

SIGLES ET ABREVIATIONS

ANOVA	ANalysis Of Variance (en français Analyse de variance)
COMFISH	Collaborative Management for a Sustainable Fisheries Future in Senegal
CRODT	Centre de Recherche Océanographique Dakar-Thiaroye
DEA	Diplôme d'Etudes Approfondies
DPM	Direction des Pêches Maritimes
ELEFAN	Electronic Length Frequency ANalysis
FAO	Food and Agriculture Organization
IUPA	Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture
RGS	Rapport Gonado-Somatique
UCAD	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
URI	University of Rhode Island
USAID	United States Agency for International Development
ZEE	Zone Economique Exclusive

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Taille de première maturité sexuelle de <i>Sardinella maderensis</i>	17
Tableau II: Comparaison des L50% par sexe dans les différents sites.	17
Tableau III: Comparaison des L50% par site chez les mâles et chez les femelles.	17
Tableau IV : Comparaison des stades de maturité sexuelle entre mâles et femelles.	19
Tableau V : Paramètres d'allométrie chez <i>Sardinella maderensis</i>	22
Tableau VI: Résultats de la comparaison du paramètre b par le test de Student.	22
Tableau VII: Paramètres d'allométrie chez la <i>Sardinella maderensis</i> par site.	23
Tableau VIII: Résultats de la comparaison du paramètre b par le test de Student suivant les sites	24
Tableau IX: Résumé des paramètres de croissance de <i>S. maderensis</i>	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photo de <i>S. maderensis</i> (Source : Seret, 1990).....	2
Figure 2: Distribution de <i>Sardinella maderensis</i> (Source : www.aquamaps.org, version août 2010).....	4
Figure 3: Carte de localisation des sites d'étude (Source : Boely 1982, version modifiée)	5
Figure 4: Taille de première maturité sexuelle des femelles	12
Figure 5: Taille de première maturité sexuelle des mâles.....	13
Figure 6: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes.....	13
Figure 7 : Taille de première maturité sexuelle des femelles à Cayar	14
Figure 8: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Cayar	14
Figure 9: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Cayar	14
Figure 10: Taille de première maturité sexuelle des femelles à Mbour	15
Figure 11: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Mbour	15
Figure 12: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Mbour	15
Figure 13: Taille de première maturité sexuelle des femelles à Joal	16
Figure 14: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Joal	16
Figure 15: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Joal	16
Figure 16 : Evolution mensuelle des stades de maturité sexuelle chez les femelles	18
Figure 17 : Evolution mensuelle des stades de maturité sexuelle chez les mâles.....	18
Figure 18 : Evolution mensuelle du RGS moyen des femelles.....	19
Figure 19:Variation mensuelle du stade 5 de maturité sexuelle des femelles	20
Figure 20: Relation taille-poids de <i>Sardinella maderensis</i> au Sénégal	22
Figure 21: Relation taille-poids de <i>S. maderensis</i> à Cayar, Mbour et Joal	23
Figure 22 : Evolution mensuelle du facteur de condition	25
Figure 23: Structure en taille par site	26
Figure 24: Structure en taille par saison.....	27
Figure 25 : Courbes de croissance superposées aux fréquences de tailles par ELEFAN	29
Figure 26: Grille auximétrique de <i>S. maderensis</i>	36

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1. GENERALITES SUR LA SARDINELLE PLATE <i>Sardinella maderensis</i> (Lowe, 1838)	2
1.1. Systématique	2
1.2. Traits morphologiques.....	2
1.3. Distribution et migrations.....	3
2. MATERIEL ET METHODES	5
2.1. Sites d'étude	5
2.2. Protocole d'échantillonnage	6
2.3. Etude de la reproduction.....	6
2.3.1. Sex-ratio	6
2.3.2. Maturité sexuelle.....	7
2.3.3. Rapport gonado-somatique (RGS).....	7
2.3.4. Détermination des périodes de reproduction	7
2.3.5. Fécondités absolue et relative	8
2.4. Etude de la croissance	8
2.4.1. Relations entre longueurs.....	8
2.4.2. Relations taille-poids.....	8
2.4.3. Facteur de condition.....	9
2.4.4. Structure en taille	9
2.4.5. Détermination des paramètres de croissance par l'analyse des fréquences de tailles.....	10
2.5. Analyses statistiques.....	11
3. RESULTATS.....	12
3.1. Reproduction	12
3.1.1. Sex-ratio	12
3.1.2. Taille de première maturité sexuelle.....	12
3.1.3. Détermination des périodes de reproduction	17
3.1.4. Fécondité.....	20
3.2. Croissance	21
3.2.1. Relations entre longueurs.....	21
3.2.2. Relation taille-poids	21
3.2.3. Facteur de condition.....	24
3.2.4. Structure en taille	26

3.2.5. Détermination des paramètres de croissance de von Bertalanffy	27
4. DISCUSSION.....	30
4.1. Reproduction	30
4.2. Croissance	33
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	37
BIBLIOGRAPHIE	38
ANNEXES	43

INTRODUCTION

Au Sénégal, la pêche joue un rôle primordial dans le développement socio-économique du pays, notamment dans la sécurité alimentaire, la création de richesse et d'emplois. Les petits pélagiques sont des ressources halieutiques de première importance représentant environ 70% du potentiel halieutique du Sénégal selon les estimations du CRODT en 2009. Ils sont principalement constitués de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*), chinchards (*Trachurus trecae* and *Decapterus rhonchus*), maquereau espagnol (*Scomber japonicus*), et d'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*). Les sardinelles sont à la fois exploitées par les pêcheries industrielle et artisanale. Selon les statistiques de la Direction des Pêches Maritimes (DPM), les captures totales débarquées de la pêche maritime en 2010, s'élevaient à 409 429 tonnes dont 370 448 tonnes pour la pêche artisanale. Les débarquements des sardinelles de la pêche artisanale en 2010 représentent 56,4 %, soit 208 991 tonnes des captures totales. Les captures de sardinelles rondes en 2009 étaient de 126 040 tonnes et celles des sardinelles plates de 82 951 tonnes.

Ces deux espèces sont très largement répandues le long des côtes ouest-africaines où elles effectuent des migrations de grande amplitude entre le Maroc et le sud du Sénégal (Boely, 1980). Les sardinelles, notamment *S. maderensis*, sont des espèces à courte durée de vie, évoluant dans un environnement fluctuant (Diouf-Goudiaby et al. 2010). Avec l'intensification de l'exploitation, surtout par la pêche artisanale et par de grands navires étrangers qui opèrent dans le cadre d'accords bilatéraux, l'effort de pêche s'accroît constamment, mettant la ressource en danger. Aujourd'hui, il convient de réactualiser les informations sur les traits de vie de *Sardinella maderensis* dans ce contexte de surpêche.

C'est dans ce cadre que l'Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture (IUPA) a initié la présente étude, en collaboration avec le projet USAID/COMFISH pour mettre en place un système de collecte de données biologiques sur les petits pélagiques (les espèces de sardinelles et l'ethmalose).

Au Sénégal, les premières observations sur la biologie de *Sardinella maderensis* ont été réalisées par Postel (1955). Ensuite, d'autres scientifiques comme Boely (1980), Fréon (1986), Camarena-Luhrs (1986), Marchal (1993) et Chikhi (1995) ont étudié des aspects biologiques (reproduction, croissance) et écologiques (distribution, migration, impacts des vents et de l'upwelling...) de cette espèce. Depuis les années 1990, à part une contribution apportée par Diouf-Goudiaby et al. (2010), aucune étude sur les traits de vie de la sardinelle plate n'a été menée, alors que les efforts de pêche n'ont cessé d'augmenter.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la reproduction et la croissance de *Sardinella maderensis* exploité au Sénégal. Les informations relatives à la biologie de cette espèce sont de données d'entrée aux modèles d'évaluation de dynamique des populations pour une mise en place d'outils de gestion adaptés à une exploitation durable du stock de l'espèce.

La première partie du document consiste en une revue bibliographique sur les connaissances de la biologie et de l'écologie de la sardinelle plate. La deuxième partie présente les sites d'étude et décrit le protocole d'échantillonnage, les paramètres biologiques étudiés (reproduction et la croissance) ainsi que les analyses statistiques utilisées. La troisième partie présente les résultats obtenus et la discussion.

1. GENERALITES SUR LA SARDINELLE PLATE *Sardinella maderensis* (Lowe, 1838)

1.1. Systématique

La sardinelle plate a été décrite pour la première fois par Lowe en 1838 sous le nom de *Sardinella maderensis*. Actuellement, la synonymie des différentes appellations suivantes est admise : *Alausa eba* (valenciennes, 1847), *Sardinella cameronensis* (Regan, 1917) et *Sardinella eba*. La sardinelle plate a la position taxonomique suivante :

Règne : Animal

Embranchement : Poissons

Classe : Ostéichthyens

Sous-classe : Actinoptérygiens

Groupe : Téléostéens

Ordre : Clupeiforme

Famille : *Clupeidae*

Genre : *Sardinella*

Espèce : *maderensis*

Noms vernaculaires : *S. maderensis* : grande allache (France) ; téyit (Mauritanie); yéssou yaboy (individus de moins de 10 cm) et yaboy tass (individus de plus de 10 cm) (Sénégal) ; agouwa (Côte d'Ivoire, Ebriée) ; gran (Côte d'Ivoire, Alladian); djandjerema (Côte d'Ivoire, Appolonien) ; makouala (Congo).



Figure 1: Photo de *S. maderensis* (Source : Seret, 1990).

1.2. Traits morphologiques

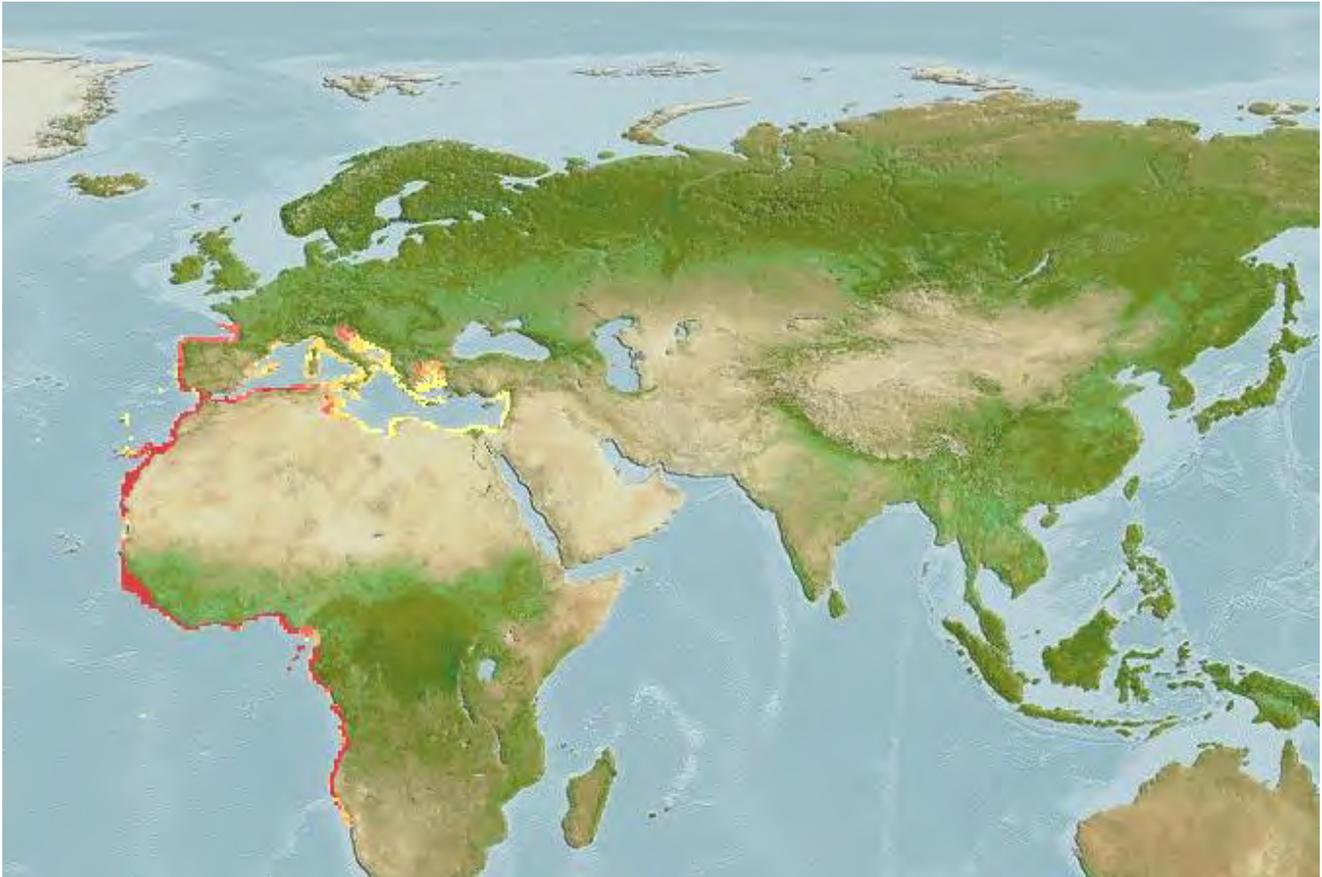
Les traits morphologiques décrits dans cette partie sont principalement tirés des ouvrages de Seret (1990) et Whitehead (1985). La sardinelle plate *Sardinella maderensis* est un poisson pélagique de la famille des *Clupeidae*. Cette famille est constituée de petits poissons argentés au corps oblong plus ou moins comprimé. Les deux espèces de sardinelles rencontrées au Sénégal sont qualifiées de ronde et de plate l'une par rapport à l'autre. *S. maderensis* est en effet nettement moins arrondie que *S. aurita*, sa section transversale n'est cependant pas ronde; sa carène ventrale est plus aiguë que celle de *S. aurita*. Outre l'allure générale du corps, ces deux espèces peuvent se distinguer par le nombre de rayons de la nageoire pelvienne, avec 8 chez *S. maderensis* alors que 9 chez *S. aurita*. Les deux espèces sont également différentes de par leur coloration. *S. maderensis* est gris bleuté dorsalement, les flancs et le ventre sont blancs argentés sans bande dorée, la tache diffuse sombre est située en arrière de l'opercule et il en existe une autre à la base des premiers rayons de la dorsale. La nageoire dorsale de la sardinelle

plate possède 18 à 21 rayons, l'anale 17 à 23 et les ventrales 8. Les écailles cycloïdes sont au nombre de 44 à 47 le long de la ligne longitudinale, jusqu'à la base de la nageoire caudale. Des écailles en chevrons forment une carène aiguë sur le bord ventral de l'abdomen. Par ailleurs, elles sont lisses et caduques. La bouche terminale a une mandibule prognathe typique du groupe. Il n'existe qu'une seule nageoire dorsale, sans rayons épineux, située au milieu du dos. La nageoire caudale est fourchue et bien échancrée. L'anale est souvent longue, tandis que les pelviennes peuvent être réduites ou absentes. Les *Clupeidae* ont un système branchial bien développé agissant comme un véritable filtre à plancton. C'est une famille cosmopolite qui comprend de nombreuses espèces dont les plus importantes économiquement sont les sardinelles et l'ethmalose. La taille maximale observée chez la sardinelle plate est de 373 mm à Mbour (Samb, 1988).

1.3. Distribution et migrations

La sardinelle plate est aussi une espèce à affinité biogéographique tropicale. Selon Conand et Fagetti (1971) et Marchal (1991b), *S. maderensis* est une espèce à affinité tropicale tolérant les gammes de températures allant de 20 à 23 °C. Cependant, selon les régions, elle peut supporter les eaux de température allant de 15°C (en Algérie) à 25°C et des salinités allant de 20 ‰ au niveau de l'estuaire des grands fleuves (Niger, Congo, Nil) à 40 ‰ dans l'est de la Méditerranée (Ben-Tuvia, 1960b). On la rencontre depuis la Méditerranée méridionale jusqu'en Angola. Cette espèce est présente du nord au sud de la ZEE mauritanienne. Elle a une distribution très côtière, occupant le plus souvent les fonds inférieurs à 50m. Elle est abondante en saison chaude. Une nourricerie principale se trouve au nord du Cap Timiris. Il n'a pas été mis en évidence des migrations de grandes amplitudes pour cette espèce. Les individus de grandes tailles (>24cm) sont faiblement représentés au Sénégal, alors qu'en Mauritanie la taille maximale est de 32 cm (longueur à la fourche) (Fréon, 1986). *Sardinella maderensis*, se nourrit de planctons comme les diatomées, les dinoflagellés et les larves de crustacés (Hilton-Taylor, 2000).

Les conditions de milieu rencontrées sur le plateau continental sénégalais présentent une forte variabilité saisonnière et interannuelle (Fréon, 1986). L'upwelling côtier y assure une production planctonique considérable durant la majeure partie de l'année (Roy, 1992). Sa durée et son intensité diminuent du nord au sud de la zone. Dans la région Ouest africaine, en particulier au niveau de la Petite Côte du Sénégal, l'intensité des alizés est l'élément moteur essentiel de la production en saison froide (Roy, 1992).



Légende :

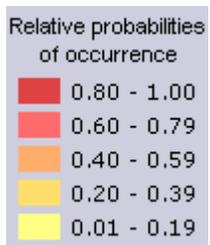


Figure 2: Distribution de *Sardinella maderensis* (Source : www.aquamaps.org, version août 2010).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

Le choix de Cayar, Joal et Mbour est dû au fait que ces trois sites sont parmi les plus grands centres de débarquement de la pêche artisanale au Sénégal. Ils sont les principaux centres de débarquement de la région de Thiès qui a fourni à elle seule en 2010, 149 145 tonnes de sardinelles, soit 71,36% des débarquements de la pêche artisanale sénégalaise. La part des sardinelles dans cette région est de 92 476 tonnes pour *Sardinella aurita* et 56 669 tonnes pour *Sardinella maderensis* (DPM, 2010). De plus Cayar se situe au niveau de la grande Côte, tandis que Mbour et Joal sont localisés au niveau de la Petite Côte.

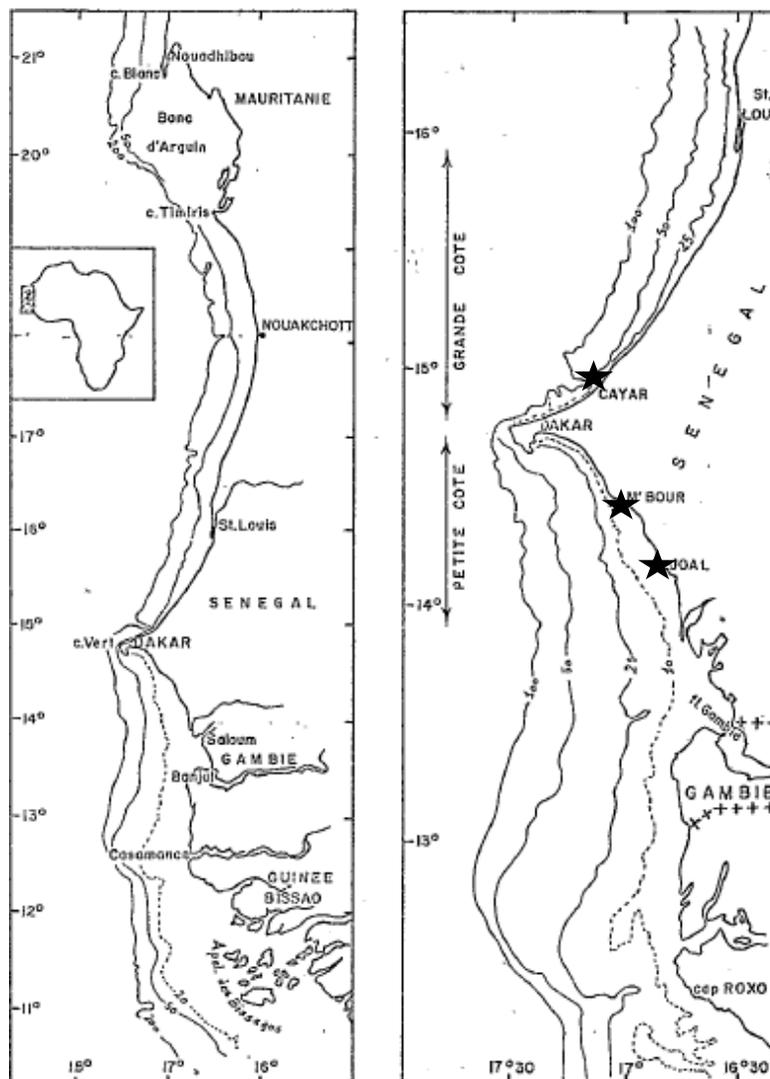


Figure 3: Carte de localisation des sites d'étude (Source : Boely 1982, version modifiée)

2.2. Protocole d'échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé une fois par mois de mars 2012 à février 2013, soit sur une année. Les poissons échantillonnés proviennent des captures de la pêche artisanale commerciale. La sardinelle plate est principalement capturée par la senne tournante et les filets maillants. A chaque campagne mensuelle, un échantillon total d'au moins 500 individus est prélevé dans l'ensemble des trois centres de débarquement selon la disponibilité du poisson, avec 250 individus à Cayar représentant la Grande Côte et 250 à Joal et Mbour pour la Petite Côte. Chaque poisson prélevé est mesuré (longueur à la fourche en cm) à l'aide d'un ichtyomètre et pesé (poids total en g) avec une balance électronique type OHAUS de portée 4000 g et de précision 0,1g pour étudier en croissance. Sur les 500 poissons échantillonnés, un prélèvement de 100 individus est effectué pour étudier la reproduction. Chaque individu est alors mesuré (longueur standard L_s , longueur à la fourche L_f et Longueur totale L_t) au centimètre près, disséqué, sexé et le stade de maturité sexuelle déterminé.

Le poids éviscéré et celui des gonades sont déterminés à l'aide d'une balance de type OHAUS de 800 g de portée et de précision 0,01 g. Les gonades prélevés sont ensuite conservés dans du formol à 5% pour l'étude de la fécondité.

Au laboratoire, un échantillon de 0,05 g est prélevé dans la partie médiane des gonades conservées. Cet échantillon est ensuite mis dans un flacon contenant du liquide de Gilson pendant 72h. Ce liquide a la propriété de conserver et de séparer les ovocytes. L'échantillon est ensuite déposé dans une boîte de Pétri pour le décompte des ovocytes à l'aide d'une loupe binoculaire. Le nombre d'ovocytes dans l'échantillon de 0,05 g permet de déterminer la fécondité après extrapolation au poids total des gonades.

La préparation du liquide de Gilson nécessite 100 ml d'alcool à 60%, 1000 ml d'eau, 15 ml d'acide nitrique à 80%, 20 ml d'acide acétique glacial, 20 g de chlorure de mercure.

2.3. Etude de la reproduction

Spécifiquement, il s'agit pour ce qui est de la reproduction de :

- déterminer le sex-ratio de l'espèce,
- déterminer la maturité sexuelle grâce à la taille de première maturité sexuelle,
- déterminer les périodes de reproduction de l'espèce en analysant les différents stades de maturité sexuelle et l'évolution mensuelle du RGS.

2.3.1. Sex-ratio

Le sex-ratio est la proportion des poissons mâles ou femelles dans une population donnée. Dans notre étude, nous l'exprimerons par le rapport des femelles sur la population échantillonnée par cette relation :

$$SR = \frac{\text{nombre de femelles}}{\text{nombre total d'individus}}$$

Le test de Khi-deux est utilisé dans la comparaison du sex-ratio pour voir l'effet sexe, saison et sites dans la population de sardinelles.

2.3.2. Maturité sexuelle

La détermination de la maturité sexuelle est basée sur l'échelle de Fontana (1969). L'échelle de maturité sexuelle de Fontana (1969) comprend 6 stades (Annexe 7). Le test de Khi-deux est utilisé pour les comparaisons entre les proportions des différents stades de maturité sexuelle.

La taille à la première maturité correspond à la taille pour laquelle 50% des individus sont matures en période de reproduction (Conand, 1977). La taille de première maturité sexuelle a été établie en suivant le protocole de Boely (1980). La taille de première maturité sexuelle est ensuite estimée en ajustant la fraction des mâles et des femelles matures par la méthode des moindres carrés suivant l'équation:

$$\%M = \frac{100}{1 + e^{-a(Lf-L50\%)}}$$

Où %M est le pourcentage d'individus matures par classe de taille, a une constante, L50% la taille de première maturité sexuelle et Lf valeur centrale des classes de taille de longueur à la fourche.

2.3.3. Rapport gonado-somatique (RGS)

Le rapport gonado-somatique permet de suivre l'état de maturation sexuelle des gonades des poissons mâles ou femelles et son évolution dans le temps permet de déterminer la période de ponte. Il est calculé pour chaque individu échantillonné selon la formule:

$$RGS = \frac{\text{Poids des gonades} \times 100}{\text{Poids du poisson éviscéré}}$$

2.3.4. Détermination des périodes de reproduction

Les périodes de reproduction de *S. maderensis* sont déterminées suite à l'analyse des différents stades de maturité sexuelle et de l'évolution du RGS. L'évolution mensuelle des différents stades de maturité sexuelle est représentée graphiquement en vue de déterminer la ou les période (s) de reproduction ou de ponte de l'espèce.

2.3.5. Fécondités absolue et relative

La fécondité absolue correspond au nombre total d'ovocytes matures contenus dans les gonades. La détermination de la fécondité absolue individuelle doit s'établir juste avant la ponte, localisée dans le temps (Le Bec, 1985). Ainsi, les ovaires de stade IV sont choisis pour éviter de compter les ovocytes de gonades de poisson en ponte. Après décompte des ovocytes, une extrapolation à l'échelle du poids total des deux gonades a lieu pour connaître la fécondité absolue à l'aide de la formule :

$$\text{Fécondité absolue} = \frac{\text{nombre d'ovocytes comptés} \times \text{Poids des gonades}}{0,05}$$

La fécondité est liée à la taille des reproducteurs. Elle est sensiblement proportionnelle au poids du poisson et au poids des gonades lorsque les ovocytes sont au même stade de développement (Gheno et Fontana, 1981). L'existence d'une relation linéaire entre la fécondité absolue et le poids des poissons permet de définir la fécondité relative comme le nombre d'œufs susceptibles d'être pondus par unité de poids frais (Le Bec, 1985). La fécondité relative est déduite de celle absolue par la relation :

$$\text{Fécondité relative} = \frac{\sum_i^n \text{Fécondité absolue}}{\sum_i^n \text{Poids total du poisson}}$$

Ce rapport permet de comparer les fécondités relatives d'une même espèce suivant des régions et des années différentes, ou de comparer les potentialités de diverses espèces pour une même zone (Le Bec, 1985).

2.4. Etude de la croissance

Pour la croissance, il s'agit de :

- déterminer les différentes relations entre les longueurs (longueur standard, longueur à la fourche et longueur totale) et les paramètres de la relation taille-poids ;
- déterminer les paramètres de croissance de l'espèce par l'analyse des fréquences de taille ;
- analyser les variations saisonnières de la croissance de l'espèce.

2.4.1. Relations entre longueurs

Les relations entre les différentes longueurs (longueur à la fourche L_f , longueur totale L_t et longueur standard L_s) sont estimées à partir des données de mesure suivant une équation linéaire de la forme $y = ax + b$ où a et b sont les constantes. Les paramètres estimés permettent de convertir une longueur à une autre. Par exemple, ils peuvent aider à transformer des longueurs à la fourche d'une espèce de poisson donnée à des longueurs totales. La longueur à la fourche a l'avantage d'éviter les erreurs dues aux nageoires caudales abîmées accidentellement qui faussent la mesure de la longueur totale.

2.4.2. Relations taille-poids

La relation entre la longueur totale des poissons et leur poids est en général de type exponentiel (Pauly, com. pers.). La relation taille-poids permet de convertir la taille d'un poisson en poids théorique ou l'inverse. Elle est représentée par la relation de Le Cren (1951):

$$P_i = a \times L_f^b$$

Où P_t est le poids total du poisson en g ; L_f la longueur à la fourche du poisson en cm ; a une constante et b un facteur caractéristique de l'espèce. Cette équation facilite, lors de l'échantillonnage, l'estimation du poids à partir de la longueur du poisson.

La transformation logarithmique permet de calculer les inconnues a et b . Le coefficient b est généralement proche de 3, ceci indique que le poisson a une croissance isométrique ou symétrique. Si b est différent de 3, on dit que la croissance est allométrique ou asymétrique. Le poisson est respectivement plus lourd ou moins lourd que sa taille : certaines parties se développent plus rapidement ou plus lentement que d'autres, ce qui altère les proportions générales (Ricker, 1980). Une comparaison du paramètre d'allométrie b par rapport à la valeur 3 est faite avec le test de Student.

2.4.3. Facteur de condition

Pour une longueur donnée, un poisson peut être plus ou moins lourd selon son état de santé ou de bien être (état d'embonpoint). Classiquement, cet état d'embonpoint est défini par le facteur de condition K donné par le rapport du poids de l'individu sur le cube de sa longueur (Cury et Fontana, 1988). Ce facteur de condition est celui de Fulton (1911). D'autres auteurs préfèrent la formule de Le Cren (1951) où le facteur de condition s'exprime par le rapport du poids réel de l'individu à celui théorique obtenu par la relation $P=aL^b$. Ce dernier prend en compte les conditions environnementales de l'espèce. C'est pourquoi, il est choisi dans la présente étude et est K défini comme suit :

$$K = \frac{P_{obs}}{P_{th}}$$

P_{obs} est le poids observé et P_{th} le poids théorique en gramme; cette relation indique que plus le poisson est gros, plus il est dans de meilleures conditions environnementales. L'étude de ce facteur permet de voir à quel cycle, saisonnier et annuel, obéit la prise de poids des individus.

Le test de Kruskal-Wallis et la comparaison multiple Kruskal-Wallis ont été utilisés dans l'étude du coefficient de condition par mois.

2.4.4. Structure en taille

Les tailles obtenues lors de l'échantillonnage sont regroupées par classe de taille de 1 cm d'intervalle par mois, par site ou par saison pour une année donnée afin d'obtenir des distributions de fréquences en taille. Les facteurs comme la croissance, le recrutement, la mortalité naturelle, la mortalité par pêche, la sélectivité de l'engin de pêche, peuvent agir simultanément et/ou séquentiellement sur la distribution des fréquences en taille (Sidibé, 2003). Selon lui, des variations plus ou moins fortes entre les âges, les années et les individus, peuvent jouer un rôle essentiel dans la constitution d'une distribution en taille.

La comparaison des tailles obtenues par site a été effectuée avec l'Analyse de variance et le test de Tukey a été utilisé pour comparer les sites deux à deux. Le test de Student a été utilisé pour une comparaison entre saisons.

2.4.5. Détermination des paramètres de croissance par l'analyse des fréquences de tailles

En dépit des critiques fréquentes, les méthodes basées sur l'analyse des fréquences de taille ont trouvé sous les tropiques de plus vastes applications que l'étude des pièces dures (Pauly, 1983). Il est plus commode d'analyser des fréquences de tailles que d'étudier les pièces dures ou d'utiliser la méthode de marquage-recapture qui demandent beaucoup plus de matériel.

Les données des fréquences de tailles sont groupées par intervalles de classe de 2 cm, arrangées par mois pour une année. L'analyse de ces fréquences de tailles est faite en utilisant la méthode d'ELEFAN (Electronic Length Frequency Analysis) dans le logiciel R afin d'estimer les paramètres de la croissance L_{∞} et K de von Bertalanffy chez *Sardinella maderensis*. Les histogrammes des fréquences de taille mensuelles, superposées avec la courbe de croissance seront représentées dans une figure. Pour chaque mois, une courbe reliant un mode (pris arbitrairement) des histogrammes des fréquences de taille à un autre mode est tracée pour comprendre l'évolution de la croissance d'une cohorte donnée (Pauly, 1984).

Le modèle ELEFAN est une méthode non paramétrique qui utilise un ou plusieurs échantillons collectés à des dates différentes. Pour chaque couple de valeurs des paramètres de l'équation de von Bertalanffy et pour chaque date correspondant à une distribution en taille, les modes théoriques aux âges sont calculés. Les différentes étapes pour la détermination de L_{∞} et K sont :

- une estimation de la valeur initiale de la longueur asymptotique (L_{∞}) et Z/K (Z = mortalité totale et K = taux de croissance) en utilisant la méthode de Powell-Wetherall (Powell, 1979; Wetherall, 1986). Comme cette méthode ne donne pas la valeur directe de k , une déduction de k sera faite par la méthode de Shepherd.
- une nouvelle estimation de la valeur initiale de la longueur asymptotique (L_{∞}) et K en utilisant la méthode de Shepherd (1987). La combinaison des valeurs de L_{∞} et K est obtenue avec le plus grand score de R (la valeur de R varie entre 0 et 1).
- la méthode ELEFAN qui propose quatre options pour déterminer les valeurs optimisées de L_{∞} et K : l'ajustement de la courbe par simple clic sur un point de la courbe donnant le meilleur score R (choix du point laissé à l'utilisateur), l'analyse de surface de réponse, balayage (scanner) des valeurs de K et la recherche automatique. Dans cette méthode, le paramètre croissance L_{∞} et K sont estimés suivant l'équation de croissance de von Bertalanffy :

$$L(t) = L_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Où L_t est la longueur à l'âge t , L_{∞} la longueur asymptotique, K le coefficient de croissance (vitesse avec laquelle le poisson croît vers la longueur asymptotique) et t_0 âge théorique à laquelle le poisson aurait eu une longueur nulle s'il avait grandi selon l'équation ci-dessus. Les valeurs optimisées de L_{∞} et K sont obtenues par la recherche automatique ainsi que les histogrammes de fréquence de taille.

L'indice de performance de croissance (Φ') a été calculé en utilisant l'équation de Pauly et Munro (1984):

$$\Phi' = \log_{10}(K) + 2 \times \log_{10}(L_{\infty})$$

2.5. Analyses statistiques

Toutes les données recueillies ont été traitées avec le tableur Excel de Microsoft, diverses comparaisons ont été faites à l'aide des tests statistiques effectués avec le logiciel R que sont le test t de Student, le test de Wilcoxon W, l'analyse de variance F, le test de Khi-deux (χ^2), le test de Tukey, le test de Kruskal-Wallis, le test de comparaison multiple Kruskal-Wallis. La description et les conditions d'utilisation de ces tests sont essentiellement tirées des ouvrages de Dodge (2007) et de Lejeune (2010).

- **Le test de Khi-deux (χ^2)**

Le test d'indépendance du Khi-deux vise à déterminer si deux variables observées sur un échantillon sont indépendantes ou non. C'est un test d'adéquation qui utilise un tableau de contingence.

- **Le test t de Student**

Le test de Student est un test d'hypothèse paramétrique sur la moyenne d'un échantillon, ou sur la comparaison des moyennes de deux échantillons distribués normalement et de variances homogènes dans le second cas. Il s'agit de voir si les deux échantillons proviennent bien d'une population ou s'il y a une différence significative entre la moyenne des deux échantillons et la moyenne de la population.

- **Le test de Wilcoxon**

Le test de Wilcoxon est un test non paramétrique. Il est utilisé en présence de deux échantillons provenant de deux populations dont la normalité et/ou l'homogénéité de variance ne sont pas vérifiées. Son but est de vérifier s'il existe des différences entre les deux échantillons sur la base d'échantillons aléatoires tirés de ces populations.

- **L'analyse de variance (ANOVA)**

L'analyse de variance permet de comparer les moyennes de trois échantillons aléatoires ou plus afin de déterminer s'il existe une différence significative entre les populations dont sont issus les échantillons. L'analyse de variance ne peut s'appliquer que si, d'une part, les échantillons aléatoires sont indépendants et d'autre part, les populations ont approximativement des distributions normales et toutes égales de variance.

- **Le test de Tukey**

Il est utilisé pour comparer a posteriori si plusieurs échantillons sont significativement différents, une comparaison deux à deux est nécessaire. Il est utilisé après l'Analyse de variance.

- **Le test de Kruskal-Wallis**

Le test de Kruskal-Wallis est un test non paramétrique visant à déterminer si k populations sont toutes identiques ou si au moins une des populations tend à fournir des observations différentes des autres populations. Le test est utilisé lorsque l'on est en présence de k échantillons, avec $k \geq 2$, provenant de k populations pouvant être différentes.

Le test de comparaison multiple de Kruskal-Wallis est un test de comparaison a posteriori. Il est utilisé lorsqu'il existe des différences significatives dans le test de Kruskal-Wallis ; pour faire une comparaison deux à deux dans un couple de variables.

3. RESULTATS

3.1. Reproduction

3.1.1. Sex-ratio

De février 2012 à mars 2013, sur un total de 1068 individus échantillonnés, le sex-ratio est en faveur des femelles, soit 55,81%. Les résultats du test de Khi-deux montrent qu'il y a une différence significative des pourcentages de mâles et de femelles ($\chi^2= 14,397$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,05$).

Les femelles sont dominantes (58,97%) aussi bien en saison chaude ($\chi^2= 3,457$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0,06$) qu'en saison froide (53,68%) d'après le test de Khi-deux ($\chi^2= 13,8205$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,05$). Par contre, en saison chaude, la différence est significative entre le pourcentage des mâles et celui des femelles. La prédominance des femelles est donc plus marquée pendant la saison chaude.

A Cayar, le sex-ratio est légèrement en faveur des mâles avec 51,23% sur un total de 447 individus, mais sans une différence significative au vu des résultats du test de Khi-deux ($\chi^2= 0,2707$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0,6029$). A Mbour, les femelles sont dominantes (59,70%) sur 335 individus. Les résultats du test de Khi-deux indiquent une différence significative entre les proportions des mâles et des femelles ($\chi^2= 12,6119$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,05$). Les femelles sont largement dominantes à Joal (62,24%) sur un total de 286 individus et la différence de proportions est significative ($\chi^2= 17,1329$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,05$).

3.1.2. Taille de première maturité sexuelle

La taille de première maturité sexuelle pour tous sites confondus est de 16,6 cm pour les mâles et 17,5 cm pour les femelles et tous sont matures à partir 24 cm (figures 4, 5 et 6).

A Cayar, la L50% est de 17,7 cm chez les mâles et de 18,4 cm chez les femelles. La taille de première maturité est atteinte à Mbour à 16,9 cm et 17,6 cm respectivement pour les mâles et les femelles. A Joal, 50% des individus deviennent matures à 19,5 cm pour les mâles et 21,3 cm pour les femelles. (Figures 7 à 15).

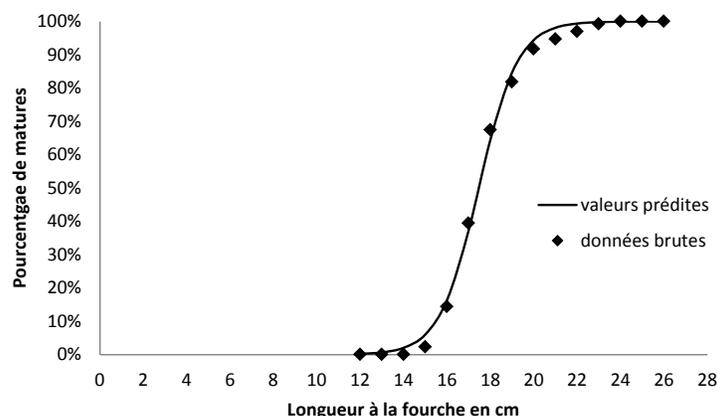


Figure 4: Taille de première maturité sexuelle des femelles

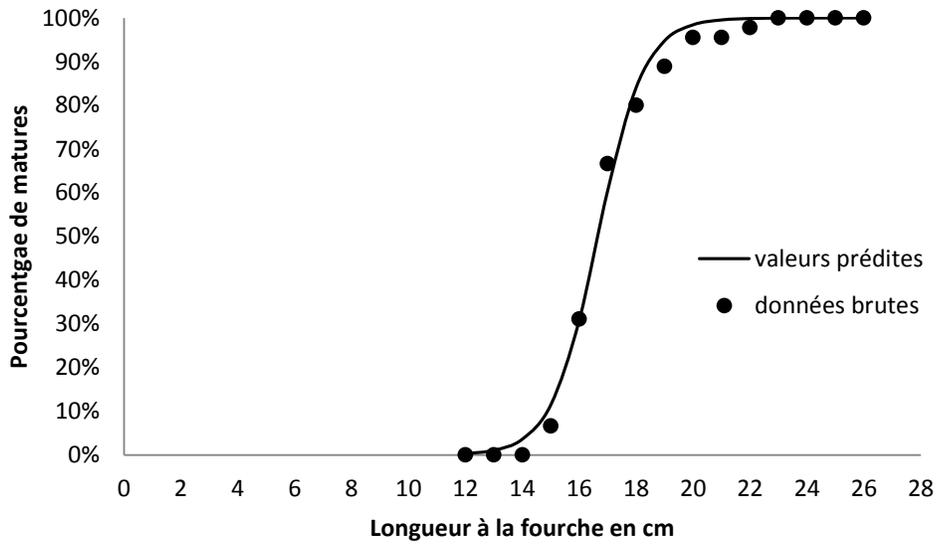


Figure 5: Taille de première maturité sexuelle des mâles

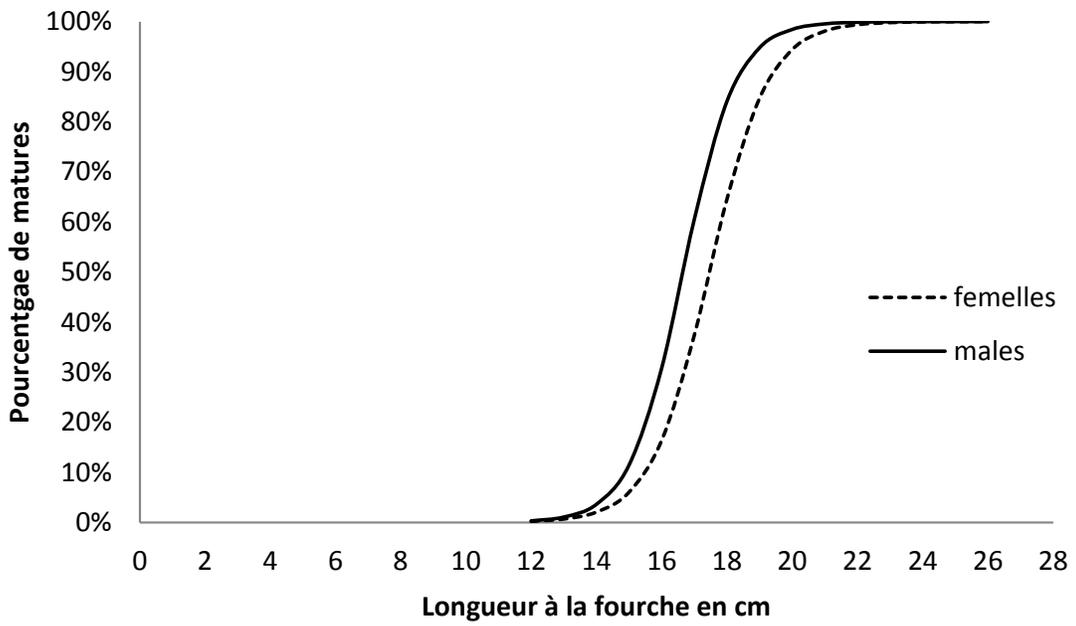


Figure 6: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes

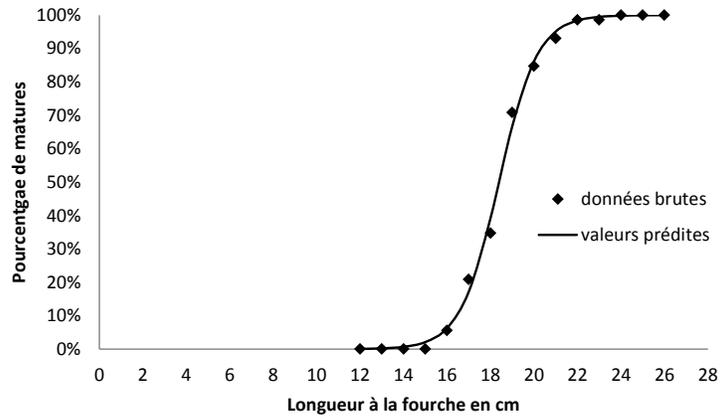


Figure 7 : Taille de première maturité sexuelle des femelles à Cayar

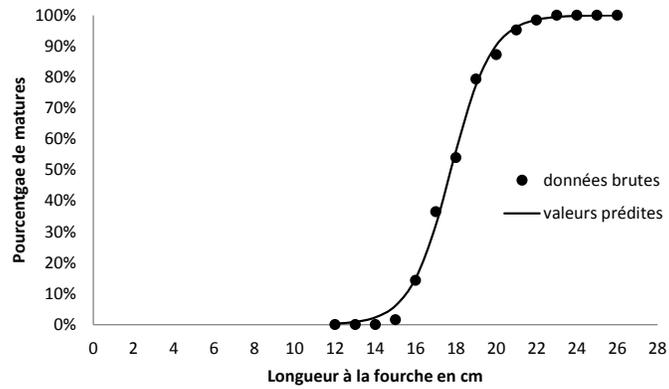


Figure 8: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Cayar

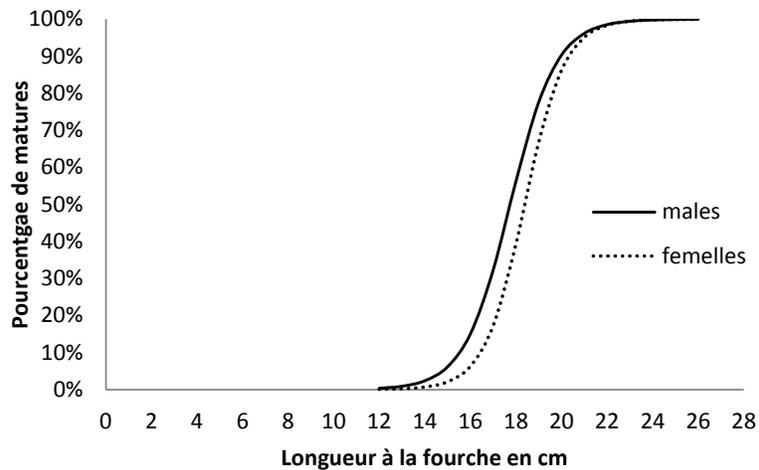


Figure 9: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Cayar

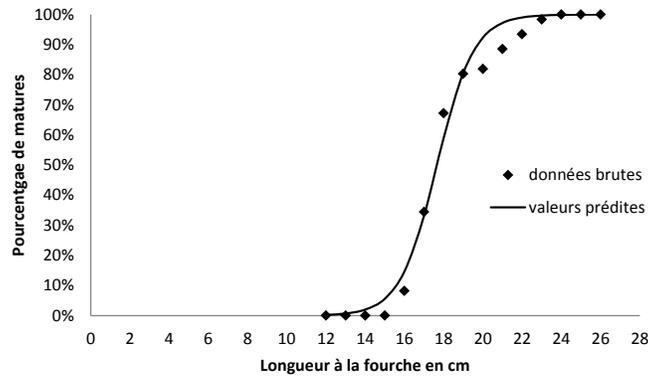


Figure 10: Taille de première maturité sexuelle des femelles à Mbou

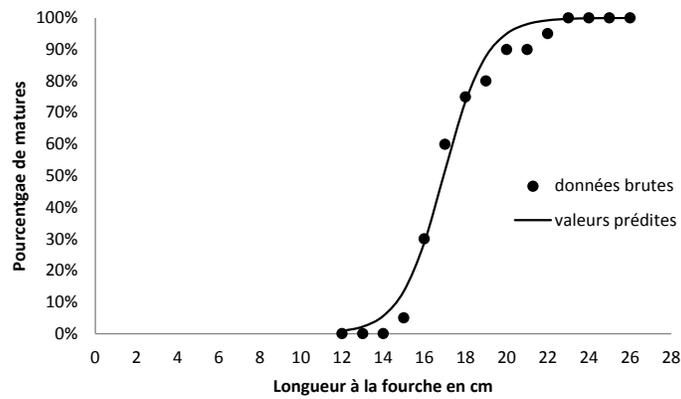


Figure 11: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Mbou

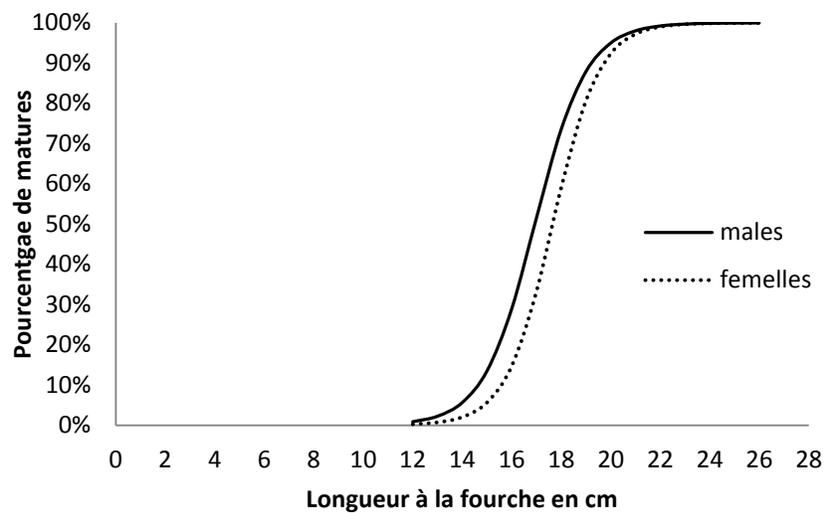


Figure 12: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Mbou

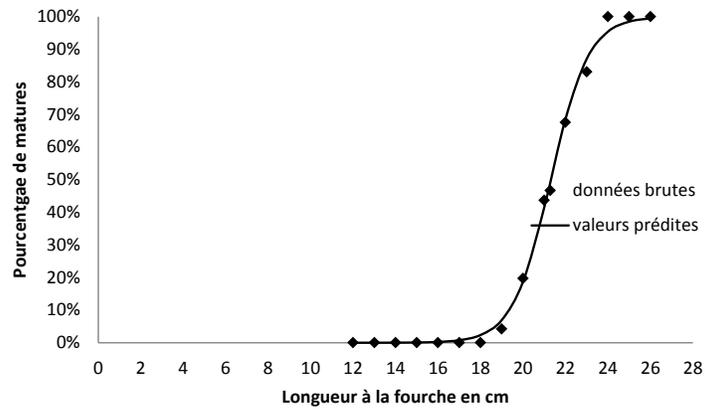


Figure 13: Taille de première maturité sexuelle des femelles à Joal

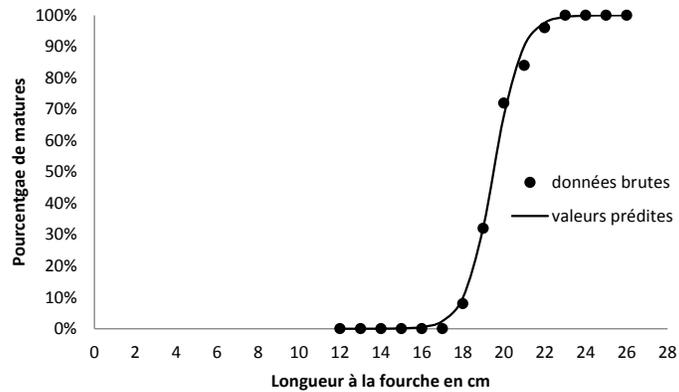


Figure 14: Taille de première maturité sexuelle des mâles à Joal

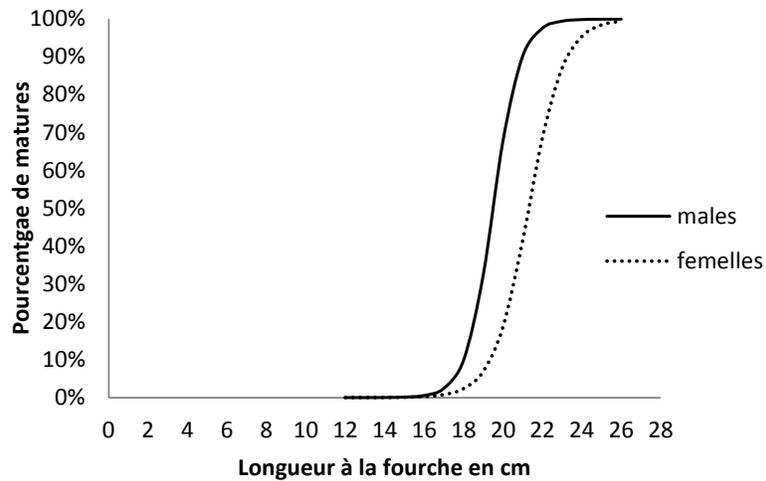


Figure 15: Taille de première maturité sexuelle des deux sexes à Joal

Tableau I: Taille de première maturité sexuelle de *Sardinella maderensis*.

Sites	Sexe	N	L50% (cm)	R ²
Cayar	Mâle	205	17,7	0,9979
	Femelle	193	18,4	0,9978
Mbour	Mâle	123	16,9	0,9882
	Femelle	182	17,6	0,9890
Joal	Mâle	108	19,5	0,9979
	Femelle	178	21,3	0,9979
tous les 3 sites	Mâle	436	16,6	0,9953
	Femelle	553	17,5	0,9981

Tableau II: Comparaison des L50% par sexe dans les différents sites.

Sites	Sexe	L50% (cm)	t	df	p-value
Cayar	Mâle	17,7	44,5619	1	< 0,05
	Femelle	18,4			
Mbour	Mâle	16,9	91,5481	1	< 0,05
	Femelle	17,6			
Joal	Mâle	19,5	54,8605	1	< 0,05
	Femelle	21,3			
Sénégal	Mâle	16,6	76,5430	1	< 0,05
	Femelle	17,5			

Tableau III: Comparaison des L50% par site chez les mâles et chez les femelles.

Sexe	Sites	L50% (cm)	Valeur de t	df	p-value
Mâle	Cayar	17,7	37,0568	2	< 0,05
	Mbour	16,9			
	Joal	19,5			
Femelle	Cayar	18,4	34,1074	2	< 0,05
	Mbour	17,6			
	Joal	21,3			

3.1.3. Détermination des périodes de reproduction

3.1.3.1. Evolution des stades de maturité sexuelle

Les femelles de stades supérieurs à IV sont importantes de janvier à octobre avec un maximum au mois de février. Une période de repos sexuel est constatée en septembre (stade III très dominant),

novembre et décembre où il y a absence du stade V. Celui-ci est plus marqué entre janvier et février, puis de juin à août.

Les mâles de stade V sont présents de janvier à juillet, puis de novembre à décembre avec un maximum en février. Les mâles de stades III et IV sont observés dans les captures de mai à novembre. D'ailleurs, ces deux stades sont quasiment les seuls à être présents de juillet à octobre. De plus, le mois de novembre qui n'est constitué que des stades II et III permettrait d'affirmer que la période de repos sexuel se situe de juillet à novembre.

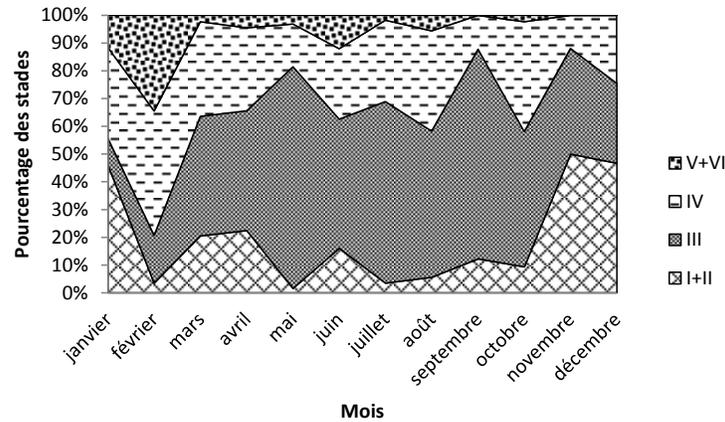


Figure 16 : Evolution mensuelle des stades de maturité sexuelle chez les femelles

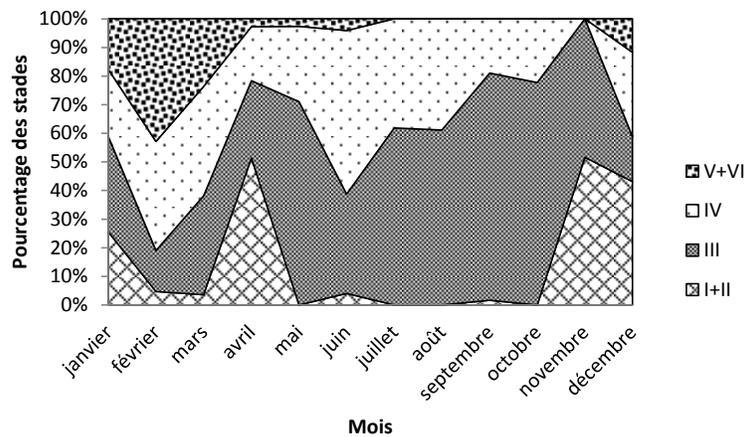


Figure 17 : Evolution mensuelle des stades de maturité sexuelle chez les mâles.

De manière générale, les femelles sont dominantes pour les stades II, III, IV et VI alors que les mâles sont majoritaires pour les stades I et V. Les résultats du test de Khi-deux montrent une différence significative entre mâles et femelles pour les stades II et VI (tableau 2). Pour tous sexes confondus, les individus de stade III dominent (45,98%), suivis des immatures (34,17%) et ceux de stades supérieurs à IV (19,85%).

Tableau IV : Comparaison des stades de maturité sexuelle entre mâles et femelles.

Stade	Mâles (%)	Femelles (%)	Valeur de χ^2	Degré de liberté df	p-value
I	53,49	46,51	0,2093	1	0,65
II	41,57	58,43	4,7229	1	< 0,05
III	47,79	52,21	1,6423	1	0,20
IV	45,82	54,18	2,0903	1	0,15
V	56,94	43,06	1,3889	1	0,24
VI	0	100	4,00	1	< 0,05

3.1.3.3. Rapport gonado-somatique

La figure 18 illustre l'évolution mensuelle du RGS des femelles. Le RGS croît rapidement de janvier (2,71) à février (5,06) pour chuter immédiatement au mois d'avril. Ensuite, il augmente lentement de avril (3,26) à juin (5,41) où il atteint son maximum puis diminue progressivement jusqu'au mois de septembre (3,14). En octobre, une légère hausse de 0,32 du RGS est notée avant d'atteindre son niveau le plus bas en novembre (1,60)

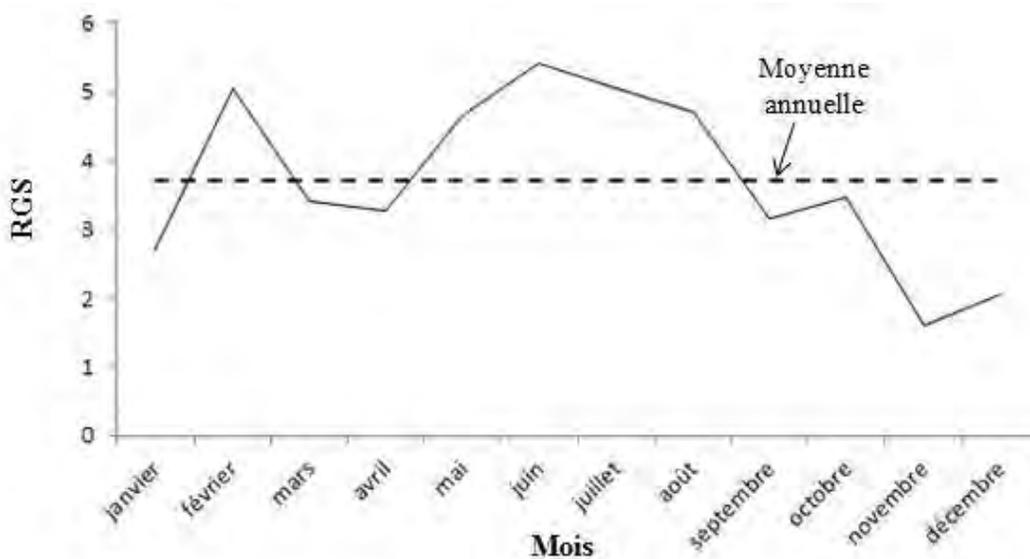


Figure 18 : Evolution mensuelle du RGS moyen des femelles

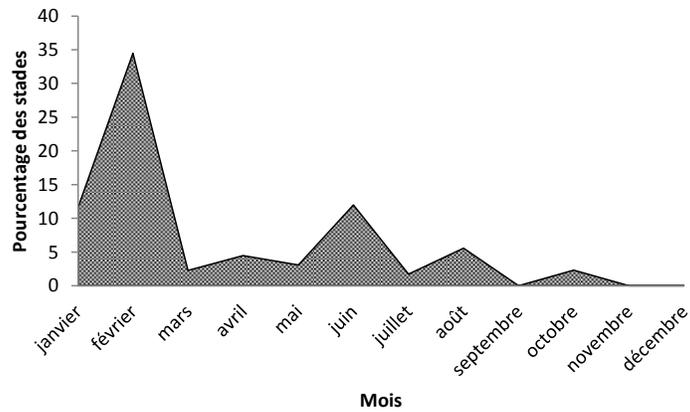


Figure 19: Variation mensuelle du stade 5 de maturité sexuelle des femelles

Le suivi mensuel des femelles de stade 5 montre que ce stade est présent de janvier à octobre avec des maxima en février et en juin. La figure 9 met en évidence la présence de trois pics dont deux en dessus de la moyenne annuelle du RGS (février (5,06) et de juin (5,53)). Cependant, un pic ne dépassant pas la moyenne annuelle de RGS est constaté en octobre (3,46). L'évolution mensuelle du RGS est en phase avec celle du stade 5 de maturité sexuelle. Ainsi, chez la sardinelle plate, une première ponte est observée entre février et mars. La deuxième ponte a lieu de juin à août et la troisième en octobre mais de moindre importance.

3.1.4. Fécondité

La fécondité absolue obtenue par estimation chez *Sardinella maderensis* de tailles comprises entre 212 à 290 mm montre une variation de 30 720 à 346 112 œufs pour une moyenne de $102\ 052 \pm 54\ 434$ œufs par femelle. La fécondité relative moyenne est de 395 ± 157 œufs par gramme de femelle.

3.2. Croissance

3.2.1. Relations entre longueurs

- **Relation entre longueur standard-longueur totale ($LT=a_1.LS+b_1$).**

La relation entre les longueurs standard et totale donne les résultats suivants :

N	a_1	b_1	R^2	LS_{min}	$LS_{moy} \pm \sigma$	LS_{max}	LT_{min}	$LT_{moy} \pm \sigma$	LT_{max}
1185	1,17	3,17	0,940	12,5	$21,2 \pm 2,6$	28,7	16,6	$27,8 \pm 3,1$	36,0

- **Relation entre longueur standard-longueur à la fourche ($LF=a_2.LS+b_2$).**

La relation entre la longueur standard et la longueur à la fourche donne les résultats suivants :

N	a_2	b_2	R^2	LS_{min}	$LS_{moy} \pm \sigma$	LS_{max}	LF_{min}	$LF_{moy} \pm \sigma$	LF_{max}
1185	0,998	1,910	0,967	12,5	$21,2 \pm 2,6$	28,7	14,1	$23,1 \pm 2,6$	30,0

- **Relation entre longueur à la fourche-longueur totale ($LT=a_3.LF+b_3$).**

La relation entre les longueurs à la fourche et totale donne les résultats suivants :

N	a_3	b_3	R^2	LF_{min}	$LF_{moy} \pm \sigma$	LF_{max}	LT_{min}	$LT_{moy} \pm \sigma$	LT_{max}
1185	1,17	0,91	0,973	14,1	$23,1 \pm 2,6$	30,0	16,6	$27,8 \pm 3,1$	36,0

3.2.2. Relation taille-poids

La relation entre le poids total et la longueur à la fourche fournit les résultats suivants (figure 11 et tableau 3). Les résultats du test de Student (tableau 4) montrent que la sardinelle plate a une croissance isométrique. Cependant, elle a une allométrie légèrement minorante en saison chaude. La comparaison des paramètres a et b des mâles et des femelles par test de Khi-deux permet de montrer qu'il n'y a pas de différences significatives des coefficients a ($\chi^2=0$, $df=1$, $p\text{-value}=0,9966$) et b ($\chi^2=0,0001$, $df=1$, $p\text{-value}=0,9939$). Autrement dit, il s'agit de la même équation pour les deux sexes : celle trouvée dans la relation globale $P_t = 0,016.L_f^{2,998}$ (n=5660).

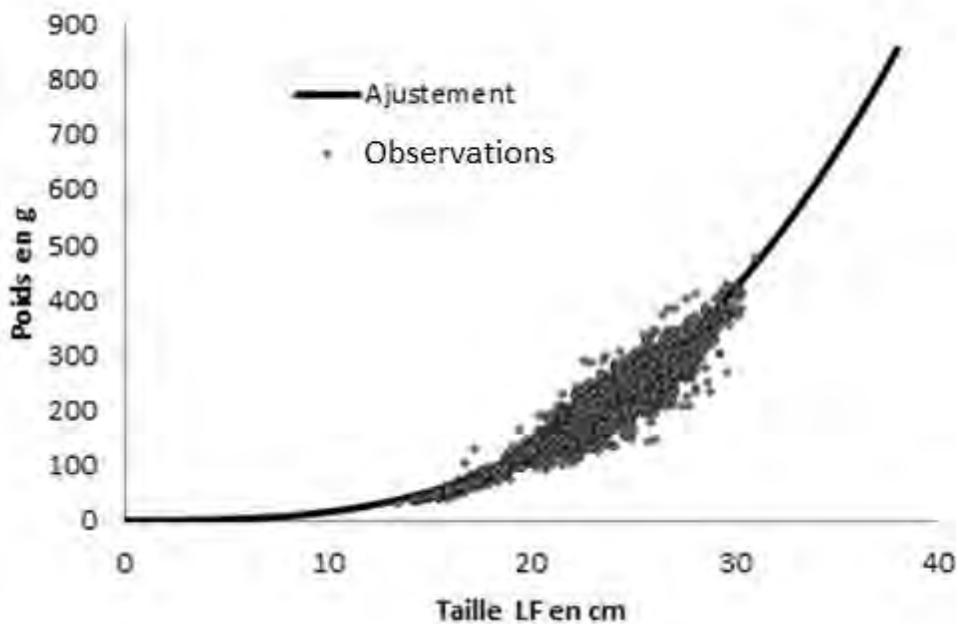


Figure 20: Relation taille-poids de *Sardinella maderensis* au Sénégal

Tableau V : Paramètres d'allométrie chez *Sardinella maderensis*

	N	b	a	R ²	LF _{min}	LF _{moy} ± σ	LF _{max}	Pt _{min}	Pt _{moy} ± σ	Pt _{max}
Global	5660	2,998	0,016	0,925	13,4	22,63±1,13	31,0	34,2	180,10±1,48	479
S. froide	3617	3,003	0,015	0,934	13,4	22,38±1,15	31,0	34,2	173,57±1,53	479
S. chaude	2043	2,945	0,019	0,890	14,2	23,07±1,11	30,1	35,8	194,08±1,37	418
Femelle	640	2,868	0,024	0,874	14,1	23,25±1,12	30,0	41,8	201,65±1,53	479
Mâle	527	2,849	0,025	0,882	15,3	22,68±1,12	29,2	51,4	184,41±1,40	403,5

Tableau VI: Résultats de la comparaison du paramètre b par le test de Student.

Site	N	b	Valeur à comparer	t	df	p-value
Global	5660	2,998	3	263,501	1	< 0,05
S. froide	3617	3,003	3	226,65	1	< 0,05
S. chaude	2043	2,945	3	128,58	1	> 0,05
Mâle	640	2,868	3	62,70	1	> 0,05
Femelle	527	2,849	3	66,57	1	> 0,05

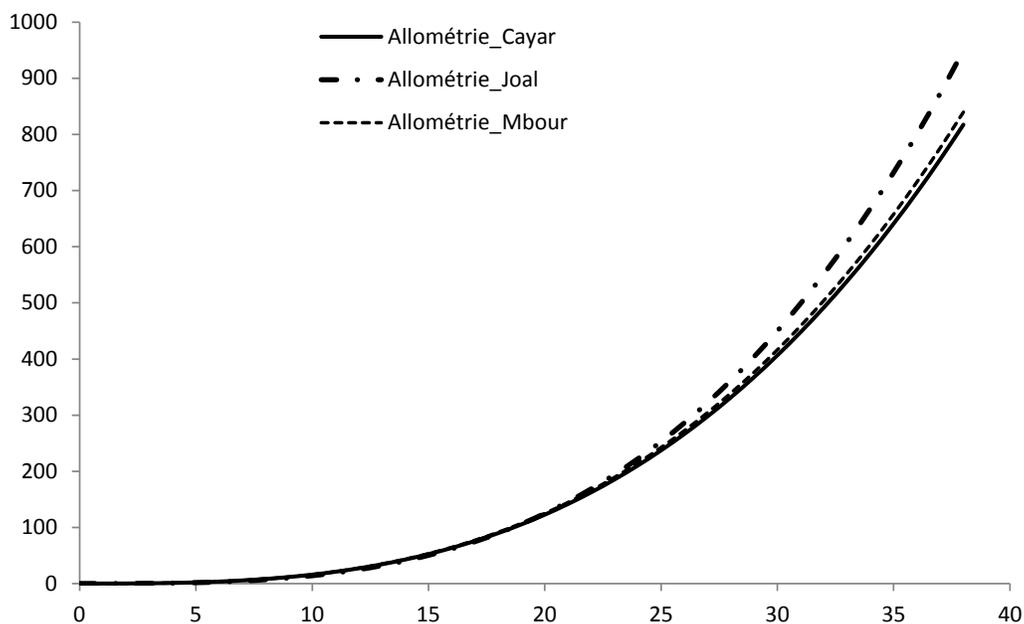


Figure 21: Relation taille-poids de *S. maderensis* à Cayar, Mbour et Joal

Tableau VII: Paramètres d'allométrie chez la *Sardinella maderensis* par site.

Site	N	b	a	R ²	LF _{min}	LF _{moy} ± σ	LF _{max}	Pt _{min}	Pt _{moy} ± σ	Pt _{max}
Cayar	2147	2,980	0,016	0,945	13,4	23,47±1,15	31	34,2	198,06±1,54	479
S. froide	1402	3,003	0,015	0,934	13,4	23,09±1,18	31	34,2	187,00±1,65	479
S. chaude	2043	2,514	0,073	0,812	20,3	24,18±1,08	30,0	130,0	220,67±1,23	418
Mbour	1784	2,961	0,018	0,880	15,10	22,68±1,11	30,1	50,8	182,98±1,40	389
S. froide	1109	3,012	0,015	0,892	15,1	22,42±1,12	28,9	50,8	175,60±1,43	374
S. chaude	675	2,789	0,031	0,845	16,2	23,10±1,10	30,1	58,67	195,80±1,32	389
Joal	1729	3,197	0,009	0,924	14,20	21,57±1,12	27,0	35,78	159,26±1,45	332,2
S. froide	1106	3,100	0,012	0,920	14,2	21,45±1,12	26,4	39,1	156,19±1,44	479
S. chaude	623	3,382	0,005	0,936	14,2	21,78±1,11	27,0	35,78	164,86±1,46	332,2

La figure 12 et le tableau 5 présentent la relation entre le poids total et la longueur à la fourche dans les différents sites. Les résultats du test de Student montrent que la sardinelle plate a une croissance isométrique (tableau 6) à Cayar et Mbour pour toutes saisons confondues. Elle reste isométrique au cube ($b \approx 3$) en saison froide alors qu'elle a une allométrie très minorante en saison chaude. Autrement dit, le poisson croît plus vite en longueur qu'en poids en saison chaude et simultanément en saison froide.

Cependant à Joal, la sardinelle plate a une allométrie majorante de façon générale. Il est à noter qu'elle est plus accentuée en saison chaude (tableau 6). Autrement dit, le poisson croît plus vite en poids qu'en longueur.

Tableau VIII: Résultats de la comparaison du paramètre b par le test de Student suivant les sites

Site	N	b	valeur	t	df	p-value
Cayar	2147	2,980	3	191,41	1	< 0,05
S. froide	1402	3,003	3	179,87	1	< 0,05
S. chaude	2043	2,514	3	56,61	1	> 0,05
Mbour	1784	2,961	3	114,35	1	< 0,05
S. froide	1109	3,012	3	95,43	1	< 0,05
S. chaude	675	2,789	3	60,49	1	> 0,05
Joal	1729	3,197	3	145,76	1	> 0,05
S. froide	1106	3,100	3	112,77	1	> 0,05
S. chaude	623	3,382	3	95,41	1	> 0,05

3.2.3. Facteur de condition

Les valeurs moyennes du coefficient de condition K trouvées sont résumées dans le tableau en annexe 4 sont différentes pour 5315 individus de façon significative d'après le test de Kruskal-Wallis ($\chi^2=1814,64$, $df = 11$, $p\text{-value} < 0,05$). Une comparaison deux à deux de Kruskal-Wallis Multiple Comparison a permis de voir que le coefficient K varie pour tous les couples de mois à l'exception des mois suivants : septembre-octobre, octobre-novembre-décembre, mai-juin, janvier-février, et mai-août. Pour ces couples ou triplets de mois, le facteur de condition est le même et pour le reste, il varie en fonction des paramètres environnementaux. Cela dit, il y a une évolution mensuelle des coefficients de condition au cours de l'année bien qu'il y ait une relative stabilité de septembre à février. Cependant, deux maxima (avril et juillet) et trois minima (février-mars, mai-juin et août) d'embonpoint sont notés.

Tableau : Coefficient de condition K moyen mensuel

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
K	105,36	105,31	85,68	105,33	96,91	96,25	111,00	98,07	103,51	101,20	99,35	100,67

La moyenne annuelle du facteur de condition trouvée est de 100,72.

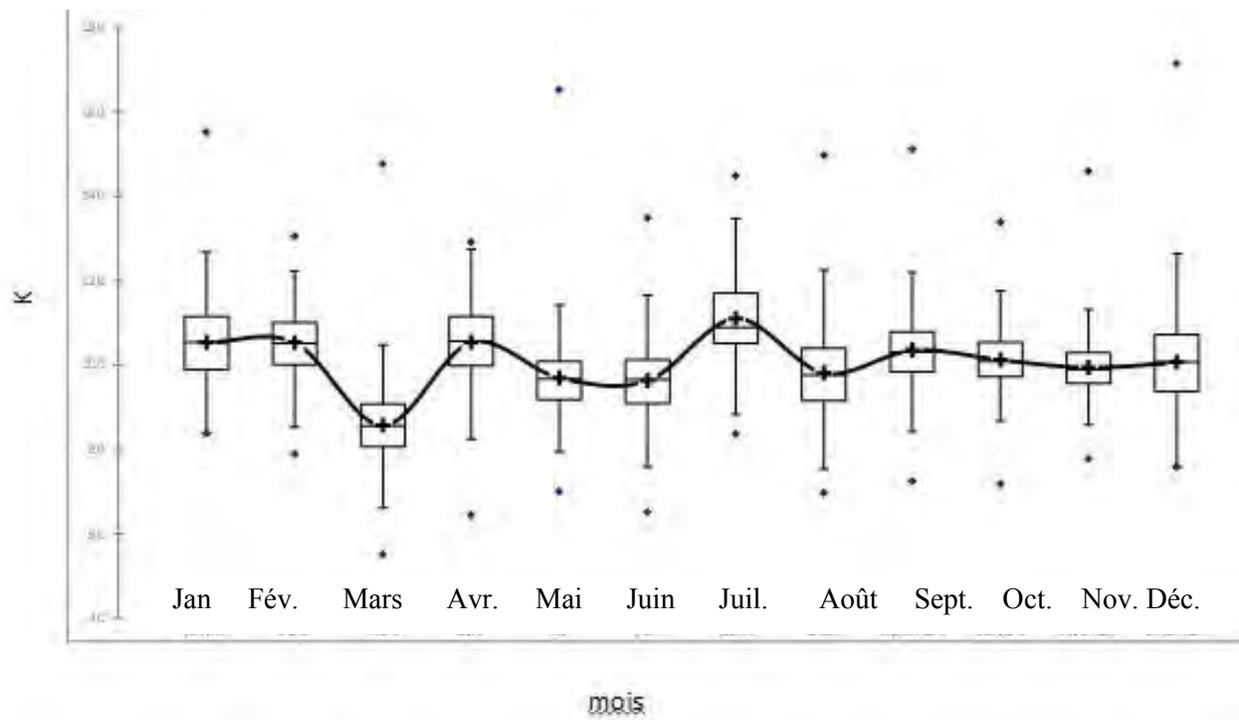


Figure 22 : Evolution mensuelle du facteur de condition

3.2.4. Structure en taille

- **Comparaison des tailles par site**

Les courbes de structure en taille font ressortir deux modes pour chaque site. Les courbes de Mbour et de Joal semblent se superposer alors que celle de Cayar a une allure différente. A Cayar, le premier mode est situé à 19 cm avec 7,4% par rapport aux individus mesurés et le second à 24 cm avec un pourcentage de 16,3%. A Mbour également, le premier pic est à 16 cm et l'autre à 22 cm avec des pourcentages respectifs de 5,4% et 26,2% par rapport aux individus provenant du site. Les deux modes obtenus à Joal se superposent à ceux de Mbour mais avec des pourcentages inférieurs soit 3,4% et 25,15% des poissons échantillonnés dans ce site respectivement pour le premier et second.

Les tailles moyennes des individus mesurés par site sont de 23,6 cm, 22,8 cm et 21,6 cm respectivement à Cayar, Mbour et Joal. Au vu des résultats de l'analyse des variances, la différence des tailles entre sites est très significative ($F=250,8$, $df=2$ et $p\text{-value} < 0,05$). Une comparaison deux à deux de Tukey a permis de voir que les tailles ne varient pas entre les sites de Joal et Mbour.

Ainsi, la figure 14 montre qu'au niveau de la petite Côte (Mbour et Joal), les individus capturés sont de plus petites tailles comparés à ceux de la grande Côte mais sont importants en termes de pourcentage. Les grands individus y dépassent rarement 26 cm. A Cayar, toutes les gammes de tailles sont capturées (de 13 à 31 cm). Cependant, les individus de grandes tailles y dominent largement (50% des individus ont une taille supérieure à 24,9 cm). 50% des individus échantillonnés dépassent 21,1 cm et 21,2 cm respectivement à Joal et à Mbour.

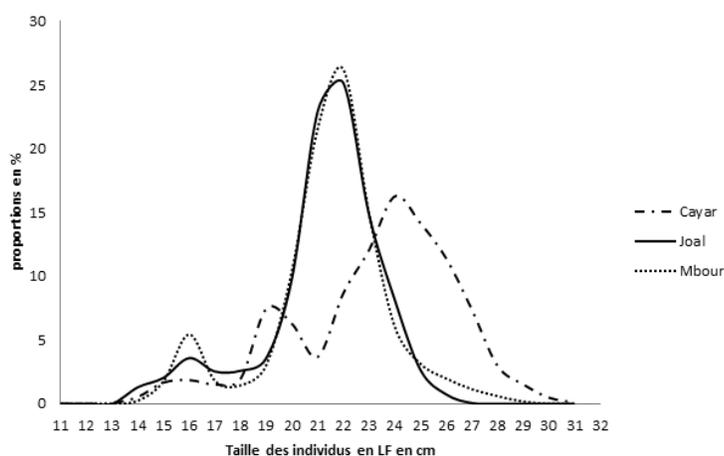


Figure 23: Structure en taille par site

- **Comparaison des tailles par saison**

Les tailles moyennes échantillonnées sur tous les sites confondus en saison froide et en saison chaude sont respectivement égales à 22,5 cm et 23,2 cm et montrent des différences significatives d'après le test de Student ($t = 9,3855$, $df = 5158,548$, $p\text{-value} < 0,05$). La remarque faite en analysant les spectres

de taille par saison est que la courbe en saison chaude est unimodale alors qu'en saison froide, elle est bimodale. Le pic de la saison froide est inférieur en termes de pourcentage à celui de la saison chaude (16% contre 23%) mais a lieu après ce dernier (23 cm contre 22 cm). En effet, 50% des individus capturés dépassent 21,9 cm et 22,1 cm respectivement en saison froide et en saison chaude.

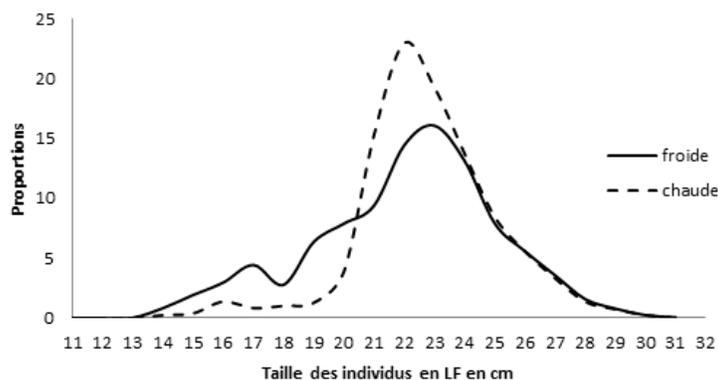


Figure 24: Structure en taille par saison

Tableau : Tailles moyennes mensuelles (longueur à la fourche) en cm des individus par site.

Mois	Cayar	Mbour	Joal
Janvier	24,1	23,3	19,2
Février	-	22,2	22,2
Mars	26,3	23,8	22,9
Avril	24,7	233,94	23,8
Mai	26,7	24,1	22,5
Juin	25,8	25,0	24,2
Juillet	22,9	22,8	22,7
Août	-	21,0	19,3
Septembre	23,9	22,9	21,8
Octobre	-	23,6	21,7
Novembre	19,9	17,8	20,6
Décembre	17,6	23,0	20,9

(-) A Cayar, l'absence de poissons durant les mois de février, août et octobre a fait que leur moyenne n'a pas été calculée et n'a pas fait l'objet de comparaison par des tests statistiques.

3.2.5. Détermination des paramètres de croissance de von Bertalanffy

L'analyse des données de fréquence de taille par la méthode de Powell-Wetherall a donné les valeurs optimisées pour K et L_{∞} obtenus par ELEFAN sont de $0,34 \text{ an}^{-1}$ et 33,4 cm. Le meilleur score de R_n pour les valeurs obtenues de K et de L_{∞} est de 0,258.

L'indice de performance de croissance estimé (Φ') est de 2,74. La longévité pour *S. maderensis* est de 5 ans. Sur cette figure, la présence de trois cohortes et de trois populations nées à différentes périodes de l'année est notée : l'une en juin 2012, l'autre en octobre 2012 et la dernière en février 2013 coïncidant aux périodes de pontes de *S. maderensis* trouvée plus haut. La sardinelle plate a une croissance saisonnière qui est rapide au cours de la première année. Elle mesure 10 cm à 4 mois, 13,14 cm à 6 mois et atteint 17 cm au bout d'une année. Cette croissance diminue au fur et à mesure qu'elle grandit. Après 1 an et demi, elle mesure 23,1 cm ; à 2 ans, 25 cm. La croissance ralentit vers 3 ans (29,34 cm).

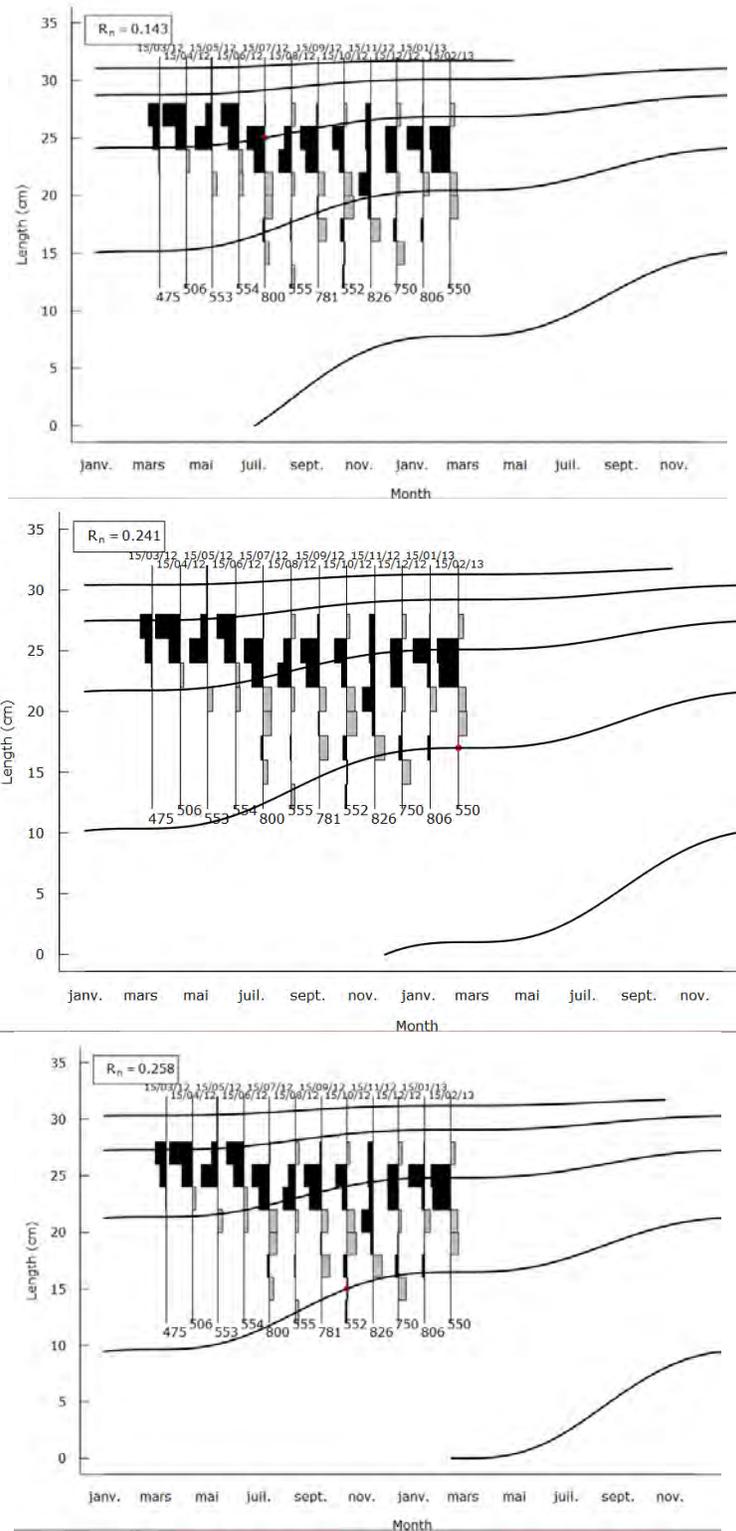


Figure 25 : Courbes de croissance superposées aux fréquences de tailles par ELEFAN

4. DISCUSSION

4.1. Reproduction

- **Sex-ratio**

Le sex-ratio global est en faveur des femelles (55,81%) pour un nombre total d'individus égal à 1068. Ce résultat est en accord avec ceux de Diouf-Goudiaby et al. (2010) au Sénégal, de Camarena-Luhrs (1986), Lawal et Mylnikov (1988) en Mauritanie et de Gabche et Hockey (1995) au Cameroun qui montrent la prédominance des femelles sur les mâles.

L'étude de Diouf-Goudiaby et al. (2010) montre que le sex-ratio est en faveur des femelles (56,18%) pour un nombre total d'individus de 3856 pour toutes tailles et années confondues. Gabche et Hockey (1995) trouvent un ratio de 60% en faveur des femelles au Cameroun. Le sex-ratio des femelles serait proche de 54,55% selon Camarena-Luhrs (1986), tandis que Lawal et Mylnikov en Mauritanie (1988) l'estiment à 59,68%.

Le sex-ratio saisonnier trouvé montre qu'il est en faveur des femelles aussi bien en saison chaude (58,97%) qu'en saison froide (53,68%). D'ailleurs, il est d'autant plus marqué durant la saison chaude (juin-octobre).

Le sex-ratio par site montre une nette dominance des femelles au niveau de la Petite Côte à Mbour (59,70%) et à Joal (62,24%). Cela pourrait être dû au fait que la petite Côte constitue une zone de frayère alors qu'à Cayar, le sex-ratio est légèrement en faveur des mâles, soit 51,23%.

- **Taille de première maturité sexuelle**

La taille de première maturité sexuelle trouvée dans la présente étude est de 16,6 cm et 17,5 cm respectivement pour les mâles et les femelles. Ces résultats sont en accord avec ceux de Diouf (1996), Samba (2011), proches de Camarena-Luhrs (1986) et de Boely (1980) au Sénégal réalisés dans les côtes sénégalaises.

En effet, Diouf (1996) a trouvé une L50% de 16,8 cm et 17,6 cm respectivement chez les mâles et les femelles. Le mémoire de DEA de Samba (2011) indique une taille de maturité sexuelle de 18,3 cm chez les mâles et de 17,7 cm chez les femelles de *S. maderensis*. Boely (1980) a trouvé une taille de maturité sexuelle de 16,5 cm et Camarena-Luhrs (1986) trouve lui 17 cm chez les femelles.

Cependant, les résultats de la présente étude sont contraires à ceux de Diouf-Goudiaby et al. (2010) qui ont trouvé 23,68 cm et 25,09 cm respectivement chez les mâles et les femelles.

La taille de première maturité sexuelle de *S. maderensis* 18,5 cm dans les côtes ivoiro-ghanéennes (Marchal, 1993).

Les travaux menés au Congo (Ghéno et Fontana, 1981) et au Cameroun (Youmbi et Diama, 1991) montrent que ces valeurs de taille de première maturité sexuelle ne semblent pas être affectées par les variations du milieu d'une zone à une autre. Marchal (1991 b) a ainsi montré que les populations du Congo d'une part, de la Mauritanie et du Sénégal d'autre part présentent des caractéristiques similaires de taille à maturité sexuelle (19 à 20 cm). En revanche les sardinelles de Côte d'Ivoire et du Ghana ont une taille à la maturité sexuelle de 12 à 14 cm.

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 (Boely, 1979).

- **Périodes de reproduction**

La reproduction chez *S. maderensis* a lieu toute l'année. Cependant, les résultats de la présente étude montrent une première période de reproduction étalée de mars à octobre avec une courte période de maturation sexuelle en septembre. Durant cette période de reproduction deux pontes sont notées : l'une du mois de juin au mois d'août et l'autre en octobre. Les mois de novembre et de décembre constituent une période de repos sexuel. Une seconde période de reproduction est notée en début de période froide de janvier à mars avec une ponte intense en janvier-février. De plus, l'évolution mensuelle des stades de maturité sexuelle montre des femelles de stade V (ponte) nombreuses en janvier et février, puis en juin et août et enfin de moindre importance en octobre.

Ces observations sont en accord avec celles de Conand et Fagetti (1971), Boely (1980), Camarena-Luhrs (1986), Fréon (1986), Cury et Fontana (1988) et Samba (2011).

En effet, on observe chez les jeunes reproducteurs, des femelles aptes à se reproduire, ou en reproduction, sans interruption (Fréon, 1986). Conand et Fagetti (1971) ont noté une ponte étalée mais avec un maximum de mai à juillet. De plus, les travaux de Boely (1980) portant sur la reproduction de *S. maderensis* de 1967 à 1972 ont mis en évidence les pontes de février en 1968 puis plus marquées en 1969. Camarena-Luhrs (1986) a trouvé des femelles aptes à se reproduire (stades sexuels IV, V et VI) toute l'année avec un maximum de reproduction entre juin et octobre.

En fait, les pontes ont deux origines bien distinctes : celle des adultes (taille supérieure à 24 cm) et celle des jeunes reproducteurs (16 à 24 cm) de telle sorte que la reproduction semble être de type fractionnée (Fréon, 1986). Boely (1980) pense que les jeunes reproducteurs sont responsables de l'essentiel de la ponte principale en saison chaude alors que les adultes assurent la ponte en saison froide (février-mars). Cette hypothèse est confirmée par l'étude du RGS par taille qui montre que les adultes se reproduisent les premiers, de février à juin principalement au cours de leur migration vers le nord de la Guinée Bissau à la Mauritanie alors que les jeunes reproducteurs assurent la deuxième ponte, de septembre à novembre quand les adultes sont absents du Sénégal (Fréon, 1986). Entre les deux pontes, un repos sexuel relatif est observé par Fréon (1986) sur l'ensemble de la région en décembre et janvier.

Ce dernier a également noté que chez un même individu, la ponte est fractionnée. Autrement dit, la femelle peut pondre plusieurs fois durant la même saison de ponte au lieu de vider intégralement ses ovaires. Ceci pourrait sans doute expliquer l'interruption de la ponte en septembre et la reprise en octobre durant la saison chaude. De plus, Marchal (1993) a noté que l'indice gonado-somatique de *S. maderensis* ne baisse qu'au cours de la transition vers la grande saison froide (octobre-novembre) durant 2 mois environ.

Paradoxalement, les zones de reproduction de *S. maderensis* ne correspondent pas toujours aux milieux les plus productifs mais aux zones où la stabilité est maximale et la production est utilisable en même temps par les larves et les adultes (Fréon, 1986 ; Roy et al. 1989 ; Marshal, 1993). Selon Chikhi (1995), les pics de reproduction des espèces à ponte discontinue est généralement fonction de la combinaison des paramètres biotiques et abiotiques comme la salinité, la température, le vent et l'indice d'upwelling. Cette combinaison aide à établir avec précision le moment des pics de ponte et leur variabilité durant la saison de reproduction (Chikhi, 1995).

Pour *S. maderensis*, l'activité reproductrice est étalée et les variations de l'indice gonado-somatique et du facteur de condition sont synchrones, ce qui laisse supposer que cette espèce utilise les apports énergétiques simultanément dans la croissance et dans la reproduction (Cury et Fontana, 1988). Les stratégies de reproduction font correspondre alors la période de ponte aux périodes durant lesquelles l'abondance des populations zooplanctoniques est maximale et assurée par l'upwelling (Marshall, 1993). Ainsi, les stratégies adoptées offrent aux adultes et aux larves des conditions trophiques optimales pour la reproduction et la survie larvaire leur permettant d'assurer le succès du recrutement. Les exigences métaboliques des larves sont si élevées que leur survie est conditionnée par la rencontre d'essaims de plancton suffisamment denses, dans un milieu peu turbulent (Fréon, 1986).

- **Fécondité**

La fécondité absolue trouvée est de $102\,052 \pm 54\,434$ œufs, soit une fécondité relative de 395 ± 157 œufs. Ces résultats sont proches de ceux de Fréon (1986), Chavance et al. (1991) et de Samba (2011) qui ont étudié la fécondité de la sardinelle plate au Sénégal, Cependant, ils sont légèrement supérieurs à celui de Fontana et Pianet (1973) au Congo.

En effet, une femelle de *Sardinella maderensis* est capable de pondre entre 50 000 et 200 000 œufs par an (Conand, 1977). La fécondité relative serait de l'ordre de 400 œufs par gramme de femelle (Fréon, 1986), Au Sénégal, la fécondité absolue de cette espèce serait de 82 000 œufs pour des gonades de 12 à 32 g (Chavance et al, 1991), Chez *Sardinella maderensis*, la fécondité absolue moyenne est de $144\,130 \pm 80\,830$ œufs par femelles, soit 518 ± 275 œufs par gramme de femelle (Samba, 2011). Au Congo, Fontana et Pianet (1973) donnent une variation de fécondité absolue de 38 000 à 168 000 œufs, soit une moyenne de 72 000 œufs pour des femelles de 20 à 30 cm et une fécondité relative moyenne de 329 œufs.

La différence de fécondité trouvée dans la présente étude par rapport à celles qui lui sont antérieures pourrait s'expliquer par le fait que le diamètre ovocytaire n'a pas été pris en compte lors du comptage des ovocytes. Les ovocytes dont le diamètre est inférieur à 240 μm ne sont pas pris en compte dans le calcul de la fécondité (Le Bec 1985), En effet, ceux-ci constituent le lot de réserve qui ne sera pondue que l'année suivante (Deniel, 1981 in Le Bec 1985). De plus, les conditions environnementales favorables avec un upwelling saisonnier (apports de nutriments) pourraient justifier la différence de fécondité entre le Sénégal et le Congo. Ainsi, un petit nombre de femelles peut faire augmenter une population si les conditions environnementales sont bonnes pour la production de larves (Chikhi, 1995).

4.2. Croissance

- **Relations longueurs-longueurs**

La relation entre la longueur totale et la longueur standard est $LT=1,17.LS + 3,17$ ($n=1185$, $r=0,94$ et $p<0,05$). Celle entre la longueur à la fourche et la longueur standard est $LF=0,998.LS + 1,91$ ($n=1185$, $r=0,967$ et $p<0,05$). La relation liant les longueurs totale et à la fourche est $LT=1,17.LF + 0,91$ ($n=1185$, $r=0,973$ et $p <0,05$). Ce qui est en accord avec Gabche et Hockey (1995) au Cameroun. Ces derniers ont obtenu une relation linéaire entre la longueur totale (LT) et la longueur fourche (LF) chez *S. maderensis* égale $LT=0,645+1,18LF$ ($n=976$, $r=0,959$, $p<0,001$).

Par contre les résultats de la présente étude sont en désaccord avec ceux de Boely (1979) et de Samba (2011) qui ont trouvé des longueurs à la fourche supérieures aux longueurs totales. En effet, la relation entre la longueur à la fourche et la longueur totale est de $LF=0,79LT+7,92$ avec $R^2= 0,99$ (Samba, 2011). Boely (1979) trouve quant à lui $LT=1,26LF - 8,82$.

- **Relation taille-poids**

Les résultats trouvés montrent que chez *Sardinella maderensis*, la croissance est isométrique ($b=2,998\approx 3$). Ils sont en accord avec ceux trouvés par Ecoutin et al. (2005) en Gambie et Samba (2011) au Sénégal qui ont travaillé avec la longueur totale. Les valeurs trouvées sont inférieures à celles de la FAO (1979), Boely (1982), Fréon et al. (1982) et Camarena-Luhrs (1986), Lawal et Mylnikov (1988) en Mauritanie. Les paramètres d'allométrie sont légèrement supérieurs à ceux de la FAO (1987), de Samba (2011) et de Diouf-Goudiaby et al. (2010). Ces derniers les ont estimés à partir de la longueur totale.

La relation taille-poids calculée à partir des échantillons provenant de la côte sud du Sénégal donne des valeurs de $P= 1,034.10^{-2} Lf^{3,142}$ (Fréon et al, 1982). Boely (1979) trouve $P=4,43.10^{-6} Lf^{3,244}$. Chez *S. maderensis*, le paramètre b obtenu par Samba (2011) montre une isométrie au cube ($b=3,01$) pour des tailles allant de 94 à 363 mm (LT) et des poids de 8,3 à 442 g et $R^2= 0,99$. Ecoutin et al. (2005) ont obtenu $Pt=6,97.10^{-3} Lt^{3,149}$ en Gambie.

En saison froide, la croissance pondérale dans cette étude est isométrique alors qu'elle est allométrique et légèrement minorante en saison chaude. Lorsque les différents sites (Cayar, Mbour et Joal) sont pris individuellement en saison froide, la croissance est allométrique et majorante. Ceci confirme les résultats de Ghéno et Fontana (1981) au Congo qui ont noté une allométrie majorante durant la saison froide et minorante en saison chaude. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'en saison froide, les conditions environnementales sont meilleures avec l'apport suffisant de nutriments par l'upwelling côtier. En saison chaude, cet upwelling disparaît et coïncide avec la grande période de ponte. Le poisson qui avait accumulé des réserves durant la période froide les utilise pour la reproduction.

En saison chaude, une allométrie minorante est notée de manière globale comme indiquée plus haut, notamment à Cayar et à Mbour. Cependant, le site de Joal fait exception avec coefficient b qui montre une allométrie très majorante ($b=3,382$ et $R^2=0,936$). Une explication à ce phénomène est le fait qu'il s'agit de l'arrivée d'une nouvelle cohorte constituée en majorité d'individus très jeunes capturés (tailles < 16 cm) durant cette période surtout en août.

Aussi bien chez la femelle que chez le mâle, la croissance est allométrique et minorante. Autrement dit, le poisson grandit plus en longueur qu'en poids. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'échantillon n'est pas suffisamment représentatif par rapport à celui qui a servi à faire la relation globale d'allométrie.

- **Facteur de condition**

Le facteur de condition trouvé montre des variations mensuelles tout au long de l'année avec notamment deux pics (en avril et en juillet) et trois creux (février-mars, mai-juin et en août) correspondant respectivement à des maxima et des minima d'embonpoint. Les périodes de baisse du facteur de condition correspondent aux périodes de relaxation de l'upwelling ou de ponte alors que les pics viennent tout juste après la ponte et la poussée planctonique. Nos résultats corroborent avec ceux de Samba (2011), de Boely (1979), Cury et Fontana (1988) au Sénégal.

Le facteur de condition moyen trouvé par Samba (2011) est élevé en saison froide (février en avril) avec un maximum en avril puis s'abaisse progressivement. Le facteur de condition varie d'une année à une autre, en relation avec les conditions environnementales. Plusieurs études réalisées au Congo (Fontana et Pianet, 1973), et au Sénégal (Boely, 1979), ont montré que le facteur de condition de *S. maderensis* est maximal en période froide et minimal en période chaude et est en corrélation directe avec l'upwelling. Les mêmes observations ont été faites sur les côtes ouest africaines par Cury et Fontana (1988). Ces auteurs ont obtenu des valeurs fortes durant la saison froide (janvier à juin) et faibles le reste de l'année.

Les pics ont lieu lorsque la nourriture est disponible et en abondance juste après les productions primaires et secondaires de planctons (Fréon, 1986). Ces productions sont fonction des upwellings saisonniers dans les côtes sénégalaises qui s'installent généralement pendant les phases de transition des saisons. Le moment où se produisent les upwellings est décalé des productions planctoniques (phyto et zooplanctons). La baisse du facteur de condition est notée juste après la reproduction. En effet, le poisson utilise son énergie à la fois pour la croissance et pour la reproduction (Cury et Fontana, 1988). Ces périodes froides correspondent à la présence d'eaux riches en éléments nutritifs et en plancton. Il semble logique d'admettre que l'abondance de nourriture durant ces périodes conditionne la prise de poids des individus.

- **Fréquences de taille**

Les tailles moyennes des individus mesurés par site sont de 23,6 cm, 22,8 cm et 21,6 cm respectivement à Cayar, Mbour et Joal. À Cayar, la plus petite taille observée est de 13 cm en décembre alors que la plus grande est de 31 cm en mai. Cependant, les individus de grandes tailles y dominent largement (50% des individus ont une taille supérieure à 24,8 cm). Ainsi les individus de grande taille sont capturés au niveau de la grande Côte (Cayar) alors que ceux de la petite Côte (Mbour et Joal) dépassent rarement 26 cm.

Ces résultats sont en accord avec les travaux de Marchal (1991b), (Cury et Fontana 1988), (Fréon, 1986). En effet, Marchal (1991b) a montré que les populations de la Mauritanie et du Sénégal présentent des caractéristiques similaires de longueur maximum (30 à 32 cm). La taille maximale de *S. maderensis* varie selon les zones, ce qui s'explique vraisemblablement par une différence de richesses

spécifiques (Cury et Fontana 1988). Les captures de *S. maderensis* se font essentiellement au détriment d'une seule classe d'âge de jeunes reproducteurs (18 à 23 cm) pendant la saison chaude, mais des individus plus petits peuvent être capturés en début d'année. Les adultes de cette espèce sont rarement capturés sur la Petite Côte (Fréon, 1986).

- **Croissance linéaire**

La croissance de *S. maderensis* est rapide la première année. A quatre mois, les individus mesurent 10,67 cm et 17 cm au bout d'une année. Cette croissance diminue au fur et à mesure que le poisson grandit. La croissance ralentit vers 3 ans (29,34 cm). Ces résultats sont en accord avec ceux de Boely (1980), Fréon (1986), Camarena-Luhrs (1986) et Cury et Fontana (1988).

En effet, la croissance serait de l'ordre de 2,5 à 3 cm par mois (Fréon, 1986). Les travaux de Camarena-Luhrs (1986) aboutissent à des valeurs similaires, obtenues par lecture des écailles (17 à 18 cm à l'âge de 1 an). Les résultats de Fréon montrent que vers un an les jeunes reproducteurs atteignent la taille de 18-19 cm. Chez *Sardinella maderensis*, la croissance des juvéniles et des jeunes est rapide. Les premiers atteignent 10 cm à l'âge de quatre mois et ont une taille de 18-20 cm à un an (Boely, 1979). Les études Cury et Fontana (1988) sur la croissance chez *S. maderensis* ont montré qu'elle s'accélère durant le stade larvaire pour atteindre 16 cm en un an et ensuite, la croissance ralentit pour atteindre son maximum vers 3 ans.

L'indice de performance de la croissance trouvé est égale à $\Phi' = 2,74$. Il est en accord avec ceux de Camarena-Luhrs (1986) et comparable à la moyenne des Φ' trouvés au Sénégal. Il est cependant légèrement inférieur à ceux obtenus par Venema (1988) et Pauly (1978) au Sénégal. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'échantillonnage n'a pas pris en compte les juvéniles, phase pendant laquelle le maximum de croissance est observé chez le poisson. Les indices de performance de la croissance Φ' trouvés au Sénégal varient de 2,63 à 2,87. Ainsi, Pauly (1978), obtient 2,87 en utilisant les données de Postel (1955) tandis que Venema (1988) trouvent 2,85. Les plus faibles valeurs de l'indice de performance de la croissance sont obtenues par Showers (1996) avec 2,42 en Sierra Leone et Kartas (1981) avec 2,29 en Tunisie.

Pour une espèce donnée, Φ' est caractéristique de l'espèce et ses valeurs (qui suivent une distribution normale) devraient être voisines (Sidibé, 2003). Ainsi, certaines variations de Φ' sont notées suivant les zones estuarienne, lagunaire, de mangroves, de forte ou de faible upwelling. Plus grande est la richesse en nutriments donc en productions planctoniques (phyto et zoo), plus grand sera l'indice de performance de la croissance. Les plus fortes valeurs de cet indice notées dans les eaux sénégalaises pourraient s'expliquer par l'importance de l'upwelling dans cette zone (Djama et al. 1989).

Tableau IX: Résumé des paramètres de croissance de *S. maderensis*

L_{∞} (cm)	Type de longueur	K	Φ'	Zone	Auteurs
29,6	LF	0,35	2,42	Sierra Leone	Showers (1996)
37,5		0,30	2,63	Sénégal	Samb (1988)
33,4		0,34	2,74	Sénégal	Présente étude (2013)
37,4		0,4	2,75	Sénégal	Camarena (1986)
39,5		0,45	2,85	Sénégal	Venema (1988)
25,5	LT	0,3	2,29	Tunisie	Kartas (1981)
39,6		0,28	2,64	Congo	Rossignol (1955)
37,5		0,34	2,67	Nigeria	Marcus (1989)
32,5		0,59	2,79	Cameroun	Djama et al. (1989)
24,9		0,99	2,79	Congo	Gheno et Le Guen (1968)
29,1		0,83	2,85	Cameroun	Djama et al. (1989)
35		0,61	2,87	Sénégal	Pauly (1978)

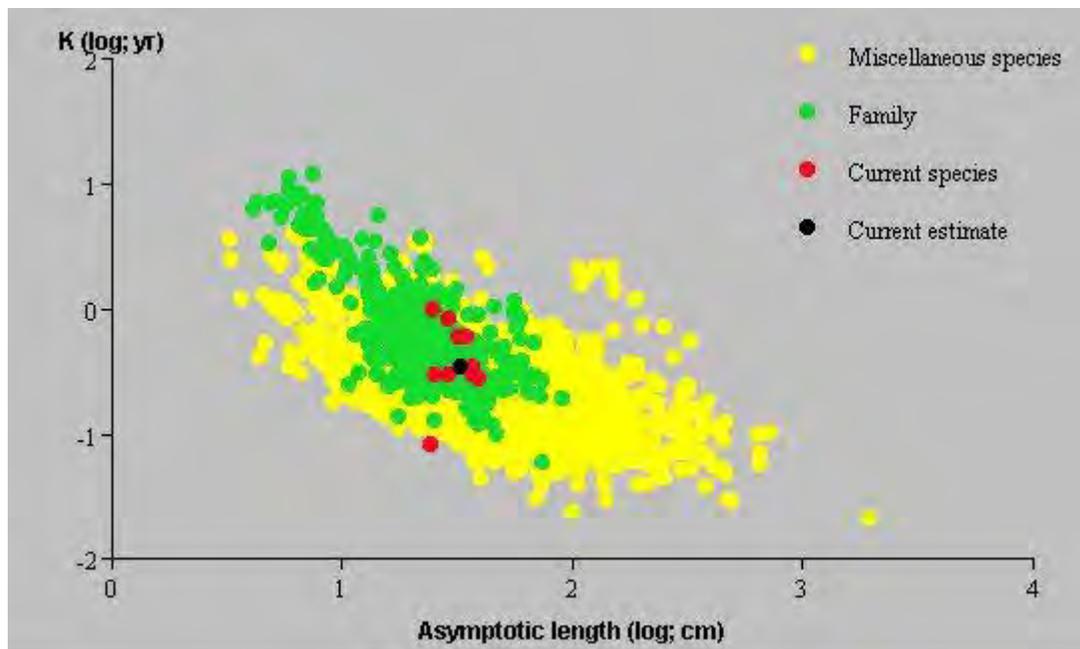


Figure 26: Grille auximétrique de *S. maderensis*

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le présent travail, la reproduction et la croissance de la sardinelle plate au Sénégal ont été étudiées. On ne peut pour autant prétendre à l'exhaustivité, tant sont nombreux les facteurs physiques, biologiques, écologiques, économiques et sociaux, situés en amont ou en aval de l'objet de notre étude.

Chez *S. maderensis*, le sex-ratio est en faveur des femelles (55,81%) et la taille de première maturité sexuelle a été déterminée pour les deux sexes (16,6 cm et 17,5 cm respectivement pour les mâles et les femelles). La reproduction a lieu toute l'année avec une période principale de ponte de juin à août et deux périodes secondaires de ponte en octobre et en février. Les fécondités absolues et relatives ont été déterminées soient environ 102 000 œufs et 395 œufs par gramme de femelle. Grâce à leur capacité migratoire associée à une forte fécondité, les sardinelles plates adoptent un mode de reproduction opportuniste

Ce travail a permis d'étudier la croissance des jeunes reproducteurs et des adultes, jusqu'à la taille de 31 cm, et dans une certaine mesure, celle des juvéniles. La croissance chez *Sardinella maderensis* est isométrique. Le facteur de condition trouvé montre des variations mensuelles tout au long de l'année liées tantôt à la maturation des gonades et à la poussée planctonique, mais également à une ponte ou à la relaxation de l'upwelling. Les individus de grande taille sont obtenus en mai et juin (31 cm) coïncidant à la période de ponte, tandis que ceux de petite taille (13 cm) sont capturés en avril, août, et de novembre à janvier lorsqu'ils sont recrutés par la pêcherie de sardinelles. Les paramètres de croissance de von Bertalanffy $LF_{\infty}=33,4$ cm et $K=0,34$ an⁻¹ estimés à partir des fréquences de taille chez *S. maderensis* montrent une croissance rapide chez les jeunes et que la taille de 17 cm est atteinte au bout d'un an. Ces résultats sont confirmés par toutes les observations antérieures faites au Sénégal. La courbe obtenue est bien représentative de la croissance entre 6 mois et 4 ans, ce qui couvre largement la période d'exploitation de *Sardinella maderensis*. L'indice de performance de la croissance trouvé est comparable à celui de Camarena-Luhrs (1986) et est relativement grand comparé à ceux trouvés au Cameroun et au Nigéria du fait de l'importance de l'upwelling dans la zone sénégalaise (Djama et al. 1989). La longévité est atteinte au bout de 5 ans environ ce qui permet à la sardinelle plate d'assurer son cycle de reproduction plusieurs fois.

Cette étude ne peut être considérée que comme une approche de la biologie de la sardinelle plate. L'observation des coupes histologiques des gonades pourrait fournir de précieuses indications sur le potentiel de régénération du stock (capacité de reproduction). Toutefois, il paraît souhaitable d'approfondir les études de la croissance des larves et des juvéniles non pris en compte par la pêche commerciale afin de déterminer les différentes phases de croissance des individus depuis leur naissance jusqu'à leur réforme. Des études similaires à long terme sont à envisager en tenant compte cette fois-ci des paramètres environnementaux tels que la température de l'eau, les vents, l'indice d'upwelling, le taux de chlorophylle a et la disponibilité alimentaire. Ceci servira, suite à des analyses, de données d'entrée aux modèles d'évaluation (modèles analytiques) des stocks de sardinelles en vue de l'élaboration d'outils de gestion durable basées sur le contrôle de l'effort de pêche et la protection des juvéniles des stocks de petits pélagiques et à la mise en place de plans d'aménagement concerté de l'ensemble des pêcheries de la sous-région.

BIBLIOGRAPHIE

- Ben-Tuvia. A., 1960. Synopsis of biological data on *Sardinella aurita* of the mediterranean sea and other waters. In FAO Fisheries Biology Synopsis. 14: 287-312.
- Bertalanffy L.von., 1934. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Human Biology 10 (2): 181-213.
- Boely T. 1982. Étude du cycle sexuel de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Val. 1847) au Sénégal Par Océanographe tropicale 17 (1): 3-13.
- Boely, T., Chabanne, J., Fréon, P., Stéquert, B. 1982. Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest africain des îles Bissagos à la Mauritanie. Rapport. P.V. Réunion du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 180: 350-355.
- Boely, T., Fréon, P. 1979. Les ressources pélagiques côtières, in: Les ressources halieutiques de l'Atlantique centre-est. Les ressources du Golfe de Guinée de l'Angola à la Mauritanie. Document technique de la FAO.186, 1, 13-78.
- Boely, T. 1980. Biologie des deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* Valenciennes 1847 et *Sardinella maderensis* Lowe 1841) des côtes sénégalaises. Thèse, Travaux et documents de l'ORSTOM, TDM 7, 254 p.
- Camarena-Luhrs. T. 1986. La croissance de *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) au Sénégal. Océanographie tropicale 21 (2) : 143-151
- Chavance P., Ba I., Krivospitchenko S. 1991. - Les ressources pélagiques. In: L'Environnement, les Ressources et les Pêcheries de la ZEE mauritanienne (Chavance P. & M. Girardin, eds), Bullentin du Centre National de Recherche Océanographique des Pêches, Nouadhibou, 23: 28-187.
- Chikhi, L. 1995. Différenciation génétique chez *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*, allozymes et ADN mitochondrial. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 313p.
- Conand C., 1977. 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. Cahier ORSTOM., Série océanographique, 15 (4) : 301-312.
- Conand F. et Fagetti E. 1971. Description et distribution saisonnière des larves de sardinelles des côtes du Sénégal et de la Gambie en 1968 et 1969 par Cahier O.R.S.T.O.M., série. Océanographie., volume IX, no 3, 293-318.
- Conand, F. 1977. Oeufs et larves de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) au Sénégal: distribution, croissance, mortalité, variations d'abondance de 1971 à 1976. Cahiers ORSTOM, Série océanographique, XV (3): 201-214.

- Cury, P., Fontana, A. 1988. Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest-africaines. *Aquatic Living Resources* 1:165-180.
- Deniel C. 1981. Les poissons plats en baie de Douarnenez : Reproduction -Croissance - Migrations. U. B. O. Thèse d'Etat. 476 p.
- Diouf, P.S. 1996. Les peuplements de poisson des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest : l'exemple de l'estuaire hypersalin du Sine-Saloum. Université de Montpellier II, Thèse et documents microfichés n°156. ORSTOM, Paris. 267p.
- Djama, T., Gabche, C. and Njifonjou, O. 1989. Growth of *Sardinella maderensis* in the Lobe estuary, Cameroon. *Fishbyte* 7(2): 8-10.
- Djama, T., Gabche, C., Youmbi-Tienctheu, J. 1989. Comparisons of the growth of West African Stock of *Sardinella maderensis* with Emphasis on Cameroon. *ICLARM Fishbyte* 7: 13-14.
- Dodge. Y. 2007. Statistique - Dictionnaire encyclopédique. Springer-Verlag France 609 p.
- DPM, 2010. Résultats généraux de la pêche maritime sénégalaise années 2010.
- Ecoutin, J.M. Albaret, J.J. and Trape, S. 2005. Lengthweight relationships for fish populations of a relatively undistributed tropical estuary: the Gambia. *Fisheries Research*, 72: 347-351.
- FAO 1979. Rapport du séminaire pour l'unification des techniques de lecture d'âge et d'interprétation de *Sardina pilchardus* (Walb.). COPACE/TECH 79/18: 32 .
- FAO. 1987. Rapport du troisieme groupe de travail ad hoc sur l'evaluation des stocks de cephalopodes dans la region nord du COPACE. COPACE/PACE Séries 86/41. 101p.
- Fontana A., Pianet R. 1973. Biologie des sardinelles, *S. eba* et *S. aurita*, des côtes du Congo et du Gabon. Document du centre ORSTOM de Pointe Noire, 31: 39.
- Fontana. A. 1969. Étude de la maturité sexuelle des sardinelles *sardinella eba* (val) et *sardinella aurita* C. et V. de la région de Pointe-Noire par Cahier. O.R.S.T.O.M., Série océanographique, volume VII, no 2 : 101-113
- Fréon, P. 1986. 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. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille: 287 p.
- Gabche C., Hockey H.-U.P. 1995. Growth, mortality and reproduction of *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) in the artisanal fisheries off Kribi, Cameroon. *Fisheries Research* 24: 331-344
- Ghéno Y. et Fontana A., 1981. Les stocks de petits pélagiques côtiers de sardinelles. In : Milieu marin et ressources halieutiques de la république populaire de Congo. Document. ORSTOM, Paris,138 :213-257.

- Gheno Y. et Le Guen. J. C. 1968. Détermination de l'âge et croissance de *sardinella eba* (val.) Dans la région de Pointe-Noire par Cahier. O.R.S.T.O.M., série. Océanographie., 6: 69-82.
- Goudiaby, K.D., Samb, B., Sylla, M. 2010. Contribution à la connaissance de la biologie des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) du littoral sénégalais. Science and Management of Small Pelagics. FAO Comptes rendus des pêches et de l'aquaculture. No. 18. Rome, FAO. 39-56.
- Hilton-Taylor, C. 2000 IUCN red list of threatened species, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, XVIII, 61 p.
- Kartas, F., 1981. Les clupéidés de Tunisie. Caractéristiques biométriques et biologiques. Etude comparée des populations de l'Atlantique est et de la Méditerranée. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tunis, Faculté des sciences, 608 p.
- Lawal H.S. et Mylnikov N., 1988. Contribution à l'étude de la relation taille-poids, de la reproduction et du sex-ratio des principales espèces pélagiques en Mauritanie in. GT Mauritanie 88 p.
- Le Bec C., 1985. Cycle sexuel et fécondité de la sole *Solea vulgaris* (quensel, 1806) du golfe de gascogne. Revues des Travaux de l'Institut des Pêches maritimes. 47 (3 et 4), 181-187.
- Le Cren E.D., 1951. The length weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Animals and Ecology, 20:201-219.
- Lejeune. M. 2010. Statistique- La théorie et ses applications. Springer-Verlag France. 431 p.
- Marchal. É. 1991b Nanisme et sédentarité chez certaines espèces de poissons pélagiques: deux aspects d'une même réponse à des conditions défavorables. In : Pêcheries ouest-africaines, variabilité, instabilité et changement, Cury (P.) et Roy (C.) éd. Paris, ORSTOM : 201-208.
- Marchal E. 1993. Biologie et ecologie des poissons pélagiques côtiers du littoral ivoirien. In Environnement et ressources aquatiques de Cdte-d'Ivoire. Tome I - Le milieu marin. Le Loeuff P. Marchal E, Kothias J-BA (Gd.). Paris. éditions de l'ORSTOM, 237-269.
- Marcus, O. 1989. Breeding, age and growth in *Sardinella maderensis* (Lowe 1839) Pisces: Clupeidae from coastal waters around Lagos, Nigeria. Niger. Journal of Science, 23 (1 and 2): 1-5.
- Pauly, D., 1978. A preliminary compilation of fish length growth parameters. Berlin Institute Meereskd. Christian-Albrechts-University of Kiel (55):1-200. Postel, E. 1955. Résumé des connaissances acquises sur les clupéidés de l'Ouest Africain. Rapport de Procès-Verbal de Réunion CIEM 137: 14-17.
- Pauly, D. 1983. Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. FAO Fisheries Technical Paper (234): 52 p.
- Pauly, D. and Munro, J.L. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. Fishbyte. 2(1):21.

- Powell, D.G. 1979. Estimation of mortality and growth parameters from the length-frequency in the catch. Rapport de Procès-Verbal de Réunion CIEM, 175: 167-169.
- Regan C.T., 1917. A revision of the clupeid fishes of the genera *Sardinella*, *Harengula*. Ann. Mag. nat. Hist., 19, 8e série, (113): 337-95.
- Ricker W.E., 1980. - Calcul et interprétation des statistiques biologiques de poissons. Bulletin of Fisheries Resources Bd. Can., 191F: 1-409.
- Rossignol, N., 1955. Première observations sur la biologie des Sardinelles dans la région de Pointe Noire (*Sardinella eba*, Val., *S. aurita* Val). Rapport Cons. Exploration, 137: 17-21.
- Roy C., 1992. Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest : analyse et modélisation. Eds. ORSTOM.Paris. 142p.
- 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. Aquatic Living Resources 2: 21-29.
- Samb, B. 1988. Seasonal growth, mortality and recruitment pattern of *Sardinella maderensis* off Senegal. FAO Fisheries Report 389: 257-271.
- Samba O., 2011. Nouvelle évaluation des caractéristiques biologiques de *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) et *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841). Mémoire de DEA. Ecologie et gestion des écosystèmes aquatiques. Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture. UCAD. Dakar. 48 p.
- Seret B. 1985. Poisson de mer de l'Ouest africain tropical. Initiation-documentations techniques, n°49. 450 p.
- Shepherd, J.G. 1987. A weakly parametric method for estimating growth parameters from length composition data, p. 113-119. In D. Pauly and G.R. Morgan (eds). Length-based methods in fisheries research. ICLARM 13 p.
- Showers, P.A.T, 1996. Comparative growth performance for species of the family *Clupeidae* of Sierra Leone. Naga ICLARM Q. 19 (4): 42-44.
- Sidibé A., 2003. Les ressources halieutiques démersales côtières de la Guinée : exploitation, biologie et dynamique des principales espèces de la communauté des Sciaenidés. Thèse de Doctorat Halieutique, Ensa-Rennes, 320 p
- Venema, S.C., Christensen, J.M. and Pauly, D. (Editors), 1988. Contributions to tropical fisheries biology. 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. FAO Fisheries Report, No. 389,519 p.
- Wetherall, J.A. 1986. A new method for estimating growth and mortality parameters from length-frequency data. ICLARM Fishbyte 4(1): 12-14.

- Whitehead, P.J.P. 1985. Clupeoid fishes of the world (suborder *Clupeoidei*). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Species Catalogue. 125(7/1):1-303.
- Youmbi J.T., Djama T., Gabche C. 1991. Reproductive patterns of *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) off Cameroon. Journal of Applied Ichthyology, 7: 60-63.

ANNEXES

ANNEXE 1: Description des stades de maturité sexuelle des sardinelles (Fontana, 1969).

Stade	Femelle	Mâle
I	<p style="text-align: center;"><u>Immature</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : gonades petites et fermes – rose clair ou transparente – ovocytes invisibles</p> <p><u>Structure microscopique</u> : Présence d’ovocytes du stock général. Rapport nucléo cytoplasmique = 0,50.</p> <p><u>Diamètre modal le plus avancé</u>: 100 µ</p>	<p style="text-align: center;"><u>Immature</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : gonades blanches ou légèrement translucides, très fines et en lame de couteau.</p>
II	<p style="text-align: center;"><u>Repos sexuel</u></p> <p>Caractères identiques à ceux du stade I.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Repos sexuel</u></p> <p>Caractères identiques à ceux du stade I.</p>
III	<p style="text-align: center;"><u>En voie de maturation</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : gonades fermes. Couleur variant du rose à l’orange clair. Certains ovocytes peuvent être visibles à travers la membrane ovarienne.</p> <p><u>Structure microscopique</u> : Apparition d’une couronne de granulés vitellins et de quelques gouttelettes lipidiques.</p> <p>Rapport nucléo cytoplasmique = 0,30. <u>Diamètre modal le plus avancé</u> : 450 µ</p>	<p style="text-align: center;"><u>En voie de maturation</u></p> <p>Gonades fermes et blanchâtres: aucun liquide ne coule si l’on pratique une incision.</p>
IV	<p style="text-align: center;"><u>Pré –ponte</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : gonades grosses et moins fermes orange clair à foncé. Surface de l’ovaire granuleuse. Ovocytes visibles à travers la membrane ovarienne. <u>Structure microscopique</u> : Augmentation de volume des granulés vitellins. Couronne péri nucléaire de gouttelettes lipidiques. Rapport nucléo cytoplasmique = 0,15.</p> <p><u>Diamètre modal le plus avancé</u>: 580µ</p>	<p style="text-align: center;"><u>Pré –émission</u></p> <p>Gonades blanchâtres et plus molles.</p> <p>Un liquide blanchâtre s’écoule à la moindre incision.</p>
V	<p style="text-align: center;"><u>Ponte</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : gonades très grosses occupant toute la cavité abdominale. Membrane ovarienne très fine. Ovules hyalins parfaitement visibles et expulsés à la moindre pression exercée sur l’abdomen.</p> <p><u>Structure microscopique</u> : l’ovule soufflé d’eau est plasmolysé sous l’action des déshydratants histologiques. Très grosses vésicules vitellines et une goutte lipidique de 120 µ.</p> <p><u>Diamètre modal le plus avancé</u> : 900 µ.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Émission de spermatozoïdes</u></p> <p>Gonades grosses et molles. Le sperme coule à la moindre pression exercée sur l’abdomen.</p>
VI	<p style="text-align: center;"><u>Récupération</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : ovaire flasque et vascularisé. Couleur généralement rose saumon. Ovocytes de 450 µ et nombreux espaces hyalins visibles à travers la membrane ovarienne.</p> <p><u>Structure microscopique</u> : présence de quelques ovules résiduels qui vont dégénérer. Les espaces hyalins correspondent à des zones de nécrose. Présence d’ovocytes caractéristiques du stade III.</p> <p><u>Diamètre modal le plus avancé</u> : 450 µ.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Récupération</u></p> <p>Gonades flasques et présentant une vascularisation très fine notamment dans la partie postérieure.</p>
VII	<p style="text-align: center;"><u>Post –ponte</u></p> <p><u>Aspect macroscopique</u> : l’ovaire a l’aspect caractéristique d’un sac vide, très flasque et de couleur rouge sang. <u>Structure microscopique</u> : tous les ovocytes en voie de maturation présentent des signes de nécrose. Ils vont être résorbés pour ne laisser que les ovocytes du stock général.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Fin de la dernière émission</u></p> <p>Gonades très flasques et fortement vascularisées</p>

Sujet : Contribution à l'étude de la biologie de la sardinelle plate *Sardinella maderensis* (Lowe, 1838) au Sénégal

Nom du candidat : Kamarel BA

Nature du document : Mémoire de DESS en Pêche et Aquaculture, soutenu le 23 juillet 2013

Etablissement : Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture (IUPA)

Président:	Pr Demba SOW	Enseignant-chercheur, IUPA/ESP/UCAD
Membres :	Pr Omar Thiom THIAW	Professeur titulaire IUPA/UCAD
	Dr Malick DIOUF	Enseignant-chercheur, FST/IUPA/UCAD
	M. Camille Jean Pierre MANEL	Directeur des Pêches Maritimes
	Dr Vaque NDIAYE	Expert en pêche, USAID/COMFISH
	Dr Alassane SARR	Enseignant-chercheur, IUPA/UCAD
	Dr Modou THIAW	Chercheur, CRODT/ISRA

Résumé

La reproduction et la croissance de *Sardinella maderensis* ont été étudiées à partir d'échantillons provenant de la pêche artisanale sénégalaise collectés mensuellement de mars 2012 à février 2013 soit une année sur les sites de débarquement de Cayar, Mbour et Joal.

Le sex-ratio global est en faveur des femelles (55,81%) pour un nombre total d'individus échantillonnés de 1068 avec une différence significative des pourcentages de mâles et de femelles ($\chi^2=14,397$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,05$). La taille de première maturité sexuelle trouvée est de 166 mm et 175 mm respectivement pour les mâles et les femelles. La fécondité absolue trouvée dans la présente étude est de $102\ 052 \pm 54\ 434$ œufs soit une fécondité relative de 395 ± 157 œufs. La reproduction chez *S. maderensis* a lieu toute l'année. Cependant, les résultats de la présente étude montrent trois périodes de pontes : de juin à août, en octobre et en février. Les mois de septembre, novembre et de décembre constituent les périodes de repos sexuel.

Les relations entre les longueurs (totale, standard, à la fourche) ont été établies. La relation entre la longueur à la fourche (L_f) en cm et le poids (P) en g a été établie: soit $P_t = 0,016.L_f^{2,998}$ ($n=5660$, $R^2=0,925$). Le facteur de condition moyen trouvé est de 100,72 et montre des variations mensuelles tout au long de l'année. Ce qui montre que chez *Sardinella maderensis*, la croissance est isométrique. La détermination de l'âge a été effectuée par l'analyse des fréquences de tailles basée sur la méthode ELEFAN. On a pu déterminer que la croissance est rapide et saisonnière, *S. maderensis* atteint 17 cm (longueur à la fourche) au bout d'une année et a une longévité de 5 ans.

Mots clés : Reproduction, allométrie, croissance, ELEFAN, *Sardinella maderensis*, Sénégal.