serait d'utiliser d'abord l'énergie représentée par la nourriture pour la survie et la croissance puis se reproduire à une plus grande taille. D'autre part, des tailles à maturité

plus faibles en méditerranée (Gaamour *et al.*, 2001; Tsikliras et Antonopoulou, 2006; Mustać et Sinovčić, 2012), en Atlantique sud (Fontana et Pianet, 1973; Ghéno et Fontana, 1981) et Atlantique ouest (Fréon *et al.*, 1997) seraient liées à des milieux plus pauvres en éléments nutritifs et à des conditions climatiques différentes du Sénégal (Nieland, 1982; Lomiri *et al.*, 2008). Il faut noter que la taille de première maturité sexuelle notée en Mauritanie par Wagué et Mbodj (2002) est la plus importante aussi bien pour les mâles que pour les femelles. Ainsi, la maturité sexuelle chez *S. aurita* varie d'une région à l'autre cette observation trouve sa justification à travers l'assertion de Wagué et Mbodj (2002) selon laquelle elle serait tributaire des facteurs biologiques et/ou écologiques.

Tableau 10. Taille à la première maturité sexuelle observée chez *Sardinella aurita* d'après la littérature :
Tail. Prem. mat= taille à la première maturité sexuelle ; LF : longueur à la fourche

| Zones | Tail. prem. mat. sexuelle : LF ₅₀ (mm) | | Références |
|-----------------------|---|------|---------------------------------------|
| | Femelle | Mâle | |
| Sénégal (Hann) | 225 | 181 | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | 218 | 200 | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | 219 | 206 | Présente étude |
| Sénégal | 200 | | (Boëly, 1982) |
| Sénégal | 185 | | (Conand, 1977b) |
| Mauritanie | 290 | 290 | (Wagué et Mbodj, 2002) |
| Mauritanie | 219 | 226 | (ter Hofstede et Dickey-Collas, 2006) |
| Ghana | 171 | 167 | (Quaatey et Maravelias, 1999) |
| Gabon (Cap Lopez) | 120 | | (Ghéno et Fontana, 1981) |
| Congo | 160 | | (Ghéno et Fontana, 1981) |
| Nord-est méditerranée | 146 | 135 | (Tsikliras et Antonopoulou, 2006) |
| Tunisie | 135 | 125 | (Gaamour <i>et al.</i> , 2001) |
| Mer adriatique | 145 | 137 | (Mustać et Sinovčić, 2012) |
| Venezuela | 170 | | (Fréon <i>et al.</i> , 1997) |

Chez *S. maderensis*, les femelles atteignent leur maturité sexuelle à une taille légèrement supérieure à celle des mâles. Les résultats actuels confirment les observations déjà effectuées sur les côtes sénégalaises (Boëly, 1980; Camarena-Luhrs, 1986) et dans l'estuaire du Sine-Saloum (Diouf, 1996). La taille à la première maturité sexuelle légèrement plus élevée au Sénégal est le résultat d'une vitesse de croissance plus importante dans les eaux sénégalaises qui se justifie par une richesse en éléments nutritifs disponibles en permanence (Diop, 2008). Une taille plus faible dans le Rio de Grandé Buba (Guinée Bissau) pourrait être liée à l'influence de la salinité car son augmentation peut conduire à la réduction de la taille à

la première maturité sexuelle chez les Clupéidés estuariens (Panfili *et al.*, 2004b). Les travaux menés au Congo (Ghéno et Fontana, 1981) et au Cameroun (Youmbi *et al.*, 1991), donnant des résultats très proches, montrent que les tailles à la première maturité semblent peu affectées par les variations du milieu. Ils confirment également le caractère rustique de cette espèce déjà observé par Ghéno et Fontana (1981) au Congo (Tableau 11).

Tableau 11. Taille à la première maturité sexuelle observée chez *Sardinella maderensis* d'après la littérature :
Tail. Prem. mat= taille à la première maturité sexuelle ; LF : longueur à la fourche

| Zones | Tail. prem. mat. sexuelle : LF ₅₀ (mm) | | Références |
|------------------------------------|---|------|-------------------------------|
| | Femelle | Mâle | |
| Sénégal (Hann) | 183 | 177 | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | 197 | 173 | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | 184 | 168 | Présente étude |
| Sénégal | 165 | | (Boëly, 1980) |
| Sénégal | 170 | | (Camarena-Luhrs, 1986) |
| Sénégal (Sine-Saloum) | 176 | 168 | (Diouf, 1996) |
| Guinée Bissau (Rio de Grandé Buba) | 122 | 121 | (Kromer <i>et al.</i> , 1994) |
| Cameroun | 140 | | (Youmbi <i>et al.</i> , 1991) |
| Congo | 150 | | (Ghéno et Fontana, 1981) |

Chez *E. fimbriata*, les tailles à la première maturité sexuelle trouvées dans notre étude confirment les observations faites dans les eaux côtières du Sénégal (Faye *et al.*, 2014a) et celles du delta du Saloum (Diouf, 1996). Les valeurs se situent entre celles calculées dans le fleuve Sénégal (Scheffers *et al.*, 1972) et en Gambie (Scheffers et Conand, 1976; Panfili *et al.*, 2004a). Les légères différences dans la taille à la première maturité sexuelle pourraient être expliquées par la différence de richesse alimentaire entre les biotopes et leurs paramètres environnementaux (Wagué et Mbodj, 2002). L'analyse des valeurs obtenues dans différents milieux (Tableau 12) indique que la taille à la première maturité sexuelle des poissons vivant en mer ou dans les estuaires ouverts (Sénégal, Gambie, Sierra Leone, Ghana) est supérieure à celle des poissons vivant dans des milieux confinés ou lagunaires ayant une ouverture restreinte sur la mer (Albaret et Charles-Dominique, 1982; Panfili *et al.*, 2004a). La différence de taille peut également être expliquée par la répartition géographique, qui peut activer une plasticité phénotypique et les changements dans la taille à la première maturité (Belk, 1995; Holopainen *et al.*, 1997; Sampson et Al-Jufaily, 1999), et les activités humaines telles que la surpêche (intensification de l'effort de pêche). Les poissons soumis à une pression de pêche peuvent montrer des changements dans la croissance ou dans la reproduction (nanisme ou de

maturité sexuelle précoce) (Stearns et Crandall, 1984; Marchal, 1991). D'autres facteurs, comme la pollution et la salinité élevée, peuvent conduire à une réduction de la taille à la première maturité sexuelle des Clupéidés estuariens (Albaret et Charles-Dominique, 1982; Guyonnet *et al.*, 2003).

Tableau 12. Taille à la première maturité sexuelle observée chez *Ethmalosa fimbriata* d'après la littérature :
Tail. Prem. mat= taille à la première maturité sexuelle ; LF : longueur à la fourche

| Zones | Tail. prem. mat. sexuelle : LF ₅₀ (mm) | | Références |
|-------------------------------|---|------|--------------------------------------|
| | Femelle | Mâle | |
| Mbour (Sénégal) | 176 | 180 | Présente étude |
| Joal (Sénégal) | 177 | 177 | Présente étude |
| Fleuve Sénégal | 170 | 160 | (Scheffers <i>et al.</i> , 1972) |
| Petite-Côte (Sénégal) | 187 | 172 | (Faye <i>et al.</i> , 2014a) |
| Saloum (Sénégal) | 175 | 162 | (Faye <i>et al.</i> , 2014a) |
| Saloum (Sénégal) | 153 | 173 | (Panfili <i>et al.</i> , 2004a) |
| Saloum (Sénégal) | 180 | 175 | (Diouf, 1996) |
| Fleuve Gambie | 192 | 202 | (Panfili <i>et al.</i> , 2004a) |
| Zone Gambienne | 185 | | (Scheffers et Conand, 1976) |
| Rio Buba (Guinée Bissau) | 150 | 144 | (Kromer <i>et al.</i> , 1994) |
| Sierra Leone river | 170-205 | | (Salzen, 1958) |
| Bai de Bietry (Côte d'Ivoire) | 84 | 81 | (Albaret et Charles-Dominique, 1982) |
| Lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) | 140 | 130 | (Albaret et Gerlotto, 1976) |
| lagune Aby (Côte d'Ivoire) | 99 | 96 | (N'goran, 1991) |
| Côte ghanéenne | 147 | 154 | (Blay et Eyeson, 1982) |
| Lagos lagoon (Nigeria) | 140 | 100 | (Fagade et Olanyan, 1972) |

En conclusion, la présente étude a montré que les tailles à la première maturité sexuelle calculées pour *S. maderensis* et pour *E. fimbriata* au Sénégal n'ont pas changées depuis 40 ans. Par contre pour *S. aurita* ce paramètre a évolué au cours du temps pour atteindre une valeur plus élevée. Il ressort également de cette étude que les tailles minimales de capture autorisées par le code de la pêche sénégalaise (CRODT, 2004) pour les deux espèces de sardinelles (120 mm) et pour l'ethmalose (150 mm) sont largement inférieures aux tailles à la première maturité sexuelle calculées par la plupart des auteurs, y compris la présente étude. Par mesure de précaution, ces tailles minimales de capture devraient être revues à la hausse, sur la base des tailles à la première maturité mises à jour dans cette étude.

3.3 Fécondité

Comme la plupart des Clupéidés, *S. aurita* est une espèce ovipare, la fécondation des œufs et le développement de l'embryon se déroulent dans le milieu ambiant (Ditty *et al.*, 2005), avec une stratégie de reproduction "r" (Cury, 1988). La fécondité absolue estimée dans notre étude est significativement plus importante au Cap-Vert (Hann) qu'en Petite-Côte (Mbour et Joal). Ces différences de fécondité sont probablement liées aux valeurs maximales qu'atteint le RGS moyen durant la période de reproduction principale. Un fort Kc permettrait un transfert efficace de l'énergie au développement des gonades et un RGS élevé devrait se traduire par plus d'œufs produits par les femelles durant cette période (Trippel, 1998). C'est le cas pour notre étude où le RGS moyen d'octobre des femelles de Hann (6%) est plus élevé que celui de février pour Mbour (4,5%) et pour Joal (4%). La fécondité de *S. aurita* a été estimée par plusieurs auteurs dans différentes régions où l'espèce est plus abondante.

Au Sénégal, des travaux conduits sur des individus de grande taille ayant été capturés par les chalutiers polonais ont montré que la fécondité moyenne absolue variait de 49 600 œufs pour les individus de 280-300 mm à 133 800 œufs pour les individus de 380-400 mm (Pham-Thuoc et Szypula, 1973). Dans la zone nord-est méditerranéenne, le nombre d'œufs variait entre 9 700 et 72 000 pour des femelles mesurant 164 et 228 mm (Tsikliras et Antonopoulou, 2006), alors qu'à l'est méditerranéen, elle était comprise entre 8 458 et 48 032 œufs pour les mêmes classes de tailles (Mustać et Sinovčić, 2012). Au Venezuela, la fécondité absolue variait de 10 530 à 83 779 œufs et sur les côtes congolaises, elle était de 31 000 à 147 000 œufs avec en moyenne 76 000 œufs pour les tailles allant de 200 à 300 mm (Fontana et Pianet, 1973). L'analyse de ces résultats montre que la fécondité absolue trouvée dans la présente étude est de loin plus importante que celles notées lors des études antérieures effectuées au Sénégal et ailleurs. Cependant, les résultats obtenus sur les fécondités relatives moyennes dans la présente étude (Hann : 654 ± 111 œufs g^{-1} ; Mbour : 301 ± 98 œufs g^{-1} ; Joal : 293 ± 109 œufs g^{-1}) confirment ceux trouvés par Conand (1977b) au Sénégal (400 œufs g^{-1}) et ceux de Fréon et Mendoza (2003) au Venezuela (295 à 665 avec une moyenne 400 œufs g^{-1}). Nos résultats corroborent également les études de Tsikliras et Antonopoulou (2006) menées dans la zone nord-est méditerranéenne. Selon ces auteurs cette fécondité variait de 242 à 681 œufs g^{-1} soit en moyenne 445 ± 98 œufs g^{-1} de poisson pour des individus de taille comprise entre 164 et 228 mm. Les diamètres ovocytaires moyens trouvés dans cette étude (Hann : $0,66 \pm 0,03$ mm ; Mbour : $0,63 \pm 0,03$ mm ; Joal : $0,63 \pm 0,04$ mm) corroborent les résultats de Tsikliras et Antonopoulou (2006) qui ont donné une valeur moyenne de $0,44 \pm$

0,05 mm pour des femelles mesurant 164 à 228 mm, et ceux de Mustać et Sinovcic (2012) qui ont trouvé 0,30 à 0,80 mm avec une moyenne de $0,50 \pm 0,10$ mm. Ces différentes valeurs de fécondité témoignent que *S. aurita* est une espèce à forte fécondité mais que celle-ci varie au cours du temps dans le même milieu et également en fonction du poids et de la taille des femelles matures (Fontana et Pianet, 1973; Conand, 1977a). Une hausse de la taille à la première maturité sexuelle a donc permis à *S. aurita* de conserver la même fécondité relative tout en pondant beaucoup plus d'œufs au Sénégal.

Les études sur la fécondité de *S. maderensis* sont encore peu répandues sur les côtes ouest-africaines. Les fécondités calculées dans la présente étude (Hann : $121\ 964 \pm 72\ 236$; Mbour : $94\ 797 \pm 41\ 367$; Joal : $86\ 444 \pm 45\ 702$ œufs par femelle) étaient proches de celles trouvées au Sénégal (Chavance *et al.*, 1991). La fécondité absolue de cette espèce serait de 82 000 œufs pour les gonades de 12 à 32 g, résultat qui était en accord avec les études de Fontana et Pianet (1973) au Congo qui ont donné une variation de 38 000 à 168 000 œufs soit une moyenne de 72 000 œufs pour les femelles de 200 à 300 mm. Les fécondités relatives moyennes estimées dans la présente étude (Hann : 449 ± 236 œufs g^{-1} ; Mbour : 310 ± 104 œufs g^{-1} ; Joal : 277 ± 121 œufs g^{-1}) encadrent celle trouvée au Congo (329 œufs g^{-1}) par Fontana et Pianet (1973). La fécondité apparaît donc ici comme une variable indépendante de l'environnement du poisson.

Chez *E. fimbriata*, les résultats obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux rapportés dans la lagune de Lagos (Fagade et Olanyan, 1972) : le nombre moyen d'œufs variait de 23 800 pour les poissons mesurant 143 mm à 187 000 pour un échantillon de 250 mm. Ces auteurs ont constaté une grande variabilité de la fécondité pour les gros poissons ($LF > 210$ mm), tandis que la fécondité était moins variable pour les petites tailles (de 143 à 210 mm), comme observé dans cette étude. De légères différences dans la fécondité ont été rapportés par d'autres auteurs (N'goran, 1991; Faye *et al.*, 2014a). Au Ghana, le nombre d'œufs pouvait varier de 16 000 pour une femelle de 174 mm à 51 800 pour une femelle 250 mm (Blay et Eyeson, 1982). Les valeurs moyennes de fécondité relative trouvées dans cette étude (Mbour : 436 ± 190 œufs g^{-1} ; Joal 396 ± 84 œufs g^{-1}) sont supérieures à celles calculées par Faye *et al.* (2014a) sur la Petite-Côte (257 œufs g^{-1}) et au Saloum (317 œufs g^{-1}), de celles obtenues par Panfili *et al.* (2004a) dans l'estuaire du Saloum (150 œufs g^{-1}) et en Gambie (110 œufs g^{-1}), ou les valeurs de la lagune Ebrié (150 à 300 œufs g^{-1}) rapportées par Albaret et Gerlotto (1976). Il existe plusieurs explications possibles pour cet écart, comme l'étude des œufs en phase de pré-ponte plutôt que dans les stades de reproduction. A l'exception de Albaret et Gerlotto (1976) avec lesquels nous nous accordons sur le diamètre des œufs,

l'ensemble des auteurs ont travaillé sur des œufs en pré-pontes. D'autre part le choix du diamètre d'œufs utilisés pour débuter le comptage varie selon l'auteur. Il peut être de l'ordre de 0,50 à 0,80 mm (Albaret et Gerlotto, 1976), de 0,65 à 0,95 mm (N'goran, 1991) ou pas plus de 0,54 mm (Blay et Eyeson, 1982). Ce problème est dû à l'existence d'une continuité entre les œufs pré-vitellogéniques et vitellogéniques, pendant toute la période de maturation et de ponte, ce qui empêche de définir clairement la limite inférieure des comptages.

Conclusion

Les variations spatio-temporelles de la ponte des sardinelles sont étroitement associées aux caractéristiques de l'environnement qui déterminent leur schéma migratoire et leur répartition le long de la côte sénégalaise. Dans l'hypothèse où il existe des différences dans les conditions environnementales entre le Cap-Vert et la Petite-Côte du Sénégal, comme décrit dans le chapitre 2, les différences observées sur le nombre, les périodes et/ou la durée de reproduction seraient liées à un ajustement de la ponte aux meilleures conditions du milieu. Ces conditions sont intimement dépendantes du caractère de l'upwelling (intensité forte ou faible) et de la disponibilité d'une nourriture utilisable par les larves et les adultes (Belvèze, 1984; Roy, 1992). L'aspect trophique ne saurait être le seul paramètre permettant d'expliquer ces différences. D'autres facteurs comme la température d'eau de surface (SST), la salinité, la vitesse des vents et les particularités topographiques (profondeur, largeur et orientation du plateau continental) semblent jouer un rôle important sur la durée et la période de reproduction (Roy *et al.*, 1989). Ces facteurs peuvent agir soit directement sur le développement des gonades et mûrissement les ovocytes soit indirectement en accélérant ou en ralentissant la croissance en longueur et en poids des poissons. Une combinaison de l'ensemble de ces facteurs écologiques aurait des répercussions sur les paramètres de fécondité et expliquerait le fait que des populations différentes d'une même espèce vivant dans des conditions différentes auraient des fécondités différentes.

D'après notre étude les trois espèces présentent des stratégies de reproduction différentes. *S. aurita* se reproduit principalement en saison froide (janvier à avril) et au milieu de la saison chaude à la transition saison chaude / saison froide (août à novembre), par contre *S. maderensis* se reproduit pratiquement toute l'année mais certaines époques paraissent plus favorables que d'autres. Pour cette dernière il est apparu une nouvelle période de reproduction principale située en saison froide. *E. fimbriata* étale sa période de reproduction sur un semestre, du début de l'année à la fin de la saison sèche. Chez *S. aurita* il apparaît une hausse

de la taille à la première maturité sexuelle accompagnée d'une fécondité plus importante. Par contre chez *S. maderensis* ces paramètres de reproduction (taille à la première maturité et fécondité) n'ont pas changé depuis 40 ans. *E. fimbriata* présente une fécondité plus importante en gardant la même taille à la première maturité sexuelle.

Dans une perspective de gestion durable, les mesures de gestion devraient tenir compte de la taille à la première maturité pour déterminer la sélectivité des engins de pêche (taille des mailles appropriées). Dans ce sens, les tailles minimales de capture autorisées par le code de la pêche sénégalaise, 150 mm pour les ethmaloses et 120 mm pour les sardinelles, devraient être revues à la hausse. Ces tailles devraient être augmentées aux tailles approximatives de première maturité ce qui permettrait à ces espèces de se reproduire au moins une fois avant d'être capturées. L'exploitation de ces espèces devrait être interdite ou limitée pendant la période de reproduction principale afin d'encourager des niveaux plus élevés de ponte et par conséquent un meilleur recrutement.

Chapitre 6 : AGE ET CROISSANCE

Introduction

Le terme de « croissance » recouvre un certain nombre de concepts différents, depuis l’analyse des processus cellulaires jusqu’à l’étude de la croissance des populations. La croissance est très généralement forte chez les stades jeunes puis ralentit, mais reste significative y compris chez certains animaux matures. L’objectif est donc, dans ce cas, de décrire une croissance moyenne pour l’ensemble des individus d’une population. En ichthyologie, les études de croissance constituent une approche indispensable permettant d’analyser la structure et la dynamique des populations, d’évaluer la mortalité naturelle et d’estimer la biomasse (Pauly, 1980; Cergole *et al.*, 2002; Samb et Mendy, 2004; Salem *et al.*, 2010). De ce point de vue, la connaissance de certains paramètres tels que les relations taille/âge, les longueurs asymptotiques et la longévité est importante pour une meilleure compréhension de l’évolution des stocks en fonction des modifications apportées dans leur exploitation. Le suivi et l’évaluation de ces indicateurs peut être très utile et peut être considéré comme un signe de l’état de santé de la population. Dans la sous-région ouest africaine et plus particulièrement au Sénégal, les études de croissance sont globalement orientées vers les principales espèces d’intérêt économique (Boëly, 1982; Camarena-Luhrs, 1986; Panfili *et al.*, 2004a), soit qu’elles fassent l’objet de pêche intensive ou de surexploitation (Ndiaye *et al.*, 2013; Ba *et al.*, 2015; Samba *et al.*, 2016), soit qu’elles présentent des possibilités d’élevage en pisciculture (Diouf *et al.*, 2009). Les paramètres de croissance des poissons peuvent être estimés à partir des données de fréquence de tailles, par la technique de marquage-recapture ou à partir de pièces calcifiées tels que les otolithes (Meunier, 1988; Panfili *et al.*, 2002). Ces derniers ont été choisis dans cette étude avec pour but de fournir des informations actualisées sur l’âge et la croissance en longueur à partir de l’analyse des marques de croissance saisonnières pour les espèces de petits pélagiques ciblées.

1 Matériel et méthodes

L’estimation de l’âge de chaque individu a été faite à partir des marques de croissance enregistrées sur les otolithes (Figure 23). L’otolithe, véritable « boîte noire », est une

concrétion calcaire se trouvant dans l'oreille interne des poissons téléostéens (Lecomte-Finiger, 1999). Ils sont constitués d'aragonite, une forme cristallisée de carbonate de calcium fixé sur une matrice organique composée largement d'une protéine proche de la kératine, l'otoline, qui est riche en résidus aspartate et de glutamate (Degens *et al.*, 1969; Watabe *et al.*, 1982; Morales-Nin, 1987). Chaque poisson osseux possède 3 paires d'otolithes, les *lapilli*, les *astericus* et les *sagittae*. Ces dernières sont plus grandes et servent le plus souvent à l'interprétation de l'âge des poissons (Campana, 1999; McFarlane et Geffen, 2000). La *sagitta* de chaque espèce a une forme et un taux de croissance propres (Lombarte et Castellón, 1991; Aguirre et Lombarte, 1999). Chez les sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*) et l'ethmalose (*E. fimbriata*) la *sagitta* a une forme ellipsoïdale, latéralement comprimée, présentant une face distale convexe (externe) et une face proximale concave (interne) creusée d'un sillon appelé *sulcus acusticus*. La partie antérieure est caractérisée par deux pointes : le plus long correspond au rostre et le plus court à l'anti-rostre. Les bords ventraux, dorsaux peuvent être lisses ou ornementés d'échancrures plus ou moins nombreuses en fonction des individus et de leur âge.

Les otolithes s'accroissent par addition concentrique quotidienne de protéines et de carbonate de calcium. La croissance commence à partir d'un ou plusieurs primordia (cristaux) sécrétés par les cellules de l'oreille interne (Campana et Neilson, 1985). Ils fusionnent ensuite pour constituer le noyau. C'est à partir de cette zone centrale que l'otolithe se développe. La croissance de l'otolithe n'est pas uniforme dans toutes les directions mais se fait préférentiellement selon l'axe antéro-postérieur. Chaque saison apparaissent des accroissements de natures différentes, aussi appelés zones, anneaux ou annuli qui sont interprétables et utilisés pour estimer l'âge en saisons, mois, ou années (Panfili *et al.*, 2002).

Pour notre étude, un protocole standard a été utilisé pour interpréter les otolithes. Une image de l'otolithe droit entier (*sagitta*), immergée dans de l'alcool à 95°, a été enregistrée (logiciel LAS-EZ) sous une loupe binoculaire, avec une lumière réfléchie sur un fond sombre. Chaque otolithe a été interprété trois fois par le même lecteur pour interpréter les marques de croissance saisonnières, d'abord du noyau vers la marge du rostre, et ensuite du noyau à la base vers le bord postérieur, et de la marge postérieure au noyau. Les marques translucides saisonnières ont été identifiées et comptées. Les pourcentages mensuels d'otolithes à bord translucide et à bord opaque ont été calculés. La dernière marque translucide n'a pas été comptée si elle était située sur la marge de l'otolithe, car encore en cours de formation. Si deux des trois lectures correspondaient, cette estimation a été acceptée pour calculer l'âge. Si il n'y avait pas d'accord entre les trois lectures alors l'otolithe a été écarté de l'analyse

ultérieure. Les paramètres de la fonction de croissance de Von Bertalanffy ont été calculés en utilisant une régression non linéaire (Statistica®) :

$$LF = LF_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

où LF est la longueur à la fourche à l'âge t , LF_{∞} est la longueur à la fourche asymptotique, K est le coefficient de croissance et t_0 est l'âge théorique que le poisson aurait à la taille nulle. Les paramètres de l'équation de croissance ont été calculés pour les femelles, pour les mâles et pour tous sexes confondus avec le logiciel Statistica® (version 6) par ajustement d'un modèle de régression non linéaire (méthode des moindres carrés). Les modèles de croissance ont été comparées deux à deux en utilisant un test de rapport de vraisemblance (Huet *et al.*, 1992) et l'application de la somme des carrés pondérée (Kimura, 1980). Pour k populations, la valeur du test du rapport de vraisemblance (S_{RV}) est à comparer à la valeur critique $\chi^2_{0,05}$ à 3 degrés de liberté (car 3 paramètres estimés) :

$$S_{RV} = \sum_{i=1}^k n_i \times (\ln S_c^2 - \ln S_k^2)$$

n_i est le nombre d'individus de la $k^{\text{ième}}$ population d'une espèce, S_c^2 : est la variance résiduelle du modèle mis en commun (pour toutes les populations de même espèce), S_k^2 est la variance résiduelle des modèles des k populations différentes (pour une seule population d'une espèce).

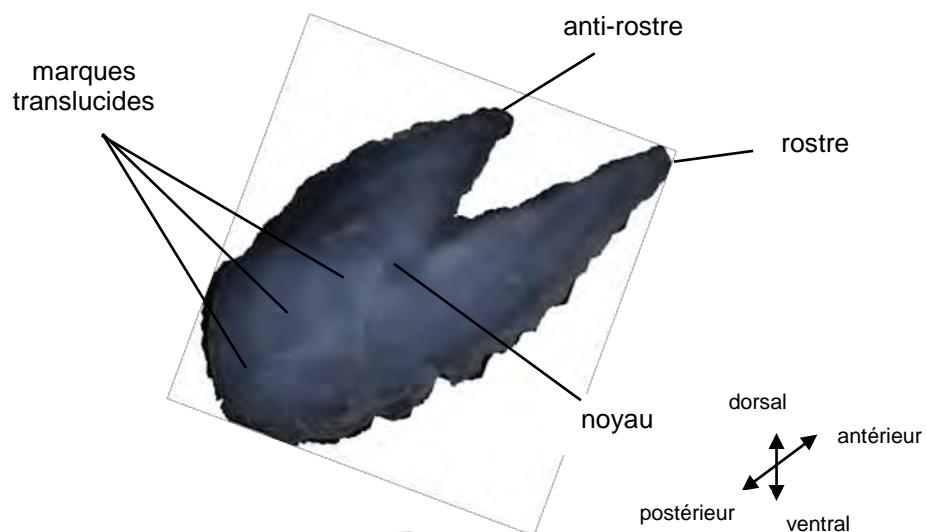


Figure 23. Image d'otolithe d'*E. fimbriata*
barre d'échelle = 1,5 mm

Les comparaisons des résultats obtenus avec d'autres études sur la croissance ont été faites en utilisant l'indice de performance (Φ') proposé par Pauly et Munro (1984) :

$$\Phi' = \log K + 2 \times \log LF_{\infty}$$

2 Résultats

2.1 Interprétation des otolithes et validation des âges

L'interprétation des marques de croissance des otolithes était possible sur la face postérieure, à partir du noyau vers le bord postérieur. Certains otolithes étaient difficiles à interpréter, principalement parce qu'ils étaient complètement opaques et leur âge n'a donc pas été estimé. Il était parfois difficile d'interpréter le bord à cause de la réflexion de la lumière à ce niveau, et les otolithes correspondants ont ensuite été exclus de l'analyse. Le taux de rejet est de 13,71% pour *S. aurita* ; de 1,31% pour *S. maderensis* et de 7,8% pour *E. fimbriata*. Les pourcentages mensuels d'otolithes à bord translucide montrent que ces marques sont formées annuellement (Figure 24).

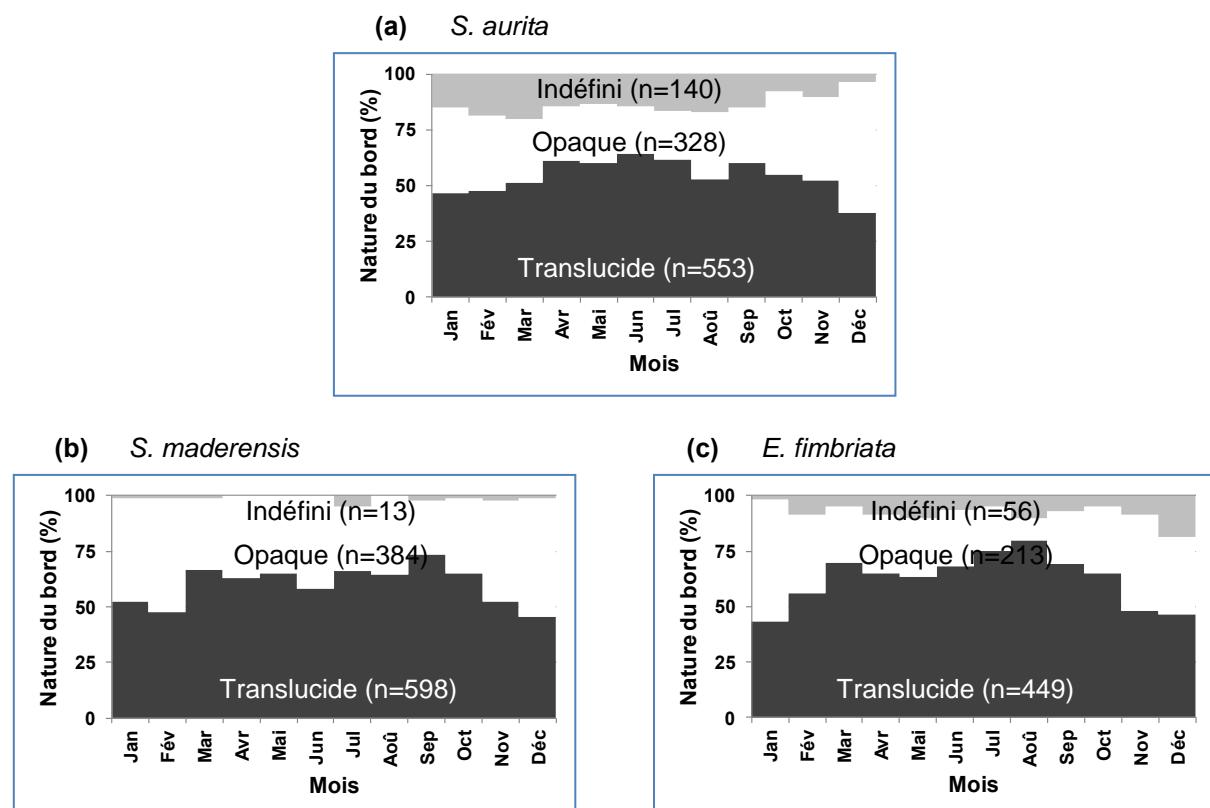


Figure 24. Pourcentages mensuels des otolithes à bord translucide pour *S. aurita* (a), *S. maderensis* (b) et *E. fimbriata* (c). Le pourcentage de bord translucide est représenté en gris foncé, le pourcentage de bord opaque est représenté en blanc et le pourcentage de bord indéfini (difficile à interpréter) en gris

Ce pourcentage atteint un minimum en décembre pour *S. aurita* et *S. maderensis* et en janvier pour *E. fimbriata*. Le maximum d'otolithes à bords translucides est observé respectivement en juin, en septembre et en août. Ces pics correspondent au moment où la marque translucide est déposée. Ces observations confirment l'identification des anneaux hyalins comme marques hivernales et leur utilisation possible comme marques annuelles dans la détermination de l'âge. L'âge en mois est alors calculé en tenant compte de la date de naissance moyenne obtenue à partir du RGS, du mois où la marque translucide est formée (*S. aurita* : juin ; *S. maderensis* : septembre; *E. fimbriata* : août), de la date de capture et du nombre de marques translucides dans les otolithes. Les courbes de croissance sont calculées en comptant les marques translucides saisonnières lisibles sur les otolithes, d'abord pour les deux sexes séparés puis pour les sexes confondus.

2.2 Croissance

Chez *S. aurita*, une simple comparaison des modèles de croissance en longueur établis pour des sexes séparés montre que les femelles atteignent une taille asymptotique supérieure à celle des mâles à Hann et à Mbour. Ces tailles sont très proches à Joal. Les résultats du test du rapport de vraisemblance (S_{RV}) ne montrent pas une différence significative entre les modèles de croissance des femelles et des mâles dans les zones de Mbour et de Joal. Néanmoins, cette différence est significative à Hann (Annexe 18). Les deux sexes ont une longévité très proche variant entre 80 et 88 mois pour les femelles et entre 80 et 86 mois pour les mâles. Pour *S. maderensis*, les tailles asymptotiques calculées pour les deux sexes sont très proches à Hann et à Mbour avec une différence significative pour les échantillons de Joal. Tout comme pour *S. aurita*, la longévité est variable suivant le sexe. Elle se situe entre 85 et 90 mois pour les femelles et entre 69 et 97 mois pour les mâles. Chez *E. fimbriata*, les femelles atteignent une taille asymptotique légèrement plus grande que celle des mâles à Joal et plus faible à Mbour. Les modèles de croissance des femelles et des mâles ne sont pas significativement différents et les deux sexes ont une durée de vie très proche. Celle-ci varie entre 84 et 90 mois chez les femelles et entre 82 et 84 mois pour les mâles. Pour les trois espèces étudiées, à l'exception des échantillons de *S. aurita* de Mbour où un seul mâle atteint 300 mm, les tailles maximales observées sur le terrain sont en faveur des femelles.

Les paramètres de la croissance estimés dans chaque zone ainsi que les courbes de croissance linéaire correspondantes ont montré une croissance rapide, en particulier au début

de la vie, avec une grande variabilité au sein de la même espèce. Pour *S. aurita*, les coefficients de détermination (R^2) de la fonction de croissance de Von Bertalanffy sont de 0,70 pour Hann et pour Mbour et de 0,64 pour Joal. Les longueurs de fourche asymptotiques sont de 304 mm, de 316 mm et de 340 mm respectivement pour Hann, pour Mbour et pour Joal.

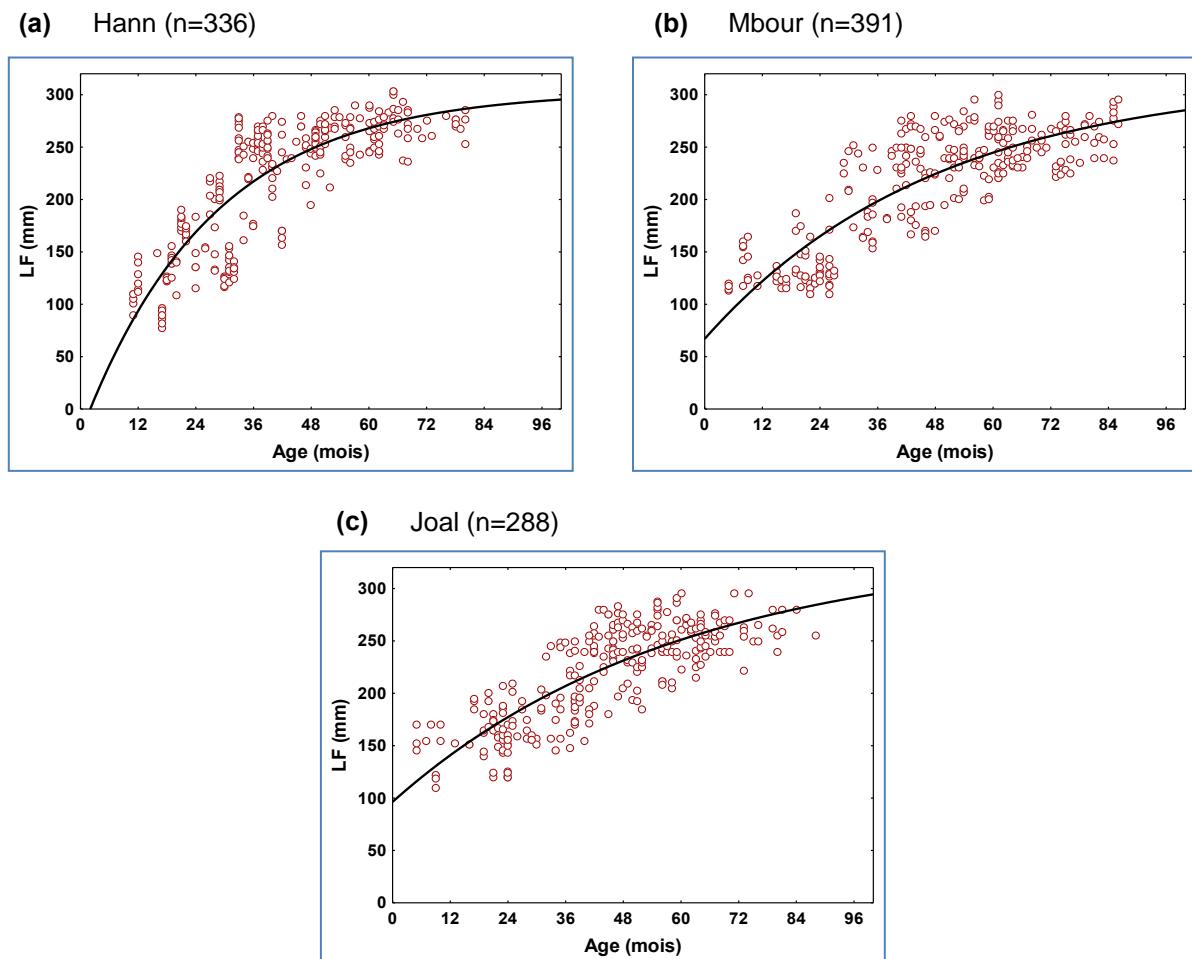


Figure 25. Croissance de *Sardinella aurita* à partir de l'équation de Von Bertalanffy, par ajustement d'un modèle de régression non linéaire (méthode des moindres carrés)

La comparaison des paramètres de croissance en longueur de *S. aurita* entre les différentes zones ne montre pas une différence significative (Figure 25 ; Annexe 19). Pour *S. maderensis*, les coefficients de détermination sont respectivement de 0,68, de 0,71 et de 0,65. Dans cet ordre, les longueurs de fourche asymptotiques sont estimées à 385 mm, à 318 mm et à 365 mm. Les modèles de croissance sont significativement différents entre Hann et Mbour (Figure 26 ; Annexe 19). Chez *E. fimbriata*, les coefficients de détermination (R^2) de la fonction de croissance sont de 0,55 pour Mbour et de 0,57 pour Joal. Les longueurs de fourche asymptotiques sont respectivement de 289 mm et de 319 mm. Les résultats du test du

rapport de vraisemblance ne montrent pas une différence significative entre Mbour et Joal (Figure 27 ; Annexe 19). Pour chaque espèce, les indices de performance de croissance calculés pour Mbour sont proches de ceux de Joal. Chez les sardinelles, ces valeurs sont légèrement plus élevées à Hann, ce qui indique que la croissance est meilleure à Hann (Tableau 13).

Quelle que soit l'espèce considérée, les poissons plus âgés se retrouvent à Mbour et à Joal. Les tailles asymptotiques sont plus élevées à Joal pour *S. aurita* et pour *E. fimbriata*, et à Hann pour *S. maderensis*.

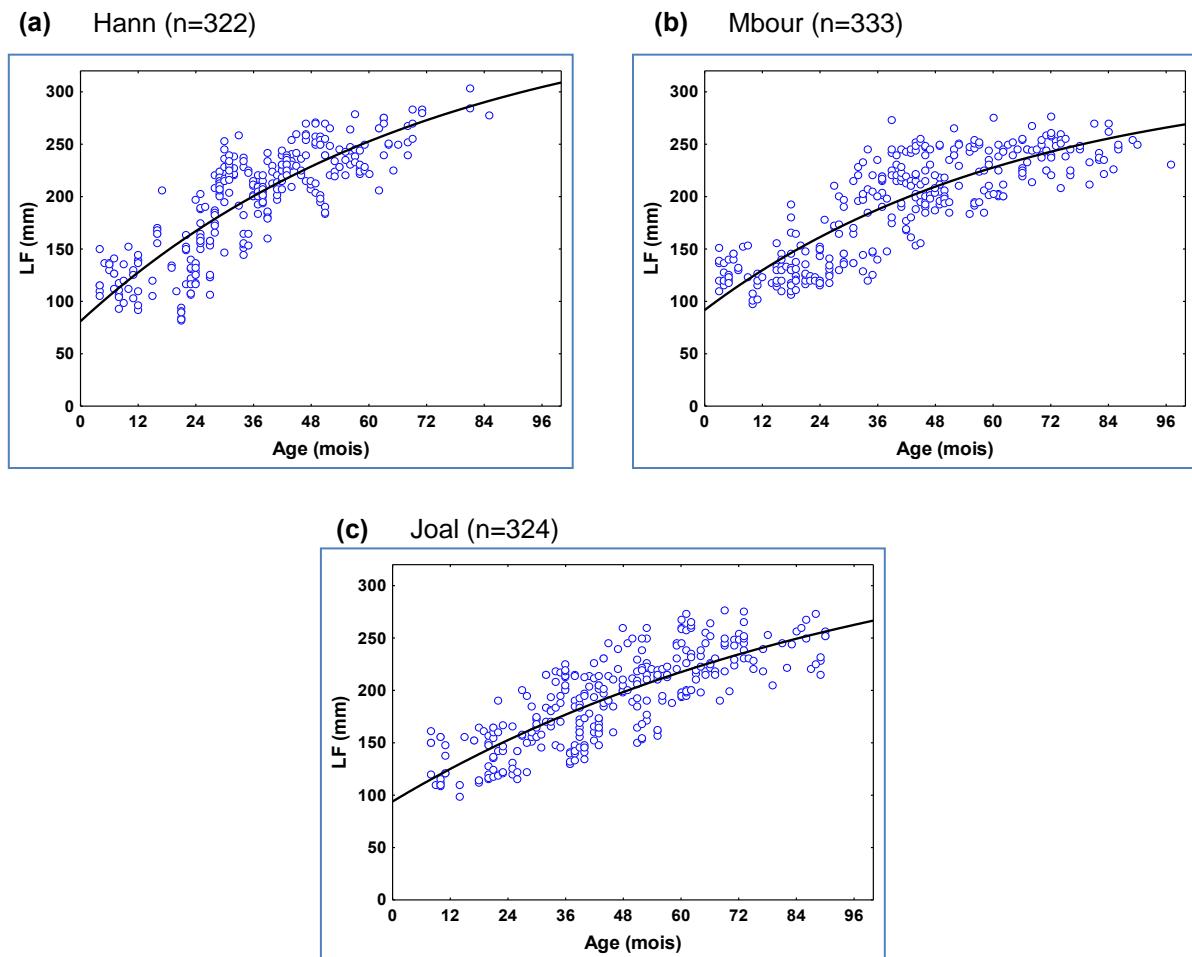


Figure 26. Croissance de *Sardinella maderensis* à partir de l'équation de Von Bertalanffy, par ajustement d'un modèle de régression non linéaire (méthode des moindres carrés)

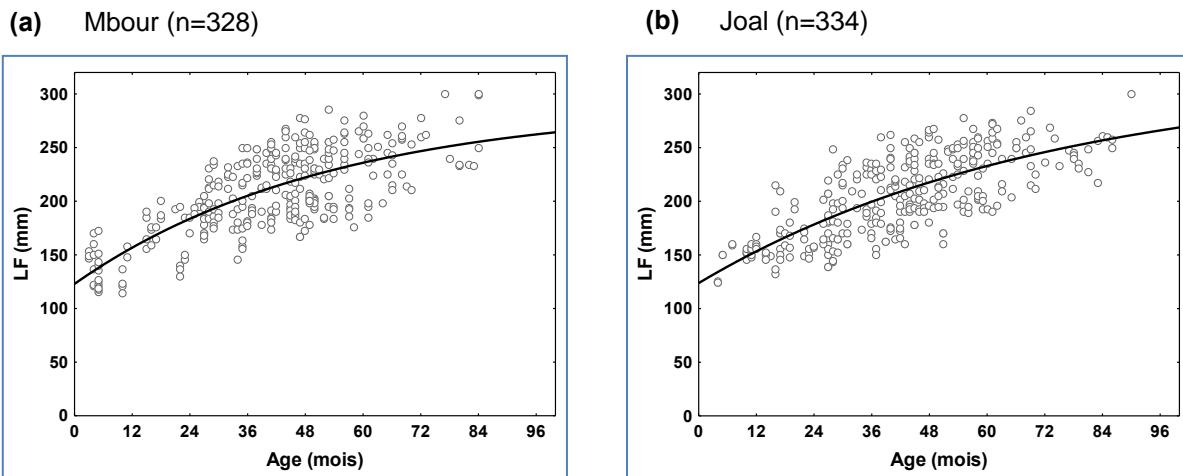


Figure 27. Croissance d'*Ethmalosa fimbriata* à partir de l'équation de Von Bertalanffy, par ajustement d'un modèle de régression non linéaire (méthode des moindres carrés)

Tableau 13. Les paramètres de croissance (LF_∞, K et t₀) et de l'indice de performance de croissance (Φ'): LF : longueur à la fourche asymptotique en mm; K: le coefficient de croissance; t₀: l'âge à la taille nulle modélisée

| Espèces | Stations | LF | K | t ₀ | Φ' | Limite de validité | | N couples |
|----------------------|----------|-----|------|----------------|------|--------------------|------------|-----------|
| | | | | | | LF (mm) | Age (mois) | |
| <i>S. aurita</i> | Hann | 304 | 0,04 | 2,02 | 3,53 | 77-307 | 11-80 | 336 |
| | Mbour | 316 | 0,02 | -11,44 | 3,32 | 110-300 | 5-86 | 391 |
| | Joal | 340 | 0,02 | -19,8 | 3,29 | 110-296 | 5-88 | 288 |
| <i>S. maderensis</i> | Hann | 385 | 0,01 | -17,03 | 3,32 | 82-303 | 4-85 | 322 |
| | Mbour | 318 | 0,02 | -22,21 | 3,18 | 97-276 | 3-97 | 333 |
| | Joal | 365 | 0,01 | -29,33 | 3,12 | 98-278 | 8-90 | 324 |
| <i>E. fimbriata</i> | Mbour | 289 | 0,02 | -29,27 | 3,20 | 114-300 | 3-84 | 328 |
| | Joal | 319 | 0,01 | -35,76 | 3,15 | 124-300 | 4-90 | 334 |

3 Discussion

3.1 Validation de l'âge

Peu d'études existent sur la mesure de l'âge des poissons en utilisant des structures calcifiées en Afrique de l'ouest. L'analyse des fréquences de tailles (méthode de Petersen) a été le plus souvent utilisée pour estimer la croissance, mais ces résultats sont sujets à des biais considérables, principalement en fonction de la stratégie d'échantillonnage qui est affectée par

la sélectivité des engins de pêche. La forte variabilité de la croissance individuelle et la longue période de reproduction (Pham-Thuoc et Szypula, 1973; Boëly *et al.*, 1978; Camarena-Luhrs, 1986; Panfili *et al.*, 2004a; Faye *et al.*, 2014a) peuvent conduire à d'importants chevauchements entre les cohortes et il est difficile d'analyser les distributions de tailles. L'étude a montré que les marques de croissance translucides saisonnières ont été formées annuellement sur les otolithes. Chez les sardinelles, la marque translucide se forme au cours de la saison chaude et pluvieuse (*S. aurita* : juin ; *S. maderensis* : septembre) et la zone opaque au cours de la saison froide et sèche (décembre). Pour les deux espèces les seules données disponibles sur la validation des âges par la méthode directe (scalmétrie) dans la région ouest africaine ont été publiées il y a plus de 30 ans par Boëly *et al.* (1982a) au Sénégal. Les auteurs ont pu montrer que les anneaux sombres (translucides) correspondaient aux saisons chaudes et à un ralentissement de la croissance et les zones claires (opaques) aux saisons froides, conformément à notre étude. En revanche, la périodicité des marques croissance saisonnières varie en fonction de la taille des poissons examinés. Par exemple, chez les poissons de 200 mm il existait deux moments où les anneaux sont très marginaux, donc récemment formés, en saison froide (novembre-février), l'autre en saison chaude (juillet-septembre), séparés par une reprise. Dès 210-220 mm, la croissance ralentissait fortement et, les marques d'arrêt de croissance seraient annuelles. A partir de 290-300 mm, il n'existe qu'une seule marque annuelle et au delà l'âge est estimé avec peu de certitude. Pour *E. fimbriata*, les seules données disponibles sur la mesure de l'âge en utilisant des structures calcifiées (otolithe) ont été publiées il y a plus de 10 ans par Panfili *et al.* (2004a) dans les estuaires du Saloum et de la Gambie. Selon ces auteurs, la zone translucide a été formée dans la seconde moitié ou à la fin de la saison des pluies (octobre), avec éventuellement, un décalage dans le temps (septembre). Ces résultats s'accordent avec ceux de la présente étude, et montrent qu'en mer ou dans des milieux estuariens, la marque translucide apparaît durant la saison des pluies.

3.2 Croissance

L'analyse des courbes théoriques de croissance en longueur ne permet pas de confirmer une différence entre les sexes. Les résultats du test du rapport de vraisemblance varient d'une population à l'autre. Certains auteurs ont montré qu'à partir d'une certaine taille (240-250 mm), la croissance était plus rapide pour les femelles que pour les mâles, ce qui expliquait en partie le fait que la taille à la première maturité sexuelle et les sex-ratios auraient

été plus favorables pour les femelles (Boëly, 1979; Gaamour *et al.*, 2001). Les différences avec la présente étude pourraient résulter de la faible quantité et de la répartition des individus de grande taille dans les échantillons actuels. Ces différences pourraient également être attribuées à la répartition de l'énergie dictée par le sexe en fonction des conditions trophiques du milieu. Les mâles et les femelles auraient des stratégies différentes dans l'utilisation des apports énergétiques au cours de la maturation et de la croissance. Par contre, chez *E. fimbriata* les résultats obtenus sont cohérents avec les résultats attendus car les femelles et les mâles atteignent une première maturité sexuelle à la même taille. Il serait donc possible que ce rapport se poursuive durant tout le cycle de vie de l'espèce. Dans le cadre des modèles analytiques de production, les auteurs utilisent généralement une équation de croissance commune pour les deux sexes. Pour pouvoir comparer leurs résultats avec ceux que nous avons obtenus, il était nécessaire de procéder de la même manière.

Chez *S. aurita*, la croissance au large des côtes sénégalaises est à la fois très variable et rapide, elle s'effectue essentiellement au cours des premières années de vie. Le taux de croissance moyen, calculé à partir de l'équation de croissance de Von Bertalanffy dans notre étude a montré une croissance mensuelle de 15 mm pour les individus âgés de 0 à 6 mois pour tous sexes confondus. Ces individus atteignent 125 mm en un an et 175 mm en deux ans. Cette croissance très rapide de *S. aurita* a été notée au Sénégal par d'autres auteurs. D'après Conand (1977a) les larves de cette espèce grandissent au minimum de 30 mm en un mois, les juvéniles atteignant 120 mm en quatre mois. En zone mauritanienne la croissance de *S. aurita* est également rapide, de 15 mm par mois pour des tailles variant de 200 à 250 mm et 12 mm par mois pour des tailles comprises entre 250 et 300 mm (Oul sidina *et al.*, 2006). Dans la même zone Pham-Thuoc et Szypula (1973) considèrent que des poissons d'une longueur de 146 mm ont déjà un an. De même, Biester et Bui Dinh Chung (1975) ont donné un an pour une taille de 138 mm. Au Congo, Ghéno et Fontana (1981) ont montré que les juvéniles et les jeunes grandissaient très vite et atteignant 174 à 185 mm après une année de vie selon leur saison de naissance. La comparaison des résultats obtenus à ceux d'autres auteurs est assez difficile à établir du fait que les techniques utilisées pour estimer de l'âge sont différentes de celles entreprises dans la présente étude. Néanmoins, le taux de croissance et les valeurs de taille asymptotique indicatrices de la croissance linéaire concordent et se rapprochent des résultats trouvés dans la région (Tableau 14). Il est vrai que les eaux sénégalaises paraissent très favorables à la croissance de l'espèce mais les plus gros poissons se trouvent en zone mauritanienne (350 mm), toutefois, comme le montre l'indice de performance, la croissance est plus rapide au Sénégal (Boëly, 1979; Boëly *et al.*, 1982a). Il existe certainement des

différences de croissance entre les principales nourrissances qui alimentent les populations d'adultes. Ce fait a déjà été noté par Postel (1960) et Boëly (1979), au Sénégal, qui ont trouvé des résultats légèrement différents des autres régions. En Méditerranée et en Atlantique ouest (Floride, Venezuela, Brésil), la différence mentionnée sur les valeurs de taille asymptotique (LF_∞) et de la taille maximale, qui sont beaucoup plus faibles que les nôtres, peut s'expliquer par des conditions environnementales différentes et une nourriture moins abondante. Divers travaux ont montré que les variations de la LF_∞, observées chez des populations de la même espèce, pouvaient être attribuées, soit à des facteurs héréditaires, soit à des conditions de vie (température en particulier), soit encore au taux d'exploitation (Fréon, 1984).

Tableau 14. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Sardinella aurita* d'après la littérature :
 LF.max = longueur à la fourche maximale (mm) ; Age.max = âge maximal (mois) ; LF_∞ : longueur à la fourche asymptotique (mm) ; K : le coefficient de croissance ; t₀ : l'âge à la taille nulle modélisée

| Zone d'étude | Méthode | LF. max | Age. max | LF | K | t ₀ | Φ' | Références |
|-----------------|-------------------------|---------|----------|--------|------|----------------|------|----------------------------------|
| Sénégal (Hann) | Otolithe | 307 | 80 | 304 | 0,04 | 2,02 | 3,53 | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | Otolithe | 300 | 86 | 316 | 0,02 | -11,44 | 3,32 | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | Otolithe | 296 | 88 | 340 | 0,02 | -19,8 | 3,29 | Présente étude |
| Mauritanie | Ecaille | 350 | 84 | 343 | 0,03 | -7,56 | 3,51 | (Pham-Thuoc et Szypula, 1973) |
| Sénégal | Fréq. taille et écaille | | | 312,33 | 0,08 | 2,52 | 3,90 | (Boëly, 1979) |
| Sénégal | Fréq. taille et écaille | 321 | 72 | 306,3 | 0,10 | -0,72 | 3,98 | (Boëly <i>et al.</i> , 1982a) |
| Sénégal | Ecaille | 320 | 96 | 331,5 | 0,02 | -11,88 | 3,41 | (Krzeptowski, 1981) |
| Algérie | Freq. Tail | 238 | 54 | 243 | 0,03 | | 3,30 | (Belouahem, 2010) |
| Tunisie | Otolithe | 242 | 84 | 277 | 0,02 | -30,96 | 3,19 | (Gaamour <i>et al.</i> , 2001) |
| Egypte | Freq. Tail et écaille | 200 | 48 | 229 | 0,02 | 10,536 | 3,12 | (Salem <i>et al.</i> , 2010) |
| Méditerranée | Ecaille | 219 | 60 | 220 | 0,04 | -10,56 | 3,31 | (Tsikliras <i>et al.</i> , 2005) |
| Congo | Freq. Tail et écaille | 280 | 90 | 260 | 0,1 | -0,35 | 3,83 | (Ghéno et Fontana, 1981) |
| Floride | Otolithe | 190,5 | 48 | 220,1 | 0,04 | -4,56 | 3,28 | (Grall, 1984) |
| Venezuela | Freq. Tail | | | 235 | 0,11 | | 3,76 | (Mendoza <i>et al.</i> , 1994) |
| Brésil | Freq. Tail et otolithé | 220 | 48 | 243 | 0,05 | | 3,43 | (Cergole <i>et al.</i> , 2002) |

La croissance de *S. maderensis* au large des côtes sénégalaises est également variable et rapide, elle s'effectue essentiellement au cours des deux premières années de vie. Au sud du Cap-Vert Camarena-Luhrs (1986) a montré que les petits poissons de cette espèce atteignaient la taille de 130 mm en 21 semaines, 180 mm en un an et 218 mm en deux ans avec un taux de croissance moyen de 16 mm par mois. Il confirme les résultats de Boëly (1979) qui indiquent une croissance très rapide des juvéniles jusqu'à 90-100 mm, taille à partir de laquelle la croissance ralentit. A cette taille, les individus seraient âgés de quatre mois et atteindraient 180-200 mm à l'âge d'un an. Comparés à nos résultats, pour lesquels les

juvéniles atteignent 130 mm en un an et 165 mm en deux ans avec un taux de croissance de 18 mm par mois au début de la vie (0-6 mois), la croissance serait plus rapide dans les études antérieures basées sur l'analyse d'écailles et de fréquences de taille. Dans la zone congolaise la croissance rapide de cette espèce est également notée avec une croissance plus lente chez les juvéniles et une LF inférieure à celle obtenue au Sénégal (Boëly, 1979; Camarena-Luhrs, 1986). La taille de 154 mm serait atteinte au bout d'un an (Ghéno et Fontana, 1981). Ces résultats confirment également les études antérieures effectuées dans la même zone par Ghéno et Le Guen (1968). La littérature sur les paramètres de croissance de cette espèce est moins abondante que pour *S. aurita* (Tableau 15).

Tableau 15. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Sardinella maderensis* d'après la littérature : LF. max = longueur à la fourche maximale (mm) ; Age. max = âge maximal (mois) ; LF : longueur à la fourche asymptotique (mm) ; K : le coefficient de croissance ; to : l'âge à la taille nulle modélisée

| Zone d'étude | Méthode | LF. max | Age. max | LF | K | To | Φ' | Références |
|-----------------|-----------------------|---------|----------|-------|------|--------|---------|-------------------------------|
| Sénégal (Hann) | Otolithe | 303 | 85 | 385 | 0,01 | -17,03 | 3,32 | Présente étude |
| Sénégal (Mbour) | Otolithe | 276 | 97 | 318 | 0,02 | -22,21 | 3,18 | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | Otolithe | 278 | 90 | 365 | 0,01 | -29,33 | 3,12 | Présente étude |
| Sénégal | Freq. Tail | | | 320 | 0,04 | 34,2 | 3,58 | (Venema <i>et al.</i> , 1988) |
| Sénégal | Freq. Tail et écaille | 310 | 72 | 302,4 | 0,04 | 7,08 | 3,57 | (Camarena-Luhrs, 1986) |
| Sierra Léone | Freq. Tail | | | 296 | 0,03 | | 3,34 | (Showers, 1996) |
| Cameroun | Freq. Tail | 201 | 75 | 230 | 0,04 | 0,72 | 3,33 | (Gabche et Hockey, 1995) |
| Congo | Ecaille | 260 | 72 | 249,3 | 0,08 | 0,29 | 3,70 | (Ghéno et Le Guen, 1968) |

D'après notre étude, les longueurs asymptotiques de *S. aurita* diminuent entre l'Atlantique nord, l'Atlantique sud, l'Atlantique est et en Méditerranée. Pour *S. maderensis* une décroissance est observée entre le Sénégal, la Sierra Léone, le Congo et le Cameroun. Part ailleurs si nous comparons nos résultats à ceux déjà enregistrés au Sénégal nous observons une nette régression des tailles maximales aussi bien pour *S. aurita* que pour *S. maderensis*. Cette baisse est probablement liée à l'absence de gros poissons dans les échantillons récents, résultant probablement de la forte pression de pêche au cours des dernières décennies, tel que rapporté par Boude (2000).

E. fimbriata a déjà fait l'objet de nombreuses études de croissance en Afrique de l'ouest, mais, comme indiqué ci-dessus (Tableau 16), beaucoup d'elles concernaient la distribution des tailles. Dans le fleuve Sénégal, en décomposant la distribution en tailles, Scheffers (1973) a identifié trois modes : de 135-160 mm, de 210-245 mm et de 330-340 mm. Selon cet auteur, les deux premiers modes correspondaient aux poissons âgés de 0 à 12 mois et de 12 à 24 mois, respectivement, et le troisième correspondait à des poissons plus âgés. Par

rapport à nos résultats, où l'ethmalose atteint une moyenne de 160 mm la première année et 190 mm, la seconde, les taux de croissance apparaît légèrement plus élevé dans le fleuve Sénégal après la première année. Les différences entre les méthodes utilisées pour estimer l'âge peuvent aussi expliquer la divergence. Dans les eaux côtières Sénégalaises, il n'y a pas de données anciennes sur l'estimation de la taille asymptotique utilisant un modèle de croissance, mais les valeurs récentes trouvées dans le même secteur par Faye et al. (2014b) en utilisant la distribution des tailles (314 mm) sont proches de celles de la présente étude (290-320 mm), comme le sont celles trouvées dans le delta du Saloum (273 mm) par Panfili et al. (2004a) en utilisant une estimation directe de l'âge à partir des otolithes. Ces deux observations ne permettent pas de tirer des conclusions sur des changements de la taille asymptotique. Cependant, la taille maximale observée dans les captures en milieu marin a diminué de 340 à 300 mm (Scheffers et Conand, 1976; présente étude). En outre, les tailles maximales trouvées par Panfili et al. (2004a) (<300 mm) et Faye et al. (2014b) (260 mm) dans le Delta du Saloum sont beaucoup plus faibles que celles enregistrées par Postel (1950) (385 mm).

Tableau 16. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Ethmalosa fimbriata* d'après la littérature : LF. max = longueur à la fourche maximale (mm); Age. max= âge maximal (mois) ; LF : longueur à la fourche asymptotique (mm) ; K : le coefficient de croissance ; to : l'âge à la taille nulle modélisée

| Zone d'étude | Méthode | LF. max | Age. max | LF | k | t ₀ | Φ' | Références |
|-----------------------|------------|---------|----------|-------|------|----------------|------|-----------------------------|
| Sénégal (Mbour) | Otolithe | 300 | 84 | 289 | 0,02 | -29,27 | 3,20 | Présente étude |
| Sénégal (Joal) | Otolithe | 300 | 90 | 319 | 0,01 | -35,76 | 3,15 | Présente étude |
| Fleuve Sénégal | Freq. Tail | 340 | NA | NA | | | | (Scheffers et al., 1972) |
| Petite-Côte (Sénégal) | Freq. Tail | 290 | 96 | 314 | 0,04 | -5,52 | 3,59 | (Faye et al., 2014b) |
| Saloum (Sénégal) | Freq. tail | 260 | 96 | 291 | 0,03 | -4,08 | 3,40 | (Faye et al., 2014b) |
| Saloum (Sénégal) | Otolithe | < 300 | 60 | 273 | 0,04 | 2,40 | 3,46 | (Panfili et al., 2004a) |
| Gambie | Otolithe | < 300 | 60 | 407 | 0,01 | -10,08 | 3,37 | (Panfili et al., 2004a) |
| Zone Gambie | Freq. Tail | 340 | NA | NA | | | | (Scheffers et Conand, 1976) |
| Sierra Leone river | Freq. Tail | 290 | 36 | NA | | | | (Salzen, 1958) |
| Sierra Leone | Freq. Tail | 320 | | 408 | 0,02 | | 3,54 | (Showers, 1996) |
| Côte d'Ivoire | Freq. Tail | < 250 | 17 | 244,8 | 0,08 | -0,17 | 3,68 | (Gerlotto, 1976) |
| Côte ghanéenne | Freq. Tail | 250 | | | | | | (Blay et Eyeson, 1982) |
| Nigeria | Freq. Tail | 255 | 40 | 312 | 0,08 | | 3,86 | (Ama-Abasi et al., 2004) |

Conclusion :

La lecture des otolithes a donné une bonne estimation de l'âge et de la croissance des espèces de petits pélagiques ciblées avec un faible taux de rejet des lectures. Contrairement

aux travaux de scalimétrie pour lesquels, le pourcentage d'écailles rejetées parce qu'illisibles peut aller jusqu'à 20% au Sénégal (Boëly *et al.*, 1982a; Camarena-Luhrs, 1986) et à 50% au Congo (Ghéno et Le Guen, 1968; Ghéno et Fontana, 1981), on peut se demander si les estimations portant seulement sur un pourcentage sélectionné de la population ne sont pas biaisées. La croissance observée pour Hann, Mbour et Joal était représentative de la croissance des trois espèces dans les eaux côtières sénégalaises, variant considérablement d'un poisson à un autre. Cette croissance était rapide pour les trois espèces avec une longévité relativement faible. La comparaison des paramètres du modèle de croissance de Von Bertalanffy calculés pour la présente étude avec ceux obtenus lors des études antérieures montre une certaine différence sur la périodicité des marques et le taux de croissance. Toutefois, les tailles asymptotiques calculées sont proches de celles de la présente étude. Les différences observées peuvent être attribuées aux méthodes utilisées, aux types d'analyses des données ou tout simplement à l'instabilité des conditions du milieu (Cury et Fontana, 1988; Fréon, 1988). Il y a, cependant, une raréfaction des gros poissons dans les captures actuelles. Ceci pourrait suggérer une pêche excessive, même si cela n'a pas encore été confirmé. Cette hypothèse ne peut être vérifiée que par des études globales de la dynamique des populations, qui sont les seuls moyens de déterminer l'état actuel des stocks. Il serait nécessaire d'affiner les études portant sur l'estimation la croissance à partir des accroissements primaires dans les otolithes et donc à partir d'une estimation quotidienne de la croissance.

Chapitre 7 : COMPOSITION ET EVOLUTION TEMPORELLE DES CAPTURES

Introduction

Durant ces dernières années le débat international s'anime autour de l'effondrement d'un grand nombre de stocks de petits pélagiques à travers différentes régions du monde. L'augmentation incessante de la pression de pêche sur des stocks halieutiques de plus en plus limités, malgré leur aptitude à s'auto renouveler, est désignée comme étant la principale cause de la diminution de l'abondance de ces ressources halieutiques et constitue la plus grande menace au développement durable de l'activité de pêche. C'est ainsi que l'exploitation intensive doublée de conditions climatiques défavorables aurait entraîné, dans l'histoire des pêcheries récentes, des effondrements parfois spectaculaires. L'exemple le plus célèbre est l'anchois du Pérou dont les captures se sont effondrées au début des années 1970 après avoir atteint 12 millions de tonnes par an (Pauly et Tsukayama, 1987; Le Fur *et al.*, 1999). La sardine de Californie à la fin des années 1940 (Euber et Maccall, 1992) et les sardinelles ivoiro-ghanéennes en 1973 (Binet, 1982) sont autant d'exemples de stocks de petits pélagiques côtiers qui se sont effondrés après avoir connu une exploitation intensive doublée de conditions de milieu défavorables. En dehors des facteurs anthropiques et/ou climatiques, la variabilité des captures peut être provoquée par une combinaison d'autres facteurs dont en particulier la durée de vie relativement courte, le comportement gréginaire qui facilite leur détection et leur capture, et la forte productivité des écosystèmes dans lesquels évoluent ces espèces (Csirke, 1995).

Au Sénégal, jusqu'au début des années 1990, la flotte industrielle était bien représentée et était composée de petits senneurs semi-industriels (sardiniers dakarois), de grands chalutiers et de senneurs industriels étrangers. Depuis 1994, cette flotte a décliné de façon continue et actuellement un seul « sardinier dakarois » est en activité (DPM, 2013). La pêche artisanale sénégalaise des petits pélagiques côtiers, notamment celles des sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*) et de l'ethmalose (*E. fimbriata*), est une tradition maritime et se caractérise à la fois par l'emploi d'engins traditionnels tels que les éperviers, filets maillants, seines et par l'utilisation de techniques modernes, moteurs de type hors-bord, qui l'amènent à se développer rapidement (Fréon *et al.*, 1978b). Ce secteur en pleine expansion, en raison d'une demande de plus en plus forte et de l'augmentation rapide du nombre d'embarcations, a

connu une grande évolution depuis les années soixante avec l'apparition de sennes tournantes en 1973 (Kébé, 1994). Cependant, comme on peut le constater, il a connu au courant des années de nombreuses mutations qui se traduisent par une baisse du volume global des mises à terre, une diminution des tailles moyennes et l'éloignement des zones de pêche (Sidibé, 2010). Il s'avère donc nécessaire d'établir une évaluation de l'état d'exploitation de ces stocks de petits pélagiques dans le but de contribuer à l'élaboration d'un meilleur plan de gestion et à l'exploitation durable de ces pêcheries. Dans ce chapitre nous utilisons les méthodes traditionnelles d'évaluation qui consiste à mesurer les fréquences de taille des captures d'une part et suivre l'évolution des débarquements en fonction de l'effort de pêche (nombre de sorties) d'autre part. Les résultats issus des analyses combinées seront discutés pour répondre à des questions et à des besoins d'ordres pratiques de plus en plus actuels.

1 Matériel et méthodes

1.1 Composition en longueur des captures

La distribution de fréquence de tailles permet d'identifier les classes modales ainsi que leur importance dans les captures et d'avoir une image de la structure démographique des populations exploitées. Pour notre étude un échantillonnage au hasard des débarquements des pêcheries artisanales de *S. aurita*, de *S. maderensis* et d'*E. fimbriata*, a été conduit de juillet 2012 à juin 2013 sur les stations de Mbour et de Joal au Sénégal. Pour chaque site, 150 individus, tous sexes confondus, ont été collectés mensuellement et la longueur totale (LT) de chaque poisson a été mesurée directement sur les lieux de débarquement. Cette taille a été convertie en longueur à la fourche en utilisant les relations biométriques appropriées (voir chapitre 4. 2. 1). Les histogrammes de fréquence de tailles des débarquements ont été établis pour chaque zone d'étude.

1.2 Captures et effort de pêche

Les données annuelles de captures totales (en tonnes) dans les eaux sénégalaises et de l'effort de pêche (nombre de sorties par unités de pêche) entre 1981 et 2013 ont été fournies par le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT). Ces données ont été obtenues principalement à partir des enquêtes de débarquements à Saint Louis, dans le nord de Thiès, le Cap-Vert et le sud de Thiès (Figure 28). La collecte de données est basée sur

les captures des pêcheurs locaux opérant à l'aide de pirogues. Les données statistiques de la pêche industrielle qui ont été rapportées par la direction de la pêche maritime (DPM) ne fournissaient pas de statistiques détaillées sur les captures des sardinelles. Ces données ont été exclues de l'étude.

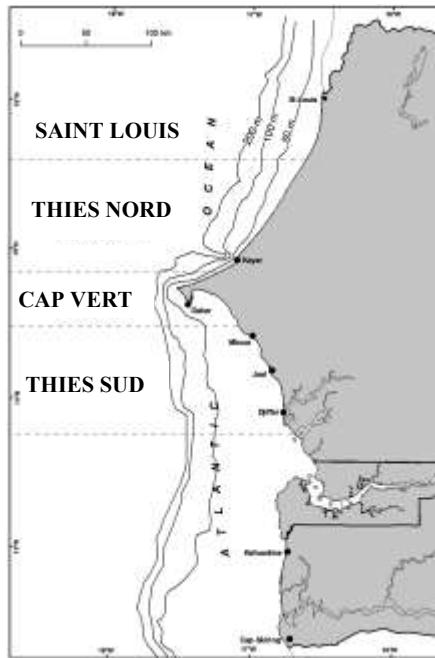


Figure 28. Les principales régions de débarquement de petits poissons pélagiques du littoral sénégalais
(Source : Nicolas Manga, département géographie, IFAN-CAD)

2 Résultats

2.1 Composition en longueur des captures

Chez *S. aurita* les captures sont dominées par des individus de tailles comprises entre 220 et 279 mm, de classe modale 220-239 mm, qui constituent 87% des débarquements. La taille minimale est de 118 mm pour Mbour et de 121 mm pour Joal. Les tailles maximales sont respectivement de 326 mm et de 331 mm. La taille moyenne débarquée est significativement plus grande à Mbour (242 ± 26 mm) qu'à Joal (238 ± 25 mm) (Figure 29a ; ANOVA , $p > 0,05$). La répartition des tailles en fonction des saisons montre que les poissons de taille comprise entre 220 et 279 dominent toujours les débarquements avec une classe modale variant d'une saison à une autre. Pendant la saison chaude, correspondant aux mois de juin à octobre, l'histogramme des fréquences de tailles montre deux groupes distincts à Mbour et un seul groupe de poissons à Joal. Le premier observé à Mbour est constitué de juvéniles de classe modale 140-159 mm et le deuxième, commun des deux sites, est fortement dominé par les adultes de classe modale 240-259 mm (Figure 29b). En saison froide, correspondant

aux mois de novembre à mai, la distribution est uni-modale, avec une légère tendance bimodale pour Joal (120-179 mm) et un déplacement des classes modales vers une diminution des tailles, de 240-259 mm à 220-239 mm (Figure 29c).

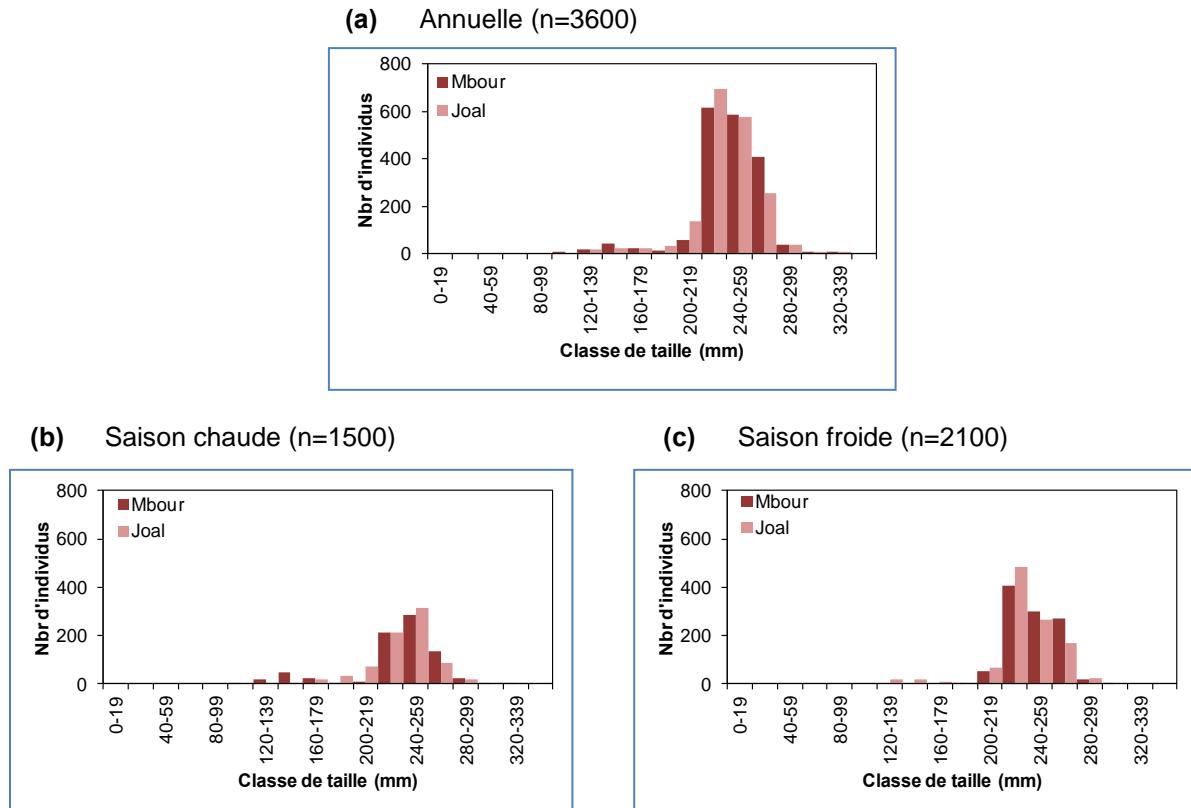


Figure 29. Composition des captures de *Sardinella aurita* à Mbour et Joal sur la période juillet 2012 – juin 2013

Chez *S. maderensis* les débarquements sont dominés par des individus de tailles comprises entre 200 et 239 mm qui constituent 77% des débarquements et avec une classe modale de 220-239 mm. Les tailles minimales sont de 87 mm et de 111 mm et les maximales de 286 mm et de 281 mm pour Mbour et Joal respectivement. Les tailles moyennes échantillonnées, pour un effectif de 1800 individus par site, sont respectivement de 220 ± 26 et de 215 ± 23 mm. Cette taille moyenne est significativement plus grande à Mbour qu'à Joal (Figure 30a ; ANOVA, $p > 0,05$). L'analyse des distributions saisonnières montre que les histogrammes sont de type uni-modal, à l'exception d'une légère tendance à la bi-modalité durant la saison froide à Mbour (classes modales 80-99 mm et 220-239 mm), avec un certain glissement des modes d'une saison à l'autre (Figures 30b, 30c).

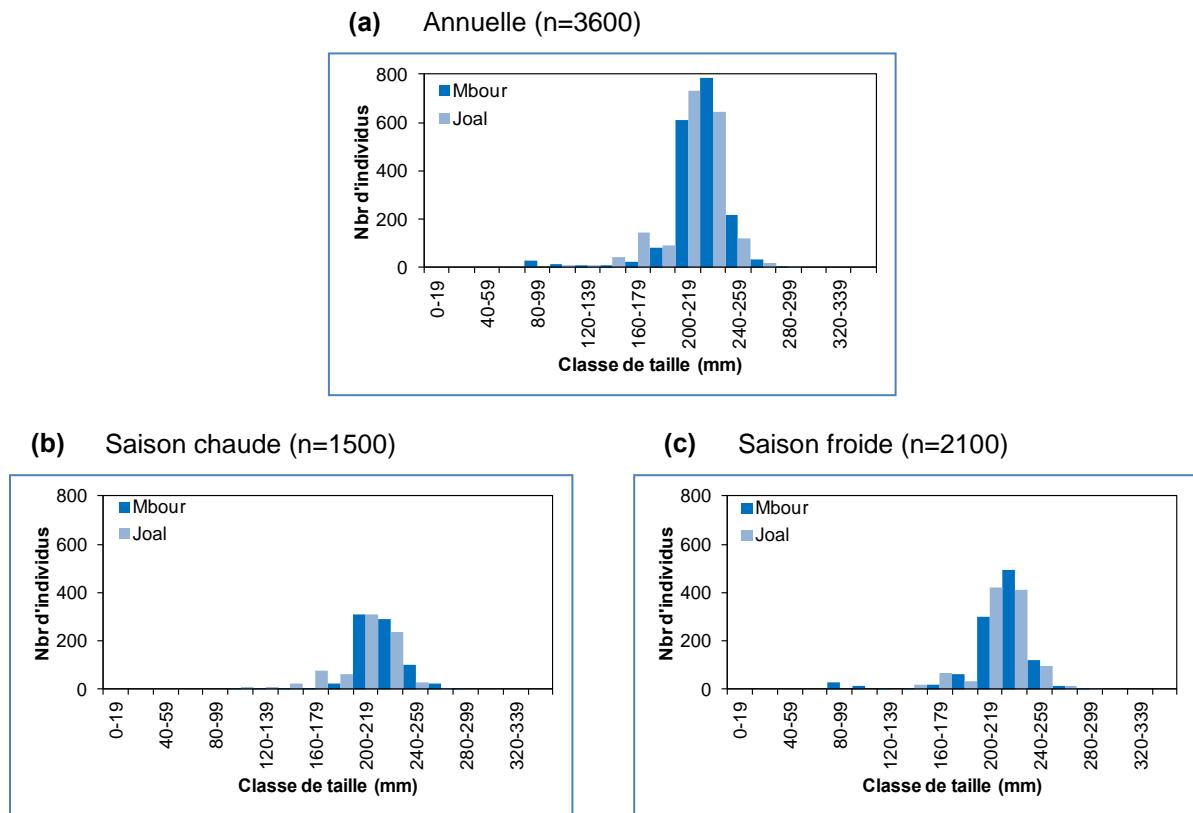


Figure 30. Composition des captures de *Sardinella maderensis* à Mbour et Joal sur la période juillet 2012 – juin 2013

Chez *E. fimbriata* la distribution générale des tailles est beaucoup plus étalée que celle des sardinelles (Figure 31a). Les captures sont dominées par les tailles variant de 180 à 219 mm qui représentent 60% des mises à terre. La classe modale se situe à 180-199 mm. Les plus petits poissons débarqués sont à 68 mm et à 96 mm et les plus grands mesurent 307 mm et 292 mm pour Mbour et Joal respectivement. Les tailles moyennes sont respectivement de 205 ± 30 mm et de 198 ± 26 mm et sont significativement différentes entre les deux stations (ANOVA, $p > 0,05$). La répartition des tailles en fonction des saisons montre que la distribution est uni-modale et la classe modale générale (180-199 mm) ne varie au cours des saisons. L'étalement de l'histogramme montre des proportions plus importantes d'individus de grandes tailles durant la saison froide (Figures 31b, 31c).

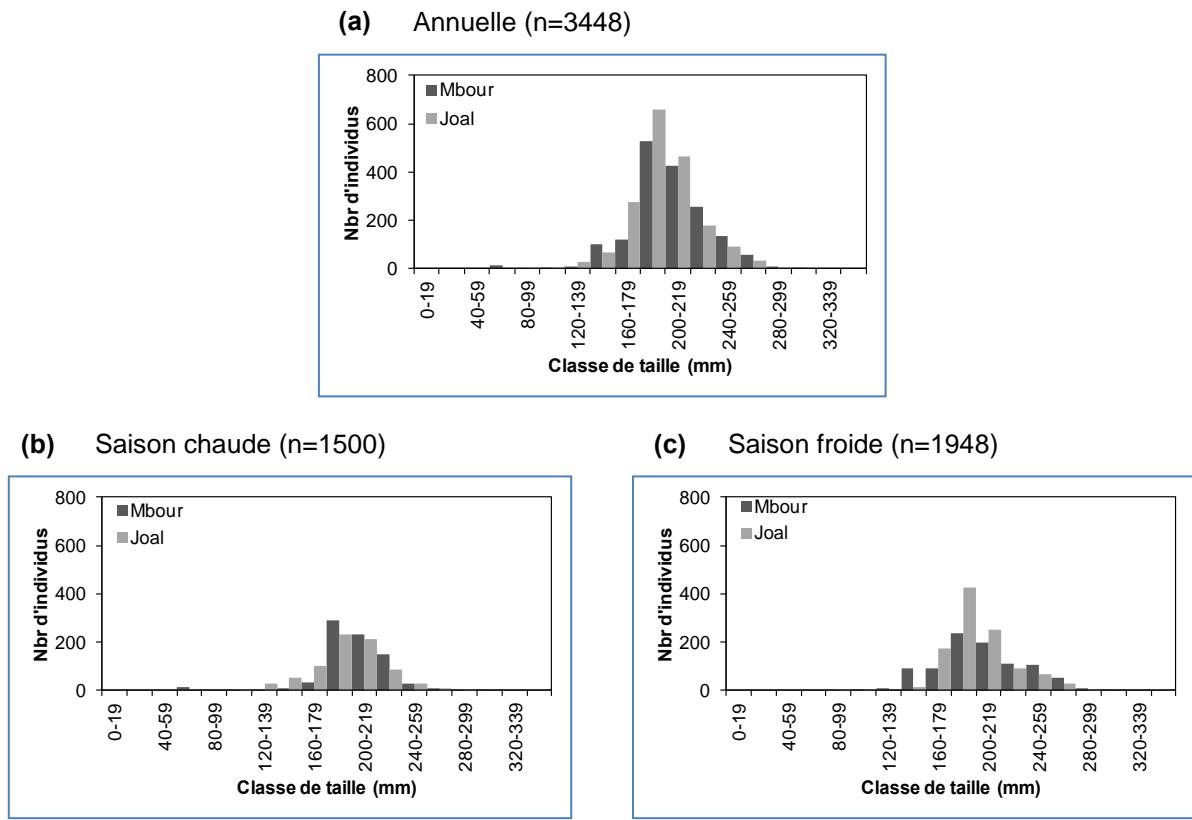


Figure 31. Composition des captures d'*Ethmalosa fimbriata* à Mbour et Joal sur la période juillet 2012 – juin 2013

2.2 Captures et effort de pêche

L'évolution des captures de *S. aurita*, de 1981 à 2013, montre globalement quatre phases. Du début des années 80 au début des années 90, il y a eu une augmentation progressive des captures. Durant cette décennie la quantité débarquée est passée du simple au double. Il y a eu un premier pic en 1994 (à 124 000 tonnes), puis une baisse et une stabilisation jusqu'en 1999-2003 (vers 60 000-90 000 tonnes). A partir de 2003, les débarquements ont rapidement augmenté atteignant un second pic plus important en 2008 (environ 390 000 tonnes), soit le triple de son niveau de 1994, puis ont décliné progressivement jusqu'en 2013 (à 135 000 tonnes). Les captures sont exclusivement dominées par les sennes tournantes (98%) et seulement une faible quantité (2%) est couverte par d'autres types d'engin de pêche. Une comparaison de la quantité de poisson débarquée avec l'effort de pêche montre que les captures de *S. aurita* sont liées à l'effort de pêche des sennes tournantes. En corollaire, le nombre annuel de sorties de ces engins et les fluctuations

globales des captures ont des tendances similaires durant les 33 années (Figure 32a). La décomposition de l'effort de pêche total en type d'engins de pêche montre que les filets dormant (50% du nombre total de sorties) et les sennes tournantes (41% du nombre total de sorties) sont plus utilisés. Les filets maillants encerclant, les sennes de plage et autres types d'engin sont peu utilisés (9% du nombre total de sorties) (Figure 32b).

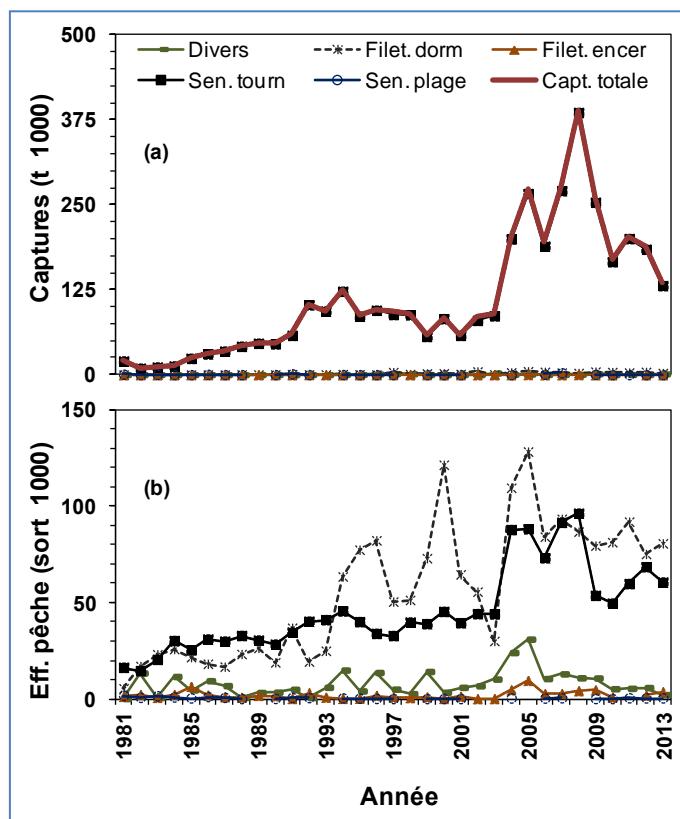


Figure 32. Captures annuelles (a) et effort de pêche (b) pour *Sardinella aurita* dans les eaux côtières sénégalaises entre 1981 et 2013. Divers = autres types d'engins ; Filet. dorm = filet dormant ; Filet. encer = filet encerclant ; Sen. tourn = senne tournante ; Sen. plage = senne de plage ; Capt. totale = capture totale

Les débarquements de *S. maderensis* ont également connu quatre phases au cours de ces trois décennies. De 1981 à 2003, les captures ont été faibles, dépassant rarement 50 000 tonnes, puis ont très rapidement augmenté atteignant un pic en 2004 (217 000 tonnes), et ont ensuite décliné jusqu'en 2009 (vers 87 000 tonnes). A partir de cette année les débarquements ont marqué une nouvelle phase de fluctuation (de 90 000 à 120 000 tonnes) sans jamais atteindre le niveau de 2004 (Figure 33a). Contrairement à la pêcherie de *S. aurita*, les captures *S. maderensis* sont dominées par trois types d'engins : les sennes tournantes (53%), les filets maillants encerclant (29%) et les filets dormants (15%). Les sennes de plage et les autres types d'engins débarquent une faible quantité (1-3%). Une analyse combinée des captures et de l'effort de pêche montre que les deux indicateurs évoluent dans le même sens durant les 33

années : la quantité de poissons débarquée est tributaire de l'effort fourni. Les filets dormant sont plus utilisés (69% du nombre total de sorties), suivis des sennes tournantes (18% du nombre total de sorties) et des filets maillants encerclant (6% du nombre total de sorties). Les sennes de plage et autres types d'engin sont peu utilisés (7% du nombre total de sorties) (Figure 33 b).

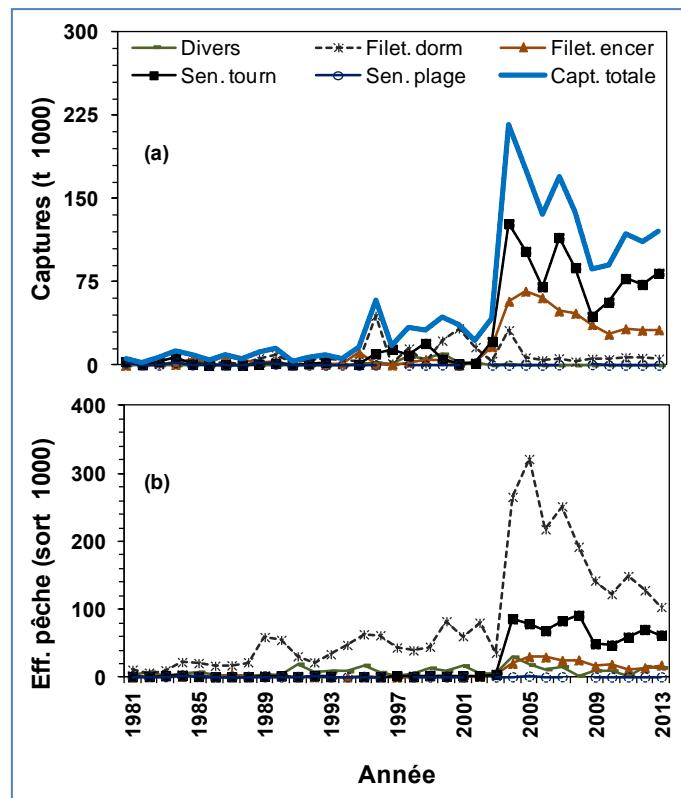


Figure 33. Captures annuelles (a) et effort de pêche (b) pour *Sardinella maderensis* dans les eaux côtières sénégalaises entre 1981 et 2013. Divers = autres types d'engins ; Filet. dorm = filet dormant ; Filet. encer = filet encerclant ; Sen. tourn = senne tournante ; Sen. plage = senne de plage ; Capt. totale = capture totale

Il y a eu trois phases dans les captures d'*E. fimbriata* au Sénégal au cours des 33 dernières années. Du début des années 80 au début des années 2000, il y a eu une augmentation rapide des débarquements. Pendant cette période, le volume des captures a été multiplié par 9 par rapport au niveau de 1981. Il y a eu un pic en 2001 (environ 24 500 tonnes), puis une baisse jusqu'en 2005. De 2005 à 2013 les captures ont été relativement faibles (5 000 à 13 000 tonnes par an), environ un tiers du niveau de 2001. Les captures sont dominées par les filets maillants encerclant (62%) et les sennes tournantes (35%), le reste (3%) couvrant d'autres types d'engins de pêche. Une comparaison de la quantité de poissons débarquée avec l'effort de pêche a indiqué que les captures ont augmenté quand l'effort de pêche a augmenté jusqu'en 2001. Après cette période, le nombre annuel de sorties était encore élevé mais les captures avaient fortement diminué (Figure 34a). Les filets dormants sont

principalement utilisés (50% du nombre total de sorties), suivis des sennes tournantes et les filets maillants encerclant (25% du nombre total de sorties). L'utilisation des sennes de plage pour capturer l'ethmalose a diminué progressivement et d'autres types d'engins de pêche ont été très rarement utilisés (1-2% du nombre total de sorties) (Figure 34b).

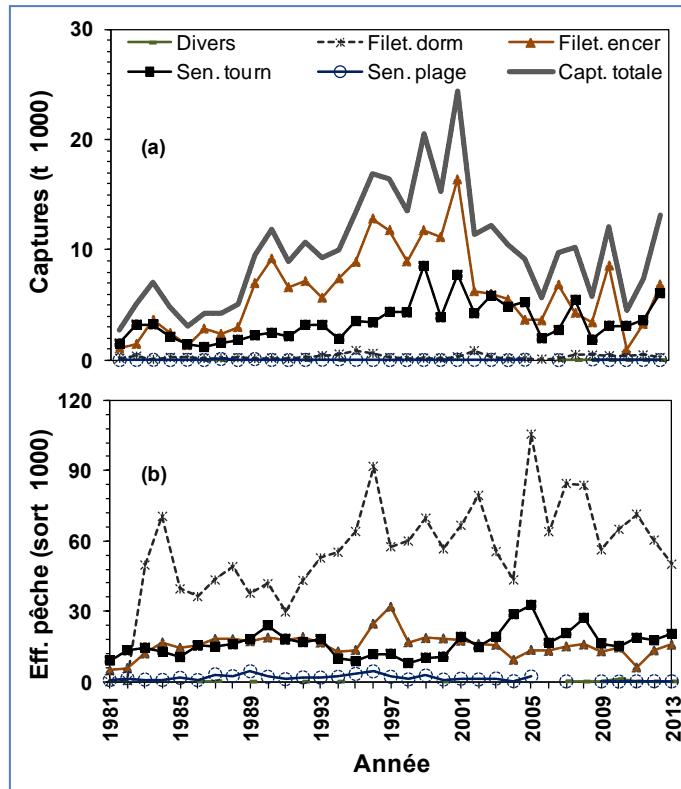


Figure 34. Captures annuelles (a) et effort de pêche (b) pour *Ethmalosa fimbriata* dans les eaux côtières sénégalaises entre 1981 et 2013. Divers = autres types d'engins ; Filet. Dorm = filet dormant ; Filet. encer= filet encerclant ; Sen. tourn= senne tournante ; Sen. plage= senne de plage ; Capt. totale = capture totale

3 Discussion

3.1 Composition en longueur des captures

La pêche affecte les communautés de poissons à travers le prélèvement sélectif d'espèces cibles ou de groupes d'espèces, la capture d'espèces accessoires et la modification des habitats. Cela se traduit par des changements de la biomasse totale, de la composition spécifique des peuplements et des structures en tailles. Ces dernières constituent une donnée très importante en science halieutique car elles donnent une image de l'état d'exploitation de la ressource halieutique. Une baisse au cours du temps de la taille moyenne et une raréfaction des gros poissons d'une population sont des signes avant coureur d'une surexploitation. Les résultats de cette étude ont permis d'avoir plus informations sur les

pêcheries des petits pélagiques. Pour les trois espèces étudiées il y a eu une forte domination des adultes. L'écrasante majorité des poissons débarqués avait des tailles proches des tailles à la première maturité sexuelle trouvées au Sénégal et plus particulièrement dans cette étude. Les poissons de petites tailles, donc immatures sont rarement rencontrés dans les captures. Ceci résulterait d'une part de la sélectivité spécifique de chaque engin, et d'autre part de la répartition différente des classes d'âge sur les fonds de pêche en fonction de leurs exigences écologiques (Marchal, 1991). Dans les captures, la distribution des fréquences de longueur est différente pour chaque type d'engin de pêche (Scheffers, 1973; Fréon *et al.*, 1978a). En effet, les engins de pêche utilisés en milieu marin s'adressent aux moyens et gros poissons et capturent très rarement les juvéniles qui passent souvent à travers les mailles (Gerlotto, 1976).

Chez *S. aurita*, les auteurs qui se sont intéressés à la fréquence des tailles débarquées ont montré que les juvéniles de 120 à 180 mm sont capturés essentiellement au cours des cinq premiers mois de l'année alors que des débarquements importants de jeunes reproducteurs (200 à 250 mm) se font toute l'année et les adultes (supérieure à 250 mm) sont plus abondants en saison froide de janvier à mai, conformément à leur schéma migratoire (Boëly *et al.*, 1978; Fréon *et al.*, 1978a; Fréon *et al.*, 1978b). Pour cette espèce la taille moyenne des captures a connu une légère baisse au cours des décennies. De 260 à 250 mm, entre les années 1970 et 1990, elle est actuellement à 240 mm (Fréon *et al.*, 1978b; Bataliants, 1979, présente étude). Pour *S. maderensis* les captures se faisaient essentiellement au détriment d'une seule classe de taille (180-230 mm) pendant la saison chaude, mais des individus plus petits peuvent être capturés en début d'année (Fréon *et al.*, 1978b). De la fin des années 70 à l'époque actuelle, la taille moyenne des sardinelles plates débarquées est passée 250 à 220 mm (Fréon *et al.*, 1978b). De même la longueur modale trouvée par Sow *et al.* (2010) dans la même zone (190 mm) est encore plus petite que celle trouvée par Bataliants (1979) à la fin des années 70 (210 mm). En ce concerne *E. fimbriata*, vers la fin des années 70 la distribution de fréquence de tailles avait un mode se situant entre 200 et 250 mm en milieu estuarien (Scheffers et Conand, 1976). Alors que les débarquements actuels sont dominés par des éthmaloses de tailles comprises entre 180 et 220 mm dans ces milieux (Faye *et al.*, 2014b). En milieu marin, les tailles moyennes des poissons capturés à Joal, à Mbour et à Saint Louis étaient respectivement de 220 mm, de 225 mm, et de 270 mm (Boëly et Elwertowski, 1970). Ces tailles sont également plus grandes que celle trouvée dans les débarquements actuels (200 mm). Ces observations confirment les résultats obtenus dans le chapitre précédent sur la raréfaction des gros poissons dans les captures actuelles.

3.2 Captures et effort de pêche

La baisse des débarquements de sardinelles est vraisemblablement liée à la réduction du nombre de sorties annuelles dont les principales raisons seraient des contraintes d'ordre socio-économiques. Cela apparaît plus particulièrement dans l'évolution des captures de *S. aurita* dont la réduction du nombre de sorties et la chute des débarquements, observées après 1994 et 2008, interviennent après deux événements majeurs. Le premier est la mise en œuvre de la dévaluation du franc CFA survenue en janvier 1994. À la suite de laquelle l'inflation généralisée qui s'était installée avait entraîné une hausse considérable des prix des matériels et des produits de pêche (Dogri, 1997). Parallèlement il y a eu à des reports importants d'effort de pêche des espèces devant approvisionner le marché local vers celles destinées à l'exportation. Pour rentabiliser au maximum leur pêche, beaucoup d'unités pélagiques (plus particulièrement les sennes tournantes et les filets maillants encerclant) se sont converties en pêcheries de poissons démersaux (Dème et Kebe, 2000). Ainsi le poisson bon marché devient de moins en moins disponible pour les populations au fur et à mesure que la pression de pêche est orientée vers les espèces exportables (sole, langouste, seiches, poulpes, crevettes) et que d'autres types de pêche artisanale se développent. Le deuxième événement intervenu en 2008 marque les très fortes fluctuations des cours du pétrole et des taux de change. Le prix du baril était à un niveau proche de 100 dollars en début d'année 2008. Il a continué à augmenter et a atteint durant la même année un niveau maximal de 145 dollars en moyenne journalière (Redoulès, 2009). La hausse vertigineuse des prix du carburant en 2007-2008 aurait freiné les activités de pêche de différents pays comme le Viet Nam, le Guatemala, le Japon, la Namibie, les Philippines et le Sao Tomé-et-Principe (FAO, 2010). Ce choc pétrolier auquel s'ajoute l'éloignement des zones de pêche aurait lourdement affecté le secteur de pêche artisanale sénégalaise, et plus particulièrement les sennes tournantes qui sont les engins de prédilection pour capturer les espèces grégaires. Il est précédé du fléau de l'immigration clandestine par voie maritime qui avait pris une ampleur inégalée en 2006-2007 : un peu plus de la moitié des 31 000 immigrants clandestins étaient des ressortissants sénégalais (Anonyme, 2013b). Durant cette période, la mobilisation des pirogues pour animer la migration et le départ de jeunes pêcheurs avaient accentué la raréfaction du poisson sur les marchés et dans les ports de pêche artisanale (Ba et Ndiaye, 2008). Les pêcheries de sardinelles plates (*S. maderensis*) n'ont pas échappé à ces contraintes. Cependant la baisse des captures et de l'effort de pêche sont survenus plus tôt que celles des sardinelles rondes (*S. aurita*). Cette baisse est cependant à mettre en relation avec l'octroi de licences de pêche par le gouvernement mauritanien. Ces

licences étaient accordées pour une période de six mois renouvelables et concernaient particulièrement les espèces pélagiques à l'exclusion du mulet et des poissons nobles qui rapportent le plus d'argent. De mars 2001 à juin 2004, le nombre de licences délivrées a été doublé (environ de 160 à 300). Cela a eu comme conséquence de transférer une bonne partie de l'activité des sennes tournantes basées notamment à Saint Louis (Marfaing, 2005). Cette mobilité est l'une des principales caractéristiques de la pêche artisanale sénégalaise. En effet, les pêcheurs sénégalais font preuve d'une grande mobilité sous-régionale suivant les fluctuations spatio-temporelles et la répartition des ressources (Cury et Fontana, 1988). Cette migration peut être proche ou lointaine, saisonnière ou durable, régulière ou contextuelle (Chauveau *et al.*, 2000; Failler et Binet, 2010). Pour ces différentes raisons l'analyse combinée des captures et de l'effort de pêche ne permet pas de confirmer une surexploitation de ces espèces dans les eaux du Sénégal. Ces résultats sont conformes à ceux de la zone mauritanienne (Ter hofstede *et al.*, 2007; Samb *et al.*, 2010). Toutefois dans la même zone Sow *et al.* (2010) ont signalé une situation de surexploitation de la sardinelle ronde contrairement à la sardinelle plate. Selon le groupe de travail de la FAO (2012) les deux espèces sont en situation de surexploitation dans la zone sénégal-mauritanienne.

Pour *E. fimbriata* les captures ont varié considérablement au fil des années, avec un pic en 2001, suivie d'une baisse au début des années 2000, même si l'effort de pêche a augmenté. Ceci pourrait être expliqué par la combinaison d'une très forte demande pour la consommation humaine et le développement des pêcheries locales modernisées avec des moteurs puissants (Kébé, 1994). Tout comme pour les pêcheries de sardinelles, la baisse des rendements au cours des années (2009-2013) peut refléter un changement de tactique de pêche suite à la baisse de la ressource initialement ciblée et/ou un intérêt croissant dans d'autres ressources qui sont plus rentables et plus facilement accessibles (Boëly et Elwertsowski, 1970). Ce changement d'espèces cibles peut être dû à la flexibilité de la pêche locale qui capture un large éventail d'espèces (Scheffers, 1973; Ferraris, 1994). D'autre part, de nombreuses études ont suggéré que l'abondance des ressources de petits poissons pélagiques est liée à la variabilité spatio-temporelle des facteurs environnementaux tels que la température de la mer, la salinité, les variations de chlorophylle-a et le stress lié au vent (Cury et Roy, 1989; Fréon, 1991; Bakun, 1996). D'après Diakha *et al.* (2013), les débarquements d'ethmaloses et la concentration de chlorophylle-a ont montré une tendance à la baisse de 1999 à 2009, avec la température de surface de la mer (SST) augmentant, ce qui a réduit la survie et les taux de croissance des larves, et a affecté le calendrier des pics de reproduction. Toutefois, il est peu évident que les conditions environnementales ont été la principale cause

de la diminution des prises parce que l'ethmalose est une espèce pélagique très mobile caractérisée par une grande adaptabilité aux conditions environnementales variables (Scheffers et Correa, 1971; Scheffers et Conand, 1976; Charles-Dominique et Albaret, 2003). Les activités anthropiques sont susceptibles d'être la principale cause de la diminution des captures (Lae et Lévêque, 1999). La forte pression de pêche peut entraîner une diminution de la biomasse, de l'abondance des prédateurs, de la taille maximale (moins de poissons âgés), et des taux de croissance et de maturité dans la population (Sinclair et Murawski, 1997). La situation actuelle de la pêcherie de l'ethmalose au Sénégal doit susciter une attention particulière. Cette étude montre que *E. fimbriata* est pleinement exploitée dans les eaux côtières du Sénégal.

Conclusion

La présente étude a pu montrer une réduction de taille moyenne et une raréfaction des gros poissons, même si les poissons adultes prédominent dans les captures actuelles. Il faut noter que la raréfaction des gros poissons constitue une menace sérieuse pour la reconstitution des stocks. Cela se justifie par le fait que les grosses femelles sont beaucoup plus fécondes car le nombre d'œufs pondus augmente avec la taille. D'autre part, il a été montré dans les chapitres précédents que les tailles asymptotiques, de même que les tailles atteintes à la première maturité sexuelle, n'ont pas baissé depuis 40 ans. Or ces deux paramètres sont des indicateurs pertinents à prendre en compte pour l'évaluation de l'état d'exploitation d'un stock (Froese, 2004). Les différentes étapes de cette étude montrent que la seule indication réelle des effets de l'exploitation est un manque de gros poissons, même si on aboutit à une croyance générale selon laquelle ces stocks sont actuellement surexploités dans les eaux sénégalaises (Sow *et al.*, 2010; FAO, 2012), ceci suppose que les stocks de sardinelles (*S. aurita*, *S. maderensis*) et d'ethmaloses (*E. fimbriata*) sont pleinement exploités au Sénégal. Cependant il faut noter que la sortie, considérée comme « effort de pêche », ne peut nous renseigner sur la gestion des unités de pêche que si l'on dispose de connaissances fines sur le taux d'utilisation des différents engins par une même unité de pêche, le nombre total de coups de filets par sortie ; le temps passé sur les lieux de pêche, et le temps de recherche du lieu de pêche (Poinsard et Le Guen, 1975). Or d'après le CRODT, il était difficile d'obtenir ces renseignements à partir des données recueillies par les biologistes dans les points de débarquement. D'autres facteurs contribuent à rendre difficile le suivi de ces pêcheries et

concourent à la difficulté de quantifier l'effort de pêche. Parmi ces facteurs on peut citer la présence irrégulière de plusieurs flottilles concernées, le report fréquent entre espèces, l'existence d'une pêche artisanale elle-même mal connue et très variable. A cela s'ajoute la dispersion des points de débarquement le long des côtes qui rend également l'estimation qualitative et quantitative des débarquements extrêmement difficile et coûteuse compte tenu de la faiblesse passée et actuelle des moyens de recherche. Donc dans une perspective de mise en place d'un meilleur plan de gestion des pêches, il serait nécessaire de mener une étude plus détaillée de l'effort de pêche réelle de chaque type d'unité. Il serait souhaitable de regrouper et de suivre de plus près les zones de débarquements en créant plus d'infrastructures de pêche (quais, maisons du pêcheur, postes de veille et de contrôle des pêches etc.). Cela permettrait d'avoir une meilleure évaluation de l'état des stocks : donc un plan d'aménagement plus efficace.

Chapitre 8 : CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les variations temporelles du poids en fonction de la taille sont en relation avec l'état physiologique des individus et les conditions écologiques du milieu. Certaines variables abiotiques peuvent affecter le facteur de condition des poissons directement via le métabolisme ou indirectement en réglant l'abondance de la nourriture. Il apparaît que cette dernière est favorisée par la présence d'un upwelling côtier (remontée d'eau froide) qui amène à la surface des eaux froides et riches en éléments nutritifs (Teisson, 1982; Boëly *et al.*, 1982a). Il existe une forte relation entre l'intensité de l'upwelling et la variation du facteur de condition des sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*). Les périodes de condition moins élevée apparaissent en saison chaude et les périodes de bonne condition en saison froide mais celles-ci sont généralement plus longues et plus stables au sud qu'en presqu'île du Cap-Vert. *E. fimbriata* présente une stratégie différente avec deux cycles de facteur de condition par an, avec un pic au début de la saison sèche quand les eaux sont froides en janvier, et un autre pic au début de la saison des pluies quand les eaux sont chaudes (juin-juillet).

D'après la présente étude, *S. aurita* se reproduit principalement en saison froide (janvier à avril) et à partir du milieu de la saison chaude jusqu'à la transition saison chaude / saison froide (août à novembre) conformément aux études antérieures (Boëly *et al.*, 1978; Boëly *et al.*, 1982b; Cury et Fontana, 1988). Bien que des auteurs aient signalé une reproduction au cours de la première transition (mai-juin), ce qui n'est pas le cas pour notre étude. D'une manière générale le calendrier de reproduction ne semble pas avoir changé au cours du temps. Pour *S. maderensis*, en plus d'une période de reproduction habituelle en saison chaude au Sénégal (Conand et Fagetti, 1971; Boëly, 1979; Camarena-Luhrs, 1986), une nouvelle période de reproduction principale est apparue et située en saison froide (janvier-avril). Le calendrier de reproduction de l'ethmalose tel que décrit au Sénégal n'a pas changé depuis plus de 50 ans : il s'étale sur un semestre (janvier à juillet), du début de l'année à la fin de la saison sèche avec pic au cours de la phase de transition saison chaude-saison froide (mai-juin). Il est évident que certaines variables comme la température, la salinité, la disponibilité de la nourriture et la photopériode influencent la saisonnalité et la durée de la période de ponte chez les petits pélagiques (Longhurst et Pauly, 1987; Allain, 1999). Cependant, il n'a pas été démontré si un seul facteur ou une conjonction de plusieurs facteurs environnementaux induisait la ponte. La fécondité est élevée pour les trois espèces. Cette forte fécondité serait certainement une réponse au dépeuplement et viserait à pérenniser et à assurer

le maximum de descendances. Cependant, il est difficile de savoir si des variations génétiques conduisent à des différences dans le calendrier de maturation des gonades et de la quantité d'œufs pondus en se fondant uniquement sur des comparaisons entre les données actuelles et les données historiques de fécondité. Cette approche ne permet pas de faire la distinction entre la plasticité génétique et l'évolution des paramètres de fécondité. D'autres méthodes complémentaires sont nécessaires pour préciser les déterminants génétiques et environnementaux de la fécondité. A la lumière des résultats obtenus il apparaît chez *S. aurita* une légère hausse de la taille à la première maturité sexuelle accompagnée d'une fécondité plus importante. Par contre chez *S. maderensis* ces paramètres de reproduction (taille à la première maturité et fécondité) n'ont pas changé depuis 40 ans. *E. fimbriata* présente une fécondité plus importante en conservant la même taille de première maturité sexuelle. Cette étude a également montré une croissance rapide et variable qui s'effectue essentiellement au cours des premières années de vie avec une longévité faible pour l'ensemble des populations ciblées. Il y a cependant une diminution des tailles moyennes et une raréfaction des gros poissons dans les débarquements actuels. Ceci semble montrer que ces stocks sont pleinement exploités. L'insuffisance de données détaillées sur l'effort de pêche ne permet pas donner de conclusions définitives sur l'impact réel de la pêche sur la situation actuelle des stocks des petits pélagiques au Sénégal.

Les données biologiques acquises au cours de cette étude montrent que ces espèces ont un mode de vie qui se rapproche d'une stratégie démographique de type « r » caractérisée par une durée de vie courte, une maturité sexuelle précoce, un taux de croissance important, une mortalité et une fécondité élevées. Les espèces présentant ce type de stratégie démographique ont un équilibre fragile. Elles sont inféodées aux fluctuations de l'environnement et sensibles à une exploitation intense (Kawasaki, 1983). La surveillance de l'abondance de ces stocks de petits pélagiques serait nécessaire pendant toute l'année. Les éléments de biologie acquis au cours de ce travail seront utiles pour prendre les mesures les mieux adaptées à une gestion durable des ressources le long des côtes sénégalaises. Pour être efficace, les politiques de gestion doivent fortement décourager l'utilisation de maillages de filets illégaux et en fait interdire l'importation, la vente et l'utilisation d'engins illégaux. Les politiques de fermeture saisonnière et sectorielle doivent être développées dans tous les secteurs de la pêche des petits pélagiques pour permettre aux ressources exploitées de se maintenir et de rajeunir. Les politiques et mesures visant à renforcer la capacité d'adaptation du secteur de la pêche et surtout les pêcheurs artisiaux doivent être renforcées. Il serait souhaitable d'encourager la diversification des stratégies de subsistance des pêcheurs artisiaux, en encourageant

l'engagement dans d'autres professions, comme l'aquaculture ou l'agriculture. Il serait nécessaire de développer plus d'institutions souples et adaptables telles que les banques coopératives. Différents décrets et règlements devraient être encouragés aux niveaux local, étatique et régional. L'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'aménagement doivent être participatives avec une implication des organisations professionnelles, de l'administration et de la recherche. Les pêcheurs devraient être davantage impliqués dans la planification et la prise de décision. Dans certains endroits, des mesures locales de gestion ont aidé à mieux gérer les ressources de petits pélagiques (Diarra, 2006). Parmi ces mesures on peut citer celle de Nouakchott, où l'ensemble des opérateurs de sennes tournantes se sont organisés depuis 2009 en une « Commission des Senneurs » qui limite les sorties en mer lorsque les apports sont trop importants (Lenselink, 2003). Au Sénégal, en 1992 il a été institué à Cayar une « Commission des sennes tournantes » qui a limité l'effort de pêche de cet engin à une seule sortie quotidienne pour éviter les surcaptures et l'instabilité du marché (Anonyme, 2013a). Les objectifs visés par cette mesure étaient, entre autres, la durabilité des ressources halieutiques et la création d'une meilleure mise en marché des débarquements des sennes tournantes. A la suite de l'expérimentation concluante de limitation de sorties des sennes tournantes à Cayar, les pêcheurs migrants de Saint Louis ont entrepris de réguler l'effort de pêche de cet engin dans leur localité. Il a été retenu que les unités de pêche opèrent en rotation, en sortant un jour sur deux. C'est le cas également de Mbour où le consensus de la régulation des sorties des sennes tournantes visant les sardinelles a été matérialisé par un arrêté préfectoral en 2011 (Mbengue, 2012). Ces pratiques parmi tant d'autres méritent d'être encouragées. Elles montrent que les pêcheurs sont de plus en plus conscients de la nécessité de mettre en place des règles de gestion des ressources halieutiques pour une pêche durable.

De manière générale, l'approche qui traite les problèmes du secteur au sens strict ne prend pas en compte d'autres facteurs comme la destruction des habitats, la pollution, l'aménagement des zones côtières, le changement climatique... Or tous ces facteurs peuvent contribuer d'une manière directe ou indirecte à l'épuisement des stocks en modifiant l'écosystème et en se combinant à l'impact de la pêche (Cury et Morand, 2004). La pêche ne peut être conçue isolément, elle doit être considérée dans un ensemble qui tient compte des interactions qu'elle entretient avec l'environnement et les autres activités humaines.

Références

- Abowei, J. F. N., 2009 : The morphology, abundance, condition factor and length-weight relationship of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich 1825) from Nkoro river Niger delta, Nigeria. *Adv. J. Food. Sci. Technol.* 1, 51-56.
- Aguirre, H., Lombarte, A., 1999 : Ecomorphological comparisons of sagittae in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *J. Fish Biol.* 55, 105-114.
- Albaret, J. J., Charles-Dominique, E., 1982 : Observation d'une taille à la première maturation sexuelle exceptionnellement faible chez *Ethmalosa fimbriata* Bowdich dans une baie polluée de la lagune Ebrie (Côte d'Ivoire). *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan.* 13, 23-31.
- Albaret, J. J., Gerlotto, F., 1976 : Biologie de l'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata* Bowdich) en Côte d'Ivoire. 1. Description de la reproduction et des premiers stades larvaires. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan.* 7, 113-133.
- Allain, V., 1999 : Ecologie, biologie et exploitation des populations de poissons profonds de l'Atlantique du Nord-Est. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 373 pp.
- Ama-Abasi, D., Holzloehner, S., Enin, U., 2004 : The dynamics of the exploited population of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825, Clupeidae) in the Cross River Estuary and adjacent Gulf of Guinea. *Fish. Res.* 68, 225-235.
- Ama-Abasi, D. E., 2002 : Aspects of population biology of bonga, *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825) (Clupeidae) in Cross River Estuary, Nigeria. Ph. D. thesis, University of Calabar, Calabar, 179 pp.
- Amraoui, L., Sarr, M. A., Soto, D., 2011 : «Analyse rétrospective de l'évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest». *Physio-Géo.* 5, 125-142.
- Anonyme, 2013a : Convention locale pour la gestion des pêcheries de Cayar. USAID/COMFISH, Dakar, Sénégal, 35 pp.
- Anonyme, 2013b : Situation économique et social du Sénégal en 2011. Agence nationale de la statistique et de la démographie, ministère de l'économie et des finances, république du Sénégal, Dakar, Sénégal, 19 pp.
- Ba, A., Diouf, K., Guilhaumon, F., Panfili, J., 2015 : Slow growth of the overexploited milk shark *Rhizoprionodon acutus* affects its sustainability in West Africa. *J. Fish Biol.* 87, 912-929.
- Ba, C. O., Ndiaye, A. I., 2008 : L'émigration clandestine sénégalaise. *Asylon(s)*, N°3. <http://www.reseau-terra.eu/article717.html>

- Bagenal, T. B., 1973 : Fish fecundity and its relations with stock and recruitment. Rapp. p-Verb. Reuni. Cons. Int. Explor. Mer. 164, 186-198.
- Bagenal, T. B., Tesch, F. W., 1978 : Age and growth. In : Methods for assessment of fish in fresh waters. T. Bagenal (Eds.). IBP Handbook No. 3. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 101–136.
- Bainbridge, V., 1961 : The Early Life History of the Bonga, *Ethmalosa dorsalis* (Cuvier and Valenciennes). J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 26, 347-353.
- Bainbridge, V., 1963 : The food, feeding habits and distribution of the bonga, *Ethmalosa dorsalis* (Cuvier and Valenciennes). J. Cons. CIEM. 8, 270-284.
- Bakun, A., 1996 : Patterns in the ocean : ocean Processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Adminstration in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, University of California Sea Grant, San Diego, California, USA, in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323 pp.
- Bakun, A., Parrish, R. H., 1990 : Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats : the brazilian sardine (*Sardinella aurita*). J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 46, 269-283.
- Barry-Gérard, M., 1990 : Le complexe fosse de Kayar-presqu'île du Cap-Vert constitue-t-il un obstacle aux migrations des poissons le long des côtes sénégalaises? Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan. 119, 1-34.
- Batalants, K. Y., 1979 : Composition par taille et par poids des captures à la senne tournante de certaines espèces pélagiques dans l'atlantique centre-est, annexe 17. FAO, Rome, Rapport du Groupe de Travail Ad Hoc sur les Poissons Pélagiques Côtiers Ouest-Africains de la Mauritanie au Libéria (26° N à 5° N).
- Bebars, M. I., 1981 : Exploitation rationnelle des pêcheries égyptiennes : application aux pêcheries des sardinelles (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847) de la baie du Salloum, Egypte. Thèse d'état, Université des Sciences et Techniques du languedoc, Montpellier, France, 354 pp.
- Belk, M. C., 1995 : Variation in growth and age at maturity in bluegill sunfish : genetic or environmental effects? J. Fish Biol. 47, 237–247.
- Belvèze, H., 1984 : Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus*) peuplant les côtes atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. Thèse doctorat d'Etat, Université Bretagne Occidentale, Brest, 532 pp.
- Belouahem, S., 2010 : Estimation de la Biomasse Exploitable de la Sardinelle (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) du golfe de Annaba. Mémoire de magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba, 151pp.
- Ben-Tuvia, A., 1960a : Synopsis of biological data on *Sardinella aurita* of the Mediterranean Sea and other waters. FAO Fisheries Biology Synopsis. 14, 287-312.

- Bert, A., Écoutin, J. M., 1982 : Relations longueur-poids de 43 espèces de poissons capturées dans les lagunes ivoiriennes. *Arch. Sci. Cent. Rech. Oceanogr. Abidjan.* 8, 1-30.
- Biester, E., Bui Dinh Chung, 1975 : Age and growth of *Sardinella aurita* off North West African waters. *J. Cons. CIEM.* 17, 1-9.
- Binet, D., 1982 : Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes : relation sécheresse-surpêche. *Oceanologica Acta.* 5, 443-452.
- Binet, D., 1988 : Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de la répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. *Aquat. Living. Resour.* 1, 115-132.
- Binet, D., 1995 : Hypothesis accounting for the variability of sardinella abundance in the Northern Gulf of Guinea. In : *Dynamique et usage des ressources en sardinelles de l'upwelling côtier du Ghana et de la Côte d'Ivoire : actes du colloque DUSRU = Dynamics and use of sardinella resources from upwelling off Ghana and Ivory Coast* F.-X. Bard et K. A. Koranteng (Eds.). ORSTOM, Colloques et Séminaires, Paris, pp. 98-133.
- Blanc, A., 1950 : Les Clupéidés de la Petite-Côte. *Bull. Serv. Elev. Ind. Anim. AOF.* 6, 7-13.
- Blanc, A., 1951 : La pêche du cobo (*Ethmalosa fimbriata*) sur la Petite-Côte du Sénégal. *Bull. Serv. Elev. Ind. Anim. AOF.* 4, 31-38.
- Blay, J. J., Eyeson, K. N., 1982 : Observations on the reproductive biology of the Shad, *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich), in the coast waters of cape coast, Ghana. *J. Fish Biol.* 21, 485-496.
- Bodian, A., Ndiaye, O., Dacosta, H., 2014 : Evolution des caractéristiques des pluies journalières dans le bassin versant du fleuve Sénégal : avant et après rupture. *Journal des Sciences Hydrologiques.* 1, 65-87.
- Boëly, T., 1979 : Biologie des deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847 et *Sardinella maderensis*, Lowe, 1841) des côtes Sénégalaises. Thèse de doctorat d'Etat, Université Paris VI, Paris, 219 pp.
- Boëly, T., 1980 : Etude du cycle sexuel de la sardinelle plate : *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) des côtes sénégalaises. *Cybium.* 8, 77-88.
- Boëly, T., 1982 : Etude du cycle sexuel de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Val. 1847) au Sénégal. *Oceanogr. Trop.* 17, 3-13.
- Boëly, T., Chabane, J., Fréon, P., Stequert, B., 1978 : Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau ouest-africain des îles Bissagos à la Mauritanie. Symposium CINECA sur le courant des Canaries : Upwelling et ressources vivantes. *CIEM. COI. FAO, Las Palmas, Espagne,* 12 pp.

- Boëly, T., Chabane, J., Fréon, P., Stequert, B., 1982b : Cycle sexuel et migration de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest-africain, des îles Bissagos à la Mauritanie. Rapp. p-Verb. Reuni. Cons. Int. Explor. Mer. 180, 350-355.
- Boëly, T., Elwertsowski, J., 1970 : Observations préliminaires sur la pêche de *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) des eaux sénégalaises et son aspect biologique. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 159, 182-188.
- Boëly, T., Fréon, F., 1979 : Les ressources pélagiques côtières. In : Troadec et Garcia : Les ressources halieutiques de l'Atlantique centre-ouest. 1ere partie : Les ressources du golf de Guinée, de l'Angola à la Mauritanie. FAO. Doc. Tech. Pêches. 186, 1-167.
- Boëly, T., Fréon, P., Stequert, B., 1982a : La croissance de *Sardinella aurita* au Sénégal. Oceanogr. Trop. 17, 103-119.
- Boëly, T., Ostvedt, O., 1976 : Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal ; observations faites à bord du navire usine « Astra » de la Mauritanie aux îles Bissagos. Bull. IFAN, Ser. A. 3, 677-702.
- Boude, J. P., 2000 : Les enjeux de la gestion des pêches en Afrique de l'ouest. ENSAR département halieutique. 1-14.
- Braga, F. M. S., 1986 : Estudo entre o factor de condição e relação peso/comprimento para alguns peixes marinhos. Rev. Brasil. Biol. 46, 339-346.
- Camarena-Luhrs, T., 1986 : La croissance de *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) au Sénégal. Océanogr. Trop. 21, 143-151.
- Campana, S. E., 1999 : Chemistry and composition of fish otoliths : pathways, mechanisms and applications. Mar. Ecol. Prog. Ser. 188, 263-297.
- Campana, S. E., Neilson, J. D., 1985 : Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sc. 42, 1014-1032.
- Cergole, M. C., Saccardo, S. A., Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B., 2002 : Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977-1997. Rev. Bra. Oceanogr. 50, 13-26.
- Charles-Dominique, E., 1982 : Exposé synoptique des données biologiques sur l'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*, S. Bowdich, 1825). Rev. Hydrobiol. Trop. 15, 373-397.
- Charles-Dominique, E., Albaret, J. J., 2003 : African shads, with emphasis on the West African shad *Ethmalosa fimbriata*. Am. Fish. Soc. Symp. 35, 27-48.
- Chauveau, J.-P., Jul-Larsen, E., Chaboud, C., 2000 : Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest. Pouvoirs, mobilités, marchés. IRD - Ch. Michelsen Institute - Karthala, Paris, 383 pp.

- Chavance, P., Ba, I., Krivospichenko, S., 1991 : Les ressources pélagiques de la ZEE mauritanienne. Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou. 23, 28-72.
- Clark, J. R., 1992 : Integrated management of coastal zones. FAO, Fisheries technical paper 327, Rome, 167 pp.
- Conand, C., 1977a : Contribution à l'étude du cycle sexuel et de la fécondité de la sardinelle ronde, *Sardinella aurita* : pêche sardinière dakaroise en 1975 et premier semestre 1976. Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr. 15, 301-312.
- Conand, F., 1977b : Œufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) au Sénégal : distribution, croissance, mortalité, variation d'abondance de 1971 à 1976. Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr. 15, 201-214.
- Conand, F., Fagetti, E., 1971 : Description et distribution saisonnière des larves des côtes du Sénégal et de la Gambie en 1968 et 1969. Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr. 9, 293-318.
- CRODT, 1986 : Rapport du groupe de travail « sardinelles » 21 au 26 mai 1984. Archive. 148, 1-45.
- CRODT, 2004 : Mise en oeuvre de mesures de conservation et gestion durables des ressources halieutiques : le cas du Sénégal. Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 13, 1-101. <http://hdl.handle.net/1834/2885>.
- Csirke, J., 1995 : Fluctuations in abundance of small and mid-sized pelagics. Sci. Mar. 59, 481-490.
- Cury, P., 1988 : Pressions sélectives et nouveautés évolutives : une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, 1099-1108.
- Cury, P., Fontana, A., 1988 : Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest africaines. Aquat. Living. Resour. 1, 165-180.
- Cury, P., Morand, S., 2004 : Biodiversité marine et changements globaux : une dynamique d'interactions où l'humain est partie prenante. In : Biodiversité et changements globaux. Enjeux de société et défis pour la recherche. B. Chevassus-au-Louis et R. Barbault (Eds.). Editions ADPF, Paris, pp. 50-79.
- Cury, P., Roy, C., 1989 : Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46, 670-680.
- Degens, E. T., Deuser, W. G., Haedrich, R. L., 1969 : Molecular structure and composition of fish otoliths. J. Mar. Biol. 2, 105-133.
- Dème, M., Kebe, M., 2000 : Revue sectorielle de la pêche au Sénégal : aspects socio-économiques. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, Dakar, 46 pp.

- Diankha, O., Sow, B. A., Thiaw, M., Gaye, A. T., 2013 : Seasonal variability of sea surface temperature, chlorophyll-a and *Ethmalosa fimbriata* abundance off the coast of Senegal. Journal of Integrated Coastal Zone Management. 13, 491-497.
- Diarra, B., 2006 : Quelles stratégies de suivi, contrôle et surveillance des ressources halieutiques en cogestion locale? Mémoire de fin d'études, Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture (IUPA), Dakar, Sénégal, 86 pp.
- Diop, S., 2008 : Les écosystèmes marins et côtiers de l'Afrique de l'Ouest : enjeux de leur gestion à long termes et de leur développement durable : exemple du Sénégal. <http://www.esalifdiop.org/docs/publications/Article.pdf>.
- Diouf, K., Guilhaumon, F., Aliaume, C., Ndiaye, P., Do Chi, T., Panfili, J., 2009 : Effects of the environment on fish juvenile growth in West African stressful estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 83, 115-125.
- Diouf, P. S., 1991 : Le zooplancton au Sénégal. In : Pêcheries ouest-africaines. P. Cury et C. Roy (Eds.). ORSTOM Editions, Paris, pp. 103-116.
- Diouf, P. S., 1996 : Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest : l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum. Thèse de Doctorat 3e cycle, Université de Montpellier II, Montpellier, 267 pp.
- Ditty, J. G., Forooqi, T., Shaw, R. F., 2005 : Clupeidae : sardines and herrings. In : Early Stages of Atlantic Fishes : An Identification Guide for the Western central north atlantic. W. J. Richards (Eds.). CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 73-99.
- Doghri, S., 1997 : Les effets de la dévaluation du franc CFA sur le commerce extérieur des pays de l'Afrique de l'Ouest. DESS informatique documentaire, Université Claude Bernard Lyon I, Lyon, 25 pp.
- Domain, F., 1976 : Les fonds de pêche du plateau continental ouest-africain entre 17° N et 12°. Doc. Sci Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, DSP. 61, 1-23.
- Domain, F., 1980 : Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien. Thèse de doctorat d'Etat, Université Paris VI, Paris, 480 pp.
- DPM, 2011 : Résultats généraux des pêches maritimes. Ministere de la pêche et des affaires maritimes du Sénégal, Direction des Pêches Maritimes, Dakar, 121 pp.
- DPM, 2013 : Résultats généraux des pêches maritimes Dakar. Ministere de la pêche et des affaires maritimes du Sénégal, Direction des Pêches Maritimes, Dakar, 135 pp.
- Dubrovin, B., Mahfoud, M., Dedah, S., 1991 La ZEE Mauritanienne et son environnement géographique géomorphologique et hydroclimatique. In : L'environnement les ressources et les pêcheries de la ZEE mauritanienne. P. Chavance et M. Girardin (Eds.). Bull Centr Nat Rech Océanogr et des Pêches, Nouadhibou, pp. 6-28.

- Durand, J.-D., Guinand, B., Dodson, J. J., Lecomte, F., 2013 : Pelagic Life and Depth : Coastal Physical Features in West Africa Shape the Genetic Structure of the Bonga Shad, *Ethmalosa fimbriata*. PLoS ONE. 8, e77483. doi :77410.71371/journal.pone.0077483.
- Euber, E., MacCall, A., 1992 : The rise and fall of the California sardine empire. Climate variability, climate change and fisheries. 3, 31-48.
- Fagade, S. O., Olanyan, C. I. O., 1972 : The biology of the west Africa Shad, *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in the Lagos lagoon, Nigeria. J. Fish Biol. 4, 519-533.
- Failler, P., Binet, T., 2010 : « Sénégal. Les pêcheurs migrants : réfugiés climatiques et écologiques ». Hommes et migrations. 1284, 98-111.
- FAO, 2008 : Vue générale du secteur des pêches nationales : la république du Sénégal [ftp://ftp.fao.org/Fi/DOCUMENT/fcp/fr/FI_CP_SN.pdf](http://ftp.fao.org/Fi/DOCUMENT/fcp/fr/FI_CP_SN.pdf).
- FAO, 2010 : La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Rome, 244 pp.
- FAO, 2012 : Report of the FAO working group on the assessment of small pelagic fish off Northwest Africa. FAO, Dakar, Senegal, 21-25 mai 2012, Fisheries Report n° 1036, 256 pp.
- FAO, 2014a : La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. FAO, Rome, 255 pp.
- FAO, 2014b : Statistiques des pêches et de l'aquaculture. FAO, Rome, 105 pp.
- Faye, A., Sarr, A., Thiaw, M., Ndiaye, I., Ba, K., Fall, J., Diouf, M., Thiaw, O. T., Lazar, N., 2014a : Reproductive Biology of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in Senegalese Coastal Waters. Journal of Biology and Life Science. 5, 57-71.
- Faye, A., Sarr, A., Thiaw, M., Ndiaye, I., Ba, K., Fall, J., Diouf, M., Thiaw, O. T., Lazar, N., 2014b : Contribution to the Study of the Growth of the Bonga *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in Senegalese Coastal Waters. Journal of Biology and Life Science 5, 82-94.
- Ferraris, J., 1994 : Prise par unité d'effort et indice d'abondance en pêche artisanale : quelques éléments de réflexion à partir de la pêcherie sénégalaise. In : L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise : documents scientifiques présentés lors du symposium sur l'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise. M. Barry-Gérard, T. Diouf et A. Fonteneau (Eds.). ORSTOM, Paris, pp. 105-120.
- Fontana, A., 1969 : Etude de la maturité sexuelle des sardinelles *Sardinella eba* (Val) et *Sardinella aurita* C. et V. de la région de Pointe Noire. Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr. 7, 101-114.
- Fontana, A., Pianet, R., 1973 : Biologie des Sardinelles, *Sardinella eba* (Val.) et *Sardinella aurita* (Val.) des côtes du Congo et du Gabon. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan. 31, 1-40.
- Fréon, P., 1979 : Relation taille-poids, facteur de condition et indice de mortalité sexuelle : rappels bibliographiques, interprétations, remarques et applications. Doc. Sci Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 68, 144-171.

- Fréon, P., 1984 : La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons : Observations et interprétation. *Oceanologica acta*. 7, 457-468.
- Fréon, P., 1988 : Réponses et adaptations des stocks de Clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération. Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille II, Marseille, 287 pp.
- Fréon, P., 1991 : L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production. In : Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement. P. Cury et C. Roy (Eds.). ORSTOM, Paris, pp. 395-424.
- Fréon, P., El Khattabi, M., Mendoza, J., Guzmàn, R., 1997 : Unexpected reproductive strategy of *Sardinella aurita* off the coast of Venezuela. *Mar. Biol.* 128, 363-372.
- Fréon, P., Mendoza, J., 2003 : La sardina (*Sardinella aurita*) su medio ambiente y explotacion en el oriente de Venezuela / The sardine (*Sardinella aurita*) its environment and exploitation in Eastern Venezuela. IRD Editions, Paris, 549 pp.
- Fréon, P., Stéquert, B., Boëly, T., 1978b : La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'ouest des îles bissagos au nord de la Mauritanie : description des types d'exploitation. *Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr.* 16, 209-228.
- Fréon, P., Stéquert, B., Chabanne, J., Boëly, T., 1978a : Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal : recueil de statistiques de la pêche artisanale aux filets maillants encerclants à Mbour (1972-1973). *Arch. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye*. 62, 1-45.
- Froese, R., 2004 : Keep it simple : three indicators to deal with overfishing. *Fish. Fish.* 5, 86-91
- Furnestin, J., 1952 : Biologie des clupeids méditerranéens. *Vie et milieu*. 41, 37-56.
- Gaamour, A., Ben Abdallah, L., Khemiri, S., Mili, S., 2004 : Etude de la biologie et de l'exploitation des petits pélagiques en Tunisie. *MedSudMed*. 5, 1-19.
- Gaamour, A., Missaoui, H., Ben Abdallah, L., Ahmed, E., 2001 : Paramètres biologiques de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) dans la région du Cap Bon (canal siculo-tunisien). *GFCM*, 26-30 March 2001, Kavala, Greece.
- Gabche, C. E., Hockey, H. U. P., 1995 : Growth, mortality reproduction of *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) in the artisanal fisheries off Kribi, Cameroon. *Fish. Res.* 24, 331-334.
- Garcia, S., 1982 : Distribution, migration and spawning of the main fish resources in the northern CECAF area. *CECAF/ECAF Series 82/25*. FAO, Rome, 9 pp.
- Gerlotto, F., 1976 : Biologie de *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) en Côte-d'Ivoire. 2. Etude la croissance en lagune par la méthode de Petersen. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan*. 7, 1-27.

- Ghéno, Y., de Campos, R., 1972 : Distribution de fréquences de longueur des sardinelles *Sardinella aurita* (Val.) et *Sardinella eba* (Val.) débarquées à Pointe Noire et à St Paul de Loanda (juin 1969-octobre 1970). ORSTOM, Paris, 14 pp.
- Ghéno, Y., Fontana, A., 1981 : Les stocks de petits pélagiques côtiers les sardinelles. In : Milieu marin et ressources halieutiques de la république de la république populaire du Congo. A. Fontana (Eds.). ORSTOM, Paris, pp. 213-257.
- Ghéno, Y., Le Guen, J. C., 1968 : Détermination de l'age et de la croissance de *Sardinella eba* (Val.) dans la région de Pointe Noire. Cah. ORSTOM. Ser. Océanogr. 6, 70-82.
- Gibson, R. N., 1994 : Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flat fish. Neth. J. Sea. Res. 32, 191-206.
- Gourène, A. B., Pouyaud, L., Agnèse, J. F., 1993 : Importance de certaines caractéristiques biologiques dans la structuration génétique des espèces de poissons : le cas de *Ethmalosa fimbriata* et *Sarotherodon melanotheron*. J. Ivoir. Océanol. Limnol. 2, 55-69.
- Grall, C., 1984 : A study of the biology of the Spanish sardine, *Sardinella aurita* in Florida waters. M.S. Thesis, University of Miami, Miami, 107 pp.
- Greenpeace, 2015 : Les pêcheries africaines, un paradis perdu ? Enquête sur les pratiques de pêche illégale par les entreprises chinoises en Afrique de l'ouest. Greenpeace Afrique, Dakar, Sénégal, 11 pp.
- Guyonnet, B., Aliaume, C., Albaret, J. J., Casellas, C., Zerbi, A., Lasserre, G., Do Chi, T., 2003 : Biology of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) and fish diversity in the Ebrie Lagoon (Ivory Coast), a multipolluted environment. ICES J. Mar. Sci. 60, 259-267.
- Holopainen, I. J., Aho, J., Vornanen, M., Huuskonen, H., 1997 : Phenotypic plasticity and predator effects on morphology and physiology of crucian carp in nature and in the laboratory. J. Fish Biol. 50, 781-798.
- Holzlohner, S., Kloxin, G., Pingel, C., Hoffmann, U., 1983 : On the species composition and length/age structure of the most important pelagic fish species off Mauritania in 1982. ICES C.M. 53, 1-12.
- Huet, S., Jolivet, E., Messéan, A., 1992 : La régression non-linéaire : méthodes et applications en biologie. INRA, Paris, 236 pp.
- Kane, E. A. I., 2007 : Comportements Opportunistes et Négociations des Accords de Partenariat Pêche entre l'Union Européenne et les Organisations Régionales des Pêches d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique : Enjeux et défis. Cas de la Commission Sous Régionale des Pêches (CSR) de l'Atlantique Centre-Est. Thèse de doctorat, Agrocampus, Rennes, 481pp.
- Kawasaki, T., 1983: Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology. FAO Fisheries Report. 291, 1065-1080.

- Kébé, M., 1994 : Principales mutations de la pêche artisanale maritime sénégalaise. In : L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise : documents scientifiques présentés lors du symposium sur l'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise. M. Barry-Gérard, T. Diouf et A. Fonteneau (Eds.). ORSTOM, Paris, pp. 43-58.
- Kimura, D. K., 1980 : Likelihood methods for the Von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*. 77, 765-776.
- Kromer, J. L., Insali, P., Gomes, M., 1994 : Rio Grande de Buba. Bio-écologie et paramètres environnementaux. UICN Ministère des Pêches de Guinée-Bissau, 119 pp.
- Krzepkowski, M., 1981 : Growth characteristics of gilt sardine (*Sardinella aurita* Val., 1847) from Senegal. *Acta Ichthyol. Piscatoria*. 11, 27-38.
- Lae, R., Lévéque, C., 1999 : La pêche. In : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme. C. Lévéque et D. Paugy (Eds.). IRD Editions, Paris, pp. 385-424.
- Laléyé, P., 1995 : Écologie comparée de deux espèces de Chrysichthys, poissons siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo au Bénin. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 152 pp.
- Lamagat, J. P., Albergel, J., Bouchez, J.-M., Descroix, L., 1990 : Monographie hydrologique du fleuve Gambie. ORSTOM, OMVG, Dakar, 247 pp.
- Le Fur, J., Cury, P., Laloë, F., Durant, M.-H., Chaboud, C., 1999 : Co-variabilité des systèmes halieutiques. *Natures Sciences Sociétés*. 7, 19-32.
- Lecointre, G., Le Guyader, H., 2013 : Classification phylogénétique du vivant. Tome 2, éditions Belin, 8, rue Férou 75278, Paris Cedex 06, France, 602 pp.
- Le Roux, S., Noël, J., 2007 : « Mondialisation et conflits autour des ressources halieutiques. ». *Ecologie et politique*. 1, 69-82.
- Lenselink, N. M., 2003 : Participation à la gestion des pêches artisanales pour améliorer les moyens d'existence des pêcheurs en Afrique de l'Ouest. Une synthèse des entretiens et des études de cas réalisés en Mauritanie, au Sénégal, en Guinée et au Ghana. FAO. Document technique sur les pêches. No. 432, Rome, 85 pp.
- Lévéque, C., 2006 : Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. IRD éditions, Paris, pp. 177-190
- Lombarte, A., Castellón, A., 1991 : Interspecific and intraspecific otolith variability in the genus *Merluccius* as determined by image analysis. *Can. J. Zool.* 69, 2442-2449.

- Lomiri, S., Scacco, U., Mostarda, E., Andaloro, F., 2008 : Size-related and temporal variation in the diet of the round sardinella, *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), in the central Mediterranean Sea. *J. Appl. Ichthyol.* 24, 539-545.
- Longhurst, A. R., Pauly, D., 1987 : *Ecology of Tropical Oceans*. Academic Press Inc, San Diego, California, 407 pp.
- Lowe-Mc Connell, R. H., 1987 : *Ecological studies in tropical fish communities*. University Press, Cambridge, 382 pp.
- Mainguy, P., Doutre, M., 1958 : Variations annuelles de la teneur en matières grasses de trois clupéides du Sénégal (*Ethmalosa fimbriata* bowdich, *Sardinella eba* C. V., *Sardinella aurita* C. V.). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* 22, 304-321.
- Marchal, E., 1991 : Nanisme et sédentarité chez certaines espèces de poissons pélagiques : deux aspects d'une même réponse à des conditions défavorables. In : *Pêches uest africaines : variabilité, instabilité et changement*. P. Cury et C. Roy (Eds.). ORSTOM, Paris, pp. 201-208.
- Marfaing, L., 2005 : Du savoir-faire sénégalais en matière de pêche sur les côtes mauritanienes : une approche historique. *Stichproben. Wiener Zeitschrift für kritische Afrikastudien.* 8, 69-98.
- Matsuura, Y., 1996 : A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine, *Sardinella aurita*, population during the 1974-75 spawning season. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 17, 29-35.
- Maus, J. W. V., 1997 : Sustainable fisheries information management in Mauritania : implications of institutional linkages and the use of remote sensing for improving the quality and interpretation of fisheries and biophysical data. Ph. D. thesis, University of Warwick, Coventry, 269 pp.
- Mbengue, M., 2012 : Rapport de capitalisation des initiatives de gestion des petits pélagiques au Sénégal. Projet gestion petits pélagiques CSRP-012, Dakar, Sénégal, 30 pp.
- McFarlane, G. A., Geffen, A., 2000 : Section 3 : Otoliths in studies of populations. *Fish. Res.* 46, 189-190.
- Mendoza, J. J., Fréon, P., Guzmán, R., 1994 : VPA estimates of fishing mortality and exploited biomass from *Sardinella aurita* catch-at-length data in eastern Venezuela. *Naga, the ICLARM Quarterly.* 17, 32-36.
- Meunier, F. J., 1988 : Determination de l'âge individuel chez les les Ostéichthyens à l'aide de la squelettochronologie : historique et méthodologie. *Acta OEcologica.* 9, 299-329.
- Misund, O. A., Kolding, J., Fréon, P., 2002 : Fish Capture Devices in Industrial and Artisanal Fisheries and their Influence on Management. In : *Handbook of Fish Biology and Fisheries*. P. J. B. Hart et J. D. Reynolds (Eds.). Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, pp. 13-36.

- Morales-Nin, B., 1987 : Ultrastructure of the organic and inorganic constituents of otolith of the sea bass. In : Age and Growth of Fish. R. C. Summerfelt et G. E. Hall (Eds.). Iowa State University Press, Ames, pp. 331-343.
- Mustać, B., Sinović, G., 2012 : Reproductive cycle of gilt sardine, *Sardinella aurita*, Valenciennes 1847, in the eastern middle Adriatic Sea. J. Appl. Ichthyol. 28, 46-50.
- N'goran, Y. N., 1991 : Reproduction de *Ethmalosa fimbriata* (bowdich) en lagune Aby (Côte d'ivoire). J. Ivoir. Océanol. Limnol. 1, 23-32.
- Ndiaye, W., Thiaw, M., Diouf, K., Ndiaye, P., Thiaw, O. T., Panfili, J., 2013 : Changes in population structure of the white grouper *Epinephelus aeneus* as a result of long-term overexploitation in Senegalese waters. African Journal of Marine Sciences. 35, 465-472.
- Nieland, H., 1980 : Qualitative and quantitative aspects of the food of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in the Ebrie lagoon (Ivory Coast). Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan. 11, 85-95.
- Nieland, H., 1982 : The food of *Sardinella aurita* (Val.) and *Sardinella eba* (Val.) off the coast of Senegal. Rapp. p-Verb. Reuni. Cons. Int. Explor. Mer. 180, 369-373.
- Osorio, B., 1905 : Indicacoes de algunas species que devem ser acrescentados a fauna ichthyologica da Ilha de S. Tomé. Jornal de Ciencias Mathematicas, Physicas et Naturaes. 7, 156-158.
- Oul sidina, E., Samb, B., Corten, A., 2006 : Croissance de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) dans la région nord-ouest africaine, estimée à partir des fréquences de tailles. FAO, Atelier du 28 au 31 août à Nouakchott (Mauritanie), 14 pp.
- Oyelese, O. A., 2006 : Utilization of Processed Bonga (*Ethmalosa fimbriata*) Fish in the Diet of Clarias Gariepinus Fingerlings (Burchell1882). J. Fis. Int. 1, 82-86.
- Palomera, I., Sabatés, A., 1990 : Co-occurrence of *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* eggs and larvae in the northwestern Mediterranean. Sci. Mar. 54, 61-67.
- Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J., 2002 : Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer-IRD, Brest, France, 464 pp.
- Panfili, J., Durand, J. D., Mbow, A., Guinand, B., Diop, K., Kantoussan, J., Thior, D., Thiaw, O. T., Albaret, J. J., Lae, R., 2004a : Influence of salinity on life history traits of the bonga shad *Ethmalosa fimbriata* (Pisces, Clupeidae) : comparison between the Gambia and Saloum estuaries. Mar. Ecol. Prog. Ser. 270, 241-257.
- Panfili, J., Mbow, A., Durand, J. D., Diop, K., Diouf, K., Thior, D., Ndiaye, P., Laë, R., 2004b : Influence of salinity on the life-history traits of the West African black-chinned tilapia (*Sarotherodon melanotheron*) : comparison between the Gambia and Saloum estuaries. Aquat. Living. Resour. 17, 65-74.
- Pauly, D., 1980 : On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. int. Explor. Mer. 39, 175-192.

- Pauly, D., Moreau, J., 1997 : Méthode pour l'évaluation des ressources halieutiques. Cépaduès éditions, Toulouse, France, 288 pp.
- Pauly, D., Munro, J. L., 1984 : Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. Fishbyte (Philippines). 2, 1-21.
- Pauly, D., Tsukayama, I., 1987 : The peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem : the decades of change. ICLARM studies and Reviews, 351 pp.
- Pham-Thuoc, P., Szypula, J., 1973 : Biological characteristics of Gilt sardine *Sardinella aurita* Cuv et Val. 1847, from northwest african coast. Act. Ichth. Pisc. 3, 19-37.
- Poinsard, F., Le Guen, J. O., 1975 : Observations sur la définition d'une unité d'effort de pêche applicable à la pêcherie de thon de l'Atlantique tropical africain. Rapp. p-Verb. Reuni. Cons. Int. Explor. Mer. 168, 39-43.
- Postel, E., 1950 : Note sur *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich). Bull. Serv. Elev. Ind. Anim. AOF. 3, 45-59.
- Postel, E., 1955 : Résumé des connaissances acquises sur les Clupéidés de l'Ouest-africain. Rapp. p-Verb. Reuni. Cons. Int. Explor. Mer. 137, 14-16.
- Postel, E., 1960 : Rapport sur la sardinelle (*Sardinella aurita* valenciennes) (Atlantique africain). FAO fisheries Biology Synopsis. 6, 1-47.
- Quaatey, S. N. K., Maravelias, C. D., 1999 : Maturity and spawning pattern of *Sardinella aurita* in relation to water temperature and zooplankton abundance off Ghana, West Africa. J. Appl. Ichthyol. 15, 63-69.
- Rebert, J. P., 1983 : Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais. Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 89, 1-99.
- Redoulès, O., 2009 : L'économie mondiale en 2008 : du ralentissement à la récession. Insee, l'économie française, France, 41 pp.
- Regan, C. T., 1917 : A revision of the clupeoid fishes of the genera *Pomolobus*, *Brevoortia* and *Dorosoma* and their allies. Ann. Mag. Nat. Hist. Ser (8) 19, 297-316.
- Ricker, W. E., 1980 : Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. Bull. Fish. Res. Board Can. 191F, 1-409.
- Rochette, C., 1974 : Le Bassin du fleuve Sénégal. IRD Editions, Paris, 391 pp.
- Roy, C., 1992 : Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest : analyse et modélisation. Thèse de doctorat, ORSTOM éditions, Paris, 146 pp.

- Roy, C., 1998 : Upwelling-induced retention area off Senegal : a mechanism to link upwelling and retention processes. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 19, 89-98.
- Roy, C., Cury, P., Fontana, A., Belvèze, H., 1989 : Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des Clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'Ouest. *Aquat. Living. Resour.* 2, 21-29.
- Salem, M., El Aiatt, A. A., Ameran, M., 2010 : Age, Growth, Mortality and Exploitation Rates of Round Sardinella, *Sardinella aurita* from the East Mediterranean Sea (North Sinai Coast). *Res. J. Fish. Hydrobiol.* 5, 32-38.
- Sall, M., 1983 : Dynamique et morphogenèse actuelles du Sénégal occidental. Thèse doctorat d'Etat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 604 pp.
- Salzen, E. A., 1958 : Observations on biology of *Ethmalosa fimbriata*. *Bull. IFAN, Ser. A.* 18, 335-371.
- Samb, B., Mendy, A. N., 2004 : Dynamique du réseau trophique de l'écosystème sénégambien en 1990. In : West African marine ecosystems : models and fisheries impacts. M. L. D. Palomares et D. Pauly (Eds.). Fisheries Centre Research Report, University of British Columbia, Canada, pp. 57-70.
- Samb, B., Sidina ould, D., Pavel, G., 2010 : Evaluation des ressources pélagiques. In : Evaluation des ressources et aménagement des pêches de la ZEE mauritanienne. P. Labrosse, K. Brahim, M. Ould Sidi et D. Gascuel (Eds.). IMROP, Nouadhibou, Mauritanie, 11-16 décembre 2006, pp. 73-82.
- Samba, O., Diouf, k., Ndiaye, W., Mbengue, M., Diop, K., Ndiaye, P., Panfili, J., 2016 : Evolution of catches and variability in the life history traits of the bonga shad, *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825), a highly targeted small pelagic fish in West African coastal waters. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies.* 4, 98-108.
- Sampson, D. B., Al-Jufaily, S. M., 1999 : Geographic variation in the maturity and the growth schedules of English sole along the US west coast. *J. Fish Biol.* 54, 1-17.
- Scheffers, W. J., 1973 : Etude de *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) dans la région sénégambienne. 2. La pêche et le stock des ethmaloses dans le fleuve Sénégal et la région de Saint-Louis. *Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, DSP.* 45, 1-22.
- Scheffers, W. J., Conand, F., 1976 : A study on *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in the Senegambian region. 3. The biology of Ethmalosa in the Gambian waters. *Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, DSP.* 59, 1-19.
- Scheffers, W. J., Conand, F., Reizer, C., 1972 : Etude de *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) dans la région sénégambienne. 1. Reproduction et lieux de ponte dans le fleuve Sénégal et la région de Saint-Louis. *Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, DSP.* 44, 1-17.

- Scheffers, W. J., Correa, J. B., 1971 : Investigations on the biology and fisheries of bonga (*Ethmalosa fimbriata* Bowdich) in the Senegambia. Project Survey and development of pelagic fish resources. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 5, 1-10.
- Seret, B., 1990 : Poissons de mer de l'Ouest africain tropical. Initiation-documentations techniques. ORSTOM, Paris, 460 pp.
- Showers, P. A. T., 1996 : Comparative growth performance for species of the family Clupeidae of Sierra Leone. Naga. ICLARM Quart. 19, 42-45.
- Sidibé, A., 2010 : Evaluation-Test sur l'utilisation de la Liste Rouge de l'IUCN comme outil de suivi des risques de perte de biodiversité : Application aux espèces de poissons démersaux côtiers exploités en Afrique du Nord Ouest. IUNC, Programme marin et côtier pour l'Afrique Centrale et Occidentale, 67 pp.
- Sikoki, F. D., Hart, S. A., 1999 : Studies on the fish and fisheries of the Brass river system and adjoining coastal waters in Bayelsa State Nigeria. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 2, 63-67.
- Sinclair, A. F., Murawski, S. A., 1997 : Why have groundfish stocks declined in the northwest Atlantic? In : Northwest Atlantic groundfish : perspectives on a fishery collapse. J. Boreman, B. S. Nakashima, J. A. Wilson et R. L. Kendall (Eds.). American Fisheries Society, Bethesda, pp. 71-93.
- Sow, F. N., Samb, B., Heqin, C., 2010 : Diagnoses of the State of Exploitation of Small Pelagic Stocks in Senegal by the Use of Size Frequencies : Case of Sardinella. Resources Science. 32, 620-626.
- Stearns, S. C., Crandall, R. E., 1984 : Plasticity for age and size at sexual maturity : a life history response to unavoidable stress. In : Fish reproduction : strategies and tactics. G. W. Potts et R. J. Wootton (Eds.). Academic Press, London, pp. 13-33.
- Stretta, J.-M., 1988 : Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. In : Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. A. Fonteneau et J. Marcille (Eds.). FAO, document Technique sur les Pêches Rome, pp. 269-316.
- Teisson, C., 1982 : Application de la théorie d'Ekman à l'étude des courants et des remontées d'eaux profondes le long des côtes sénégalaises. Doc. Sci. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 106, 1-80.
- Teisson, C., 1983 : Le phénomène d'upwelling le long des côtes du Sénégal : caractéristiques physiques et modélisation. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye. 123, 1-74.
- Ter Hofstede, R., Dickey-Collas, M., 2006 : An investigation of seasonal and annual catches and discards of the Dutch pelagic freezer-trawlers in Mauritania, Northwest Africa. Fish. Res. 77, 184-191.

- Ter hofstede, R., Dickey-Collas, M., Mantingh, I. T., Wagué, A., 2007 : The link between migration, the reproductive cycle and condition of *Sardinella aurita* off Mauritania, north-west Africa. *J. Fish Biol.* 71, 1293-1302.
- Thiam, E. H. I., Singh, V. P., 1988 : Spatial and temporal variability of salinity in Casamance River Basin, Southern Senegal, West Africa. *Hydrol. Process.* 12, 1095-1110.
- Thiao, D., 2009 : Un système d'indicateurs de durabilité des pêcheries côtières comme outil de gestion intégrée des ressources halieutiques sénégalaises. Thèse de Doctorat, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Sète, France, 299 pp.
- Trippel, E. A., 1998 : Egg size and viability and seasonal offspring production of young Atlantic cod. *Transactions of the American Fisheries Society.* 127, 339-359.
- Tsikliras, A. C., Antonopoulou, E., 2006 : Reproductive biology of round Sardinella (*Sardinella aurita*) in the northeastern mediterranean. *Sci. Mar.* 70, 281-290.
- Tsikliras, A. C., Koutrakis, E. T., Stergiou, K. I., 2005 : Age and growth of Sardinella (*Sardinella aurita*) in the northeastern mediterranean. *Sci. Mar.* 69, 231-240.
- Venema, S. C., Christensen, J. M., Pauly, D., 1988 : Contributions to tropical fisheries biology. FAO Fisheries Report, No. 389, Papers prepared by the participants at the FAO/DANIDA Follow-Up Training Courses on Fish Stock Assessment in the Tropics, Hirtshals, Denmark, 5-30 May 1986 and Manila, Philippines, 12 January - 6 February 1987, 519 pp.
- Wagué, A., Mbodj, O. B., 2002 : Etude de quelques aspects de la reproduction chez la sardinelle ronde *Sardinella aurita* (Valencienne, 1847) péchée le long des côtes mauritanienes. *Bull. Centr. Nat. Rech. Océanogr. et des Pêches, Nouadhibou.* 29, 13-18.
- Watabe, N., Tanaka, K., Yamada, J., Dean, J. M., 1982 : Scanning electron microscope observations of the organic matrix in the otolith of the Teleosteens fish *Fundulus heteroclitus* (Linnaeus) and *Tilapia nilotica* (Linnaeus). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58, 127-134.
- Watts, J. C. D., 1957 : The chemical composition of West African fish. 1. The West African Shad, *Ethmalosa dorsalis* (C. et V.), From the Sierra Leone River Estuary. *Bull. IFAN, Ser. A.* 19, 539-547.
- Whitehead, P. J. P., 1967 : The West African Shad, *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825) : synonymy, neotype. *J. Nat. Hist.* 1, 585-593.
- Wooster, W. S., Bakun, A., McLain, D. R., 1976 : The seasonal upwelling cycle along the Eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.* 34, 131-141.
- Wootton, R. J., 1990 : Ecology of teleost fishes. Chapman and Hall, London, 404 pp.
- Wootton, R. J., 1998 : Ecology of teleost fishes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 386 pp.

Références

Youmbi, J. T., Djama, T., Gabche, C., 1991 : Reproduction patterns of *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) off Cameroon. J. Appl. Ichthyol. 7, 60-63.

Annexes

Annexe 1. Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition (Kc) de *S. aurita* en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aoû | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Hann (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,00 | 0,56 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,00 | 0,61 | 0,92 | 0,01 | | | | | | | | |
| Jun | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | | | | | | | |
| Jul | 0,69 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,42 | | | | | | |
| Aoû | 0,78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,89 | 0,57 | | | | | |
| Sep | 0,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,53 | 0,86 | 0,79 | | | | |
| Oct | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,85 | 0,34 | 0,65 | 0,49 | | | |
| Nov | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,98 | 0,61 | 0,81 | 0,68 | 0,68 | | |
| Déc | 0,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 0,96 | 0,83 | 0,90 | 0,34 | 0,74 | |
| Mbour (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,97 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 1,05 | 0,81 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,29 | 0,04 | 0,27 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,56 | 0,33 | 0,47 | 0,03 | | | | | | | | |
| Jun | 0,62 | 0,49 | 0,59 | 0,06 | 1,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,05 | 0,01 | 0,04 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | | | | | | |
| Aoû | 0,20 | 0,06 | 0,15 | 0,04 | 0,17 | 0,26 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,36 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,60 | 0,72 | | |
| Déc | 0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,00 | 0,48 | 0,81 | 0,32 | 0,63 | |
| Joal (c) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,78 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 1,00 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,05 | 0,97 | 0,46 | | | | | | | | | |
| Mai | 1,00 | 0,83 | 1,00 | 0,07 | | | | | | | | |
| Jun | 0,68 | 0,01 | 0,12 | 0,00 | 0,67 | | | | | | | |
| Jul | 0,03 | 0,95 | 0,38 | 1,00 | 0,05 | 0,00 | | | | | | |
| Aoû | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,67 | 0,00 | 0,36 | | | | |
| Oct | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,97 | 0,00 | 0,06 | 1,00 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,65 | 1,00 | 0,99 | | |
| Déc | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,91 | 0,00 | 0,11 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

Annexe 2: Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition (Kc) de *S. maderensis* en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aoû | Sep | Oct | Nov | Déc |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Hann (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,00 | 0,67 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,00 | 0,48 | 0,32 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,09 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | | | | | | | | |
| Jun | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | | | | | | | |
| Jul | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,67 | 0,14 | | | | | | |
| Aoû | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,91 | 0,17 | | | | | |
| Sep | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,62 | 0,22 | 0,77 | | | | |
| Oct | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,98 | 0,15 | 0,74 | 0,18 | 0,35 | | | |
| Nov | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,49 | 0,89 | 0,22 | 0,97 | 0,80 | 0,25 | | |
| Déc | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,34 | 0,02 | 0,54 | 0,17 | 0,03 | 0,41 | |
| Mbour (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,91 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,06 | 0,08 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,94 | 0,88 | 0,11 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,38 | 0,35 | 0,00 | 0,41 | | | | | | | | |
| Jun | 0,15 | 0,21 | 0,61 | 0,24 | 0,03 | | | | | | | |
| Jul | 0,35 | 0,47 | 0,01 | 0,47 | 0,92 | 0,02 | | | | | | |
| Aoû | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,99 | 0,01 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,84 | | |
| Déc | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 0,63 | 0,75 | |
| Joal (c) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,09 | 0,07 | 0,99 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,17 | 0,14 | 0,98 | 1,00 | | | | | | | | |
| Jun | 0,92 | 0,93 | 0,19 | 0,86 | 0,96 | | | | | | | |
| Jul | 1,00 | 0,99 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,70 | | | | | | |
| Aoû | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 0,19 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,62 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,89 | 1,00 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,99 | 0,95 | 0,79 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,96 | 0,87 | | |
| Déc | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,99 | 0,96 | 0,16 | 0,00 | 0,01 | 0,88 | 0,73 | 1,00 | |

Annexe 3: Comparaison des moyennes mensuelles de facteur de condition (Kc) de *E. fimbriata* en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Mbour (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,00 | 0,01 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,00 | 0,28 | 0,07 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,00 | 0,71 | 0,00 | 0,12 | | | | | | | | |
| Jun | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | | | | | | |
| Aôu | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 0,07 | 0,92 | 0,00 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | | |
| Déc | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,69 | 0,16 | |
| Joal (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,01 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,00 | 0,12 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | | | | | | | | |
| Jun | 0,00 | 0,13 | 0,78 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,12 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | |
| Aôu | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,62 | 0,46 | 0,01 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,10 | 0,91 | 0,00 | 0,01 | 0,47 | 0,00 | 0,03 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,02 | 0,41 | 0,01 | 0,24 | 0,06 | 0,00 | 0,16 | 0,20 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,07 | 0,80 | 0,00 | 0,07 | 0,29 | 0,00 | 0,08 | 0,63 | 0,65 | | |
| Déc | 0,01 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |

Annexe 4. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. aurita* de Hann en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,46 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,86 | 0,84 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,62 | 0,26 | 0,68 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,36 | 0,68 | 1,00 | 0,06 | | | | | | | | |
| Jun | 0,71 | 0,41 | 0,40 | 0,97 | 0,22 | | | | | | | |
| Jul | 0,89 | 0,48 | 0,89 | 0,58 | 0,51 | 0,40 | | | | | | |
| Aôu | 0,04 | 0,38 | 0,18 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | | | | | |
| Sep | 0,72 | 0,60 | 0,84 | 0,20 | 0,25 | 0,14 | 0,36 | 0,40 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,02 | 0,00 | | | |
| Nov | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,27 | 0,01 | 0,83 | | |
| Déc | 0,03 | 0,10 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,31 | 0,00 | 0,09 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,25 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,14 | 0,50 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,82 | 0,44 | 0,10 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,44 | 0,67 | 0,57 | 0,51 | | | | | | | | |
| Jun | 0,40 | 0,04 | 0,02 | 0,42 | 0,04 | | | | | | | |
| Jul | 0,05 | 0,02 | 0,00 | 0,06 | 0,11 | 0,54 | | | | | | |
| Aôu | 0,20 | 0,60 | 0,91 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,01 | 0,19 | 0,53 | 0,06 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,32 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,49 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,53 | 0,98 | | |
| Déc | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,58 | 0,17 | 0,26 | |

Annexe 5: Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. aurita* de Mbour en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,25 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,95 | 0,45 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,96 | 0,06 | 0,57 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,86 | 0,01 | 0,89 | 0,42 | | | | | | | | |
| Jun | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,05 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | | | | | | |
| Aôu | 0,26 | 0,00 | 0,29 | 0,11 | 0,25 | 0,28 | 0,34 | | | | | |
| Sep | 0,16 | 0,00 | 0,39 | 0,02 | 0,13 | 0,07 | 0,12 | 1,00 | | | | |
| Oct | 0,14 | 0,00 | 0,23 | 0,00 | 0,01 | 0,12 | 0,83 | 0,57 | 0,20 | | | |
| Nov | 0,73 | 0,13 | 0,68 | 0,83 | 0,97 | 0,09 | 0,13 | 0,26 | 0,27 | 0,32 | | |
| Déc | 0,14 | 0,00 | 0,23 | 0,01 | 0,04 | 0,64 | 0,92 | 0,65 | 0,48 | 1,00 | 0,24 | |
| Male (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,67 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,01 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,34 | 0,82 | 0,00 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | | | | | | | | |
| Jun | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,50 | 0,00 | | | | | | |
| Aôu | 0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,18 | 0,52 | 0,03 | 0,49 | | | | | |
| Sep | 0,02 | 0,08 | 0,00 | 0,08 | 0,71 | 0,04 | 0,78 | 0,53 | | | | |
| Oct | 0,01 | 0,06 | 0,00 | 0,19 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,37 | 0,80 | | | |
| Nov | 0,27 | 0,25 | 0,18 | 0,57 | 0,83 | 0,01 | 0,82 | 1,00 | 0,36 | 0,97 | | |
| Déc | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,10 | 0,80 | 0,00 | 0,61 | 0,96 | 0,88 | 0,16 | 1,00 | |

Annexe 6. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. aurita* de Joal en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,40 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,51 | 0,36 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,58 | 0,00 | 0,60 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,18 | 0,00 | 1,00 | 0,68 | | | | | | | | |
| Jun | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | | | | | | | |
| Jul | 0,21 | 0,00 | 0,89 | 0,82 | 0,78 | 0,12 | | | | | | |
| Aôu | 0,98 | 0,37 | 0,75 | 0,25 | 0,13 | 0,01 | 0,18 | | | | | |
| Sep | 0,64 | 0,18 | 0,36 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,38 | | | | |
| Oct | 0,58 | 0,16 | 0,60 | 0,43 | 0,18 | 0,03 | 0,25 | 0,71 | 0,39 | | | |
| Nov | 0,78 | 0,37 | 0,36 | 0,56 | 0,91 | 0,03 | 0,71 | 0,79 | 0,35 | 1,00 | | |
| Déc | 0,21 | 0,01 | 0,68 | 0,47 | 0,84 | 0,33 | 0,63 | 0,71 | 0,01 | 0,18 | 0,57 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,07 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,58 | 0,28 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,01 | 0,02 | 0,03 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,37 | | | | | | | | |
| Jun | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | | | | | | | |
| Jul | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,41 | 0,00 | 0,05 | | | | | | |
| Aôu | 0,01 | 0,15 | 0,34 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | | | | | |
| Sep | 0,01 | 0,05 | 0,22 | 0,13 | 0,84 | 0,04 | 0,01 | 0,16 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,31 | 0,38 | 0,50 | 0,69 | 0,09 | 0,21 | | | |
| Nov | 0,69 | 0,08 | 0,70 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| Déc | 0,03 | 0,52 | 0,29 | 0,09 | 0,18 | 0,03 | 0,02 | 0,50 | 0,37 | 0,03 | 0,02 | |

Annexe 7. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. maderensis* de Hann en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,88 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,05 | 0,02 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,20 | 0,19 | 0,34 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,03 | | | | | | | | |
| Jun | 0,35 | 0,60 | 0,03 | 0,16 | 0,01 | | | | | | | |
| Jul | 0,80 | 0,68 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,58 | | | | | | |
| Aôu | 0,80 | 0,77 | 0,68 | 1,00 | 0,47 | 0,43 | 0,48 | | | | | |
| Sep | 0,18 | 0,10 | 0,99 | 0,38 | 0,57 | 0,12 | 0,06 | 0,40 | | | | |
| Oct | 0,15 | 0,31 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,92 | 0,28 | 0,35 | 0,05 | | | |
| Nov | 0,57 | 0,91 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,85 | 0,77 | 0,39 | 0,07 | 0,46 | | |
| Déc | 0,77 | 0,71 | 0,01 | 0,13 | 0,00 | 0,52 | 0,71 | 0,63 | 0,12 | 0,12 | 0,56 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,73 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,11 | 0,09 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,81 | 0,37 | 0,28 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | |
| Jun | 0,15 | 0,11 | 1,00 | 0,32 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,50 | 0,83 | 0,07 | 0,15 | 0,17 | 0,06 | | | | | | |
| Aôu | 0,21 | 0,25 | 0,07 | 0,15 | 0,71 | 0,02 | 0,41 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | |
| Oct | 0,14 | 0,42 | 0,00 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 0,62 | 0,25 | 0,00 | | | |
| Nov | 0,04 | 0,14 | 0,00 | 0,01 | 0,46 | 0,00 | 0,15 | 0,47 | 0,00 | 0,25 | | |
| Déc | 0,90 | 0,70 | 0,18 | 0,22 | 0,02 | 0,14 | 0,29 | 0,27 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | |

Annexe 8. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. maderensis* de Mbour en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,46 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,41 | 0,55 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,51 | 0,80 | 0,91 | | | | | | | | | |
| Mai | 1,00 | 0,01 | 0,04 | 0,25 | | | | | | | | |
| Jun | 0,35 | 0,90 | 0,91 | 0,77 | 0,17 | | | | | | | |
| Jul | 0,67 | 0,88 | 0,81 | 0,62 | 0,15 | 0,71 | | | | | | |
| Aôu | 0,65 | 0,13 | 0,17 | 0,38 | 0,60 | 0,31 | 0,43 | | | | | |
| Sep | 0,82 | 0,04 | 0,08 | 0,25 | 0,96 | 0,31 | 0,35 | 0,96 | | | | |
| Oct | 1,00 | 0,08 | 0,07 | 0,23 | 0,64 | 0,20 | 0,29 | 0,92 | 0,91 | | | |
| Nov | 0,76 | 0,11 | 0,13 | 0,38 | 0,16 | 0,35 | 0,37 | 0,74 | 0,55 | 0,61 | | |
| Déc | 0,87 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,25 | 0,39 | 0,40 | 0,76 | 0,56 | 0,68 | 0,97 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,22 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,70 | 0,23 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,82 | 0,19 | 0,95 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,31 | 0,19 | 0,15 | 0,19 | | | | | | | | |
| Jun | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,98 | | | | | | | |
| Jul | 0,53 | 0,00 | 0,28 | 0,16 | 0,02 | 0,00 | | | | | | |
| Aôu | 0,54 | 1,00 | 0,55 | 0,74 | 0,41 | 0,05 | 0,05 | | | | | |
| Sep | 0,08 | 0,31 | 0,06 | 0,04 | 0,74 | 0,63 | 0,00 | 0,25 | | | | |
| Oct | 0,21 | 0,01 | 0,02 | 0,12 | 0,85 | 0,57 | 0,00 | 0,03 | 0,38 | | | |
| Nov | 0,12 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,93 | 0,86 | 0,00 | 0,21 | 0,65 | 0,41 | | |
| Déc | 0,06 | 0,12 | 0,08 | 0,02 | 0,82 | 0,78 | 0,00 | 0,30 | 0,81 | 0,50 | 0,84 | |

Annexe 9. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *S. maderensis* de Joal en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,92 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,58 | 0,44 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,98 | 0,64 | 0,20 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | |
| Jun | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,48 | | | | | | | |
| Jul | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,21 | 0,01 | 0,26 | | | | | | |
| Aôu | 0,40 | 0,23 | 0,08 | 0,53 | 0,03 | 0,10 | 0,47 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,54 | 0,52 | 0,03 | 0,02 | | | | |
| Oct | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 0,82 | 0,02 | 0,07 | 0,85 | | | |
| Nov | 0,38 | 0,08 | 0,10 | 0,18 | 0,35 | 0,31 | 0,91 | 0,86 | 0,25 | 0,27 | | |
| Déc | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,88 | 0,93 | 0,15 | 0,12 | 0,84 | 1,00 | 0,31 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 1,00 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,92 | 0,92 | 0,84 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | |
| Jun | 0,21 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | | | | | | | |
| Jul | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,25 | | | | | | |
| Aôu | 0,50 | 0,29 | 0,21 | 0,23 | 0,88 | 0,96 | 0,97 | | | | | |
| Sep | 0,27 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,54 | 0,76 | 0,97 | 0,87 | | | | |
| Oct | 0,10 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,28 | 0,44 | 0,46 | 0,96 | 0,92 | | | |
| Nov | 0,90 | 1,00 | 0,73 | 0,66 | 0,01 | 0,18 | 0,01 | 0,34 | 0,18 | 0,09 | | |
| Déc | 0,39 | 0,20 | 0,22 | 0,44 | 0,05 | 0,90 | 0,03 | 0,52 | 0,53 | 0,24 | 0,54 | |

Annexe 10. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *E. fimbriata* de Mbour en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,00 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,54 | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,05 | 0,12 | 0,28 | | | | | | | | | |
| Mai | 1,00 | 0,00 | 0,48 | 0,07 | | | | | | | | |
| Jun | 0,45 | 0,00 | 0,31 | 0,01 | 0,42 | | | | | | | |
| Jul | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,59 | 0,00 | 0,03 | | | | | | |
| Aôu | 0,00 | 0,79 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,79 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,24 | 0,05 | 0,95 | 0,01 | 0,01 | 0,49 | 0,28 | 0,55 | 0,00 | | |
| Déc | 0,00 | 0,87 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,59 | 0,11 | 0,01 | 0,12 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,01 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,01 | 0,25 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,70 | 0,91 | 0,97 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,59 | 0,34 | 0,08 | 0,45 | | | | | | | | |
| Jun | 0,96 | 0,02 | 0,01 | 0,52 | 0,48 | | | | | | | |
| Jul | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,22 | 0,32 | | | | | | |
| Aôu | 0,27 | 0,51 | 0,18 | 0,68 | 0,68 | 0,31 | 0,04 | | | | | |
| Sep | 0,00 | 0,04 | 0,41 | 1,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,02 | 0,34 | 0,96 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,74 | | | |
| Nov | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,51 | | |
| Déc | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,16 | 0,55 | |

Annexe 11. Comparaison des moyennes mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) des femelles (a) et des mâles (b) de *E. fimbriata* de Joal en utilisant le test U Mann-Whitney. Les différences significatives entre les mois sont indiquées en rouge ($P < 0,05$)

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | Aôu | Sep | Oct | Nov | Déc |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Femelle (a) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,30 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,34 | 0,25 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,08 | 0,04 | 0,67 | | | | | | | | | |
| Mai | 0,02 | 0,02 | 0,13 | 0,18 | | | | | | | | |
| Jun | 0,36 | 0,83 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | | | | | | | |
| Jul | 0,29 | 0,74 | 0,11 | 0,03 | 0,03 | 0,75 | | | | | | |
| Aôu | 0,41 | 0,85 | 0,28 | 0,08 | 0,02 | 0,93 | 0,98 | | | | | |
| Sep | 0,53 | 0,99 | 0,41 | 0,19 | 0,03 | 0,97 | 0,84 | 0,90 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,14 | | | |
| Nov | 0,02 | 0,18 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,08 | 0,19 | 0,31 | 0,29 | | |
| Déc | 0,02 | 0,30 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,24 | 0,32 | 0,45 | 0,26 | 0,95 | |
| Mâle (b) | | | | | | | | | | | | |
| Jan | | | | | | | | | | | | |
| Fév | 0,15 | | | | | | | | | | | |
| Mar | 0,18 | 0,43 | | | | | | | | | | |
| Avr | 0,61 | 0,09 | 0,23 | | | | | | | | | |
| Mai | 1,00 | 0,19 | 0,15 | 0,28 | | | | | | | | |
| Jun | 0,06 | 0,76 | 0,46 | 0,06 | 0,11 | | | | | | | |
| Jul | 0,55 | 0,12 | 0,31 | 0,95 | 0,64 | 0,08 | | | | | | |
| Aôu | 0,51 | 0,01 | 0,02 | 0,20 | 0,60 | 0,00 | 0,24 | | | | | |
| Sep | 0,06 | 0,54 | 0,47 | 0,03 | 0,15 | 0,83 | 0,05 | 0,00 | | | | |
| Oct | 0,00 | 0,20 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | | | |
| Nov | 0,01 | 0,84 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,35 | 0,01 | 0,00 | 0,11 | 0,22 | | |
| Déc | 0,02 | 0,92 | 0,15 | 0,00 | 0,06 | 0,64 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,05 | 0,42 | |

Annexe 12. Paramètres de fécondité de *S. aurita*: LF = longueur à la fourche; PT = poids total; PG = poids des gonades; Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire ; Diam. = diamètre ovocytaire

| (n=10) | LF (mm) | PT (g) | PG (g) | Fec. Abs | Fec. Rel | Surf. (mm ²) | Perim. (mm) | Diam. (mm) |
|------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------------|----------------|---------------|
| Hann (a) | | | | | | | | |
| | 256 | 250,90 | 22,90 | 199230 | 794 | 0,35 | 2,27 | 0,68 |
| | 254 | 247,50 | 15,70 | 124815 | 504 | 0,31 | 2,14 | 0,64 |
| | 242 | 238,00 | 20,10 | 156780 | 659 | 0,31 | 2,18 | 0,65 |
| | 258 | 221,40 | 14,10 | 111390 | 503 | 0,29 | 2,11 | 0,62 |
| | 261 | 251,30 | 15,30 | 160650 | 639 | 0,33 | 2,21 | 0,66 |
| | 274 | 257,10 | 12,40 | 140740 | 547 | 0,29 | 2,09 | 0,62 |
| | 284 | 338,40 | 23,90 | 253340 | 749 | 0,34 | 2,25 | 0,67 |
| | 275 | 341,50 | 22,90 | 225947 | 662 | 0,33 | 2,25 | 0,67 |
| | 244 | 218,00 | 18,60 | 177630 | 815 | 0,35 | 2,34 | 0,68 |
| | 266 | 318,60 | 22,50 | 212625 | 667 | 0,36 | 2,35 | 0,70 |
| Moyennes | 261 | 268,27 | 18,84 | 176315 | 654 | 0,33 | 2,22 | 0,66 |
| Ecart-types | 14 | 46,67 | 4,22 | 45949 | 111 | 0,02 | 0,09 | 0,03 |
| Mbour (b) | | | | | | | | |
| | 244 | 242,50 | 11,36 | 56573 | 233 | 0,28 | 1,99 | 0,60 |
| | 255 | 284,90 | 13,62 | 94250 | 331 | 0,27 | 1,97 | 0,59 |
| | 257 | 284,60 | 16,30 | 86390 | 304 | 0,32 | 2,15 | 0,65 |
| | 260 | 291,00 | 15,45 | 86211 | 296 | 0,31 | 2,10 | 0,64 |
| | 271 | 300,00 | 18,53 | 88944 | 296 | 0,31 | 2,17 | 0,64 |
| | 274 | 325,10 | 18,46 | 88977 | 274 | 0,28 | 2,22 | 0,63 |
| | 278 | 341,60 | 19,40 | 115236 | 337 | 0,28 | 1,99 | 0,60 |
| | 290 | 425,50 | 15,86 | 50118 | 118 | 0,34 | 2,20 | 0,66 |
| | 294 | 428,20 | 18,16 | 131115 | 306 | 0,35 | 2,27 | 0,68 |
| | 295 | 415,40 | 28,80 | 212544 | 512 | 0,31 | 2,12 | 0,64 |
| Moyennes | 272 | 333,88 | 18 | 101036 | 301 | 0,31 | 2,12 | 0,63 |
| Ecart-types | 18 | 66,86 | 4,65 | 45804 | 98 | 0,03 | 0,10 | 0,03 |
| Joal (c) | | | | | | | | |
| | 217 | 186,20 | 15,87 | 76176 | 409 | 0,29 | 2,04 | 0,62 |
| | 240 | 228,20 | 17,47 | 61145 | 268 | 0,33 | 2,19 | 0,66 |
| | 240 | 215,60 | 10,15 | 37758 | 175 | 0,30 | 2,08 | 0,62 |
| | 268 | 272,60 | 15,19 | 59241 | 217 | 0,31 | 2,11 | 0,64 |
| | 261 | 227,60 | 16,82 | 58534 | 257 | 0,37 | 2,34 | 0,70 |
| | 265 | 269,50 | 28,21 | 143307 | 532 | 0,32 | 2,16 | 0,65 |
| | 270 | 319,70 | 14,22 | 69678 | 218 | 0,29 | 2,03 | 0,61 |
| | 275 | 334,70 | 26,59 | 117528 | 351 | 0,23 | 2,11 | 0,54 |
| | 279 | 338,20 | 18,66 | 99271 | 294 | 0,30 | 2,06 | 0,62 |
| | 285 | 402,00 | 20,19 | 85202 | 212 | 0,29 | 2,03 | 0,61 |
| Moyennes | 260 | 279,43 | 18,34 | 80784 | 293 | 0,30 | 2,12 | 0,63 |
| Ecart-types | 21 | 67,80 | 5,50 | 31555 | 109 | 0,04 | 0,10 | 0,04 |

Annexe 13. Paramètres de fécondité de *S. maderensis*: LF = longueur à la fourche; PT = poids total; PG = poids des gonades; Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire; Diam. = diamètre ovocytaire

| (n=10) | LF (mm) | PT (g) | PG (g) | Fec. Abs | Fec. Rel | Surf. (mm ²) | Perim. (mm) | Diam. (mm) |
|------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------------|----------------|---------------|
| Hann (a) | | | | | | | | |
| | 265 | 300,00 | 22,5 | 160650 | 536 | 0,22 | 1,78 | 0,54 |
| | 240 | 221,20 | 9,40 | 87420 | 395 | 0,25 | 1,93 | 0,58 |
| | 270 | 295,70 | 15,20 | 132240 | 447 | 0,29 | 2,07 | 0,62 |
| | 274 | 298,90 | 14,20 | 116440 | 390 | 0,23 | 1,83 | 0,55 |
| | 275 | 272,50 | 14,00 | 119000 | 437 | 0,31 | 2,12 | 0,64 |
| | 255 | 257,60 | 11,00 | 60940 | 237 | 0,30 | 2,15 | 0,63 |
| | 270 | 286,00 | 15,00 | 103500 | 362 | 0,29 | 2,06 | 0,62 |
| | 265 | 284,80 | 20,21 | 306182 | 1075 | 0,18 | 1,62 | 0,49 |
| | 230 | 235,10 | 10,00 | 68000 | 289 | 0,25 | 1,94 | 0,58 |
| | 235 | 202,80 | 11,45 | 65265 | 322 | 0,20 | 1,75 | 0,51 |
| Moyennes | 258 | 265,46 | 14,30 | 121964 | 449 | 0,25 | 1,92 | 0,58 |
| Ecart-types | 17 | 34,86 | 4,28 | 72236 | 236 | 0,05 | 0,18 | 0,05 |
| Mbour (b) | | | | | | | | |
| | 237 | 240,80 | 20,38 | 82335 | 342 | 0,30 | 2,09 | 0,62 |
| | 245 | 247,40 | 10,04 | 45381 | 183 | 0,19 | 1,64 | 0,50 |
| | 250 | 242,70 | 12,96 | 40954 | 169 | 0,27 | 1,94 | 0,59 |
| | 254 | 304,60 | 17,56 | 84288 | 277 | 0,22 | 1,75 | 0,53 |
| | 255 | 316,40 | 18,62 | 78576 | 248 | 0,29 | 2,05 | 0,62 |
| | 257 | 279,50 | 13,29 | 68311 | 244 | 0,25 | 1,88 | 0,57 |
| | 270 | 307,10 | 20,28 | 107484 | 350 | 0,27 | 1,95 | 0,59 |
| | 270 | 337,70 | 25,25 | 165135 | 489 | 0,22 | 1,75 | 0,53 |
| | 275 | 353,00 | 21,38 | 133839 | 379 | 0,26 | 1,91 | 0,58 |
| | 276 | 335,50 | 21,4 | 141668 | 422 | 0,24 | 1,85 | 0,56 |
| Moyennes | 259 | 296,47 | 18,12 | 94797 | 310 | 0,25 | 1,88 | 0,57 |
| Ecart-types | 13 | 41,74 | 4,69 | 41367 | 104 | 0,03 | 0,14 | 0,04 |
| Joal (c) | | | | | | | | |
| | 205 | 180,40 | 4,92 | 15941 | 88 | 0,23 | 1,80 | 0,54 |
| | 210 | 175,20 | 7,04 | 32384 | 185 | 0,20 | 1,67 | 0,51 |
| | 243 | 295,50 | 35,14 | 121584 | 411 | 0,51 | 2,72 | 0,81 |
| | 245 | 281,30 | 20,81 | 91980 | 327 | 0,37 | 2,42 | 0,71 |
| | 248 | 281,10 | 25,72 | 109053 | 388 | 0,36 | 2,27 | 0,68 |
| | 250 | 309,70 | 31,53 | 74411 | 240 | 0,19 | 1,62 | 0,49 |
| | 268 | 388,00 | 36,34 | 129370 | 333 | 0,36 | 2,25 | 0,68 |
| | 265 | 339,90 | 16,07 | 67173 | 198 | 0,24 | 1,85 | 0,56 |
| | 273 | 375,60 | 12,48 | 58656 | 156 | 0,24 | 1,83 | 0,56 |
| | 278 | 366,00 | 30,69 | 163885 | 448 | 0,35 | 2,23 | 0,67 |
| Moyennes | 249 | 299,27 | 22,07 | 86444 | 277 | 0,30 | 2,07 | 0,62 |
| Ecart-types | 25 | 74,61 | 11,55 | 45702 | 121 | 0,10 | 0,36 | 0,10 |

Annexe 14. Paramètres de fécondité de *E. fimbriata*: LF = longueur à la fourche; PT = poids total; PG = poids des gonades; Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire; Diam. = diamètre ovocytaire

| (n=10) | LF (mm) | PT (g) | PG (g) | Fec. Abs | Fec. Rel | Surf. (mm ²) | Perim. (mm) | Diam. (mm) |
|------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------------|----------------|---------------|
| Mbour (a) | | | | | | | | |
| | 186 | 149,80 | 12,88 | 45939 | 307 | 0,32 | 2,15 | 0,64 |
| | 200 | 165,70 | 12,02 | 46638 | 281 | 0,30 | 2,04 | 0,62 |
| | 205 | 185,10 | 18,19 | 71305 | 385 | 0,36 | 2,36 | 0,69 |
| | 238 | 290,16 | 17,18 | 72500 | 250 | 0,25 | 1,92 | 0,58 |
| | 247 | 299,80 | 15,23 | 63052 | 210 | 0,26 | 1,93 | 0,58 |
| | 260 | 393,50 | 36,26 | 181300 | 461 | 0,28 | 1,98 | 0,60 |
| | 240 | 296,60 | 40,31 | 163659 | 552 | 0,30 | 2,12 | 0,62 |
| | 262 | 381,30 | 43,93 | 168691 | 442 | 0,30 | 2,03 | 0,61 |
| | 250 | 328,20 | 44,09 | 259249 | 790 | 0,24 | 1,82 | 0,55 |
| | 263 | 416,70 | 40,82 | 282474 | 678 | 0,30 | 2,08 | 0,63 |
| Moyennes | 235 | 290,69 | 28,09 | 135481 | 436 | 0,29 | 2,04 | 0,61 |
| Ecart-types | 28 | 95,92 | 13,97 | 88295 | 190 | 0,04 | 0,15 | 0,04 |
| Joal (b) | | | | | | | | |
| | 202 | 167,10 | 13,96 | 53606 | 321 | 0,25 | 1,92 | 0,56 |
| | 239 | 273,50 | 25,52 | 96976 | 355 | 0,27 | 2,01 | 0,60 |
| | 235 | 252,30 | 23,33 | 97986 | 388 | 0,36 | 2,31 | 0,68 |
| | 245 | 281,10 | 19,54 | 86758 | 309 | 0,27 | 2,72 | 0,66 |
| | 260 | 341,20 | 23,26 | 118626 | 348 | 0,29 | 2,02 | 0,61 |
| | 269 | 388,80 | 35,40 | 174168 | 448 | 0,30 | 2,06 | 0,62 |
| | 259 | 341,80 | 24,82 | 130553 | 382 | 0,32 | 2,11 | 0,64 |
| | 264 | 338,50 | 25,40 | 114300 | 338 | 0,30 | 2,07 | 0,62 |
| | 273 | 371,60 | 42,77 | 207007 | 557 | 0,36 | 2,28 | 0,68 |
| | 272 | 451,60 | 43,18 | 230581 | 511 | 0,37 | 2,28 | 0,69 |
| Moyennes | 252 | 320,75 | 27,72 | 131056 | 396 | 0,31 | 2,18 | 0,64 |
| Ecart-types | 22 | 80,01 | 9,65 | 55960 | 84 | 0,04 | 0,23 | 0,04 |

Annexe 15. Comparaison des paramètres de fécondité de *S. aurita* entre Hann et Mbour (a), Hann et Joal (b), et Mbour et Joal (c) en utilisant le test t de Student ou le test U de Mann-Whitney. Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire; Diam. = diamètre ovocytaire

| (a) | Hann | | Mbour | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 176315 | 45949 | 101036 | 45804 | | 3,67 | 0,00 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 654 | 111 | 301 | 98 | | 7,55 | 0,00 |
| Surf. (mm ²) | 0,33 | 0,02 | 0,31 | 0,03 | 32,00 | | 0,19 |
| Périm. (mm) | 2,22 | 0,09 | 2,12 | 0,10 | | 2,06 | 0,13 |
| Diam. (mm) | 0,66 | 0,03 | 0,63 | 0,03 | | 2,04 | 0,06 |

| (b) | Hann | | Joal | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 176315 | 45949 | 80784 | 31555 | | 5,42 | 0,00 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 654 | 111 | 293 | 109 | | 7,31 | 0,00 |
| Surf. (mm ²) | 0,33 | 0,02 | 0,30 | 0,04 | 27,00 | | 0,09 |
| Périm. (mm) | 2,22 | 0,09 | 2,08 | 0,14 | | 2,02 | 0,06 |
| Diam. (mm) | 0,66 | 0,03 | 0,63 | 0,04 | | 2,10 | 0,05 |

| (c) | Mbour | | Joal | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|-------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 101036 | 45804 | 80784 | 31555 | | 1,15 | 0,26 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 301 | 98 | 293 | 109 | | -0,16 | 0,87 |
| Surface (mm ²) | 0,31 | 0,03 | 0,30 | 0,04 | 49,00 | | 0,97 |
| Périmètre (mm) | 2,12 | 0,10 | 2,08 | 0,14 | | -0,05 | 0,96 |
| Diamètre (mm) | 0,63 | 0,03 | 0,63 | 0,04 | | 0,46 | 0,65 |

Annexe 16. Comparaison des paramètres de fécondité de *S. maderensis* entre Hann et Mbour (a), Hann et Joal (b), et Mbour et Joal (c) en utilisant le test t de Student ou le test U de Mann-Whitney. Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire; Diam. = diamètre ovocytaire

| (a) | Hann | | Mbour | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|-------|-------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 121964 | 72236 | 94797 | 41367 | | -1,03 | 0,316 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 449 | 236 | 310 | 104 | 27,00 | | 0,09 |
| Surf. (mm ²) | 0,25 | 0,05 | 0,25 | 0,03 | 47,00 | | 0,85 |
| Périm. (mm) | 1,92 | 0,18 | 1,88 | 0,14 | 43,00 | | 0,63 |
| Diam. (mm) | 0,58 | 0,05 | 0,57 | 0,04 | 43,00 | | 0,63 |

| (b) | Hann | | Joal | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|-------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 121964 | 72236 | 86444 | 45702 | | -1,31 | 0,21 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 449 | 236 | 277 | 121 | 25,00 | | 0,06 |
| Surf. (mm ²) | 0,25 | 0,05 | 0,30 | 0,10 | 36,00 | | 0,31 |
| Périm. (mm) | 1,92 | 0,18 | 2,07 | 0,36 | 38,00 | | 0,39 |
| Diam. (mm) | 0,58 | 0,05 | 0,62 | 0,10 | 37,00 | | 0,35 |

| (c) | Mbour | | Joal | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|-------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 94797 | 41367 | 86444 | 45702 | | -0,43 | 0,67 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 310 | 104 | 277 | 121 | 41,00 | | 0,53 |
| Surf. (mm ²) | 0,25 | 0,03 | 0,30 | 0,10 | 40,00 | | 0,19 |
| Périm. (mm) | 1,88 | 0,14 | 2,07 | 0,36 | 39,00 | | 0,44 |
| Diam. (mm) | 0,57 | 0,04 | 0,62 | 0,10 | 40,00 | | 0,48 |

Annexe 17. Comparaison des paramètres de fécondité de *E. fimbriata* entre Mbour et Joal en utilisant le test t de Student ou le test U de Mann-Whitney. Fec. Abs = fécondité absolue; Fec. Rel = fécondité relative; Surf. = surface ovocytaire; Périm. = périmètre ovocytaire ; Diam. = diamètre ovocytaire

| | Mbour | | Joal | | test | | |
|----------------------------------|----------|-------------|----------|-------------|-------|------|------|
| | Moyennes | Ecart-types | Moyennes | Ecart-types | U | t | P |
| Féc. Abs (nb d'œufs) | 135481 | 88295 | 131056 | 55960 | 45,00 | | 0,74 |
| Féc. Rel (œufs g ⁻¹) | 436 | 190 | 396 | 84 | 50,00 | | 1,00 |
| Surf. (mm ²) | 0,29 | 0,04 | 0,31 | 0,04 | | 0,90 | 0,38 |
| Périm. (mm) | 2,04 | 0,15 | 2,18 | 0,23 | 39,00 | | 0,41 |
| Diam. (mm) | 0,61 | 0,04 | 0,64 | 0,04 | | 1,33 | 0,20 |

Annexe 18. Comparaison des modèles de croissance en longueur entre les femelles et les mâles de même espèce sexe et d'une même zone en utilisant le test de rapport de vraisemblance (S_{RV}). $\chi^2 = 7,82$ pour 3 dll, $P = 0,05$;
 LF. max = longueur à la fourche maximale; Age. max = âge maximal, LF : longueur asymptotique;
 K: le coefficient de croissance; to: l'âge à la taille nulle modélisée

| Espèces | Zone | Sexe | LF. max | Age. max (mois) | LF (mm) | k | to | S_{RV} |
|----------------------|-------|---------|---------|-----------------|---------|-------|--------|----------|
| <i>S. aurita</i> | Hann | Femelle | 307 | 80 | 322 | 0,030 | -0,38 | |
| | | Mâle | 292 | 80 | 274 | 0,068 | 7,89 | 37,44 |
| | Mbour | Femelle | 300 | 86 | 314 | 0,019 | -20,35 | |
| | | Mâle | 300 | 86 | 260 | 0,041 | -12,79 | -99,45 |
| | Joal | Femelle | 296 | 88 | 291 | 0,028 | -9,78 | |
| | | Mâle | 291 | 79 | 289 | 0,029 | -13,47 | -113,89 |
| <i>S. maderensis</i> | Hann | Femelle | 303 | 85 | 311 | 0,025 | -7,47 | |
| | | Mâle | 275 | 69 | 299 | 0,021 | -19,37 | -388,38 |
| | Mbour | Femelle | 276 | 90 | 267 | 0,028 | -17,73 | |
| | | Mâle | 273 | 97 | 277 | 0,017 | -41,32 | -1302,33 |
| | Joal | Femelle | 278 | 90 | 374 | 0,008 | -48,19 | |
| | | Mâle | 268 | 89 | 286 | 0,013 | -46,51 | 711,44 |
| <i>E. fimbriata</i> | Mbour | Femelle | 300 | 84 | 311 | 0,015 | -38,51 | |
| | | Mâle | 277 | 82 | 254 | 0,017 | -58,28 | -1243,22 |
| | Joal | Femelle | 300 | 90 | 279 | 0,023 | -24,29 | |
| | | Mâle | 268 | 84 | 306 | 0,020 | -64,51 | -1311,16 |

Annexe 19. Comparaison des modèles de croissance en longueur entre les zones pour tous sexes confondus et par espèce en utilisant le test de rapport de vraisemblance (S_{RV}). $\chi^2 = 7,82$ pour 3 dll, $P = 0,05$; LF : longueur asymptotique; K: le coefficient de croissance; to: l'âge à la taille nulle modélisée

| Espèces | Station | LF (mm) | k | to | S_{RV} |
|----------------------|---------|---------|-------|--------|----------|
| <i>S. aurita</i> | Hann | 304 | 0,037 | 2,02 | -1368,57 |
| | Mbour | 316 | 0,021 | -11,44 | |
| | Hann | 304 | 0,037 | 2,02 | -822,23 |
| | Joal | 340 | 0,017 | -19,80 | |
| | Mbour | 316 | 0,021 | -11,44 | -609,24 |
| | Joal | 340 | 0,017 | -19,80 | |
| <i>S. maderensis</i> | Hann | 385 | 0,014 | -17,03 | 146,78 |
| | Mbour | 318 | 0,015 | -22,21 | |
| | Hann | 385 | 0,014 | -17,03 | -246,65 |
| | Joal | 365 | 0,010 | -29,33 | |
| | Mbour | 318 | 0,015 | -22,21 | -1264,57 |
| | Joal | 365 | 0,010 | -29,33 | |
| <i>E. fimbriata</i> | Mbour | 289 | 0,019 | -29,27 | -3154,61 |
| | Joal | 319 | 0,014 | -35,76 | |

Article publié

Titre de la thèse : Nouvelle évaluation des caractéristiques biologiques et comparaisons historiques des captures des principales espèces de petits poissons pélagiques au Sénégal

Auteur: Ousseynou SAMBA

Résumé

Une étude actualisée des paramètres biologiques (traits d'histoire de vie) des principales espèces de poissons pélagiques, *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) et *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825), a été menée dans les eaux côtières du Sénégal, ainsi qu'une évaluation des captures et de l'effort de pêche au cours des 33 dernières années. Chez les sardinelles (*S. aurita* et *S. maderensis*), le facteur de condition (Kc) est significativement plus élevé en saison froide qu'en saison chaude soulignant l'importance de la période d'upwelling dans le cycle biologique de ces espèces côtières. Pour l'ethmalose (*E. fimbriata*), un poisson plus estuaire, la variation du Kc est irrégulière au cours de l'année, avec deux pics significatifs, un au début de la saison sèche (janvier) et un autre au début de la saison des pluies (juillet). *S. aurita* se reproduit principalement de janvier à avril et d'août à novembre et sa taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) varie en fonction des sexes : 218-225 mm pour les femelles et 181-206 mm pour les mâles. La fécondité absolue est très variable, $119\,000 \pm 58\,000$ œufs (moyenne \pm écart-type) avec une fécondité relative de 416 ± 200 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,64 \pm 0,03$ mm. *S. maderensis* se reproduit pratiquement toute l'année mais certaines périodes paraissent plus favorables que d'autres suivant les régions, et la L_{50} des femelles (183-197 mm) est légèrement supérieure à celle des mâles (168-177 mm). La fécondité absolue est estimée à $101\,000 \pm 55\,100$ œufs par femelle avec une fécondité relative de 346 ± 176 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,60 \pm 0,07$ mm. *E. fimbriata* étale sa période de reproduction sur un semestre, de janvier à juillet, les femelles et les mâles atteignent leur maturité à la même taille (180 mm). La fécondité absolue est de $133\,200 \pm 72\,000$ œufs avec une fécondité relative de 416 ± 145 œufs g^{-1} et un diamètre ovocytaire de $0,62 \pm 0,04$ mm. La croissance est très variable et rapide pour les trois espèces, avec une longévité de 6 à 7 ans. Les longueurs asymptotiques modélisées par la fonction de croissance de Von Bertalanffy sont de 304-340 mm pour *S. aurita*, de 318-385 mm pour *S. maderensis* et de 289-319 mm pour *E. fimbriata*. Les paramètres biologiques mis à jour montrent une réduction de la taille moyenne individuelle et une raréfaction des gros poissons dans les captures actuelles. Les stocks de sardinelles et d'ethmaloses sont pleinement exploités au Sénégal. Pour une bonne gestion de ces stocks, la taille minimale autorisée pour les captures devrait être augmentée à la taille de première maturité estimée, l'effort de pêche devrait être réduit et l'exploitation de ces espèces devrait être interdite ou limitée durant la période de reproduction principale afin d'encourager un meilleur recrutement dans les populations.

Mots clés : Sénégal, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Ethmalosa fimbriata*, traits de vie, Captures

Abstract

An updated study of the biological parameters (life history traits) of main pelagic fish species *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), *S. maderensis* (Lowe, 1841) and *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich, 1825), was undertaken in Senegalese coastal waters, together with an evaluation of the captures and fishing effort during 33 years. For sardinellas (*S. aurita* and *S. maderensis*), condition factor (Kc) was significantly higher in the cold season than in the warm season highlighting the importance of upwelling period in the life cycle of these coastal species. For ethmalosa (*E. fimbriata*), more estuarine fish, the condition factor varied irregularly during the year, with two significant peaks, one at the beginning of the dry season (January) and one at the beginning of the rainy season (July). The reproductive periods of *S. aurita* occurred from January to April and from August to November and its size at first sexual maturity (L_{50}) varied according to sex: 218-225 mm for females and 181-206 mm for males. Absolute fecundity was very variable, $119,000 \pm 58,000$ eggs (mean \pm standard deviation), relative fecundity was 416 ± 200 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.64 ± 0.03 mm. *S. maderensis* reproduced throughout the year but some periods would be more favourable than others depending on the area, the females L_{50} (183-197 mm) were slightly greater than for males (168-177 mm). Absolute fecundity was estimated at $101\,000 \pm 55\,100$ eggs, relative fecundity was 346 ± 176 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.60 ± 0.07 mm. *E. fimbriata* spread its reproductive period on a semester, from January to July, the size at first sexual maturity was similar for both sexes (180 mm). Absolute fecundity was $133\,200 \pm 72\,000$ eggs, relative fecundity was 416 ± 145 eggs g^{-1} and ovocyte diameter was 0.62 ± 0.04 mm. Growth was very variable and rapid for the three species, with a longevity from 6 to 7 years. Asymptotic lengths modelled by the Von Bertalanffy growth function were 304-340 mm for *S. aurita*, 318-385 mm for *S. maderensis* and 289-319 mm for *E. fimbriata*. The biological parameters updated showed a reduction of the mean individual size and a scarcity of large fish in current catches. The stocks of sardinellas and bonga are fully exploited in Senegal. For good management of these stocks, the minimum legal sizes at capture should be revised upwards, based on the updated sizes at first maturity found in this study, fishing effort should be reduced and exploitation of these species should be prohibited or restricted during the reproductive periods to encourage better recruitment in populations.

Keywords : Sénégal, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*, *Ethmalosa fimbriata*, Life history traits, Captures

