

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Structure de Recherche : Laboratoire de Biodiversité Écologie et Génome

Discipline : Biologie

Spécialité : Environnement & Biologie Marine

Présentée et soutenue le : 4 avril 2018 par :

Ayoub BAALI

Variabilité des caractéristiques biologiques des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) dans le sud de l'Atlantique marocain

JURY

Abderrahim SADAK	PES, Université Mohammed V Faculté des Sciences de Rabat	Président
Najib CHAROUKI	Dr, Institut National de Recherche Halieutique de Casablanca	Examineur
Nasser-Eddine ZINE	PES, Université Moulay Ismaïl Faculté des Sciences de Meknès	Rapporteur
Ahmed YAHYAUI	PES, Université Mohammed V Faculté des Sciences de Rabat	Directeur de thèse
Khadija AMENZOU	Dr, Institut National de Recherche Halieutique de Casablanca	Encadrant

Années Universitaire : 2017/2018



Avant-propos

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un doctorat National en « Biologie Marine ».

L'étude a porté sur la variabilité des caractéristiques biologiques des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) dans le sud de l'Atlantique marocain. Les travaux présentés ont été effectués au sein du laboratoire de Biodiversité, Écologie et Génome à la faculté des sciences de Rabat, sous la direction du Pr Ahmed YAHYAOUÏ, et au laboratoire de Biologie-Écologie au Département des Pêches, à l'Institut National de Recherche Halieutique (INRH) à Casablanca sous l'encadrement du Dr. Amenzoui Khadija. Et, avec le soutien des projets de recherche : PMARS III COFISHMAP, intitulé : " *Assessment of Moroccan coastal fish habitat and water quality* " , Programme Marocco-Allemand de recherche scientifique et le Projet 17/TM 21, intitulé : " *Discrimination des stocks des petits pélagiques : Étude comparative de deux méthodes, microchimique et parasitologique en Méditerranée et Atlantique* " , Coopération scientifique Maroc-Tunisienne.

Au moment de présenter ce travail, nous mesurons tout le prix des soutiens et concours dont nous avons bénéficié dans l'accomplissement de notre tâche et sans lesquels plusieurs obstacles auraient été insurmontables. Nous assurons de notre profonde reconnaissance tous ceux qui nous ont apporté leur aide.

Mes sincères remerciements sont adressés à Monsieur **Ahmed YAHYAOUÏ** Professeur à la faculté des sciences de Rabat et responsable de l'U.F.R doctorale : « Biodiversité et Aquaculture » et directeur de cette thèse, je le remercie pour son encadrement de grande qualité, son assurance, tous les conseils scientifiques, ses aides précieuses, sa bienveillante attention et sa disponibilité permanente malgré ses occupations. Il m'a toujours accueilli et m'a fourni toute l'aide possible pour la réalisation de ce travail. Je lui suis redevable de tout ce qu'il m'a appris pendant mes années de thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements, ma gratitude et mon profond respect à mon encadrante Madame **Khadija AMENZOUÏ**, Docteur au sein du Laboratoire Biologie-Écologie à l'Institut National de Recherche Halieutique à Casablanca, d'avoir acceptée de m'encadrer et de suivre de près toutes les étapes de mon travail. Vous m'avez toujours soutenu dans les circonstances difficiles et vous avez parrainé et guidé ce travail avec bienveillance. Merci pour l'intérêt, les éclaircissements apportés et les encouragements que vous m'avez accordés durant ces trois années de thèse.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur **Abderrahim SADAK** professeur à la faculté des sciences de Rabat pour son aide, sa gentillesse et sa disponibilité. Je le remercie infiniment d'avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse et président du jury.

Je tiens à exprimer ma plus grande gratitude à Monsieur **Nasser-Eddine ZINE**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Meknès qui m'a fait l'insigne honneur d'être rapporteur et membre de Jury de ce travail.

Je remercie infiniment Monsieur **Najib CHAROUKI**, Chef URD Observation au Département des Pêches à l'Institut National de Recherche Halieutique à Casablanca, qui m'a fait l'insigne honneur d'être examinateur de ce travail et membre de son jury. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Je remercie vivement Monsieur **Khalid MANCHIH**, Chef du laboratoire Biologie- Écologie à L'INRH de Casablanca, de m'avoir accepté dans son laboratoire. Il m'a toujours accueilli et m'a fourni toute l'aide possible matérielle et morale pour la réalisation de ce travail.

Un remerciement très particulier à Madame **Oum keltoum BELHSEN**, Docteur à l'INRH de Casablanca, qui m'a supervisée dans la partie histologie. Je la remercie pour ses conseils, sa gentillesse, son soutien et sa générosité.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble du personnel de l'INRH, en particulier Sid'Amed BAIBBAT, Naima BOUMEZRAG, Rachid ROUAGUI, Fatima WAHBI et Hounaida IDRISI FARAH.

Un grand Merci et beaucoup de reconnaissance à tous mes collègues et amis au sein de l'INRH particulièrement Sara ELMOUTTAQUI, Hassan OUBAMOUH, Hinde ABDELOUAHAB, Khalil CHAHDI OUAZZANI, Hajar BOURASSI, Samira FALAH, Mouna ELQENDOUCI, Wahbi ABDERRAZIK et Zineb AMANE, à qui je dois autant sur le plan professionnel que personnel. Merci aussi pour les bons moments passés ensemble.

J'adresse mes vifs remerciements à mes amis au sein de l'Université Mohammed V de Rabat: Mohammed HNINI, Soilam BOUTOUMIT, Rachid CHOUKRI et Yassine BOUSLIHIM, merci pour les bons moments passés ensembles, merci pour vos invitations, votre générosité, votre sympathie, que vous trouvez ici l'expression de toute ma considération.

Je me tourne enfin vers tous mes collègues et connaissances, qui m'ont soutenu de près ou de loin pendant la réalisation de ce travail, je leur exprime ici toute ma reconnaissance et ma sympathie.

Résumé :

La présente étude a porté sur l'étude de la biologie de la reproduction, l'âge, la croissance et le régime alimentaire des deux espèces de la sardinelle (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) dans la zone sud de l'Atlantique marocain durant la période 2015-2016, dans le but de fournir quelques éléments biologiques indispensables pour une bonne analyse de la dynamique de population et pour la gestion des stocks. En plus de ces paramètres biologiques, nous avons étudié l'impact de certains paramètres environnementaux (la température de surface de la mer, la chlorophylle-a et l'indice d'upwelling) sur l'abondance de la sardinelle ronde durant la période 2009-2016.

L'étude de la biologie de reproduction chez les deux espèces a révélé que la sardinelle ronde est en activité de reproduction durant la période de février à juillet avec un pic de ponte en avril. Pour la sardinelle plate, elle est en activité de reproduction pendant la période de février à avril et en juillet avec un pic de ponte en avril pour les femelles et en juillet pour les mâles.

Les sardinelles de la zone sud marocaine ont une longévité relativement courte qui ne dépasse pas le groupe d'âge 5+. Les sardinelles rondes les plus exploitées appartiennent au groupe d'âge 3+ pour l'année 2015 et au groupe d'âge 1+ pour 2016, tandis que pour les sardinelles plates, la majorité des captures sont des adultes (groupe d'âge 4+).

Le régime alimentaire des deux espèces de la sardinelle est composé de crustacés comme proies préférentielles, suivie des poissons (œufs et écailles) comme proies secondaires. Ces groupes de proies sont dominés respectivement par les copépodes et les œufs de poissons.

L'impact des paramètres environnementaux sur l'abondance de *Sardinella aurita* montre qu'il existe une corrélation positive entre ces paramètres (la température de surface de la mer, l'indice d'upwelling et la concentration de la chlorophylle-a) et l'abondance de la sardinelle ronde dans la zone sud de l'Atlantique marocaine.

Mots clefs : Atlantique sud marocain, croissance, paramètres environnementaux, régime alimentaire, reproduction, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*.

Abstract:

The present study focuses on the reproductive biology, growth, and diet of sardinella species (*Sardinella aurita* and *Sardinella maderensis*) in the southern Moroccan Atlantic area during the period 2015-2016. The aim of this study is to provide biological elements necessary for understanding the population dynamics and for the stocks management. In addition to these biological parameters, we used the available data of the period 2009-2016 to study the impact of the environmental parameters (sea surface temperature, chlorophyll-a and upwelling index) on the abundance of the round sardinella during this period.

The study of reproductive biology in both species reveals that the round sardinella is in breeding activity from February to July with a spawning peak in April. For the flat sardinella, it is in breeding activity during the period from February to April and in July with a spawning peak in April for females and in July for males.

Sardinella in the southern Moroccan coast have a short life and do not exceed the age group 5+. The most exploited round sardinella belong to the age group 3+ for the year 2015 and the age group 1+ for 2016, while for the flat sardinella the majority of the catches are adults (age group 4+).

The diet of the two species of sardinella is composed of crustaceans as the preferential prey followed by fish (eggs and scales) as the secondary prey. These groups of prey are dominated respectively by copepods and fish eggs.

The impact of the environmental parameters on the abundance of *Sardinella aurita* shows that there is a positive correlation between these parameters (sea surface temperature, upwelling index, and chlorophyll-a concentration) and the abundance of the round sardinella in the southern Moroccan Atlantic area.

Keywords: South of Atlantic Morocco, growth, environmental parameters, diet, reproduction, *Sardinella aurita*, *Sardinella maderensis*.

ملخص:

أجريت هذه الدراسة على بيولوجية التكاثر، النمو، والنظام الغذائي، لكل من الانتشة (*Sardinella aurita* و *Sardinella maderensis*) بالمنطقة الجنوبية للمحيط الأطلسي المغربي، خلال الفترة ما بين 2015-2016، بهدف دراسة بعض العناصر البيولوجية الضرورية لأجل تسيير المخزون السمكي لهادين النوعين، بالإضافة إلى المعايير البيولوجية قمنا بدراسة تأثير بعض المحددات البيئية (درجة الحرارة السطحية، مؤشر الكلوروفيل، ومؤشر التيارات الصاعدة) على وفرة *Sardinella aurita* في الفترة ما بين 2009-2016.

كشفت دراسة بيولوجية التكاثر لكلا النوعين أن الانتشة (*Sardinella aurita*) تعرف نشاطا تكاثريا ما بين فبراير و تموز مع ارتفاعه خلال شهر أبريل. بالنسبة للانتشة (*Sardinella maderensis*)، فتعرف نشاطا إيجابيا خلال الفترة ما بين فبراير و أبريل بالإضافة إلى شهر تموز مع ارتفاعه خلال شهر أبريل لدى الإناث و تموز لدى الذكور.

لانتشة في المنطقة الجنوبية المغربية مدة عيش قصيرة، لا تتجاوز الفئة العمرية (+5). أكثر الانتشة المستديرة المستغلة تنتمي إلى الفئة العمرية (+3) بالنسبة لسنة 2015، و إلى الفئة العمرية (+1) بالنسبة لسنة 2016، في حين أن الانتشة المسطحة غالبيتها المستغلة من البالغين (+4).

يتكون النظام الغذائي لصنفي الانتشة من القشريات بحيث تعتبر الفريسة المفضلة، و الأسماك (بيض و قشور السمك) كفريسة ثانوية، وعلى رأس هاته المجموعات من الفرائس نجد على التوالي كل من مجدافيات الأرجل و بيض الأسماك.

وضحت دراسة تأثير البارامترات البيئية (الحرارة السطحية للبحر، مؤشر الموجات المتقلبة و تركيز الكلوروفيل أ) على وفرة الانتشة *Sardinella aurita* وجود ترابط إيجابي بين هاته العوامل بالمنطقة الجنوبية للمحيط الأطلسي المغربي.

كلمات المفتاح: المنطقة الجنوبية للمحيط الأطلسي المغرب، الوحدات البيئية، نظام غذائي، النمو، التكاثر، *Sardinella aurita*، *Sardinella maderensis*

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS	7
I. Caractéristiques de la zone d'étude (Atlantique sud marocain)	8
1. Hydrologie du plateau continental Marocco-Mauritanien	8
1.1. Climatologie et courantologie	8
1.2. Plateau continental.....	12
2. Ressources halieutiques pélagiques et infrastructures de la région sud marocaine....	12
2.1. Ressources halieutiques pélagiques de la région sud marocaine	12
2.2. Infrastructures d'accueil de la flotte artisanale	16
2.3. Flotte de pêche	17
II. Quelques généralités sur <i>Sardinella aurita</i> et <i>Sardinella maderensis</i>	18
1. Taxonomie.....	18
2. Caractères distinctifs	18
3. Répartition géographique et schémas migratoires des sardinelles	19
3.1. <i>Sardinella aurita</i>	19
3.2. <i>Sardinella maderensis</i>	22
4. Biologie des sardinelles.....	24
4.1. Reproduction	24
4.2. Croissance.....	25
4.3. Alimentation	25
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	26
I. Échantillonnage	27
II. Mesures et prélèvements	28
III. Étude de la biologie de la reproduction des sardinelles	29
1. Sex-ratio	29
2. Étude de la maturité sexuelle.....	29
3. Taille à la première maturité sexuelle	31
4. Rapport gonado-somatique (RGS)	32
5. Histologie ovarienne.....	32
6. Fécondité	37

IV. Étude de la biologie de la croissance des sardinelles	38
1. Facteur de condition	39
2. Fonction des otolithes.....	39
3. Extraction et montage des otolithes.....	40
4. Lecture et interprétation des otolithes	40
5. Allongement marginal	41
6. Clé âge-taille.....	41
7. Croissance linéaire	42
7.1. Estimation des paramètres de la croissance linéaire, k , L_{∞} et t_0 par la méthode de Gulland et Holt	43
7.2. Comparaison des courbes de croissance linéaire par le test ‘‘phi prime’’	43
8. Croissance pondérale.....	44
8.1. Croissance pondérale relative : Relation Taille-poids.....	44
8.2. Croissance pondérale absolue.....	45
9. Utilisation du poids des otolithes pour l’étude de la croissance.....	45
V. Étude de l’écologie alimentaire des sardinelles.....	46
1. Analyse au laboratoire.....	46
2. Analyse des données et calcul des indices	47
2.1. Coefficient de vacuité : C_v	47
2.2. Indice d’occurrence : F_i	47
2.3. Indice de remplissage total de l’estomac : TFI (Total fullness index)	48
2.4. Indice de l’importance relative : IRI.....	48
VI. Influence des paramètres environnementaux sur l’abondance de <i>Sardinella aurita</i> ..	49
1. Données sur les débarquements de la sardinelle ronde	50
2. Données environnementales.....	50
3. Analyses statistiques entre les débarquements de la sardinelle ronde et les données environnementales.....	52
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION	53
I. Étude de la biologie de la reproduction des sardinelles (<i>Sardinella aurita</i> et <i>Sardinella maderensis</i>) de l’Atlantique sud marocain.....	54
1. Résultats	54
1.1. Sex-ratio.....	54
1.2. Sex-ratio en fonction de la taille	55

1.3.	Sex-ratio en fonction de saison.....	56
1.4.	Stades de maturité sexuelle.....	58
1.5.	Rapport gonado-somatique (RGS)	60
1.6.	Taille à la première maturité sexuelle.....	61
1.7.	Echelle microscopique des stades ovocytaires chez la sardinelle ronde	63
1.8.	Fécondité	68
2.	Discussion	70
3.	Conclusion.....	81
II.	Étude de la biologie de la croissance des sardinelles (<i>Sardinella aurita</i> et <i>Sardinella maderensis</i>) de l'Atlantique sud marocain.....	82
1.	Résultats	82
1.1.	Facteur de condition (K).....	82
1.2.	Relation taille-poids.....	83
1.3.	Allongement marginal et périodicité de formation des anneaux	86
1.4.	Clés âge-taille	87
1.5.	Croissance linéaire.....	88
1.6.	Croissance pondérale absolue.....	93
1.7.	Utilisation du poids des otolithes dans l'étude de la croissance	95
2.	Discussion	101
3.	Conclusion.....	109
III.	Écologie alimentaire des sardinelles (<i>Sardinella aurita</i> et <i>Sardinella maderensis</i>) de l'Atlantique sud marocain.....	111
1.	Résultats	111
1.1.	Aspect qualitatif.....	111
1.2.	Aspect quantitatif.....	115
2.	Discussion	139
3.	Conclusion.....	145
IV.	Influence des paramètres environnementaux sur l'abondance de <i>Sardinella aurita</i> dans la zone Atlantique sud marocaine	146
1.	Résultats	146
1.1.	Variabilité annuelle des débarquements de la sardinelle ronde et des paramètres environnementaux (SST et Chl-a)	146

1.2. Relation entre les paramètres environnementaux et les débarquements de <i>S. aurita</i>	147
2. Discussion	150
3. Conclusion.....	152
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	153
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	153
ANNEXES	153

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Stades de développement macroscopique des ovaires des sardinelles.....	30
Tableau 2. Stades de développement macroscopique des testicules des sardinelles	31
Tableau 3. Proportions du sexe de <i>Sardinella aurita</i>	54
Tableau 4. Proportions du sexe de <i>Sardinella maderensis</i>	54
Tableau 5. Valeurs estimées des fécondités partielles et relatives pour les femelles matures de <i>Sardinella aurita</i>	69
Tableau 6. Valeurs moyennes de la sex-ratio trouvées par différents auteurs	71
Tableau 7. Périodes de reproduction de la sardinelle ronde par pays	75
Tableau 8. Périodes de reproduction de la sardinelle plate par pays.....	76
Tableau 9. Taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) de <i>Sardinella aurita</i> trouvée dans différentes zones.....	78
Tableau 10. Taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) de <i>Sardinella maderensis</i> trouvée dans différentes zones.....	79
Tableau 11. Paramètres de la relation taille-poids total estimés pour <i>Sardinella aurita</i> durant la période d'étude 2015 et 2016.....	84
Tableau 12. Paramètres de la relation taille-poids total estimés pour <i>Sardinella maderensis</i> durant la période d'étude 2015 et 2016	85
Tableau 13. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire de la sardinelle ronde (<i>Sardinella aurita</i>) dans la période d'étude 2015 et 2016	89
Tableau 14. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire de la sardinelle plate (<i>Sardinella maderensis</i>) durant la période d'étude 2015-2016.....	92
Tableau 15. Paramètres de l'équation de la croissance pondérale absolue de <i>Sardinella aurita</i> ..	93
Tableau 16. Paramètres de l'équation de la croissance pondérale absolue de <i>Sardinella maderensis</i>	94
Tableau 17. L'âge en fonction du poids moyen des otolites de la sardinelle ronde en 2015.....	99
Tableaux 18. L'âge en fonction du poids moyen des otolites de la sardinelle ronde femelles et mâles en 2016.....	99
Tableau 19. L'âge en fonction du poids moyen des otolithes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016.....	101
Tableau 20. Paramètres de la relation taille-poids chez <i>Sardinella aurita</i> tirés de la littérature et les gammes de taille correspondantes	103
Tableau 21. Paramètres de la relation taille-poids chez <i>Sardinella maderensis</i> tirés de la littérature et les gammes de taille correspondantes	104

Tableau 22. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez <i>Sardinella aurita</i> tirés de la littérature	106
Tableau 23. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez <i>Sardinella maderensis</i> tirés de la littérature	107
Tableau 24. Poids asymptotiques P_{∞} de <i>Sardinella aurita</i> d'après la littérature.....	108
Tableau 25. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de <i>Sardinella aurita</i> en 2015.....	112
Tableau 26. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de <i>Sardinella aurita</i> en 2016.....	113
Tableau 27. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de <i>Sardinella maderensis</i> durant la période 2015-2016	114
Tableau 28. Evolution du coefficient de vacuité par sexe et par année de <i>Sardinella aurita</i>	115
Tableau 29. Evolution du coefficient de vacuité par sexe de <i>Sardinella maderensis</i>	115
Tableau 30. Evolution du coefficient de vacuité (C.V) de <i>Sardinella aurita</i> par sexe, saison et année.....	116
Tableau 31. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie, par sexe et par année chez la sardinelle ronde	117
Tableau 32. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie et par sexe chez la sardinelle plate.....	117
Tableau 33. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie, par saison et par année chez <i>Sardinella aurita</i>	118
Tableau 34. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie et par saison chez <i>Sardinella maderensis</i>	118
Tableau 35. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de <i>Sardinella aurita</i> , calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant l'année 2015	122
Tableau 36. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de <i>Sardinella aurita</i> , calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant l'année 2016	123
Tableau 37. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de <i>Sardinella maderensis</i> , calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant la période 2015-2016.....	124
Tableau 38. Importance des différentes proies de <i>Sardinella aurita</i>	126
Tableau 39. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de <i>Sardinella aurita</i> calculé par groupe de taille du prédateur en 2015.....	128
Tableau 40. Importance des différentes proies de <i>Sardinella aurita</i>	131
Tableau 41. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de <i>Sardinella aurita</i> calculé par groupe de taille du prédateur en 2016.....	133

Tableau 42. Importance des différentes proies de <i>Sardinella maderensis</i>	136
Tableau 43. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de <i>Sardinella maderensis</i> calculé par groupe de taille du prédateur	138
Tableau 44. Corrélation entre les paramètres environnementaux et les débarquements de <i>S. aurita</i> au niveau de chaque degré de latitude dans le sud du Maroc.....	148

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Délimitation du plateau continental dans la zone comprise entre Tarfaya et cap Blanc et bathymétrie.....	9
Figure 2. Zones d'upwelling le long de la côte marocaine, mauritanienne et sénégalaise	11
Figure 3. Evolution des captures annuelles en petits pélagiques par zone de pêche.....	14
Figure 4. Captures (tonnes) de <i>Sardinella aurita</i> par zone, flottille et année	15
Figure 5. Captures (tonnes) de <i>Sardinella maderensis</i> par zone, flottille et année.....	16
Figure 6. Principaux ports de pêches et sites (points bleus) de débarquements aménagés (PDA) entre Tarfaya et Lagouira	17
Figure 7. Sardinelle Ronde, <i>Sardinella aurita</i>	18
Figure 8. Sardinelle Plate, <i>Sardinella maderensis</i>	19
Figure 9. Distribution géographique de <i>S. aurita</i>	19
Figure 10. Distributions de la sardinelle ronde dans la zone sud de l'Atlantique marocain	20
Figure 11. Cycle migratoire d'adultes de <i>Sardinella aurita</i>	21
Figure 12. Distribution saisonnière de <i>Sardinella aurita</i> et de la température de surface de la mer	22
Figure 13. Répartition géographique de la <i>Sardinella maderensis</i>	23
Figure 14. Cycle migratoire de <i>Sardinella maderensis</i>	24
Figure 15. Zone d'échantillonnage des sardinelles (<i>Sardinella aurita</i> et <i>Sardinella maderensis</i>)	28
Figure 16. Automate de type Leica	34
Figure 17. Automate d'inclusion Tissue-Tek Tec	34
Figure 18. Processus d'inclusion.....	35
Figure 19. Bain marie et Microtome	35
Figure 20. Processus de la coupe	36
Figure 21. Batterie de coloration.....	36
Figure 22. Microscope optique.....	37
Figure 23. Représentation graphique de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire	43
Figure 24. Localisation des zones d'échantillonnage des données SST, Chl-a et UI	52
Figure 25. Taux de femelle en fonction de la taille chez <i>Sardinella aurita</i> dans la période d'étude 2015 et 2016	55
Figure 26. Taux de femelle en fonction de la taille chez <i>Sardinella maderensis</i>	56

Figure 27. Variation saisonnière du taux de femelles chez <i>Sardinella aurita</i> dans la période d'étude 2015 et 2016.....	57
Figure 28. Variation saisonnière du taux de femelles chez <i>Sardinella maderensis</i>	58
Figure 29. Evolution mensuelle du pourcentage de la sardinelle ronde mâle et femelle en différents stades de maturité dans la période d'étude 2015 et 2016.....	59
Figure 30. Evolution mensuelle du pourcentage de la sardinelle plate mâle et femelle en différents stades de maturité durant la période d'étude 2015-2016.	60
Figure 31. Évolution mensuelle du rapport gonadosomatique (RGS) des deux sexes de la sardinelle ronde durant la période 2015-2016.....	60
Figure 32.Évolution mensuelle du rapport gonadosomatique (RGS) des deux sexes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016	61
Figure 33. Taille à la première maturité sexuelle (50%) de <i>Sardinella aurita</i> dans la période d'étude 2015 et 2016	62
Figure 34. Taille à la première maturité sexuelle (50%) de <i>Sardinella maderensis</i> femelle et mâle durant la période d'études 2015 et 2016	63
Figure 35. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «immature».	64
Figure 36. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «pré-ponte».	65
Figure 37. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «ponte».....	66
Figure 38. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «post-ponte».....	67
Figure 39. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «repos sexuel».....	68
Figure 40. Relation entre la fécondité partielle, la longueur totale (cm) (a) et le poids total (g) (b) des femelles matures de <i>Sardinella aurita</i> durant la période d'étude 2015 et 2016	70
Figure 41. Évolution mensuelle du facteur de condition (K) des deux sexes de la sardinelle ronde durant la période 2015-2016	82
Figure 42. Évolution mensuelle du facteur de condition (K) des deux sexes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016	83
Figure 43. Comparaison des équations de la relation taille-poids (g) des femelles (a) et mâles (b) de la sardinelle ronde en 2015 et 2016	85
Figure 44. Comparaison des équations de la relation taille-poids (g) des femelles et mâles de la sardinelle plate durant la période 2015-2016	86
Figure 45. Allongement marginal (A.M.) des otolithes de la sardinelle ronde par mois durant la période 2015-2016.....	87
Figure 46. Allongement marginal (A.M.) des otolithes de la sardinelle plate par mois durant la période 2015-2016.....	87

Figure 47. Courbes de Von Bertalanffy pour la Croissance linéaire de la sardinelle ronde (<i>Sardinella aurita</i>) femelles (a), mâles (b) et combiné (c) en Atlantique sud marocain pendant la période d'étude 2015 et 2016.....	91
Figure 48. Courbes de Von Bertalanffy pour la Croissance linéaire de la sardinelle plate (<i>Sardinella maderensis</i>) en Atlantique sud marocain durant la période d'étude 2015-2016.....	92
Figure 49. Courbes de la croissance pondérale absolue de <i>Sardinella aurita</i> , femelles (a) et mâles (b) en 2015 et 2016.....	94
Figure 50. Courbes de la croissance pondérale absolue de <i>Sardinella maderensis</i> femelles et mâles durant la période 2015-2016	95
Figure 51. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes des deux sexes de <i>Sardinella aurita</i> en 2015	96
Figure 52. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes de <i>Sardinella aurita</i> femelles (a) et mâles (b) en 2016.....	97
Figure 53. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes des deux sexes de <i>Sardinella maderensis</i> en 2015-2016	98
Figure 54. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de <i>Sardinella aurita</i> en 2015	99
Figures 55. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de <i>Sardinella aurita</i> femelle (a) et mâle (b) en 2016.....	100
Figure 56. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de <i>Sardinella maderensis</i> durant la période 2015-2016.....	101
Figure 57. Principales proies de la sardinelle ronde par groupe de taille et par saison durant l'année 2015	119
Figure 58. Principales proies de la sardinelle ronde par groupe de taille et par saison durant l'année 2016	120
Figure 59. Principales proies de la sardinelle plate par groupe de taille et par saison durant la période 2015-2016.....	121
Figure 60. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de cinq groupes de taille de sardinelle ronde durant l'année 2015.....	129
Figure 61. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de cinq groupes de taille de sardinelle ronde durant l'année 2016.....	134
Figure 62. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de quatre groupes de taille de sardinelle plate	139
Figure 63. Répartition de captures totales de la sardinelle ronde par région au Maroc durant la période (2009-2016).....	146
Figure 64. Variabilités annuelles des captures de <i>Sardinella aurita</i> au Maroc (2009-2016).....	147

Figure 65. Tendances interannuelles du SST (à gauche) et de Chl-a (à droite)	147
Figure 66. Tendances interannuelles des débarquements de <i>Sardinella aurita</i> dans le port de Dakhla	149
Figure 67. Tendances interannuelles du SST à la latitude de 22° N	149
Figure 68. Tendances interannuelles de l'UI à la latitude de 22° N.....	150
Figure 69. Tendances interannuelles de la Chl-a à la latitude de 22° N	150

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Au Maroc, le secteur de la pêche joue un rôle important sur le plan économique et social, sa production nationale a été de 1 353 780 tonnes en 2014, ce qui a placé le Maroc au premier rang de production Africaine et au 17ème rang à l'échelle mondiale (FAO, 2016). De point de vue économique, ce secteur joue un rôle très important ; durant la dernière décennie, sa contribution au PIB (Produit Intérieur Brut) est de l'ordre de 2,3% en moyenne. Sur le plan social, la filière de pêche génère plus de 170 000 emplois directs et 500 000 emplois indirects. La production nationale est destinée à hauteur de 80% aux industries de traitement des produits de la mer et de 20% au marché local de la consommation des produits frais (MPM, 2014).

La politique des pêches maritimes puise ses fondements dans le nouveau contexte international qui a comme objectif la sauvegarde des ressources biologiques marines, une forte valorisation des captures et leur exploitation durable.

La biodiversité des eaux atlantiques marocaines est plus déterminée par la nature favorable du régime hydro-climatique et par la configuration de la plate-forme continentale des côtes marocaines. L'un des facteurs importants qui régissent la production du secteur halieutique du Maroc est l'upwelling (remontées d'eaux profondes riches en nutriments), ce dernier constitue la principale source d'enrichissement des écosystèmes côtiers nord ouest-africains. Les facteurs environnementaux tels que l'intensité et la variabilité saisonnière ou interannuelle des upwellings, les aspects de la production primaire ou secondaire ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques du milieu sont étroitement associées à la dynamique des petits poissons pélagiques.

Le long de la côte sud de l'Atlantique marocain, il y a le courant des Canaries, qui compte parmi les quatre systèmes de courants marins verticaux qui se situent aux frontières orientales des océans. Ces courants (Canaries, Humboldt, Californie et Benguela) sont caractérisés par la montée des upwellings le long des côtes. Ils représentent seulement 0,1% de la surface totale des océans et contribuent à hauteur de 30% à la prise de poissons dans le monde (Machu, 2000 ; Koné et al., 2005 ; Fréon et al., 2009). Ce sont des systèmes très productifs de la matière première et renferment d'importantes biomasses de plancton à la base de toute la chaîne alimentaire inhérente à ces systèmes, allant des petits pélagiques (sardines, anchois, sardinelles, maquereaux, chinchards) aux niveaux trophiques supérieurs (requins, baleines, dauphins, oiseaux marins, tortues marines). Les fluctuations annuelles de ces systèmes impact la pêche dans ces régions. Ces fluctuations montrent des années de fortes abondances et des années d'effondrement des pêcheries du fait de la variabilité dans le recrutement des juvéniles et des événements climatiques. Au Maroc, à partir des données historiques sur les pêcheries, ces derniers montrent un effondrement des stocks de petits pélagiques (essentiellement la sardine et les sardinelles)

durant la période 1996-1998 (Ettahiri et al., 2003 ; Ettahiri et al., 2008 ; Berraho et al., 2005 ; Machu et al., 2008).

Les petits poissons pélagiques, composés principalement d'espèces de clupéidés (*Sardina pilchardus* et *Sardinella spp*), de scombridés (*Scomber colias* et *Scomber scombrus*), de carangidés (*Trachurus trachurus*, *Trachurus trecae*, *Trachurus mediterraneus* et *Trachurus pilchardus*) et d'engraulidés (*Engraulis encrasicolus*), représentent la grande partie du potentiel halieutique de la ZEE (Zone Économique Exclusive) marocaine. Ces ressources, d'importance primordiale pour l'économie halieutique du Maroc, donnent lieu à une exploitation au niveau de quatre grandes zones de pêche, la zone Méditerranéenne, la zone Atlantique nord entre Tanger et Safi, la zone Atlantique centre entre Safi et cap Boujdor et la zone Atlantique sud entre cap Boujdor et cap Blanc. Ces dernières années plus d'un million de tonnes sont pêchées annuellement par trois grands types de pêche : les senneurs côtiers, les chalutiers type RSW (Refrigerated Sea Water) et les chalutiers congélateurs étrangers, en plus d'une flotte artisanale qui ne cesse de se développer.

Vu l'importance et les enjeux socio-économiques des ressources pélagiques, cette pêcherie est l'une des pêcheries prioritaires qui a bénéficié de la mise en place d'un plan d'aménagement, dans le cadre de la stratégie « Halieutis » et la politique de gestion par « plan d'aménagement » dans lequel le Département des Pêches Maritimes s'est engagé. Ce plan d'aménagement a été établi en premier lieu en 2010 pour l'unité d'aménagement sud « cap Boujdor-cap Blanc » et a été généralisé en 2014 à l'unité nord « Saadia-cap Boujdor ».

Dans les régions nord ouest africaines, ces espèces font partie des stocks qui ne sont pas limités aux eaux territoriales d'un seul pays, mais s'étendent dans les eaux territoriales de deux ou plusieurs pays riverains voisins (stocks partagés). Par ailleurs, certains stocks migrent le long de la côte : il se peut qu'ils se trouvent dans les eaux côtières d'un pays pendant une partie de l'année et dans celles de pays voisins pendant le reste de l'année, comme le cas des sardinelles. Le caractère transfrontalier de ces ressources nécessite une gestion spécifique et une coopération régionale pour une prise en compte de la ressource dans son contexte transfrontalier.

La position intermédiaire que les petits poissons pélagiques occupent dans le réseau trophique et aussi leur forte abondance leur donne une importance particulière par rapport à d'autres espèces. Ces poissons étant planctonophages, les variations d'intensité de l'upwelling agissent directement sur la distribution et l'abondance du phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire (Bakun, 1996), qui va conditionner la dynamique des consommateurs primaires, notamment le zooplancton (Trathan et al., 2006) et les petits poissons pélagiques (Montevecchi et Myers, 1997 ; Frederiksen et al., 2007). L'abondance de ces espèces, influence celle des

prédateurs supérieurs. Ainsi ce niveau intermédiaire va jouer un rôle important dans la structure et la dynamique de l'écosystème, qui peut être perçu par deux types de contrôle, le contrôle de type « top-down » (contrôle des prédateurs supérieurs sur les maillons trophiques inférieurs) sur le plancton dont il se nourrit, et par contrôle « bottom-up » sur les nombreux prédateurs marins qui les consomment (Cury et al., 2000 ; Hunt et McKinnell, 2006). D'autre part, les petits poissons pélagiques constituent la base nourricière de nombreux écosystèmes et sont d'importance économique et biologique cruciale (Bakun, 1996 ; Cury et al., 2000). Ils constituent la matière première de la plupart des industries de conserves, de traitement et de transformation en huile et farine animales. Ces dernières sont exportées partout dans le monde pour l'élevage des bovins et des porcs, et plus récemment pour l'aquaculture. Ces poissons pélagiques occupent ainsi un poids important dans l'alimentation et l'économie mondiale (Tacon, 2004).

L'influence de l'environnement sur la biologie des petits pélagiques et les fluctuations de leur disponibilité et leur abondance ont été mises en évidence dans de nombreuses pêcheries du globe. L'évolution des pêcheries des petits pélagiques notamment celles des clupéiformes a montré que cette ressource peut être sujette à des fluctuations d'abondance très importantes.

Les petits poissons pélagiques sont soumis à des facteurs de pression liée à la croissance de la population humaine, la surpêche, le changement climatique mondial, la pollution et la dégradation de l'habitat (Klemaš, 2012). Le réchauffement climatique concerne tous les grands écosystèmes marins, sauf ceux de Californie et de Humboldt (Belkin, 2009 ; Sherman et al., 2009). En générale, la température de surface de la mer (SST) a augmenté de 0,6 °C au cours des 100 dernières années (GIEC, 2007). Dans le grand écosystème marin du courant des Canaries, le SST a augmenté de 0,52 °C entre 1957 et 2006 (Belkin, 2009). Selon Klemaš (2012), il y a environ 40 ans, la productivité des océans a commencé à diminuer, atteignant la limite critique du rendement maximal durable, ce qui laisse penser que la relation entre le changement climatique et la future production primaire des océans est déterminante pour la production halieutique (Cushing, 1982). La température a un impact sur les poissons durant les différentes phases de leur vie, pendant la ponte, sur le développement et la survie des œufs et des larves, ainsi que sur la répartition, l'agrégation, la migration et le comportement des juvéniles et des adultes (Gordoa et al., 2000). Il peut aussi avoir un impact direct sur les poissons, en affectant leur physiologie et leur comportement, et indirectement en affectant la structure et la productivité des écosystèmes (Beaugrand, 2009 ; Brander, 2010).

Les sardinelles sont des espèces clés de l'écosystème de la région d'upwelling du nord-ouest africain (Bard et Koranteng, 1995). La biomasse des sardinelles a connu des fluctuations très

importantes ces dernières années. La production des sardinelles déclarée au cours de la période 1990-2016 varie d'une année à l'autre en relation notamment avec les migrations de l'espèce. La sardinelle ronde reste l'espèce dominante de ce groupe et représente la deuxième espèce pélagique capturée dans cette zone après la sardine (*Sardina pilchardus*). La prise moyenne annuelle de la sardinelle ronde au cours des cinq dernières années est d'environ 51 735 tonnes face à 1442 tonnes pour la sardinelle plate. La zone sud de cap Boujdor représente 90% des prises des sardinelles au Maroc (INRH, 2015).

Les sardinelles constituent la principale ressource de la pêche artisanale. Elles sont d'une importance capitale pour la sécurité alimentaire d'une part et d'autre part pour l'emploi d'une bonne partie de la population au Sénégal, en Gambie, et plus récemment en Mauritanie. En plus de la pêche artisanale, il existe une pêche importante de la sardinelle par les flottes industrielles en Mauritanie et au Maroc. Les sardinelles, en particulier la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) font des migrations saisonnières extensives, passant du Sénégal et de la Gambie vers la Mauritanie et le Maroc. Le stock est ainsi exploité dans tous ces pays. Actuellement, il n'existe aucune gestion conjointe de la ressource par les pays concernés. Le risque que cela peut entraîner est de voir chaque pays tenter de maximiser l'exploitation de la ressource durant des périodes et dans des zones sensibles. Au cours de ces dernières années, les risques liés à la surpêche et à l'épuisement du stock ont été aggravés à cause de l'augmentation de l'effort des flottes industrielles, l'expansion de la pêche artisanale au Sénégal, ainsi que le développement rapide de l'industrie de la farine de poisson qui utilise la sardinelle comme matière première.

La pêcherie de la sardinelle est très importante au Sénégal, en Mauritanie et dans une moindre mesure au Maroc. La pression exercée sur ces ressources a augmenté à cause non seulement de l'apparition des usines de farine et d'huile de poisson dans certains pays de la sous-région mais aussi à cause de l'arrivée des chalutiers de haute mer au Sénégal. Le groupe de travail de la FAO sur les petits pélagiques en Afrique du nord-ouest a tiré la sonnette d'alarme à plusieurs reprises pour avertir que les ressources de la sardinelle de la sous-région sont surexploitées (FAO, 2011).

Cependant, l'étude de la dynamique des stocks de ces espèces exploitées a rarement été initiée. Le manque d'études est plutôt surprenant compte tenu des captures considérables des sardinelles et des fortes contributions de la prise totale dans la partie sud de la côte Atlantique marocaine. L'objectif principal de cette étude est d'identifier les indicateurs biologiques et écologiques contribuant à l'évaluation de l'état du stock des sardinelles, au niveau de l'Atlantique sud marocaine et la zone nord-ouest Africaine.

Les objectifs spécifiques de notre étude sont présentés dans chacun des cinq chapitres qui constituent cette thèse.

Le premier chapitre est une synthèse générale de la situation des ressources au niveau de la façade Atlantique sud marocaine, et des caractéristiques des espèces étudiées.

Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude des paramètres de reproduction de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* de l'Atlantique sud marocain en identifiant les pics de ponte, en déterminant la taille à la première maturité, en calculant les paramètres de la fécondité et en déterminant les stades ovocytaires pour la sardinelle ronde à l'aide de l'histologie ovarienne.

Le troisième chapitre porte sur l'étude de l'âge et la croissance de la sardinelle ronde et la sardinelle plate, à travers l'étude des paramètres de croissance linéaire et pondérale, la relation taille-poids des individus ainsi que le poids des otolithes.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la diète alimentaire des sardinelles (rondes et plates) en Atlantique sud marocain par une analyse qualitative et quantitative des contenus stomacaux en prenant en considération la structure en tailles de la population, le sexe et la saisonnalité.

Le dernier chapitre abordera l'impact des paramètres environnementaux (la température de surface de la mer, l'indice d'upwelling et la chlorophylle-a) sur l'abondance de la sardinelle ronde dans la zone sud de l'Atlantique marocaine durant la période 2009-2016.

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS

I. Caractéristiques de la zone d'étude (Atlantique sud marocain)

La structure hydrodynamique de la côte Atlantique marocaine se caractérise par la présence du phénomène d'upwelling (remontées d'eaux froides). Quatre zones d'upwelling ont été identifiées et se manifeste principalement en été au nord, entre cap Cantin-cap Ghir et cap Drâa-cap Juby, et de manière quasi permanente au sud, entre cap Boujdor-Dakhla et entre cap Barbas-cap Blanc (Makaoui et al, 2000). Ce phénomène est dû à plusieurs facteurs dont la forme du plateau, l'orientation de la côte, la direction et l'intensité des vents Alizés, qui sont le principal moteur des upwellings nord-ouest africains (Wooster et al, 1976). Les zones d'upwelling offrent aux systèmes pélagiques un apport très important en sels nutritifs qui favorise une production primaire (phytoplancton) et secondaire (zooplancton) importante (Salah et al., 2012 ; Berraho et al., 2015 ; Demarcq et Somoue, 2015).

Plusieurs études élaborés confirment que la dynamique des stocks des poissons pélagiques côtiers est étroitement associée aux variations des facteurs environnementaux tels que l'intensité des upwellings, la production primaire ou/et secondaire ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques de la région (Furnestin, 1953, 1957, 1959, 1970 ; Grall et al., 1974 ; Minas et al., 1982 ; Belvèze et Erzini, 1983 ; Belvèze, 1984 ; Roy, 1991 ; Orbi et al., 1991).

La connaissance des conditions hydroclimatiques régnant sur le plateau continental de la région est nécessaire pour la compréhension de la répartition des espèces ainsi que leurs déplacements saisonniers.

La dynamique des stocks des poissons petits pélagiques, dans la zone comprise entre cap Boujdor et cap Blanc, est étroitement liée aux facteurs environnementaux qui régissent directement ou indirectement sur l'intensité et la variabilité saisonnière ou interannuelle des upwellings.

1. Hydrologie du plateau continental Marocco-Mauritanien

1.1. Climatologie et courantologie

L'hydroclimat des côtes Marocco-Mauritaniennes est régit par un ensemble de courants de différents origines qui se traduit par :

- Le Courant des Canaries (courant de direction sud-ouest en saison froide), qui bifurque à l'ouest aux environs du cap Blanc pour former le courant nord-équatorial. Il s'agit d'une dérive littorale dont les fluctuations de vitesse sont reliées aux variations de vent (intensité et direction). Sa largeur couvre au maximum le plateau continental, au-delà duquel se manifeste fréquemment un ensemble de contre-courants. L'épaisseur de ce courant superficiel varie entre 20 et 50m (Zizah, 2014).

- Un contre-courant dirigé vers le nord en saison chaude qui est très variable et subit de larges oscillations. Il s'agit d'une branche du contre-courant équatorial apportant des eaux chaudes et salées sur le plateau continental. Ce contre-courant équatorial atteint son maximum d'intensité et d'extension vers le nord en été. La branche nord peut atteindre la latitude du cap Blanc (Zizah, 2014).
- Et les gyres océaniques entre 15°N et 22°N, ces dernières sont des cellules asymétriques en raison de l'action de la force de Coriolis. Elles participent à la circulation superficielle et transportent de grandes quantités d'eau (Zizah, 2014).

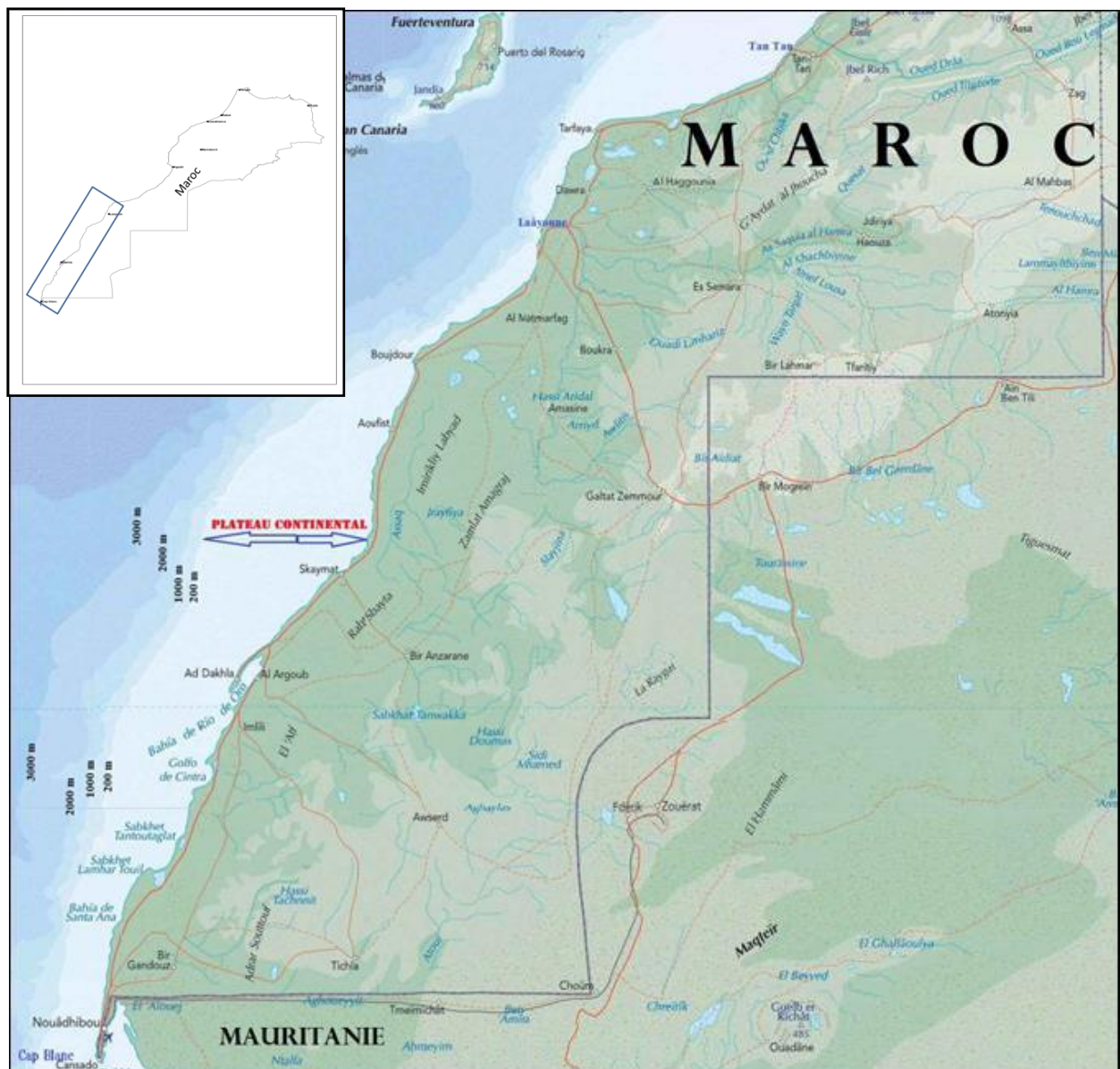


Figure 1. Délimitation du plateau continental dans la zone comprise entre Tarfaya et cap Blanc et bathymétrie selon Zizah (2014) modifié

Les systèmes de courant de Canaries et les contre-courants transportent des masses d'eaux de caractéristiques différentes dont les températures varient de 17 à 20°C et de 24 à 28°C (Zizah,

2014). Ces structures sont à leur point de rencontre induisant ainsi des zones frontales à fort gradient thermique. Ces fronts se situent au niveau du cap Blanc en saison chaude (Figures 2).

Des fluctuations saisonnières brèves et importantes de l'upwelling ont été observées (Somoue et al., 2005 ; Makaoui et al., 2005 ; Salah et al., 2012 et 2013). Durant la saison froide (novembre-mai), ces variations sont plus marquées dans la région située au nord de cap Boujdor.

L'upwelling est intense au nord du cap Blanc, où il est quasi-permanent, et au sud du cap Timiris, où il est très fréquent, son maximum est observé en mai-juin (Zizah, 2014). Dans cette région les masses d'eaux sont froides et très peu stratifiées.

Les eaux chaudes de surface apparaissent au moment du retrait des alizés. En plus, il existe une couche de surface isotherme dont l'épaisseur augmente légèrement vers la côte. Au dessous de cette couche, les eaux sont très stratifiées et la thermocline est bien marquée dans toute la zone. Le gradient de température dans la thermocline est maximum en fin de saison chaude (septembre) mais l'épaisseur de la couche de surface est maximum en début de saison chaude (juillet) où elle peut dépasser 50 m (Zizah, 2014).

La vitesse des mouvements ascendants au large peut être comparée à celle rencontrée au niveau du plateau continental, contrairement à l'upwelling du large qui est moins stable à cause de la grande amplitude du déplacement journalier de la limite des alizés (Zizah, 2014).

La zone comprise entre les latitudes 15 et 25° N connaît des foyers d'upwelling avec une forte intensité. L'intensité maximale de ce courant ascendant est plus prolongée, de janvier-mars au sud de 15° N jusqu'à août-septembre, voire parfois octobre, au nord de la latitude 30° N (Makaoui et al., 2005 ; Meunier et al., 2012).

Les variations saisonnières de l'intensité de l'upwelling régissent la communauté planctonique. Ces effets se traduisent par non seulement les effectifs et les biomasses de phytoplancton et de zooplancton, mais aussi bien sur la composition de la communauté planctonique (Fréon et al., 2009).

La corrélation des indices d'intensité de l'upwelling avec certains paramètres biologiques des poissons pélagiques tropicaux montre la grande influence des courants ascendants (upwellings) sur les rythmes biologiques saisonniers aussi bien que sur le taux de croissance et la maturation sexuelle, les effectifs et la répartition des poissons (Ould Taleb Ould Sidi, 2005 ; Machu et al., 2009 ; Fréon et al., 2009).

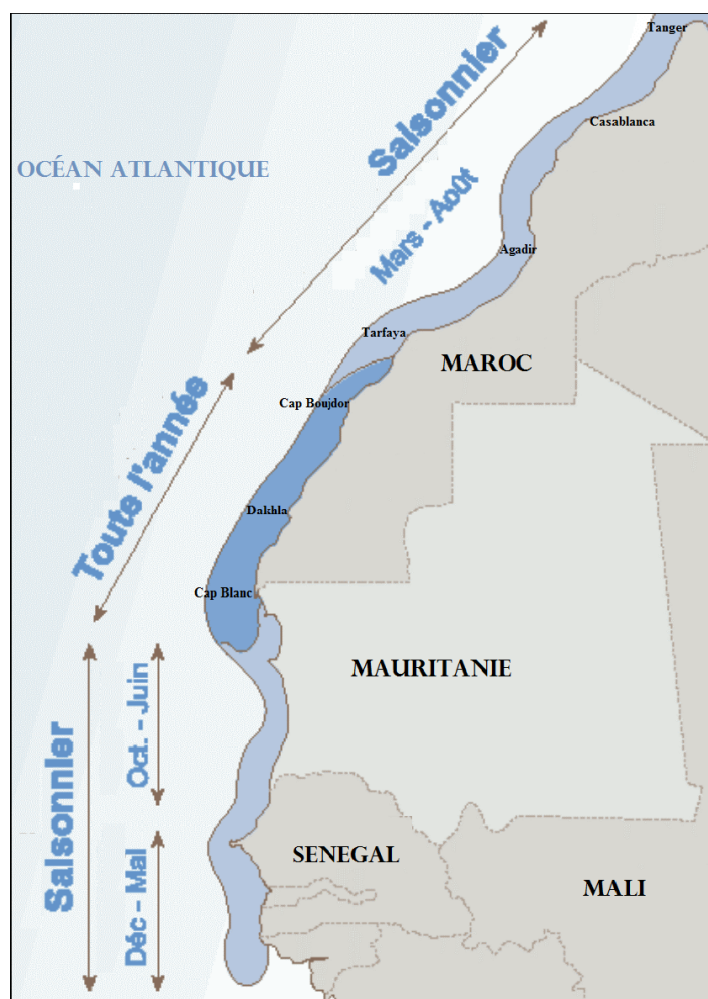


Figure 2. Zones d'upwelling le long de la côte marocaine, mauritanienne et sénégalaise (Zizah, 2014)

Dans de nombreux travaux, il a été bien démontré que les déplacements verticaux des remontées des masses d'eau océaniques par les upwellings sont à la base de la mobilisation et de la répartition des teneurs en sels nutritifs dans la zone euphotique des écosystèmes pélagiques (Makaoui et al., 2005 ; Ould Taleb Ould Sidi, 2005 et Fréon et al., 2009). La production biologique primaire et secondaire dans ces habitats est étroitement liée à l'activité de ces courants ascendants (Fréon et al., 2009). Ainsi, la fertilisation des habitats benthiques qui résulte des dépôts des organismes animaux et végétaux et d'autres apports terrigènes, se déplace en surface selon divers mécanismes pour renforcer la productivité et enrichir la production primaire, et par voie trophique, la production secondaire et tertiaire. La côte Atlantique marocaine entre cap Boujdor et cap Blanc connaît de nombreux foyers de résurgence d'eau froide, actifs toute l'année (Zizah, 2002 ; Makaoui et al., 2005, Ould Taleb Ould Sidi, 2005 ; Zizah et al., 2012 ; Salah et al., 2012 ; Salah, 2013).

Cette région abrite le stock naturel des petits pélagiques (sardine, sardinelle, maquereau et chinchards) le plus important au Maroc, d'où l'intérêt socio-économique très significatif que recèle la région sud Atlantique marocaine (FAO, 2006 ; MPM, 2014).

1.2. Plateau continental

Le plateau continental de l'Atlantique sud marocain est une vaste plate-forme dont la largeur est entre 30 à plus que 100 km (Figure 1). Son littoral est caractérisé par une succession de caps et de baies dont les plus importants sont : cap Boujdor, cap Barbas, cap Blanc, baie Dakhla et baie Cintra.

L'orientation générale de la côte est nord-sud avec des inflexions vers l'est à chacune des extrémités. L'isobathe 150 m qui marque la limite du plateau continental est plus ou moins rectiligne sauf aux extrémités (Fréon et al., 2009). Généralement, pour la plus grande partie du plateau, les fonds sont réguliers et la pente est douce, sauf entre cap Barbas et cap Blanc où la pente est plus forte. Les variations saisonnières de la circulation marine et des masses d'eaux océaniques sont très importantes dans toute la zone comprise entre le cap Boujdor et les côtes mauritaniennes. Elles sont en relation directe avec l'anticyclone des Açores et celui de Sainte-Hélène ainsi que la dépression saharienne (Roy, 1991 ; Makaoui et al., 2005).

2. Ressources halieutiques pélagiques et infrastructures de la région sud marocaine

2.1. Ressources halieutiques pélagiques de la région sud marocaine

La zone Atlantique sud marocaine comprise entre Tarfaya-Lagouira, couvrant la région du sahara marocain, est caractérisée par une diversité importante en espèces halieutiques, dont la composition et l'abondance sont conditionnées en grande partie par les facteurs hydro-climatiques qui règnent dans les écosystèmes pélagiques côtiers de l'ouest africain. Selon les statistiques de pêches à l'échelle nationale et internationale, et selon de nombreuses études réalisées dans les quatre zones d'upwellings (Machu, 2000, Koné et al., 2005 ; Koné, 2006 ; Fréon et al., 2009), la région des Canaries est très productive en terme de production primaire (phytoplancton). Par contre, en termes de production de poisson, la zone de Benguela et du Chili sont les mieux classées à l'échelle mondiale.

Selon les statistiques des pêches (INRH, 2015), la région sud marocaine se distingue par une richesse qualitative et quantitative des ressources halieutiques peuplant ces espaces maritimes hautement influencés par les alizés. Les ressources des petits pélagiques constituent la principale composante exploitable de la biomasse globale à l'échelle nationale au niveau de cette zone.

En plus des ressources pélagiques, on y trouve également les ressources démersales qui sont représentées principalement par les jeunes des sparidés, thonidés, crustacés, Céphalopodes, etc.

Les statistiques de pêche (FAO, 2006 ; MPM, 2014) démontrent clairement que la région Atlantique sud marocaine recèle un important stock de ressources pélagiques pêchées initialement par une flotte étrangère et marocaine selon un cadre réglementaire.

La pêche des petits pélagiques de cette région n'a commencé à connaître des statistiques fiables et contrôlées qu'au début des années 1980 avec l'activité des navires soviétiques opérant en vertu d'un accord entre le Royaume du Maroc et l'Union Soviétique.

La deuxième étape de l'évolution de l'exploitation de cette pêche a été inaugurée par le Royaume du Maroc vers la fin des années 90 avec la mise en place d'un cadre d'affrètement au profit des opérateurs nationaux.

L'ouverture du port de Laâyoune a permis à la flotte de pêche côtière nationale d'accéder à cette pêche et d'engager une dynamique d'investissements et de valorisation de ces espèces.

Conscient de la faiblesse des retombées socio-économiques du mode d'exploitation par l'affrètement, les services en charge des pêches maritimes ont initié la mise en place, en concertation avec les opérateurs, d'un plan de développement de cette pêche qui s'articule autour de la promotion des filières à forte valeur ajoutée pouvant contribuer à la création de richesses au profit de l'économie locale des régions concernées (MPM, 2014).

Les aménagements des points de débarquement de la zone sud marocaine sont composés de 3 principaux ports implantés à Laâyoune, Dakhla et Boujdor. Il est à noter que le nouveau port de Dakhla a permis le redéploiement d'une partie de la flotte hauturière qui profite de la proximité des lieux de pêche.

2.1.1. Données quantitatives des ressources halieutiques dans la région sud marocaine

Les ressources halieutiques pélagiques que recèle cette zone sud marocaine constituent des stocks importants à exploiter et donc une activité économique pour les pêcheurs locaux. En effet, l'exploitation de ces stocks génère des emplois, des revenus, des devises et contribue largement à la sécurité alimentaire des populations de nombreux pays.

Les stocks exploités sont composés essentiellement de petits pélagiques, dont les espèces les plus communes et les plus ciblées sont la sardine, les sardinelles (ronde et plate), le maquereau, l'anchois et le chinchard. En termes de tonnage, ces espèces pélagiques représentent, en moyenne, plus que 80% des captures débarquées (INRH, 2015). La production nationale de la pêche côtière, artisanale et hauturière s'est stabilisée de 2014 à 2015 à environ 1,3 millions de tonnes. Les petits pélagiques représentent 90% de cette production devant de plus loin les poissons blancs (6%) et les céphalopodes (3%) (INRH, 2015).

Les stocks de petits pélagiques font l'objet, pour la majorité d'entre eux, d'une exploitation aussi bien nationale que régionale. En effet, ces stocks ne sont pas limités aux eaux d'un seul pays, mais s'étendent dans les eaux de deux ou plusieurs pays côtiers voisins (stocks communs). Par ailleurs, certains stocks migrent le long de la côte : il se peut qu'ils se trouvent dans les eaux côtières d'un pays pendant une partie de l'année, et dans celles de pays voisins pendant le reste de l'année.

En outre, les ressources des petits pélagiques sont sujettes, au gré des conditions hydroclimatiques, à des fluctuations interannuelles en termes de composition, d'abondance et de répartition géographique.

Les variations de température et de salinité, tributaires des intensités des courants ascendants (upwellings) entraînent des déplacements périodiques de caractère saisonnier accompagnées ou non de variations d'abondance extrêmes.

Ainsi, le caractère transfrontalier et la variabilité naturelle à laquelle sont soumises ces espèces nécessite un mode de gestion spécifique et une plus grande coopération régionale pour une prise en compte de la ressource dans son contexte transfrontalier.

2.1.2. Évolution de la capture totale des principales espèces de petits pélagiques

La capture totale des principales espèces de petits pélagiques pendant la période 1990-2015 a connu des fluctuations importantes. La production déclarée réalisée est variable selon les années et suivant les modalités d'accès à la ressource. Après le pic de 1 329 300 tonnes enregistré en 1990, la capture a connu une diminution continue jusqu'en 1993, année où la capture réalisée est la plus basse de toute la série soit une capture de l'ordre de 709 000 tonnes. La capture a connu ensuite une hausse continue oscillant autour de 870 000 tonnes durant la période 1993-2001 avant de chuter en 2002 et 2003 aux alentours de 740 000 tonnes. Par la suite la production a connu de nouveau une hausse et a fluctué autour d'une moyenne de près de 1 million de tonnes entre 2004 et 2011. A partir de 2011, la tendance a continué à la hausse pour atteindre les 1 312 300 tonnes en 2015, presque le même niveau que celui de 1990 (Figure 3).

L'essentiel des prélèvements de la capture de petits pélagiques en 2015 est réalisé au niveau de la zone sud (cap Boujdor-cap Blanc) avec 61% de la capture, soit une capture déclarée de l'ordre de 799 750 tonnes (Figure 3) (INRH, 2015).

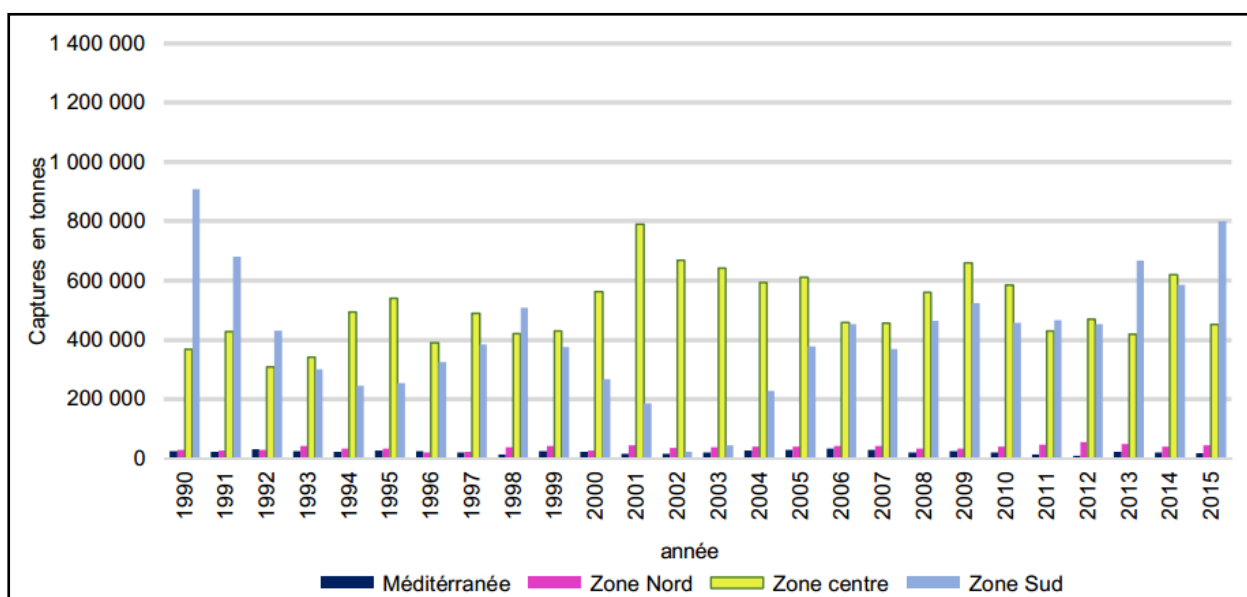


Figure 3. Evolution des captures annuelles en petits pélagiques par zone de pêche (INRH, 2015)

2.1.3. Historique sur les captures des sardinelles au Maroc

Dans la zone C située au nord du cap Blanc, les sardinelles sont exploitées par une flottille marocaine de senneurs côtiers et par des chalutiers RSW. Elles sont également exploitées par des chalutiers industriels de la Fédération de Russie et de l'Union européenne.

Les captures totales par flottille et par pays de sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et de sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) dans la zone sud marocaine sont présentées dans les figures 4 et 5 respectivement. Les captures de sardinelle ronde de la flottille marocaine opérant dans la zone C ont commencé de cibler cette espèce qu'à partir de 2006, depuis cette année, la grande partie des prises de la sardinelle ronde a été effectuée par la flotte marocaine. Les captures de *S. aurita* connaissent des fluctuations au cours des années, ces dernières années, elles ont diminué passant de 80 315 tonnes en 2013 à 44 012 tonnes en 2014. En 2016, la baisse de capture de cette espèce a été surprenante, elle a atteint 8230 tonnes (Figure 4).

Pour la sardinelle plate, après sa capture maximale signalée en 1990, la capture de cette espèce a diminué significativement au cours de ces dernières années, jusqu'à 2014 où nous avons remarqué une augmentation de prises de cette espèce (Figure 5).

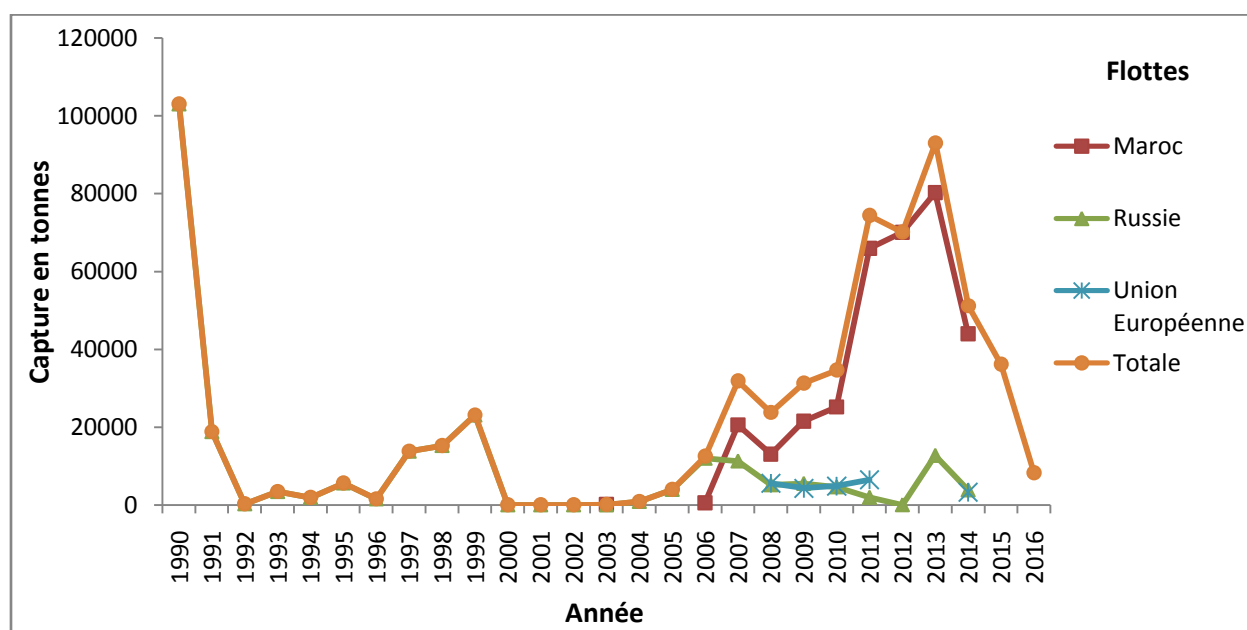


Figure 4. Captures (tonnes) de *Sardinella aurita* par zone, flottille et année

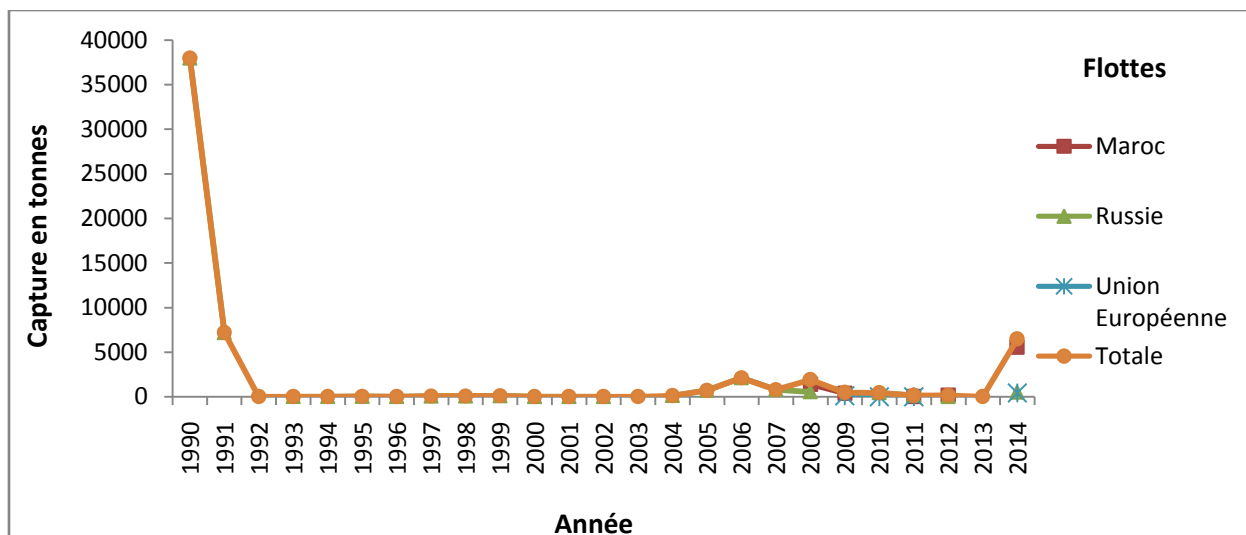


Figure 5. Captures (tonnes) de *Sardinella maderensis* par zone, flottille et année

2.2. Infrastructures d'accueil de la flotte artisanale

Dans le cadre de la politique sectorielle maritime et en vue de promouvoir et organiser l'activité de la pêche artisanale, les services en charge des pêches maritimes marocaines ont tracé un programme de développement à travers la réalisation tout au long du littoral Atlantique de plusieurs points de débarquement aménagés et de villages de pêcheurs.

Ce programme d'envergure, offre l'opportunité de poser les jalons d'une politique d'aménagement du littoral, basée sur l'implantation de nouveaux micro-pôles de développement régional permettant d'améliorer les conditions socio-économiques des marins pêcheurs.

A cet égard, ces infrastructures d'accueil ont été réalisées au niveau de 11 sites de pêche dans la région sud (Figure 6). Il s'agit de :

- Amégriou et Tarouma dans la province de Laâyoune ;
- Sidi El Ghazi et Lekraa dans la province de Boujdor ;
- N'tirift et Labouirda dans la province de Oued Eddahab ;
- Lamhiriz dans la province d'Aousserd ;
- Aftisset (cap 7) relevant de la province de Boujdor ;
- Ain Baida, Imoutlane et Lassarga relevant de la province d'Oued Eddahab.



Figure 6. Principaux ports de pêches et sites (points bleus) de débarquements aménagés (PDA) entre Tarfaya et Lagouira (MPM, 2012)

2.3.Flotte de pêche

Trois types de flottilles, opérant dans le cadre de différents régimes juridiques d'accès à la ressource (licence de pêche et accord de pêche), ont partagé l'exploitation des petits pélagiques au niveau de la ZEE (zone économique exclusive) marocaine :

- **La flottille côtière :** Cette flotte se compose de senneurs côtiers marocains utilisant la senne coulissante comme engin de pêche. Cette dernière varie entre 350 et 460 brasses. Le système de stockage en vrac dans les cales, est récemment remplacé par l'utilisation des caisses en plastique pour la manutention des captures en vue de maîtriser les quantités pêchées et promouvoir la qualité.
- **La flottille hauturière :** Elle se compose de :
 - Chalutiers marocains réfrigérés dotés d'un système de conservation type RSW (refrigerated sea water). L'engin de pêche utilisé est le chalut pélagique ou semi-pélagique.
 - Chalutiers pélagiques congélateurs russes avec un système de congélation à bord.

- Chalutiers pélagiques européens utilisant le chalut comme moyen de pêche.
- **La flottille artisanale** : Elle se compose de barques utilisant la petite senne comme engin de pêche dont les dimensions varient entre 180 et 300 m.

II. Quelques généralités sur *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*

1. Taxonomie

Les sardinelles appartiennent au règne Animal, à l'embranchement des Chordés, au sous-embranchement des Vertébrés, à la super classe des Poissons, à la classe des Actinoptérygiens, à l'ordre des Clupéiformes, à la Famille des Clupéidés, au genre *Sardinella* et aux espèces *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*.

Le genre *Sardinella* a été décrit la première fois par Valenciennes en 1847. *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) est qualifiée de « sardinelle ronde » tandis que *Sardinella maderensis* (Lowe, 1938) est nommée « sardinelle plate ».

2. Caractères distinctifs

La sardinelle ronde a le dos bleu-vert, la partie inférieure des flancs est blanc argentée. Chez *Sardinella aurita* à la limite du dos et des flancs se situe une bande jaune dorée chez les spécimens frais et il existe une tache diffuse et sombre sur le bord supérieur de l'opercule (Figure 7). La nageoire caudale a une couleur jaune très claire près de la base, tandis que le reste est sombre avec des extrémités très foncées ou noires.

La sardinelle plate est de couleur gris-bleuté dorsalement avec les flancs et le ventre blanc-argenté sans bande dorée, une tache diffuse et sombre est située en arrière de l'opercule et il en existe une à la base des premiers rayons de la dorsale. Les pectorales sont noires entre des rayons blancs dans la partie supérieure, incolores au-dessous (Figure 8).



Figure 7. Sardinelle Ronde, *Sardinella aurita*



Figure 8. Sardinelle Plate, *Sardinella maderensis*

3. Répartition géographique et schémas migratoires des sardinelles

3.1. *Sardinella aurita*

La répartition géographique de *Sardinella aurita* est très vaste. Elle concerne essentiellement les zones côtières de l'Atlantique tropical, de Gibraltar à l'Afrique du sud (Saldanha Bay), dans toute la Méditerranée et même en Mer Noire ; dans l'Atlantique ouest, du Golfe du Mexique au Brésil, ainsi que dans l'Indo-Pacifique (Indonésie, Mer de Chine) (Ghéno et Fontana, 1981 ; FAO, 2012) (Figure 9). Sur le littoral africain, la sardinelle ronde se rencontre sur le plateau continental où elle préfère les eaux salées (salinité $> 35\text{‰}$), non turbides et de température inférieure à 24°C (Camarena Luhrs, 1986 ; Fréon, 1988). La sardinelle ronde peut se retirer en dessous de la thermocline en saison chaude (période de faible enrichissement jusqu'à des profondeurs de 200 mètres durant la nuit) (Figure 9) (Fisher et al., 1981).

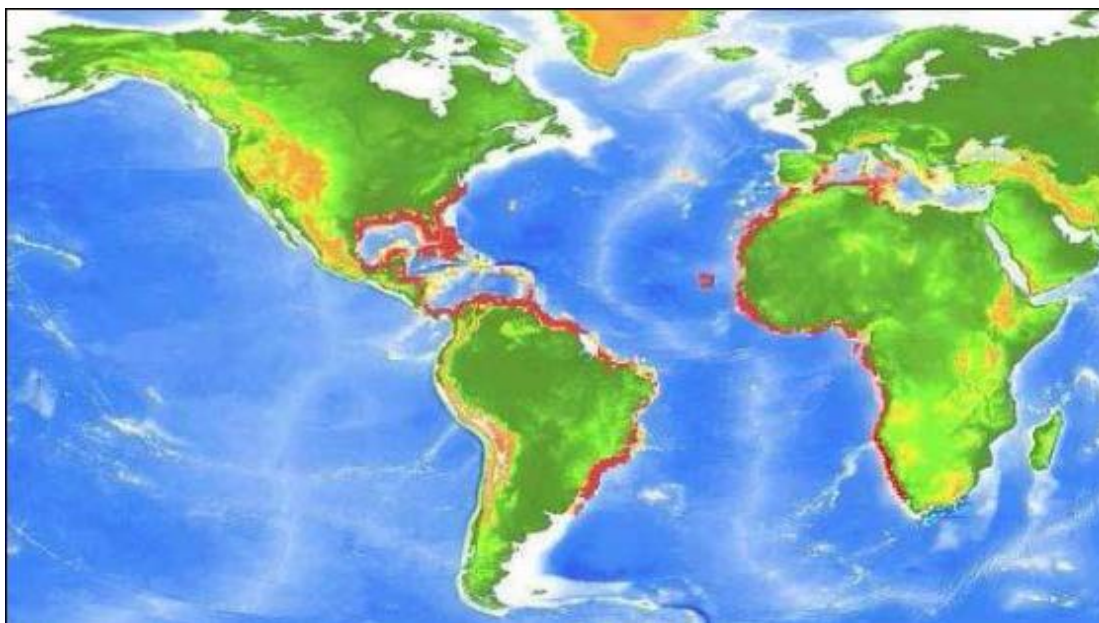


Figure 9. Distribution géographique de *S. aurita* (zone rouge) d'après Bouaziz (2007)

Au niveau de la zone sud marocaine les sardinelles (ronde et plate) sont détectées au niveau de la zone côtière entre Dakhla et cap Barbas et au niveau de cap Blanc, avec une légère extension au large au niveau de la Baie de Cintra (23°30N). Quelques traces de sardinelles sont aussi détectées au sud de cap Boujdor, et peut être détectée même au nord de Boujdor exceptionnellement en Atlantique nord (Figure 10) (INRH, 2015).

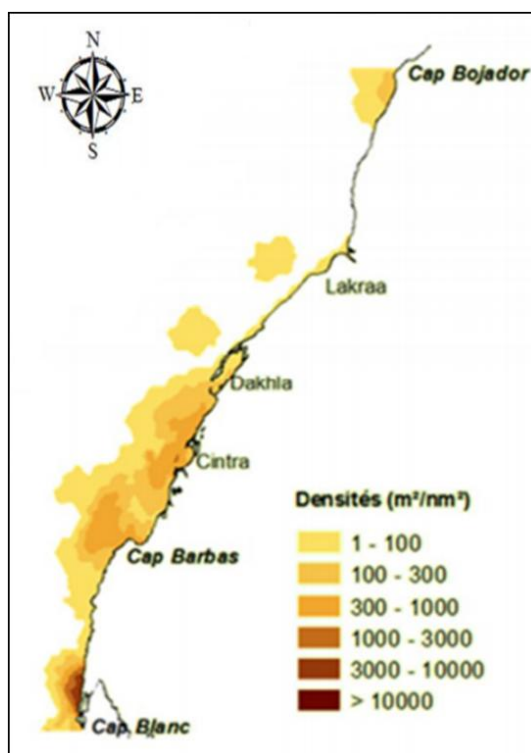


Figure 10. Distributions de la sardinelle ronde dans la zone sud de l'Atlantique marocain (INRH, 2015)

Une nouvelle description du schéma migratoire saisonnier de la sardinelle ronde a été présentée en juin 2012 lors de l'atelier sur les sardinelles organisé par la CSRP (Corten, 2012). Cette nouvelle description est une mise à jour du schéma migratoire de Boëly (1980) (Figure 11a) et Fréon (1979), elle est basée sur les données de campagnes acoustiques récentes et de débarquements de la pêche artisanale en Mauritanie. D'après Corten (2012), la descente des sardinelles vers le Sénégal se fait très près de la côte.

En effet, en début de l'année, la majeure partie des poissons est concentrée au Sénégal et en Gambie, et peut-être encore plus au sud (Figure 11b). Ces poissons sont exploités par la flotte artisanale sénégalaise. A partir du mois d'avril, les poissons commencent à migrer vers la Mauritanie où ils sont ciblés par la flotte industrielle étrangère. Cette flotte prend ses captures principales de mai à août. En septembre/octobre, les poissons émigrent plus au nord vers le Maroc, où ils sont exploités par les chalutiers pélagiques et les senneurs côtiers. A partir d'octobre, les poissons commencent à revenir au Sénégal en passant par les eaux mauritaniennes.

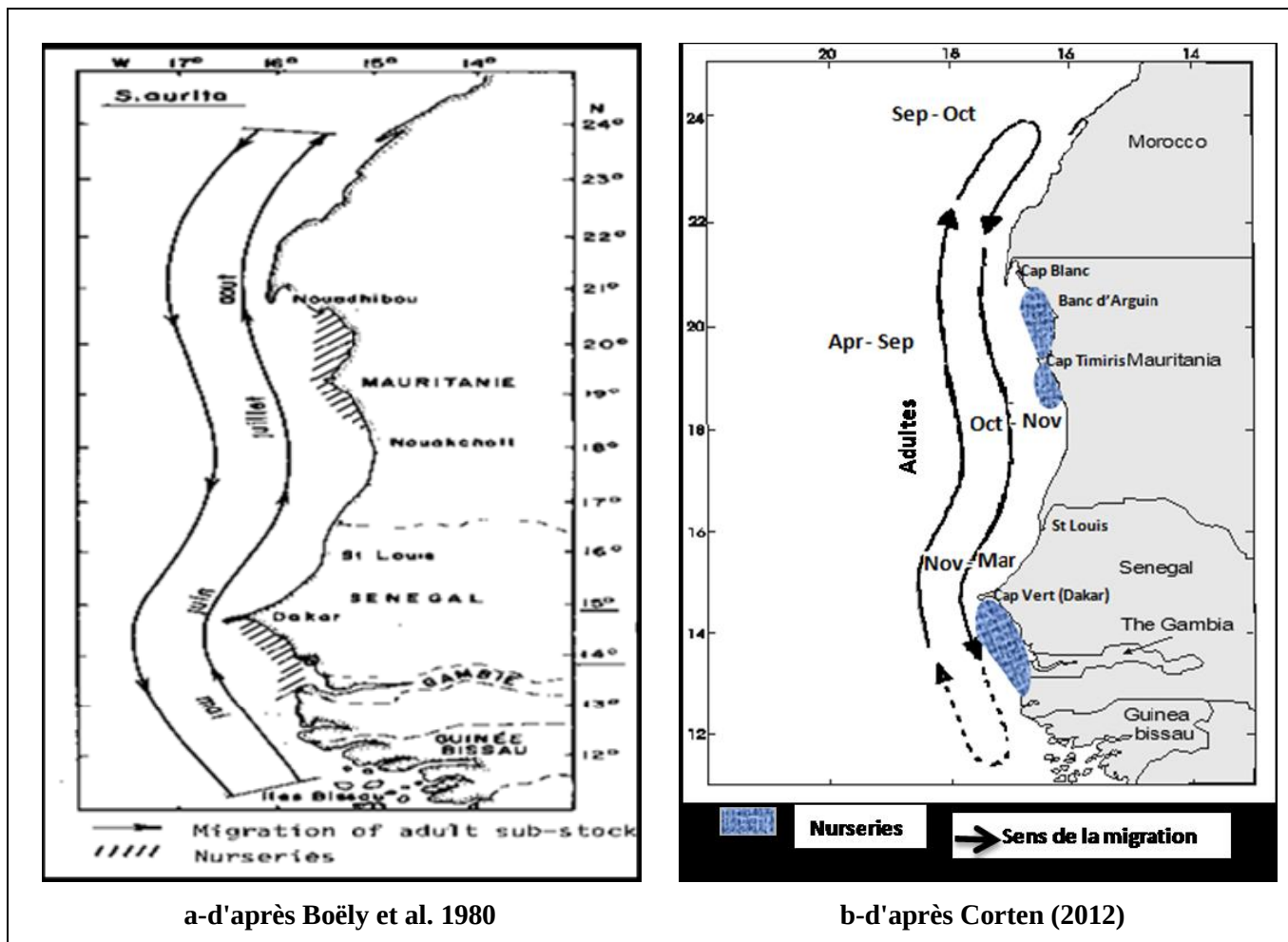


Figure 11. Cycle migratoire d'adultes de *Sardinella aurita*

Ainsi, pendant longtemps on a cru que la migration de retour de *Sardinella aurita* du Maroc vers le Sénégal s'effectuait plus loin de la côte (Boëly et al., 1982). Cette théorie qui était basée sur les observations de la flotte industrielle en Mauritanie qui ne pourrait pas détecter les poissons pendant octobre-novembre au moment où les poissons sont censés passer par la Mauritanie pour descendre au Sénégal. Les campagnes acoustiques récentes de la Mauritanie montrent que les poissons sont distribués en novembre plus près de la côte qu'en juin (Ould Mohamed El Moustapha et al., 2012). De plus, les prises les plus importantes de la pêche artisanale récemment développée à Nouadhibou sont réalisées en octobre/novembre, ce qui indique que les poissons sont présents dans des concentrations denses très près de la côte durant ce moment de l'année. La distribution très côtière pendant la descente vers le Sénégal explique pourquoi la flotte industrielle n'a jamais pu localiser les poissons en ce moment de l'année (Corten, 2012). En période d'alizés, quand l'upwelling sénégal-mauritanien se déclenche, les espèces d'affinités tempérée et subtropicale (*Sardinella aurita*) dont les centres de gravité populationnels se situent de juin à octobre entre 28° et 23°N, voient leur répartition se décaler vers le sud dès le mois de novembre et sa limite se stabiliser en février-mars entre 10° et 16°N. A l'inverse, quand les alizés et l'upwelling faiblissent au Sénégal et au sud de la Mauritanie à partir de mai-juin, les

eaux tropicales guinéennes chaudes envahissent les couches superficielles des eaux sénégalomauritaniennes, poussant les espèces notamment subtropicales à migrer massivement vers le nord dans les eaux mauritaniennes septentrionales et marocaines (Figure 12).

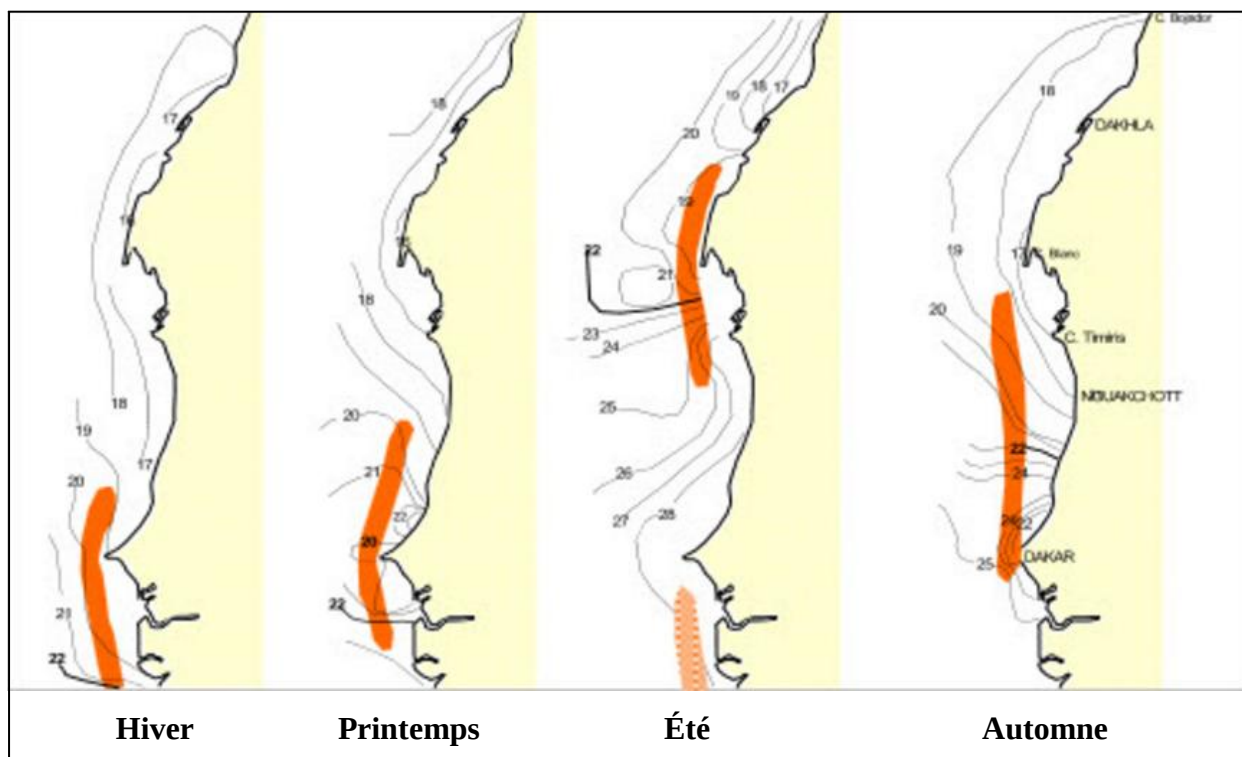


Figure 12. Distribution saisonnière de *Sardinella aurita* et de la température de surface de la mer
<http://www.inrh.ma/fr/petits-pelagiques/migration-des-especes>

3.2. *Sardinella maderensis*

La sardinelle plate occupe une aire plus restreinte que la sardinelle ronde, car on la trouve seulement en méditerranée méridionale et dans l'Atlantique Est, de Gibraltar à l'Angola (FAO, 2012) (Figure 13). Un seul spécimen a été trouvé en Namibie (Baie de Walvis). Elle est absente dans les côtes américaines. La sardinelle plate est Euryhaline, elle vit sur le plateau continental en zone côtière, souvent plus abondante au voisinage des eaux de température supérieure à 24°C et paraît éviter les eaux turbides (Boëly et Fréon, 1979 ; Fisher et al., 1981 ; Binet, 1988).

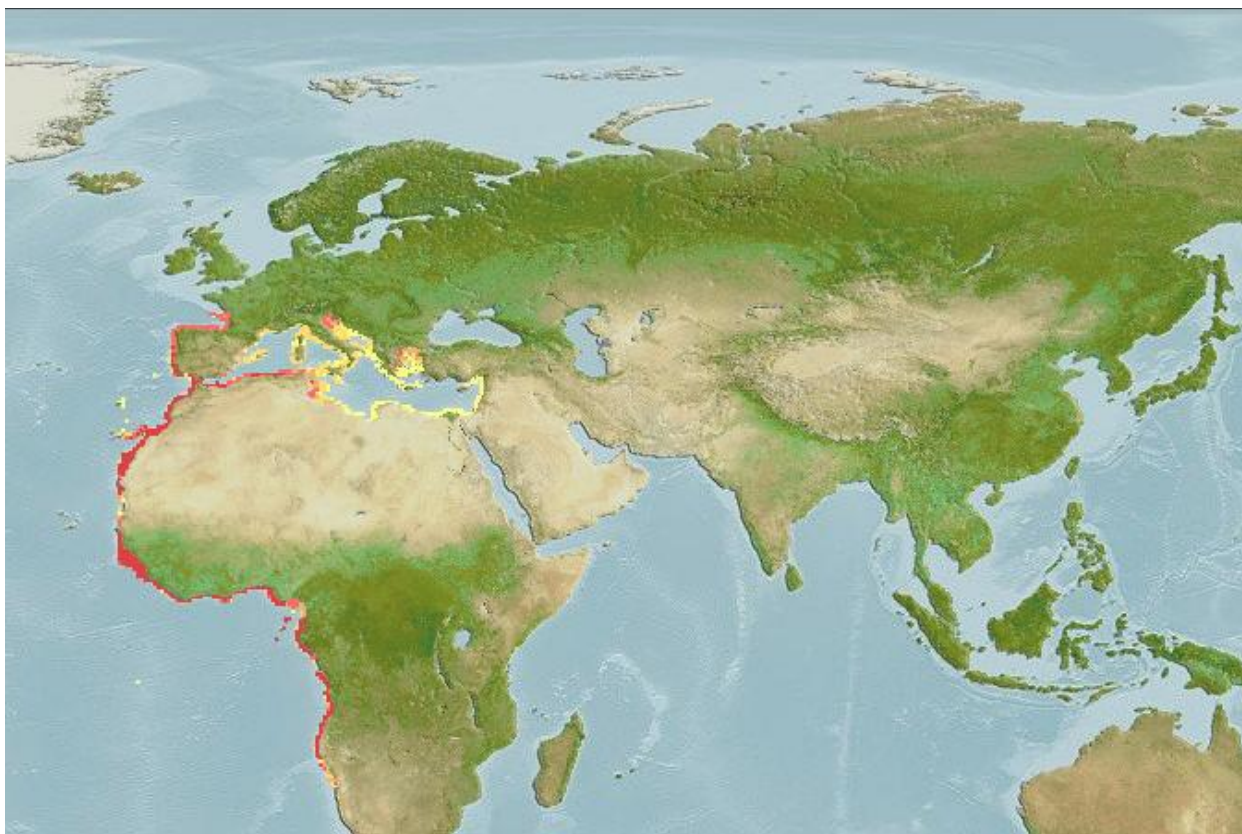


Figure 13. Répartition géographique de la *Sardinella maderensis* (Lignes rouges)

Source : www.fisbase.org

La sardinelle plate est moins active et a un comportement migrateur moins prononcé que la sardinelle ronde (Longhurst et Pauly, 1987). Elle possède une aire de répartition restreinte que la sardinelle ronde, elle est plus côtière et plus euryhaline. Cury et Fontana (1988) rapportent que la sardinelle plate est une espèce relativement sédentaire dont les mouvements au Sénégal et en Mauritanie ne dépassent guère l'étendue des zones de développement larvaire. Ces migrations s'effectuent en saison chaude vers le nord de la Petite Côte et en saison froide vers la Gambie (CRODT, 1986) (Figure 14). Deux nurseries de *Sardinella maderensis* ont été identifiées dans la zone sénégal-mauritanienne (Boëly et Fréon, 1979). L'hypothèse de l'existence d'un seul stock avec des liaisons entre les deux nurseries a été émise dans la zone sénégal-mauritanienne (Boëly et al., 1978). Au nord les adultes et les jeunes reproducteurs se situent en face de la Mauritanie de février à septembre et aux environs du cap Blanc d'octobre à janvier. Une forte concentration des jeunes reproducteurs se situe au niveau de la Gambie et de la Guinée Bissau en mars et en avril (Boëly et Østvedt, 1976). Les jeunes reproducteurs effectuent des déplacements saisonniers de faibles amplitudes à l'intérieur de ces nurseries. Les adultes de taille > 24 cm sont faiblement représentés au Sénégal, alors qu'en Mauritanie la taille maximale est de 32 cm Lf (Chavance et al., 1991). D'autre part, les liens qui unissent ces deux fractions de stocks sont mal connus (Boëly et al., 1982). Ainsi, les sardinelles plates sont constituées de populations

locales qui restent dans le même secteur tout au long de l'année. Cependant, les limites entre ces populations locales ne sont pas claires et les données existantes d'échantillonnage sont insuffisantes pour différencier entre les populations locales (Corten, 2012).

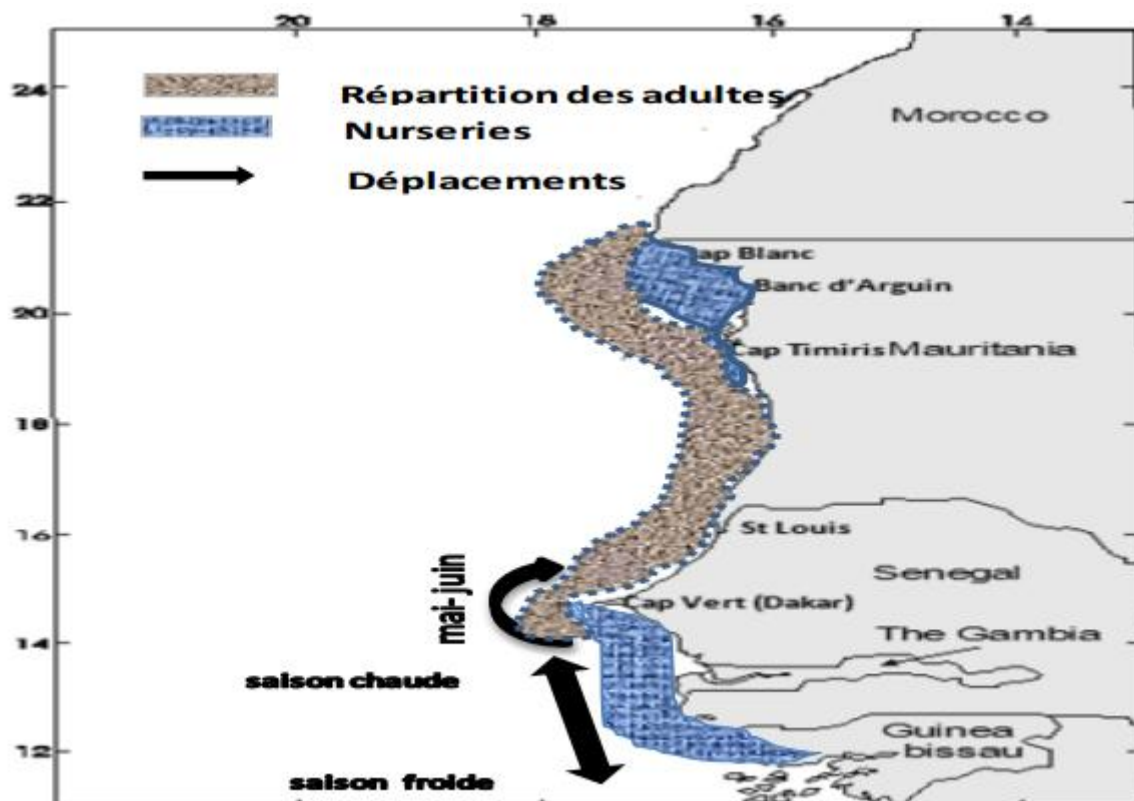


Figure 14. Cycle migratoire de *Sardinella maderensis* (d'après Fréon, 1986)

Pour le moment, le groupe de travail COPACE (Comité des Pêches pour l'Atlantique Centre-Est) considère qu'il existe un stock unique pour chacune des deux espèces de sardinelle dans la zone nord-ouest de l'Afrique.

4. Biologie des sardinelles

4.1.Reproduction

Pour la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*), le suivi mensuel des fréquences des stades de maturité sexuelle et du RGS dans la zone sud marocaine durant la période entre mai 2006 et septembre 2012 a montré que la sardinelle ronde se reproduit durant toute la période d'étude avec un premier pic secondaire de ponte en mai et un deuxième principal en octobre (INRH, 2014). Boëly et al. (1978) et Boëly (1979) ont signalé au niveau de la zone s'étendant de la Gambie au cap Blanc, une ponte étalée sur toute l'année avec une période de reproduction maximale de juin à septembre. Cury (1988), quant à lui, a observé sur les côtes sénégalaises deux périodes de reproduction, une période de février à juin et l'autre de septembre à novembre. De

même, Chavance et al. (1991) ont noté deux poussées reproductives dont une en juillet et une autre en décembre-janvier.

Concernant la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*), sur les côtes sénégalaises, elle se reproduit en moyenne tout au long de l'année, mais il existe toujours au moins un maximum de reproduction situant au début de la saison chaude. Ce pic présente une forte variabilité interannuelle (Conand et Fagetti, 1971 ; Boëly, 1980 ; Camarena-Lurhs, 1986 ; Fréon, 1988 ; Diouf et al., 2010 ; Samba, 2011). Une ponte de moindre importance a lieu certaines années, en novembre-décembre (Camarena-Lurhs, 1986 et Samba, 2011). Les résultats de Samba (2011) mettent aussi en évidence deux périodes de reproduction chez *Sardinella maderensis* : une ponte qui s'effectue de mai à août pendant la saison chaude et une autre en octobre-novembre pendant la phase de transition saison chaude-saison froide.

4.2. Croissance

La croissance de la sardinelle ronde est très rapide. Elle atteint en moyenne 18 cm au bout d'un an (Camarena Lurhus, 1986 ; Cury et Fontana, 1988). Au large des côtes Sénégalaises, la sardinelle ronde atteint presque sa taille maximale après trois années de vie. La taille asymptotique est atteinte en quatre ans. La sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) au niveau de la même zone (Sénégal) a une croissance rapide qui s'effectue essentiellement au cours des deux premières années de vie. A partir de trois ans la croissance est pratiquement terminée. Au Cap-Vert, les juvéniles atteignent 15,7 cm de longueur totale en un an, 26 cm en deux ans et une taille asymptotique de 31,5 cm en quatre ans (Samba, 2011).

4.3. Alimentation

La sardinelle ronde est planctophage à alimentation opportuniste, plus riche en phytoplancton chez les juvéniles (Fréon, 1988). Elle sélectionne ses proies (Medina-Gaertner, 1985). Les copépodes constituent une part importante de son régime. On note aussi la présence des euphausiacés et des larves de cirripèdes et cladocères. Au niveau des côtes sénégalaises (fonds de 10 m), l'essentiel des contenus stomacaux est constitué de vase et de sable (95%), pour les individus pêchés à la senne de plage les détritiques organiques prédominent. Plus au large (fonds de 52 m), les individus pêchés ont un régime composé essentiellement de phytoplancton

En ce qui concerne la sardinelle plate, elle a un régime alimentaire similaire à celui de la sardinelle ronde (Medina-Gaertner, 1985). Les copépodes et les larves de poissons sont aussi observés dans son régime alimentaire (Medina-Gaertner, 1985). Au voisinage de la côte sénégalaise, contrairement à la sardinelle ronde, le zooplancton est majoritaire dans le régime alimentaire des individus pêchés à la senne de plage (Nieland, 1980)

CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. Échantillonnage

La plupart des quantités de produits de la mer étudiées, en matière de recherche sur les pêches, ne peuvent être observées ou mesurées sur l'ensemble de la population. En effet, il est pratiquement impossible de mesurer toute la masse de poisson prise, encore moins tout le poisson de la mer. En supposant que cet échantillon est représentatif de l'ensemble, on peut estimer la valeur vraie de toute la population. Si le système d'échantillonnage utilisé est bon, il est dès lors probable que le résultat sera très proche de la réalité (Gulland, 1983).

Nous avons utilisé un échantillonnage aléatoire d'environ une caisse dont les deux espèces de sardinelle ont été prélevées provenant des bateaux de la pêche côtière situées au niveau du port de Dakhla ainsi que les bateaux de recherche Al Amir Moulay Abdellah et Dr. Fridtjof Nansen pour avoir des échantillons couvrant toute la zone sud marocaine ($26^{\circ}30'N$ - $21^{\circ}N$) (Figure 15). De manière régulière et en fonction de la disponibilité de nos espèces dans notre zone d'étude et durant la période allant du mois de février 2015 au mois de janvier 2017 dans le but d'avoir un cycle complet de reproduction des espèces.

L'échantillon a pour objectifs essentiels l'étude des caractéristiques de la reproduction, l'estimation de la distribution en longueur et l'âge et aussi la composition alimentaire des deux espèces étudiées.

Si l'échantillon contient un mélange d'espèces, celui-ci est trié par espèce avant d'effectuer les mensurations biologiques.

Lors de l'opération d'échantillonnage une enquête a été effectuée et les informations collectées portent sur le poids de l'échantillon, le nom du port et du bateau, la zone et la date de pêche et le poids de la pêche.

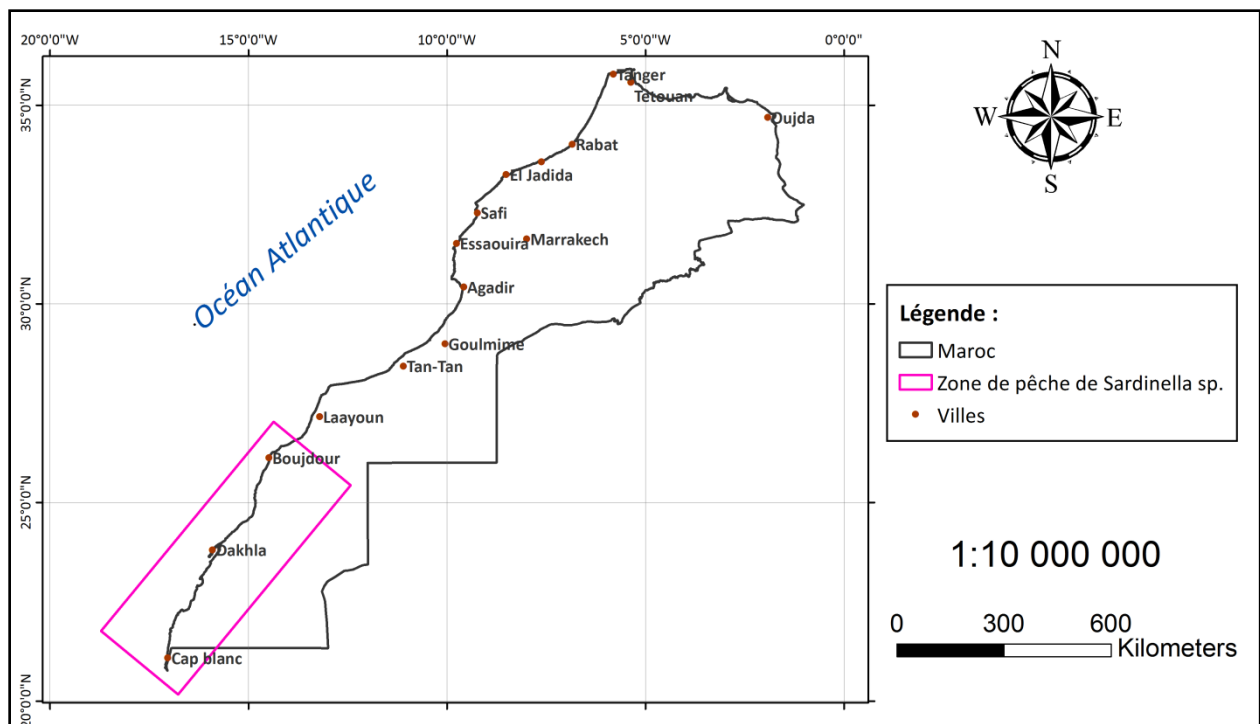


Figure 15. Zone d'échantillonnage des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*)

II. Mesures et prélèvements

La fréquence d'échantillonnage est mensuelle et en fonction de la disponibilité des sardinelles. En effet, ces espèces effectuent des migrations, elles ne sont pas toujours disponibles dans les zones de pêches. De plus, les conditions météorologiques ne sont pas toujours favorables à la pêche.

Pour chaque individu échantillonné ont été notés :

- La longueur totale a été mesurée (à l'aide d'un ichtyomètre gradué au millimètre) de l'extrémité du museau à l'extrémité de la nageoire caudale et rapportée au $\frac{1}{2}$ cm inférieur.
- Le poids total, au dixième de gramme près.
- Le poids des gonades, au dixième de gramme près.
- Le sexe et le stade macroscopique de maturité sexuelle.
- Les otolithes et les estomacs ont été prélevés pour l'étude de la croissance et du régime alimentaire.

Des échantillons d'ovaires ont été prélevés pour fournir du matériel nécessaire à l'étude de la fécondité et de l'histologie ovarienne.

Des échantillons d'ovaires matures au stade 4 ont été prélevés pour fournir du matériel nécessaire à l'étude de la fécondité. Ces échantillons ont été conservés dans le liquide de Gilson (Simpson, 1951) (Annexe 1). Ce liquide fixe et conserve les ovocytes tout en dissociant le tissu

ovarien. Au bout d'un mois, les ovocytes sont libres, ils peuvent alors être comptés, après élimination des restes de tissu ovarien et rinçage, sous la loupe binoculaire.

III. Étude de la biologie de la reproduction des sardinelles

La connaissance de la biologie de reproduction, en particulier la fécondité et la production des œufs est fondamentale en biologie et dynamiques des populations des espèces de poissons (Hunter et al., 1992 ; Murua et Saborido-Rey, 2003). C'est la base de quantification de la capacité de reproduction de l'individu et de la population des espèces de poissons (Murua et Motos, 2006). Certains modèles d'évaluation de l'état de l'exploitation des espèces utilisent des informations relatives aux paramètres de reproduction, tels que l'âge et la taille de première maturité, la fécondité et les fréquences de ponte pour estimer la biomasse des poissons. Les changements annuels de ces variables peuvent affecter la productivité du stock et engendrer une variabilité de recrutement des poissons (Macchi et al., 2004).

L'objectif de ce présent travail est d'étudier le cycle de reproduction de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* de l'Atlantique sud marocain en identifiant les pics de ponte, en déterminant la taille à la première maturité et en calculant les paramètres de la fécondité pour la sardinelle ronde.

1. Sex-ratio

Le sex-ratio est un paramètre qui permet d'évaluer la structure démographique et la biomasse féconde du stock (Kartas et Quignard, 1984). Nous avons exprimé le sex-ratio par le nombre de mâles sur le nombre de femelles. Son évolution par saison, année et par classe de taille a été analysée.

Chez les sardinelles, il n'existe pas de caractères sexuels secondaires donc la dissection du poisson a été nécessaire pour une observation directe des gonades.

Le test de X^2 (Chi deux) a été utilisé afin de chercher si la différence des proportions des sexes identifiés est significative, ou due aux fluctuations d'échantillonnage.

2. Étude de la maturité sexuelle

La détermination des stades sexuels a été effectuée en utilisant une échelle de maturité basée sur l'examen macroscopique des ovaires en tenant compte de leur aspect, leur forme, leur consistance, leur couleur, l'importance de la vascularisation, l'épaisseur et la transparence de la paroi des gonades (Tableaux 1 et 2).

De ce fait, il est possible de suivre l'évolution des gonades mâles et femelles au cours du cycle reproducteur en utilisant une échelle macroscopique de développement sexuel comprenant cinq

stades (FAO, 1978) et qui est applicable aux espèces susceptibles d'effectuer plusieurs actes de pontes durant une même saison de ponte.

Tableau 1. Stades de développement macroscopique des ovaires des sardinelles (FAO, 1978)

Stades de maturité	Ovogenèse	Caractéristiques des ovaires
Stade I	Immature	Ovaire fin, translucide à rosé et ovocytes invisibles.
Stade II	Immature en développement ou adultes au repos sexuel	Ovaire peu volumineux, coloration rosâtre, vascularisation intense chez les poissons en repos sexuel, moins intense chez les immatures en développement et ovocytes invisibles.
Stade III	Début de maturation	Ovaire de taille moyenne, coloration rose pâle à l'orange clair et quelques ovocytes sont parfois visibles.
Stade IV	Ponte	Ovaire très volumineux, occupant toute la totalité abdominale, très vascularisé, la paroi ovarienne est très fine et transparente, les ovocytes hyalins de grosses tailles sont parfaitement visibles et sont expulsés à la moindre pression exercée sur l'abdomen.
Stade V	Post-ponte	Ovaire flasque très vascularisé, sa couleur est rouge, la paroi ovarienne est devenue très épaisse.

Tableau 2. Stades de développement macroscopique des testicules des sardinelles (FAO, 1978)

Stades de maturité	Spermatogénèse	Caractéristique des testicules
Stade I	Immature	Testicule de petite taille, translucide et très fin.
Stade II	Immature en développement ou adultes au repos sexuel	Testicule blanchâtre plus ou moins symétrique.
Stade III	En voie de maturation	Testicule plus large et ferme, couleur blanche et aucun liquide ne coule si on y fait une incision.
Stade IV	Emission des spermatozoïdes	Testicule très gros et mou et le sperme s'écoule par pression sur le ventre du poisson.
Stade V	Post-émission	Testicule volumineux, très flasque, fortement vascularisé et la pression sur la vente ne libère plus de sperme.

3. Taille à la première maturité sexuelle

Plusieurs définitions sont données de la taille à la première maturité sexuelle ; celles les plus souvent admises sont :

- La taille du plus petit individu mûr ou du plus grand individu immature pendant la saison de reproduction.
- La longueur pour laquelle 50 % des individus d'une population sont sexuellement mûrs lors de la période de reproduction.

Ces deux définitions ont été retenues dans la présente étude.

La détermination de la L_{50} (longueur à partir de laquelle 50 % des poissons sont matures) a été faite en regroupant les individus échantillonnés durant la saison de reproduction principale, par sexe et par classe de taille. Ensuite, la proportion des individus matures de chaque classe de taille a été calculée. Le seuil de maturité sexuelle est fixé au stade III qui correspond au début de la phase de développement des gonades (FAO, 1978).

Les couples taille-proportion d'individus matures sont ajustés à une courbe logistique de type sigmoïde symétrique (Pope et al., 1983 ; Delgado et Fernandez, 1985) dont l'expression mathématique est la suivante :

$$P = 1 / (1 + e^{-(a + b \times L)}) \quad (1)$$

Avec :

P : Proportion des matures par classe de taille

L : Longueur totale

a : Ordonnée à l'origine

b : Pente

Les paramètres a et b sont obtenus, après la transformation logarithmique de l'expression (1), par la méthode des moindres carrés (Sokal et Rohlf, 1979).

$$-\ln ((1 - P) / P) = a + b \times L \quad (2)$$

La représentation de l'ogive de maturité se réalise en considérant tous les couples de valeurs à l'exception de ceux qui ont une proportion : $P = 0$ et $P = 1$.

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

4. Rapport gonado-somatique (RGS)

Les critères pondéraux consistent à chiffrer l'accroissement des gonades durant le cycle sexuel. Les variations du poids des gonades sont presque toujours estimées par rapport à des paramètres tels que la longueur du corps, le poids total du corps ou le poids somatique (Kartas et Quignard, 1984). L'expression utilisée dans la présente étude est le rapport gonado-somatique, en abrégé RGS, est égal à 100 fois le poids des gonades divisé par le poids total du corps et exprime donc le poids des gonades en pourcentage du poids du corps (Bougis, 1952).

$$\text{RGS} = \text{Poids des gonades} \times 100 / \text{Poids total du corps}$$

Mais tel qu'il est exprimé, le rapport gonado-somatique a l'inconvénient majeur de dépendre étroitement du poids du poisson, lequel présente d'importantes fluctuations saisonnières dues essentiellement aux phénomènes de la ponte et de l'engraissement, en plus des différences allométriques purement individuelles momentanées. Malgré ces critiques le rapport gonado-somatique, considéré par Lahaye (1980) comme un véritable coefficient de maturité, a été utilisé pour préciser l'époque et la durée des pontes chez les sardinelles.

Pour avoir des indications plus précises sur les différents processus de maturation des gonades, il est nécessaire d'appliquer des critères histologiques, et de comptages des ovocytes.

5. Histologie ovarienne

L'étude histologique a été menée seulement sur la sardinelle ronde en raison de son abondance et la présence des différents stades ovocytaires dans nos échantillons.

Au cours d'un cycle sexuel les ovaires changent aussi bien d'aspect macroscopique (coloration, volume, poids, etc.) que microscopique (ovocytes subissent des modifications cytologiques et augmentent de taille). L'examen histologique des ovaires permet en effet d'établir les caractéristiques microscopiques de chaque stade macroscopique défini et de mettre en évidence, les étapes successives de la vitellogenèse dans les ovocytes.

- **La fixation**

Après le prélèvement, la gonade récupérée va être ensuite mise dans des cassettes identifiées par un code (initiales de l'espèce, numéro de l'individu, initiales du site étudié et la date de la fixation). Les cassettes sont immédiatement immergées dans le liquide de fixation pour les protéger de toute hydrolyse due à la libération des enzymes contenues dans les lysosomes cellulaires (ou autolyse), et les conserver dans un état aussi proche que possible de leur état vivant. Le volume du fixateur doit être dix fois plus que celui des tissus. Les pièces peuvent y séjourner une semaine suivant la taille et la densité du prélèvement.

Au cours de notre étude nous avons utilisé la solution de Bouin alcoolique (Annexe 2) pour fixer les gonades prélevées. Ce fixateur donne de bons résultats chez les poissons.

- **La déshydratation**

Cette étape a pour objectif de remplacer l'eau contenue dans les tissus par de la paraffine, qui est chimiquement neutre, soluble dans de nombreux solvants tel le xylène. La paraffine n'est pas miscible avec l'eau, d'où l'étape de déshydratation dans des bains d'éthanol de degré croissant. L'imprégnation par de la paraffine est réalisée par la suite avec un passage préalable dans deux bains de xylène. La déshydratation peut être réalisée manuellement ou à l'aide d'un automate de déshydratation (LEICA TP1020) dont dispose notre laboratoire (Figure 16). Il est composé de 12 béchers dont deux sont thermostatés pour la paraffine. Les étapes et les temps d'immersion dans chaque bain sont décrits dans l'annexe 3.



Figure 16. Automate de type Leica TP 1020

- **L'inclusion**

L'inclusion consiste à enrober les tissus mous par de la paraffine afin d'avoir des coupes fines et transparentes. Elle est réalisée à l'aide d'une station d'enrobage Tissue-Tek Tec (Figure 17).



Figure 17. Automate d'inclusion Tissue-Tek Tec

On récupère les moules d'inclusion chauffés dans l'un des deux compartiments du banc d'inclusion, on les remplit de paraffine liquide (Figure 18a). Ensuite, on dépose le tissu contenu dans la cassette dans le moule (Figure 18b). On veille à bien orienter les tissus et à éliminer les bulles d'air. On recouvre le moule avec la cassette portant la désignation du tissu correspondant et on le déplace doucement sur la surface refroidie du banc d'inclusion (Figure 18b) puis sur la plaque froide de la station d'enrobage (Figure 18c).

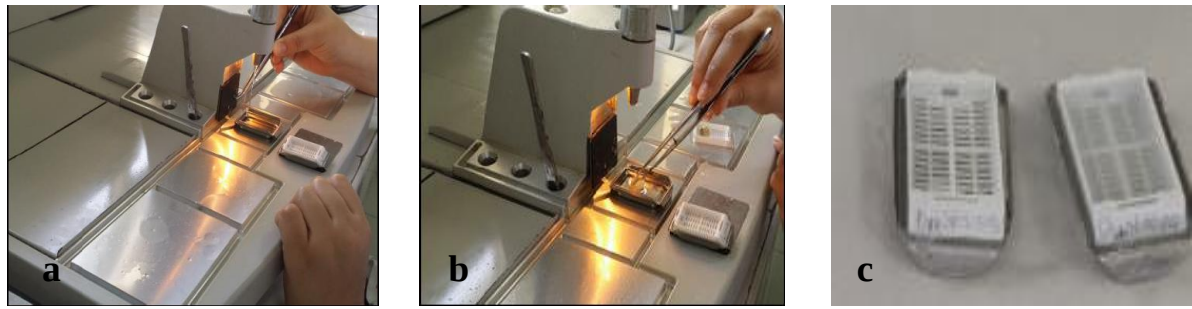


Figure 18. Processus d'inclusion

- **La coupe au Microtome**

Les blocs refroidis sont démoulés et coupés à l'aide d'un microtome de type LEICA RM 2135 (Figure 19). Les rubans réalisés sont étalés sur la surface d'un bain-marie (WB2800 Water Bath) remplie d'eau distillée (Figure 19) chauffée entre 43-45°C. L'épaisseur des coupes varie entre 2 à 3 μm .



Figure 19. Bain marie (WB2800) et Microtome (LEICA RM 2135)

Les rubans réalisés sont récupérés sur une lame de verre portant les mêmes références que la cassette (Figure 20).



Figure 20. Processus de la coupe

Les lames sont par la suite placées dos à dos dans des paniers en verre et mises à l'étuve à 37°C pendant 48 h pour séchage. Les lames sont conservées dans des boîtes de rangement à température ambiante pour une coloration ultérieure.

- **La coloration**

Pour la coloration des lames nous avons utilisé une coloration topographique (hématoxyline-éosine) susceptible de mettre en évidence les structures du noyau, du cytoplasme et des enveloppes folliculaires. Les résultats ont été exploités en microscope photonique. La coloration est réalisée manuellement dans des bacs en verre (Figure 21) sous une hotte chimique. Le protocole adopté est décrit dans l'annexe 4.



Figure 21. Batterie de coloration

- **Le montage**

Le montage consiste à déposer au-dessus des lames, à l'aide d'une pipette pasteur, une goutte du liquide de montage (DPX) et de la recouvrir d'une lamelle en veillant à ne pas former des bulles d'air. Les lames obtenues sont séchées à température ambiante ou dans une étuve réglée à 37°C.

- **La lecture des lames histologiques**

Après séchage complet du milieu de montage, les lames colorées sont nettoyées et observées au microscope optique OLYMPUS BX 53 (Figure 22).

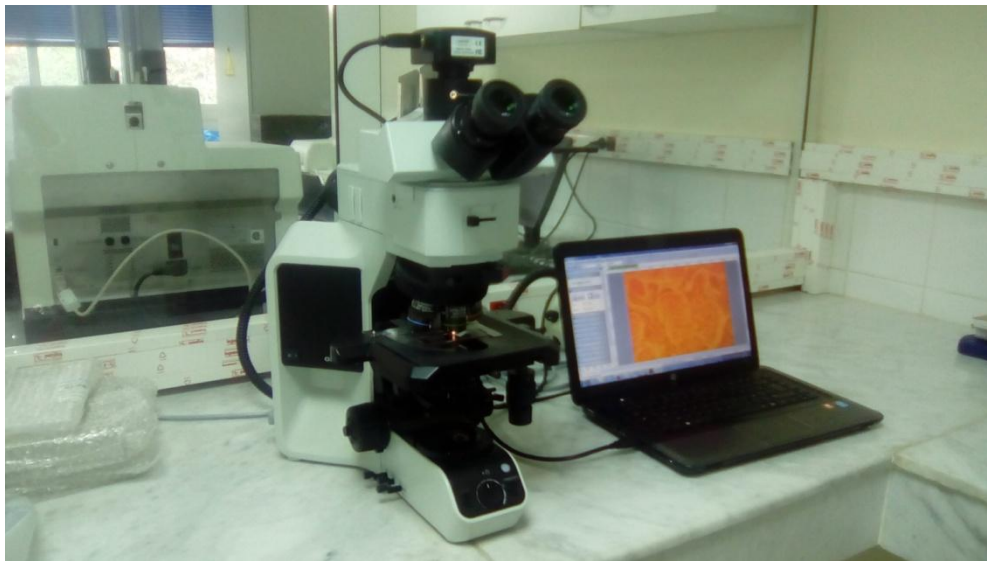


Figure 22. Microscope optique OLYMPUS BX 53

6. Fécondité

Ce paramètre a été étudié seulement chez *Sardinella aurita*, en ce qui concerne la sardinelle plate, nous n'avons pas assez d'individus en stade 4 (ponte) pour estimer les paramètres de la fécondité.

En fait, de nombreuses définitions de la fécondité ont été avancées selon les méthodes d'investigations employées et les buts visés par les auteurs :

- **Fécondité individuelle ou absolue**

Chez les poissons téléostéens, la fécondité absolue est le nombre d'ovocytes susceptibles d'être émis au cours d'une saison de ponte par une femelle (Bagenal, 1973).

Le nombre des ovocytes a été rapporté à la masse de l'ovaire afin de déterminer la fécondité par acte de ponte et par femelle mature. La fécondité (F) a été estimée selon la formule suivante :

$$F = (n \times Pg) / Pe$$

Avec :

F : Fécondité individuelle par acte de ponte.

n : Nombre d'ovocytes contenus dans l'échantillon d'ovaire.

Pg : Poids total des deux ovaires.

Pe : Poids de l'échantillon d'ovaire.

- **Fécondité relative**

Elle désigne le nombre d'ovocytes par unité de poids corporel, celui-ci pouvant être le poids total, le poids somatique (poids total – poids des ovaires) ou le poids éviscéré du poisson (Kartas et Quignard, 1984). Dans la présente étude la fécondité relative a été exprimée par rapport au poids somatique (nombre d'ovocytes par gramme de femelle mature) et poids des gonades du poisson (nombre d'ovocytes par gramme d'ovaires).

Les relations mathématiques entre la fécondité, la longueur totale et le poids total du poisson ont été établies et exprimées graphiquement.

IV. Étude de la biologie de la croissance des sardinelles

L'évaluation des stocks de poissons exploités, par des modèles analytiques reposent sur une description structurée et détaillée par taille et par âge. De tels modèles nécessitent une connaissance de la biologie de croissance de l'espèce exploitée. L'étude de la croissance revient à déterminer la taille corporelle par âge (Sparre et Venema, 1996). Dans les eaux tempérées, l'âge du poisson est déterminé par un comptage direct des anneaux se trouvant sur les pièces squelettiques (écailles et otolithes) qui sont générés par des fortes fluctuations des conditions climatiques. Dans les régions tropicales où ces fluctuations sont absentes, les biologistes des pêches ont recours à d'autres méthodes numériques permettant de convertir les données des fréquences de tailles en composition par âge (Sparre et Venema, 1996).

L'étude de la croissance des clupéidés en milieu tropical est en général difficile. En effet, les méthodes utilisées se heurtent à des obstacles majeurs à savoir la croissance rapide, les difficultés de l'ageage à partir des pièces osseuses. De même, le suivi des tailles modales par la méthode de Petersen et dérivées est difficile surtout à cause de l'existence de plusieurs périodes de reproduction par année (Boëly et al., 1982).

La croissance annuelle peut-être décrite par une courbe asymptotique et le modèle de croissance le plus fréquemment utilisé dans la recherche en halieutique est la fonction de croissance de Von Bertalanffy. Il est fondé sur les principes bioénergétiques avec l'hypothèse que le taux de croissance est égal à la différence entre le taux d'anabolisme et le taux de catabolisme.

Cette présente étude se propose d'étudier les variations mensuelles du facteur de condition ainsi que la croissance linéaire et relative (relation taille-poids) chez les sardinelles de l'Atlantique sud marocain par la méthode directe basée sur la lecture des otolithes (otolithométrie).

1. Facteur de condition

De nombreux auteurs se sont efforcés d'exprimer l'état général du poisson par l'indice de condition. L'indice de condition est utilisé afin de connaître les variations morphologiques, le degré d'embonpoint ou de finesse consécutive au développement génital de l'espèce cible. Il s'agit d'un indicateur de la «bonne forme» de la population selon Bolger et Connolly (1989). Ce paramètre permet de suivre les variations de la balance métabolique des individus à travers les modifications saisonnières de l'embonpoint sous l'influence de facteurs externes et internes. Dans ce travail, le facteur de condition (K) a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$K = (Pt \times Lt^{-b}) \times 100 \text{ (Fréon, 1979)}$$

Avec :

Pt : Poids total

Lt : Taille totale

b : Coefficient d'allométrie

2. Fonction des otolithes

Chez les poissons, la détermination de l'âge peut se faire suivant deux méthodes :

- Les méthodes de détermination individuelle qui donnent l'âge d'un individu à partir d'une marque naturelle ou expérimentale.
- Les méthodes de détermination collective qui donnent statistiquement l'âge moyen d'un groupe d'individus ou l'âge le plus probable d'un individu de taille donnée (Daget et Le Guen, 1975).

L'examen des pièces calcifiées est la méthode la plus utilisée. Les pièces calcifiées peuvent potentiellement grandir pendant toute la vie du poisson et se comportent comme des enregistreurs permanents dont la définition varie d'une pièce à l'autre en fonction de son processus spécifique de biominéralisation et de son rôle fonctionnel propre. Trois principaux types de pièces se sont avérés porteurs d'information : la scalimétrie qui traite des écailles, l'otolithométrie des otolithes et la squelettochronologie des os.

Etant donné la difficulté d'analyser les écailles chez certaines espèces (absence d'anneaux hivernaux), ou l'absence de celles-ci chez d'autres espèces, les scientifiques se sont orientés vers

d'autres pièces calcifiées. Ainsi, l'analyse des otolithes s'est développée à la fin du XIX^{ème} siècle à partir des travaux de Reibisch (1899).

L'accroissement de l'otolithe se fait par dépôt de matériel à sa surface sous forme de couches concentriques de manière cyclique et en fonction de rythme interne du métabolisme du calcium et de la synthèse protéique (Morales-Nin, 1991). En effet, le taux de calcium disponible dans le milieu marin influe sur la formation des cristaux calciques, plus importante en période estivale en raison d'une nourriture plus abondante et riche en calcium qui accélère les dépôts cristallins ainsi que la croissance de l'individu. La croissance de l'otolithe n'est pas uniforme dans toutes les directions mais se fait préférentiellement selon l'axe antéro-postérieur. Durant les saisons automnale et hivernale, le faible apport de cristaux entraîne la formation d'une couche translucide contenant principalement du matériau organique lui donnant un aspect hyalin. Cette couche est appelée zone de croissance lente. A partir du printemps, de nombreux cristaux de calcium viennent se déposer et créant une zone blanche opaque, nommée (zone de croissance rapide) et se poursuivra durant l'été. Chaque année apparaissent donc deux zones de croissances distinctes, ce qui permet l'estimation de l'âge en comptant par convention les zones de croissance lente (Baillon, 1991 ; Ombredane et Baglinière, 1991 ; Carpentier et Coppin, 1999 ; Panfili et al., 2002).

3. Extraction et montage des otolithes

Nous avons choisi les sagittæ qui ont une taille importante permettant une meilleure lisibilité des marques. Leur extraction se fait à l'aide d'une pince fine après une incision transversale des tissus crâniens, inclinée à 45° entre les yeux et l'opercule. Nettoyés à l'eau distillée de leur membrane, elles sont conservées en les montant en série sur des plaquettes en plastique noire creusées d'alvéoles numérotées puis fixées à l'aide de la résine synthétique (Eukitt).

4. Lecture et interprétation des otolithes

En zone tempérée, comme le Maroc, les otolithes des poissons présentent des anneaux saisonniers, un pour l'été et un pour l'hiver, qui forment ensemble un anneau annuel. Les anneaux annuels fournissent suffisamment d'information pour la plupart des méthodes d'évaluation des stocks. La lecture des otolithes se fait essentiellement par comptage des marques annuelles qui sont formées par ralentissement de la croissance en hiver (Guegen, 1969). D'autres facteurs peuvent également entraîner un ralentissement voire même un arrêt de croissance : une ponte tardive, une migration subite et un changement brutal dans les conditions hydrologiques. Cet arrêt se traduit par la formation d'un anneau intermédiaire : le pseudo-anneau ou faux anneau. Il existe une autre irrégularité dans la disposition des anneaux. Elle se présente

surtout chez les sardinelles adultes, à partir de la troisième année. Il s'agit du dédoublement des anneaux d'hiver.

D'autres difficultés de lecture des otolithes sont rencontrées chez les sardinelles et sont liées au problème d'identification de la première marque hivernale et celui de l'analyse du bord de l'otolithe chez les individus âgés (les derniers anneaux deviennent de moins en moins identifiables).

L'observation directe des otolithes entiers a été effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire. En lumière réfléchie, les zones hyalines de croissance lente apparaissent sombres alors que les zones opaques de croissance rapide sont blanches.

5. Allongement marginal

La validation consiste à connaître la chronologie exacte de la formation des marques de croissance sur les pièces calcifiées (Panfili, 1992). Ce travail a été réalisé par Belvèze et Rami, 1978, qui ont mis en évidence l'existence d'un seul cycle de croissance par an. De ce fait, nous avons effectué une vérification en calculant l'accroissement entre la dernière et l'avant-dernière strie. L'évolution mensuelle de la moyenne des allongements marginaux (AM) permet de fixer la saison d'apparition des anneaux et d'en connaître la périodicité. Il est représenté par l'équation suivante :

$$AM = (R_t - R_n) / (R_n - R_{n-1}) \text{ (Dial et al., 2001)}$$

Avec :

R_t : Rayon total de l'otolithe

R_n : Rayon de la dernière marque

R_{n-1} : Rayon de l'avant dernière marque

Les rayons ont été mesurés à l'aide du logiciel ToupView (Annexe 5).

6. Clé âge-taille

A partir du dénombrement des marques annuelles sur les otolithes nous avons pu obtenir pour chaque classe de taille un couple de données, nombre de marques par classe de taille qui correspond à un couple âge-longueur qui permet par la suite d'obtenir ce qu'on appelle une clé âge-taille.

7. Croissance linéaire

Plusieurs modèles de croissance ont été conçus pour l'étude de la croissance linéaire chez le poisson, on en cite principalement celui de Gompertz (1825), Von Bertalanffy (1938), Wang (1998) et Xiao (1999).

Le modèle adopté dans cette étude est le modèle mathématique de croissance individuelle élaboré par Von Bertalanffy (1938) (Figure 23), qui est le plus utilisé puisqu'il est conforme à la croissance observée de la plupart des espèces de poissons, à l'exception de celles qu'elles ont une durée de vie très courte (<1 ans), et il sert de sous modèle dans des modèles plus complexes décrivant la dynamique des populations des poissons (Sparre et Venema, 1996).

Le concept du modèle de croissance de Von Bertalanffy (1938) est basé sur deux processus antagonistes : l'anabolisme par lequel il y a augmentation de la biomasse de la population (reproduction, croissance) et le catabolisme par lequel la biomasse de la population diminue (prédation, mortalité par pêche ou naturelle). Puisque les deux processus agissent simultanément et continuellement pendant toute la vie de l'individu, à un instant donné, la différence entre les deux, définit le taux de variation du poids à cet instant. Ceci est traduit par une équation où l'auteur considère que le taux d'anabolisme est proportionnel aux surfaces absorbantes et que le taux de catabolisme est proportionnel au poids.

Il est à noter que le modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy ne fournit pas une estimation réaliste de la longueur à la naissance (L_0) car les larves de poissons ne grandissent pas toujours selon ce modèle (Sparre et Vienema, 1996).

Le modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938) s'écrit comme suit :

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

Avec :

L_t : Longueur totale du poisson à l'âge ' t ' (en années)

L_{∞} : Longueur asymptotique quand la taille continue à croître indéfiniment.

k : Coefficient de croissance

t : Âge en années

t_0 : Âge du poisson quand sa taille est théoriquement nulle.

La représentation graphique de cette équation est représentée ci-dessous :

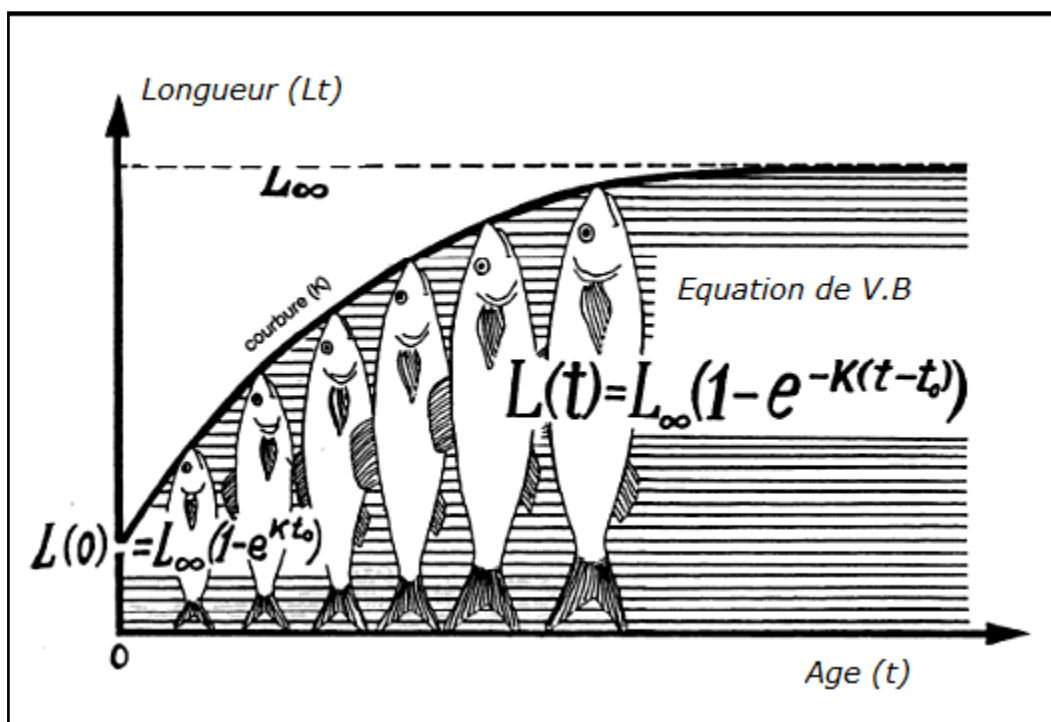


Figure 23. Représentation graphique de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire ; d'après Sparre et Venema (1996)

7.1. Estimation des paramètres de la croissance linéaire, k , L_{∞} et t_0 par la méthode de Gulland et Holt

En partant de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire, nous déduisons la relation linéaire suivante :

$$\Delta L / \Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t)$$

Où le taux de croissance $\Delta L / \Delta t$, en tant que variable dépendante est représenté par rapport à la longueur moyenne $\bar{L}(t)$, variable indépendante, durant l'année correspondante.

La régression linéaire entre $\Delta L / \Delta t$ et $\bar{L}(t)$ est de la forme $\Delta L / \Delta t = a + b \times \bar{L}(t)$, dans laquelle $k = -b$ et $L_{\infty} = -a / b$

Le paramètre t_0 est estimé à partir de la régression linéaire suivante :

$$-\ln(1 - \bar{L}(t) / L_{\infty}) = -k \times t_0 + k \times t$$

Avec l'âge t , comme variable indépendante (x) et $-\ln(1 - L(t) / L_{\infty})$ comme variable dépendante (y), l'équation définit une régression linéaire où la pente $b = k$ et $t_0 = -a/b$.

7.2. Comparaison des courbes de croissance linéaire par le test "phi prime"

La comparaison des paramètres estimés de la croissance linéaire consiste à les confronter à ceux d'autres études effectuées sur la même espèce du même stock ou des stocks différents. Les

paramètres de croissance ne sont pas comparés les uns aux autres mais nous comparons les courbes de croissance (Sparre et Venema, 1996). Le test qui est aujourd'hui très utilisé est le test phi prime (Munro et Pauly, 1983 ; Pauly et Munro, 1984) désigné par l'expression suivante :

$$\Phi' = \log_{10} k + 2 \times \log_{10} L_{\infty} \text{ (Pauly et Munro, 1984)}$$

k est exprimé sur une base annuelle et L_{∞} en cm.

L'indice de performance de croissance (Φ') est une indication du bien-être d'une espèce par rapport à son milieu externe.

8. Croissance pondérale

8.1. Croissance pondérale relative : Relation Taille-poids

La croissance pondérale relative a été exprimée par la relation taille – poids qui est de la forme :

$P = a \times L^b$ (Ricker, 1980) et qui permet de convertir les tailles mesurées en données pondérales.

Avec :

P : Poids corporel du poisson en gramme

L : Longueur totale du poisson en millimètre

a : Constante de proportionnalité

b : Coefficient de croissance

Les paramètres 'a' et 'b' sont déduits par une linéarisation par transformation logarithmique de l'équation : $P_t = a \times L_b$ en : $\ln(P_t) = \ln(a) + b \times \ln(L)$ 'b' est un facteur qui traduit l'allométrie ;

- Si $b = 3$, le poids croît proportionnellement à la longueur et dans ce cas, il y a une isométrie de croissance,
- Si $b > 3$, le poids croît plus vite que la longueur et l'allométrie est donc majorante,
- Si $b < 3$, le poids croît moins vite que la longueur et l'allométrie est par conséquent minorante.

L'étude de la fiabilité de l'allométrie a été faite par le test de Student (t) (Snedcore et Cochran *in* Arneri et al., 2001) :

$t = (b - 3) / \sigma(b)$ (b = coefficient d'allométrie, $\sigma(b)$ = écart type de b)

La valeur de 't' obtenue est comparée au 't' théorique au seuil de 5%. Une valeur supérieure à 't' théorique indique qu'il y a une allométrie ($b \neq 3$). Dans le cas contraire, on a une isométrie.

8.2. Croissance pondérale absolue

La croissance pondérale absolue qui traduit la croissance en poids en fonction de l'âge du poisson est déduite de la croissance linéaire et de la relation taille poids dont les équations sont les suivantes :

$$L_t = L_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)}) \text{ et } P = a \times L^b$$

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

Si on pose $P_{\infty} = a \times L_{\infty}^b$, l'équation de la croissance pondérale devient :

$$P_t = P_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

Avec :

P_t : poids (g) du poisson à l'âge t (année) ;

P_{∞} : poids asymptotique correspondant à L_{∞} ;

b : coefficient d'allométrie.

9. Utilisation du poids des otolithes pour l'étude de la croissance

La séparation simple entre l'anneau opaque suivit de l'anneau hyalin n'est pas toujours aussi simple, mais peut être biaisée par la présence des faux anneaux (Araya et al., 2001) engendrant une sur-estimation de l'âge des poissons, en plus du coût et du temps nécessaire pour la préparation des otolithes (Cardinale et al., 2000). Pour ces raisons les chercheurs se sont penchés vers le développement d'autres méthodes moins coûteuses, plus rapides et précises pour l'estimation de l'âge. Parmi lesquelles, figurent les méthodes utilisant le poids des otolithes (Cardinale et al., 2000 ; Araya et al., 2001 ; Strelcheck et al., 2003 ; Pilling et al., 2003 ; Pino et al., 2004 ; Lou et al., 2005).

Cette méthode est simple à exécuter et économique, qui offre un bénéfice financier considérable aux pays à ressources limitées (Pilling et al., 2003).

Pour la plupart des poissons, la mesure des otolithes notamment le poids a un pouvoir d'estimation élevé de l'âge (FAIR CT97 3402, 2002).

Ainsi pour tenter d'explorer les otolithes sur un autre plan mais pour la même cause, qui est l'étude de la croissance, le poids des otolithes de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis* échantillonnés lors de notre période d'étude (2015-2016) a été pris à l'aide d'une balance électronique au 0,001 mg de précision. Il est à noter que pour chaque poisson utilisé, nous avons considéré les deux otolithes formant chaque paire d'otolithes à part. Dans les cas où l'otolithe est cassée d'un côté de sa surface, il ne faisait pas l'objet de la mensuration correspondante.

V. Étude de l'écologie alimentaire des sardinelles

Les interactions interspécifiques ont été souvent ignorées dans les modèles d'évaluation classiques des stocks exploités (Daan, 1989). Or, la pêche s'exerce dans un ensemble d'interactions complexes entre les espèces et par conséquent, une approche multi-spécifique dans l'aménagement des pêcheries est recommandée (Botsford et al., 1997). Les interactions biologiques entre espèces ne se limitent pas uniquement aux relations trophiques ; le parasitisme et les maladies interviennent également. Mais, les relations prédateur-proie ont un rôle dominant. La mortalité naturelle peut varier considérablement avec la prédation, la famine et les maladies, mais en général, la prédation semble être le facteur dominant (Daan, 1989).

Aucune étude suivie de l'alimentation des sardinelles n'a pu être conduite au Maroc. Des informations sur les habitudes alimentaires des sardinelles rondes existent pour la côte nord-ouest africaine (Pham-Thuoc et Szypula, 1973), les eaux du Sénégal (Nieland, 1982), les eaux entourant les îles Fuji (Wang et Qiu, 1986), dans les îles des Canaries (Moreno et Castro, 1995), au nord-ouest de l'Atlantique (Bowman, 2000) et en Mauritanie pour les deux espèces (Gushchin, 2015). En Méditerranée, de nombreuses études ont été conduites sur le régime alimentaire de la sardinelle ronde, le premier travail a été effectué par Ananiades en 1952 en Grèce, ensuite Rincon en 1988 à Venezuela, dans la mer des Caraïbes en Colombie par Gómez-Canchong en 2004, Tsikliras en 2005 dans la mer Egée (Grèce), au centre de la mer Méditerranée par Lomiri en 2008, au nord-ouest de la Méditerranée par Morote en 2008, en Égypte par Abdel Aziz et Gharib en 2007 et par Madkour en 2011, au nord de la Mer Egée par Karachle en 2014 et en Turquie par Bayhan et Sever en 2015.

Cette étude vient enrichir ces travaux bibliographiques dans le contexte particulier des côtes Atlantiques marocaines. L'objectif est de chercher des informations préliminaires sur la diète alimentaire des sardinelles en Atlantique sud marocain par une analyse conjointe des contenus stomacaux issus des prises commerciales des sardiniers et des campagnes de prospection en mer. Cette étude prendra en considération différents aspects, tels que la taille, le sexe, et la saisonnalité.

1. Analyse au laboratoire

Les estomacs, aussitôt ouverts, leurs contenus sont versés dans une boîte de pétri et leurs faces internes sont rincées avec de l'eau pour détacher tous les débris qui peuvent y rester associés. Les proies sont ensuite identifiées, dénombrées et pesées.

Chaque proie est déterminée au dernier rang taxonomique possible, à l'aide d'une loupe binoculaire et en utilisant des différentes clefs d'identification (Chevreux et Fage, 1925 ; Rose, 1933 ; Richardson et al., 2013). Les proies en état de digestion très avancée sont reconnues par

leurs restes non digérés, tels que les appendices chez les crustacés. Ensuite, le poids de l'ensemble du contenu stomacal et celui de chaque proie sont pesés au 0,01 g et 0,001 mg près respectivement. Les estomacs vides sont mentionnés lors du traitement.

2. Analyse des données et calcul des indices

Plusieurs indices sont considérés dans l'analyse des contenus stomacaux d'une espèce prédatrice. Ces indices peuvent être de type numérique, pondéral ou volumétrique. Pour cette étude quatre indices différents ont été étudiés par sexe, année, saison et taille des deux espèces de sardinelle.

2.1. Coefficient de vacuité : Cv

Le coefficient de vacuité correspond au pourcentage des estomacs vides par rapport au nombre total d'estomacs analysés. Il est calculé par la formule suivante :

$$Cv = \frac{Ev}{N} \times 100 ; (\text{Geistdoerfer, 1975})$$

Avec

Ev : Nombre d'estomacs vides

N : Nombre total d'estomacs analysés

Le Cv est inversement proportionnel à l'intensité d'alimentation

2.2. Indice d'occurrence : Fi

L'indice d'occurrence (Fi) représente le nombre d'estomacs contenant un ou plusieurs individus d'une catégorie de proie (i) divisé par le nombre total d'estomacs non vides. Fi est calculé par la formule suivante :

$$Fi = \frac{ni}{Np} \times 100 ; (\text{Hureau in Labourg et al., 1973})$$

Avec

ni : Nombre d'estomacs contenant la proie i

Np : Nombre d'estomacs non vides

La somme des fréquences d'occurrence de toutes les proies présentes dans tous les estomacs analysés peut être supérieure ou égale à 100. Une correction a été alors apportée à cet indice (Rosecchi et Nouaze, 1987), Fi est remplacé par Fci qui est de la forme suivante :

$$Fci = \frac{100 \times Fi}{\sum Fi} ; \quad \text{Avec } \sum Fci = 100$$

Cet indice permet de connaître les préférences alimentaires de l'espèce prédatrice. Les proies sont alors classées en trois catégories :

$Fci \geq 50\%$: Proie préférentielle

$10 < Fci < 50\%$: Proie secondaire

$Fci \leq 10\%$: Proie occasionnelle

2.3. Indice de remplissage total de l'estomac : TFI (Total fullness index)

L'indice de remplissage total (TFI) de l'estomac est calculé pour chaque individu contenant des proies (Bowering et Lilly, 1992). Cet indice qui est utilisé pour évaluer le remplissage de l'estomac de point de vue quantitatif est modifié par Bozzano et al. (1997) comme suit :

$$TFI = \frac{Ws \times 10^4}{Tw}$$

Avec,

Ws : Poids du contenu stomacal

Tw : Poids total de l'individu

Le poids total de l'individu "TW" est utilisé au dénominateur de cet indice, au lieu de "L³" pour évaluer le TFI avec plus d'exactitude.

2.4. Indice de l'importance relative : IRI

La contribution de chaque proie dans le régime alimentaire est décrite en pourcentage de fréquence d'occurrence (F), en pourcentage d'abondance en nombre (N) et en pourcentage d'abondance en poids (W) (Hyslop, 1980).

Selon Bozzano et al. (1997), une modification de la version de l'IRI décrite par Pinkas et al. (1971) a été utilisée. D'où la forme suivante :

$$IRI = F \times (N+W)$$

Avec :

F : Fréquence d'occurrence (%)

N : Fréquence d'abondance en nombre

W : Composition en poids

Pour chaque proie, IRI est exprimé par : $\%IRI = \frac{IRI}{\sum_{a=1}^n IRI} \times 100$

Avec n = Numéro des différentes proies

Pour le calcul du degré de similarité des préférences alimentaires entre les différents groupes de tailles des sardinelles, nous avons utilisé la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à l'aide du programme STATISTICA 6, en utilisant le Saut Minimum comme méthode d'agrégation et la distance Euclidienne pour la mesure de distance, ces deux méthodes sont les plus couramment utilisées pour ce type d'analyse. Les dendrogrammes obtenus nous donnent la composition des différentes classes, ainsi que l'ordre dans lequel elles ont été formées. Il nous indique également, sur l'axe horizontal, quelle était la valeur de l'indice entre les deux classes qui ont été agrégées à une étape donnée.

VI. Influence des paramètres environnementaux sur l'abondance de *Sardinella aurita*

La variabilité climatique affecte l'abondance et la biogéographie des poissons par des seuils physiologiques spécifiques à la tolérance thermique de l'espèce (Mc Farlane et al., 2000 ; Reid et al., 2001 ; Stenseth et al., 2002 ; Edwards et Richardson, 2004 ; Genner et al., 2004 ; Beaugrand, 2009 ; Jansen et Gislason, 2011). Les populations de poissons présentent une large gamme de modèles de distribution et leur préférence caractéristique pour une certaine gamme de températures implique que la structure thermique de la masse d'eau détermine l'extension de l'habitat des espèces (Murawski, 1993). L'association des limites de distribution avec les limites thermiques montre que la température a une influence majeure et directe sur la reproduction, le recrutement, la physiologie, la croissance et le comportement des animaux poikilothermiques comme le poisson (Hill et Magnuson, 1990 ; Lloret et Rätz, 2000 ; Rätz et Lloret, 2005). En plus de ces effets directs sur les poissons, la température génère également des changements dans la qualité et la disponibilité des aliments (Steinarsson et Stefansson, 1991 ; Jørgensen, 1992 ; Nilssen et al., 1994). Compte tenu de tous ces aspects, il est possible de déduire que, à grande échelle, l'effet immédiat du réchauffement climatique sur l'ichthyofaune se présente dans les variations des limites géographiques de la distribution des poissons entraînant à la fois des extinctions locales et des expansions des environnements plus chauds. L'hypothèse est qu'avec le réchauffement général, les populations de poissons migreront vers les directions des pôles pour rester dans des enveloppes thermiques appropriées (Walther et al., 2002). À cet égard, une augmentation de l'abondance et une expansion vers le nord de la portée géographique des espèces de poissons du sud ont été signalées dans le nord de l'Atlantique (Beare et al., 2004 ; Oviatt, 2004 ; Perry et al., 2005). Néanmoins, pour qu'une espèce élargisse sa limite de

distribution géographique, elle doit se reproduire avec succès et sa progéniture peut survivre dans les nouvelles zones (Hutchins, 1947 ; Lewis et al., 1982 ; Mieszkowska et al., 2006).

Les petits poissons pélagiques tels que les sardinelles rondes (*Sardinella aurita*) sont un excellent outil pour étudier les effets du changement climatique sur les écosystèmes marins. Ils ont une durée de vie assez courte, se nourrissent d'une chaîne alimentaire à base de plancton et leur recrutement est contrôlé en grande partie par la survie des œufs et des larves, ceci dépend de la prévalence de conditions océanographiques et atmosphériques appropriées (Cury et Roy, 1989 ; Bernal, 1991 ; Hunter et Alheit, 1995 ; Bakun, 1996). Par conséquent, les changements dans le climat mondial ou régional sont susceptibles d'avoir un impact sur les stocks de poissons pélagiques et donc sur leurs pêcheries.

Les trois paramètres environnementaux utilisés dans la présente étude sont la température de surface de la mer (SST), l'indice d'upwelling (UI) et la concentration de la chlorophylle-a (Chl-a) (indice de biomasse du phytoplancton). Ces paramètres étaient les plus importants dans les études des relations entre les changements environnementaux et l'abondance des poissons (Diankha et al., 2013).

L'objectif de cette étude est d'analyser les changements spatio-temporels en fonction de l'abondance de la sardinelle ronde et d'essayer de comprendre comment la variabilité climatique peut affecter la population marine, dans le but de proposer un plan de gestion durable des pêches. Dans ce sens, ce travail consiste à étudier comment les effets de la température de la surface de la mer, l'indice d'upwelling et la chlorophylle-a peuvent contrôler l'abondance de *Sardinella aurita* au Maroc entre 2009 et 2016.

1. Données sur les débarquements de la sardinelle ronde

Pour étudier la variabilité de l'abondance de *Sardinella aurita* dans les eaux marocaines, des données mensuelles sur les débarquements de cette espèce au niveau de la zone sud marocaine durant la période entre 2009 et 2016 ont été utilisées. Ces données ont été obtenues à partir de la section statistique de l'Office National des pêches (ONP), et constituent le total des débarquements au Maroc.

2. Données environnementales

Les données SST proviennent du produit global ARMOR3D L4, qui a une résolution moyenne de 1/4 de degré. Le produit est obtenu en combinant des observations des satellites et par des méthodes statistiques *in-situ* (profils de température). Une description détaillée de la Qualité / Précision / Calibration peuvent être trouvées sur le site officiel du CMEMS, avec les rapports de validation et les documentations de qualité (www.marine.copernicus.eu).

Pour les données de la chlorophylle-a, nous avons utilisé la moyenne saisonnière de l'océan global, la chlorophylle de surface de l'ESA Ocean Color CCI (résolution mg.m^{-3} , 4 km) en utilisant l'algorithme de chlorophylle recommandé OC-CCI disponible dans le format CMEMS, avec les composites de moyenne saisonnière L4. La technique de la couleur de l'océan exploite le rayonnement électromagnétique émergeant la surface de la mer dans différentes longueurs d'onde. La variabilité spectrale de ce signal définit la couleur dite océanique qui est affectée par la présence de phytoplancton. En comparant la réflectance à différentes longueurs d'onde et en calibrant le résultat par rapport aux mesures in situ, on peut en déduire une estimation de la teneur en chlorophylle.

Pour l'indice d'upwelling (UI), il est défini comme étant la différence entre la SST du côté et l'océan (Reynolds et al., 2007). Où SST-côte est la SST de la grille la plus proche de la côte et SST-océan est la SST de la boîte de grille le long de la même latitude qui est de 5° à l'ouest. Par conséquent, une augmentation (diminution) de l'indice d'upwelling est équivalente à une diminution (augmentation) de l'intensité de l'upwelling.

Nous avons également utilisé les valeurs moyennes mensuelles des données satellitaires d'Aqua MODIS à une résolution spatiale de 4 km entre 2009 et 2016 pour les trois paramètres (SST, Chl-a et UI).

Les corrélations entre les trois paramètres et les débarquements de *S. aurita* ont été testées pour chaque degré de latitude du sud du Maroc (21°N - 26°N) (Figure 24).

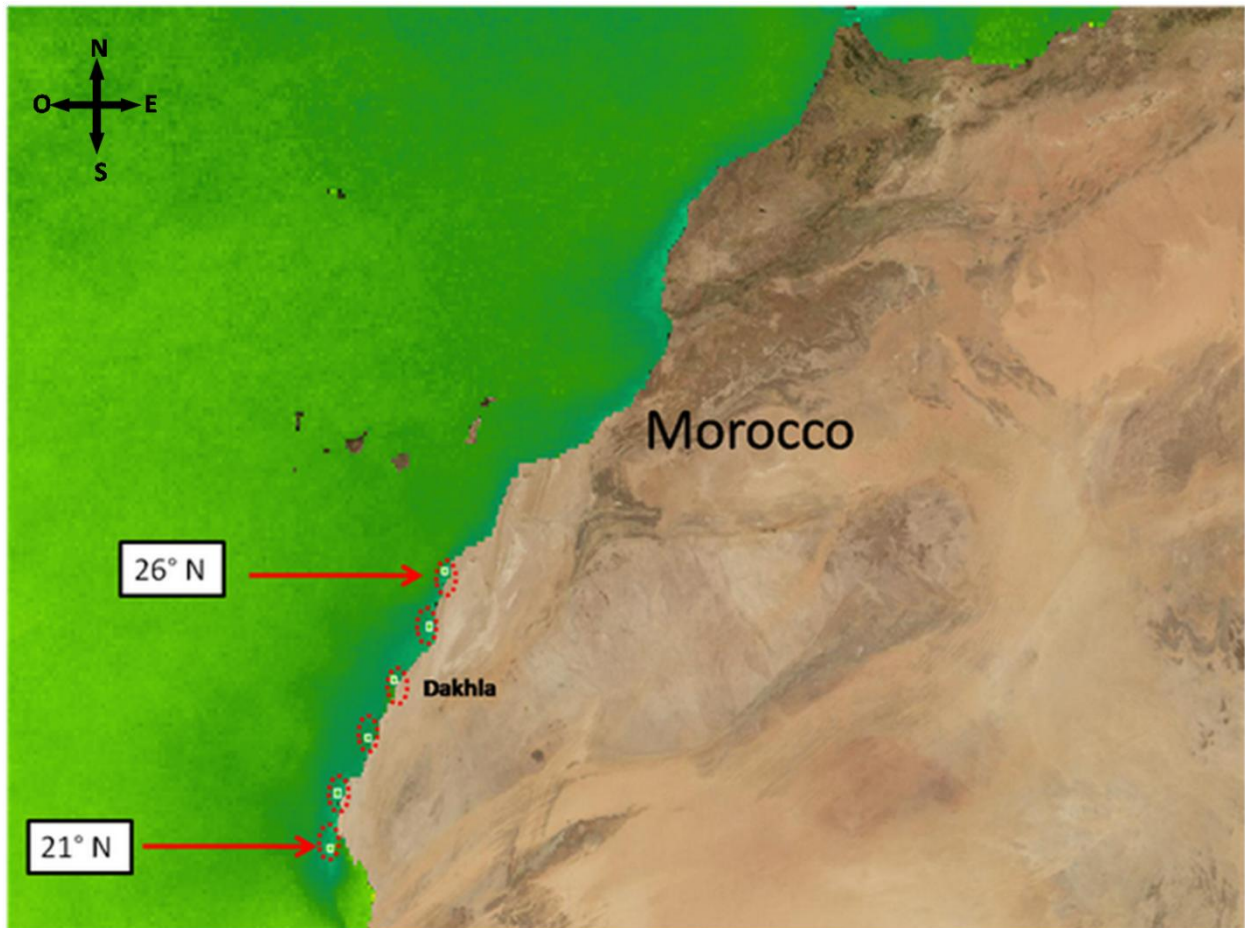


Figure 24. Localisation des zones d'échantillonnage des données SST, Chl-a et UI

3. Analyses statistiques entre les débarquements de la sardinelle ronde et les données environnementales

La climatologie mensuelle a été calculée afin d'analyser l'abondance saisonnière de *S. aurita* par rapport à la variation de la SST, la Chl-a et l'UI.

Les relations entre ces paramètres environnementaux et les débarquements de *S. aurita* ont été évaluées. Les analyses statistiques ont été basées sur le coefficient de corrélation de Pearson. Ce dernier a été vérifié par un test de nullité de coefficient avec un niveau de confiance de 95%.

Pour identifier une relation possible entre les débarquements de *S. aurita* et les paramètres environnementaux, un modèle de régression linéaire simple a été utilisé pour décrire l'ensemble de données appariées qui sont liées de manière linéaire. Le logiciel statistique Minitab (version 17.1.0) a été utilisé pour mener à bien cette étude. Dans l'analyse, les débarquements de *S. aurita* ont été considérés comme la variable de réponse (sortie ou y) afin de faciliter les analyses et la comparaison visuelle des tendances générales. Les variables explicatives ou indépendantes utilisées sont la SST, la Chl-a et l'UI.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Étude de la biologie de la reproduction des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) de l'Atlantique sud marocain

1. Résultats

1.1. Sex-ratio

Sardinella aurita

À partir d'un échantillonnage de deux ans, représenté par un effectif de 533 individus en 2015 et de 187 individus en 2016 ; nous avons obtenu un taux de féminité (51,8% en 2015 et 72,2% en 2016) supérieur au taux de masculinité (48,2% en 2015 et 27,8% en 2016).

Selon le test de significativité, la différence entre les sexes n'a été significative qu'en 2016 (Tableau 3).

Tableau 3. Proportions du sexe de *Sardinella aurita* par année et comparaison de leur égalité par le test X^2 à $p = 0,05$

Année	Ind. indéterminés	Femelles	Mâles	Mâles/Femelles	X^2 (calculé)	Test
2015	47	276	257	0,93	0,67	NS
2016	62	135	52	0,39	36,84	S

Sardinella maderensis

Concernant la sardinelle plate, nous avons regroupé les données des années 2015 et 2016 à cause du nombre d'individus qui a été insuffisant, ceci a concerné tous les paramètres que nous avons étudiés à propos de cette espèce.

Dans un total de 102 individus de sardinelle plate sexés échantillonnés durant la période 2015-2016, le taux de féminité total était de 55 % pour un taux de masculinité total de 45%. Selon le test X^2 (khi-deux), il n'y a pas de différence significative entre les deux sexes (Tableau 4).

Tableau 4. Proportions du sexe de *Sardinella maderensis* et comparaison de leur égalité par le test X^2 à $p = 0,05$

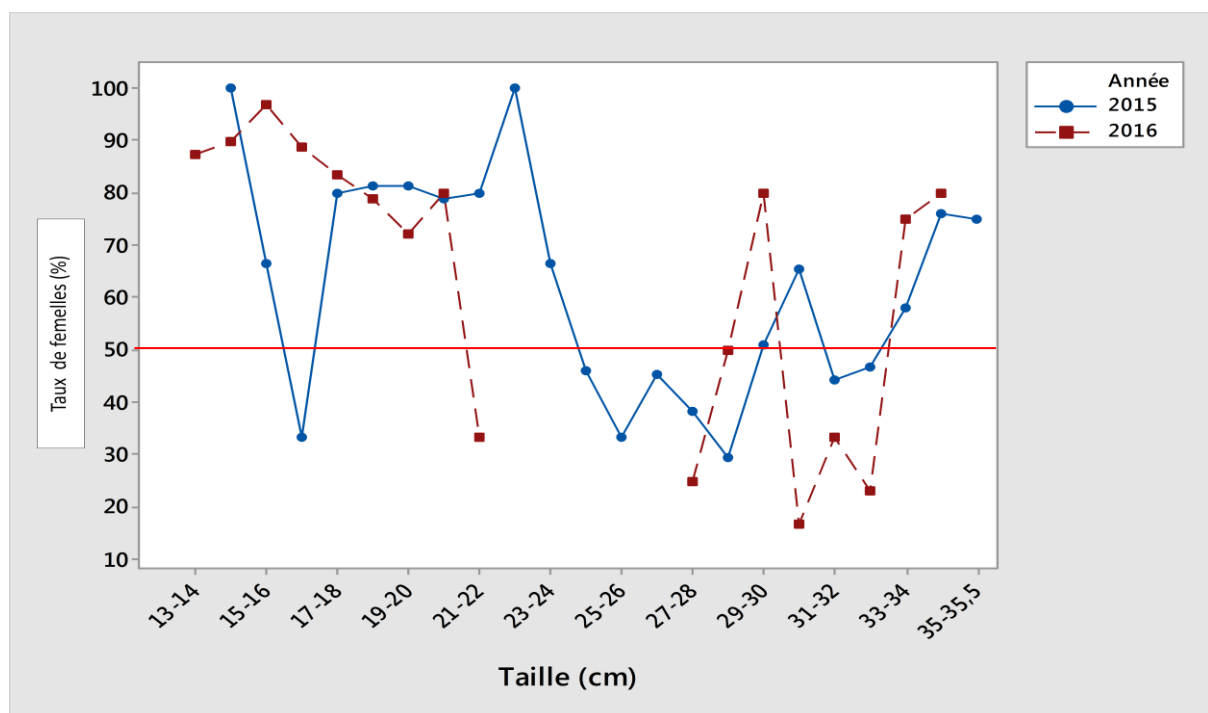
Femelles	Mâles	Totale population	Mâles/Femelles	X^2 (calculé)	Test
56	46	102	0,82	0,98	NS

1.2. Sex-ratio en fonction de la taille

Sardinella aurita

La figure 25 illustre le pourcentage des femelles par classes de taille. Les tailles des individus se répartissent entre 14,5 et 35,5 cm pour l'année 2015 et entre 13 et 34 cm pour l'année 2016. Pour les deux années, nous avons remarqué que le taux de femelles varie en fonction des classes de tailles. En générale, nous avons noté un taux élevé des femelles pour les tailles comprises entre 13 et 24 cm et entre 34 et 35,5 cm.

La différence entre les groupes de tailles en fonction du taux de féminité pendant les deux années a été significative ($p < 0,05$).



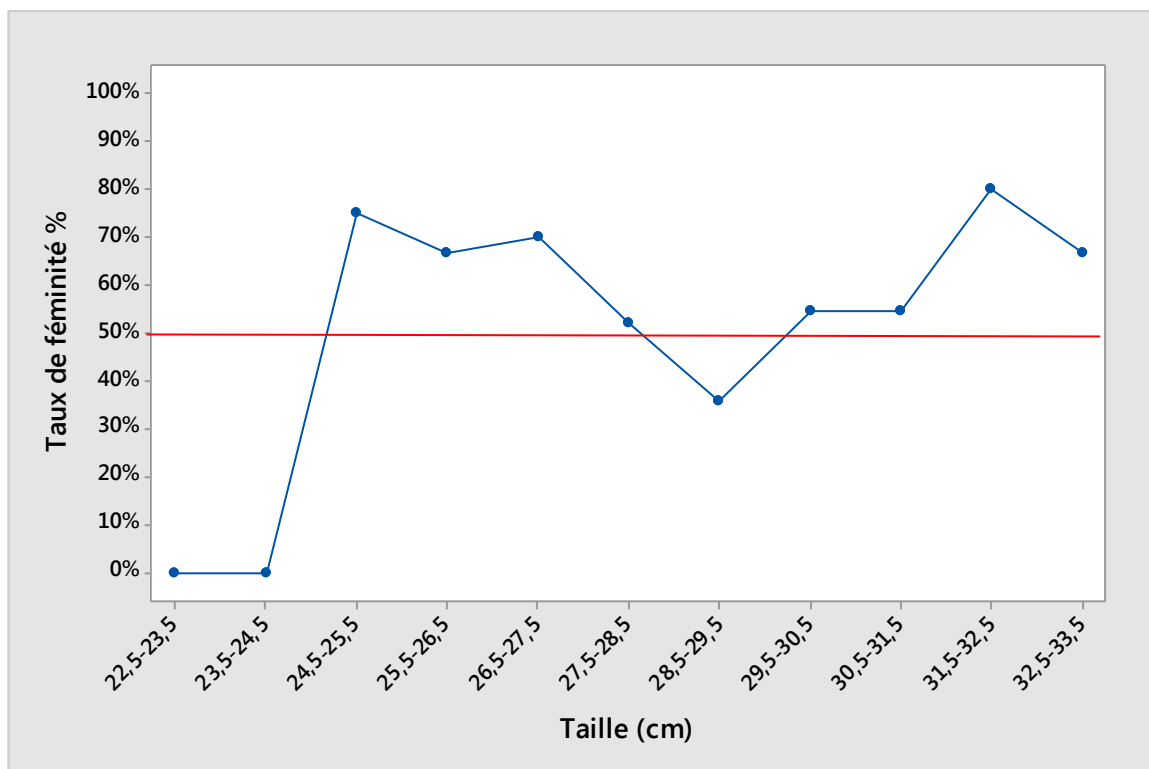


Figure 26. Taux de femelle en fonction de la taille chez *Sardinella maderensis*. p valeur = 0,003 (test ANOVA)

1.3.Sex-ratio en fonction de saison

Sardinella aurita

Sur la figure 27 est représentée la variation saisonnière du taux de féminité de la sardinelle ronde durant les années 2015 et 2016.

En 2015, le pourcentage des femelles a été dominant durant toutes les saisons sauf en automne où nous avons noté une légère dominance des mâles. Concernant l'année 2016, le pourcentage des femelles est dominant en été et pour le reste de l'année nous avons remarqué une légère dominance des mâles. Pour les deux années, les variations du taux de femelles en fonction des saisons sont significatives ($p < 0,05$).

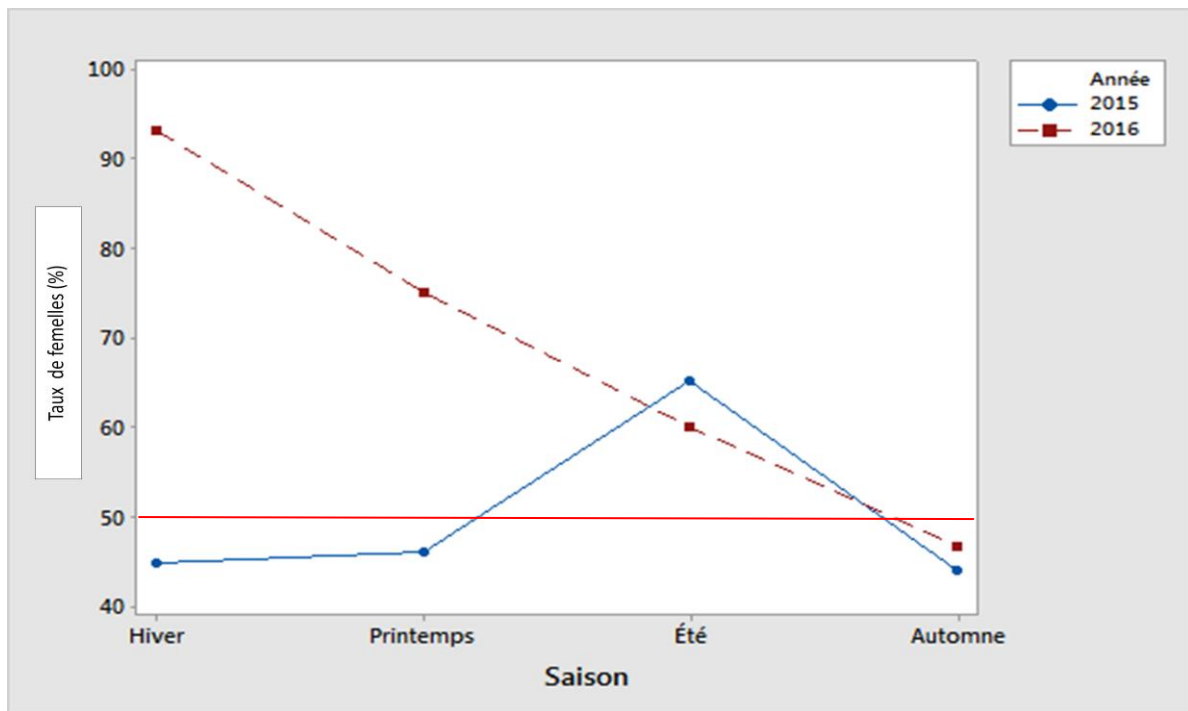


Figure 27. Variation saisonnière du taux de femelles chez *Sardinella aurita* dans la période d'étude 2015 et 2016. p valeur = 0,00 (test ANOVA)

Sardinella maderensis

La variation du taux de féminité de la sardinelle plate en fonction des saisons a montré une dominance des femelles durant toute l'année à l'exception de l'été où les mâles dominent avec un pourcentage de 57 %. Ces variations entre les saisons restent non significatives ($p > 0,05$) (Figure 28).

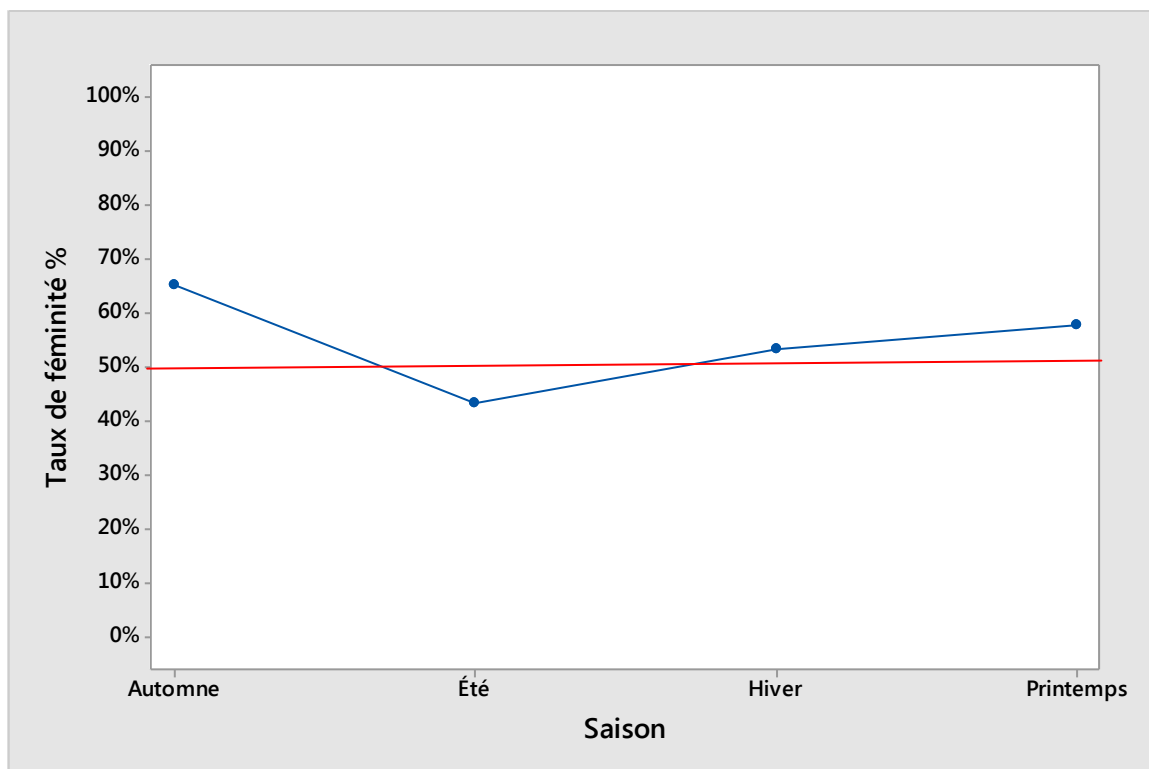


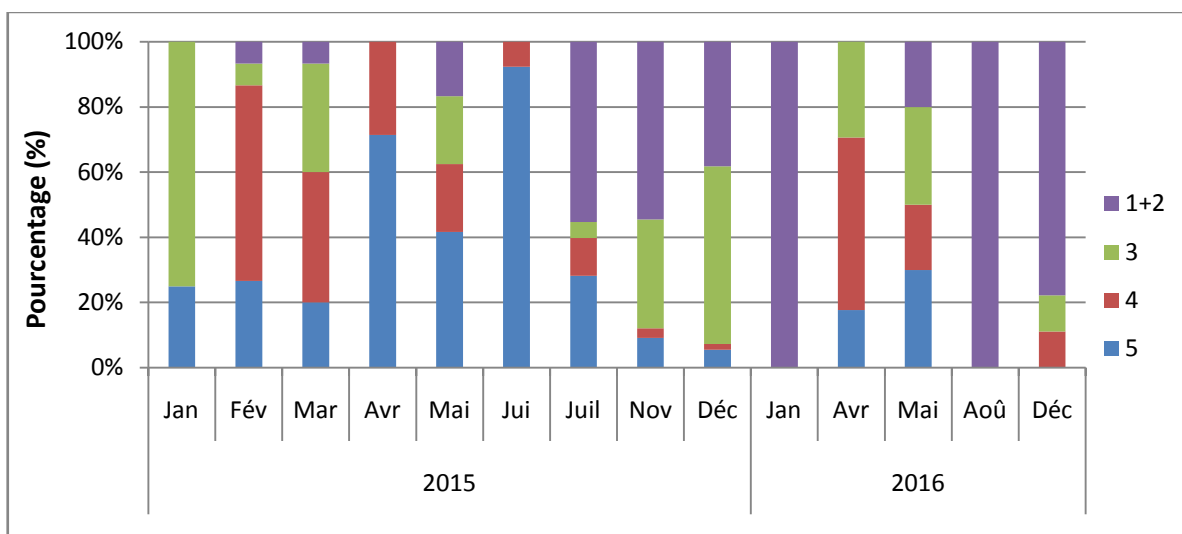
Figure 28. Variation saisonnière du taux de femelles chez *Sardinella maderensis*. p valeur = 0,67 (test ANOVA)

1.4.Stades de maturité sexuelle

Sardinella aurita

L'évolution mensuelle du pourcentage des stades de maturité montre que les femelles en ponte (stade 4) sont présentes durant tous les mois d'échantillonnage à l'exception du janvier pour les deux années et août pour l'année 2016 (Figure 29a). Chez les mâles, les individus en phase de reproduction sont présents entre les mois de février et mai et en juillet pour l'année 2015. Pour l'année 2016, nous avons noté leur présence uniquement en avril et mai (Figure 29b). Par conséquent, les mâles et les femelles de la sardinelle ronde, sont en activité de reproduction intense durant la saison du printemps jusqu'à juillet (Figure 29).

a) Femelles, n = 411



b) Mâles, n = 309

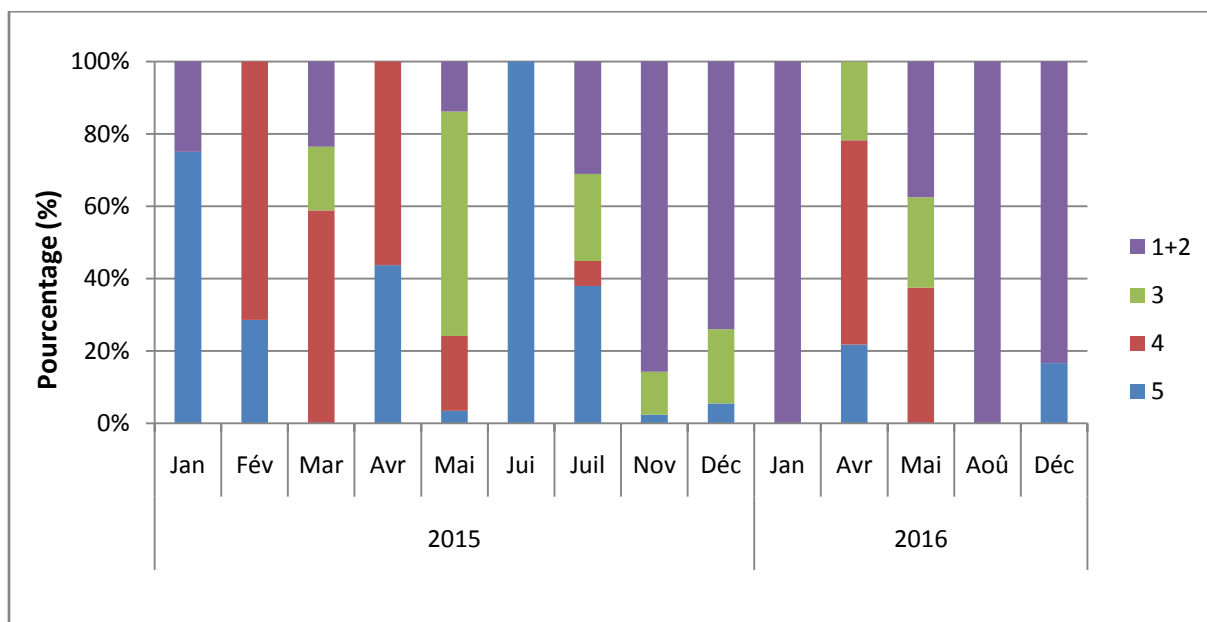


Figure 29. Evolution mensuelle du pourcentage de la sardinelle ronde mâle et femelle en différents stades de maturité dans la période d'étude 2015 et 2016 : 1+2 immatures ; 3 en début de maturation, 4 en ponte/émission ; 5 en post-ponte/émission. a) Femelles ; b) Mâles

Sardinella maderensis

A partir de l'évolution mensuelle du pourcentage des stades de maturité, nous avons remarqué que les femelles en ponte (stade 4) sont présentes durant les mois de février à avril et en juillet.

Chez les mâles, les individus en phase de reproduction sont présents durant les mois de mars, avril et juillet. Par conséquent, les mâles et les femelles de la sardinelle plate, sont en activité de reproduction durant les saisons du printemps et d'été (Figure 30).

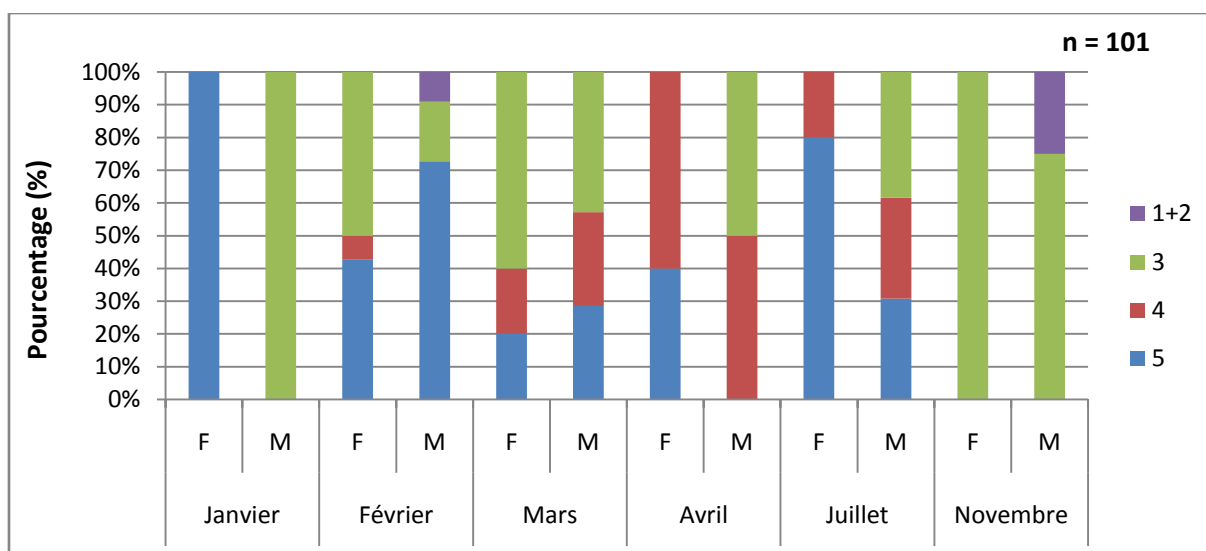


Figure 30. Evolution mensuelle du pourcentage de la sardinelle plate mâle et femelle en différents stades de maturité durant la période d'étude 2015-2016 : 1+2 immatures ; 3 en début de maturation ; 4 en ponte/émission ; 5 en post-ponte/émission.

1.5. Rapport gonado-somatique (RGS)

Sardinella aurita

L'évolution mensuelle du rapport gonado-somatique (RGS) moyen est représentée dans la figure 31.

D'après l'évolution du RGS des deux sexes, un pic principal de reproduction a été observé au printemps (avril). Nous avons aussi constaté que les courbes du RGS évoluent de la même façon chez les deux sexes.

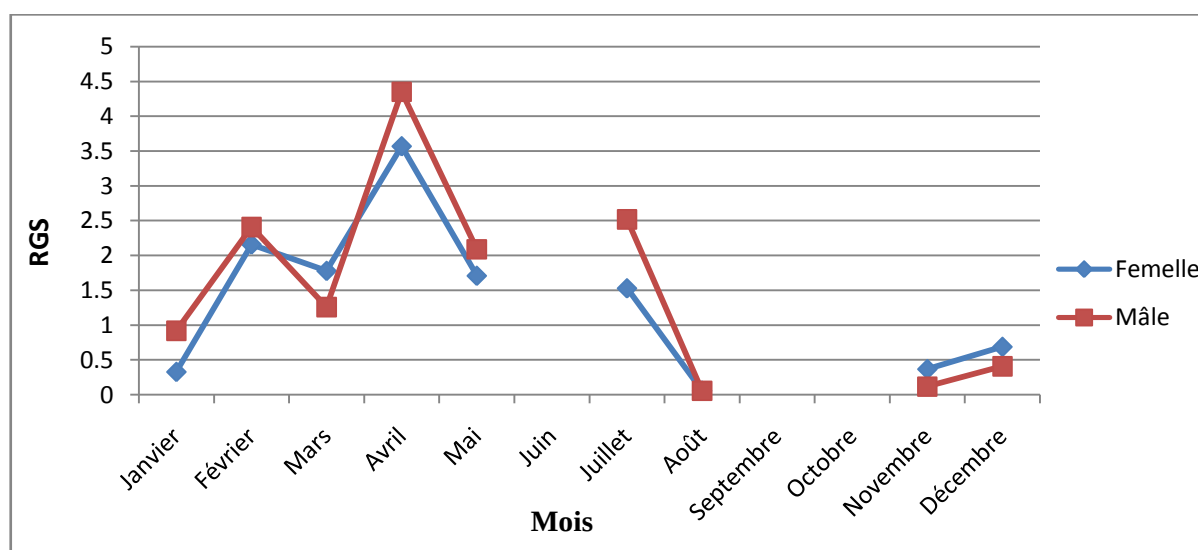


Figure 31. Évolution mensuelle du rapport gonadosomatique (RGS) des deux sexes de la sardinelle ronde durant la période 2015-2016

Sardinella maderensis

L'évolution mensuelle du rapport gonado-somatique (RGS) moyen de la sardinelle plate est représentée dans la figure 32.

D'après l'évolution du RGS des deux sexes, une valeur maximale de RGS a été observée au printemps (avril) pour les femelles et en été (juillet) pour les mâles, des valeurs basses ont été observées fin automne-hiver. Nous avons observé que les courbes du RGS des deux sexes évoluent de la même façon (Figure 32).

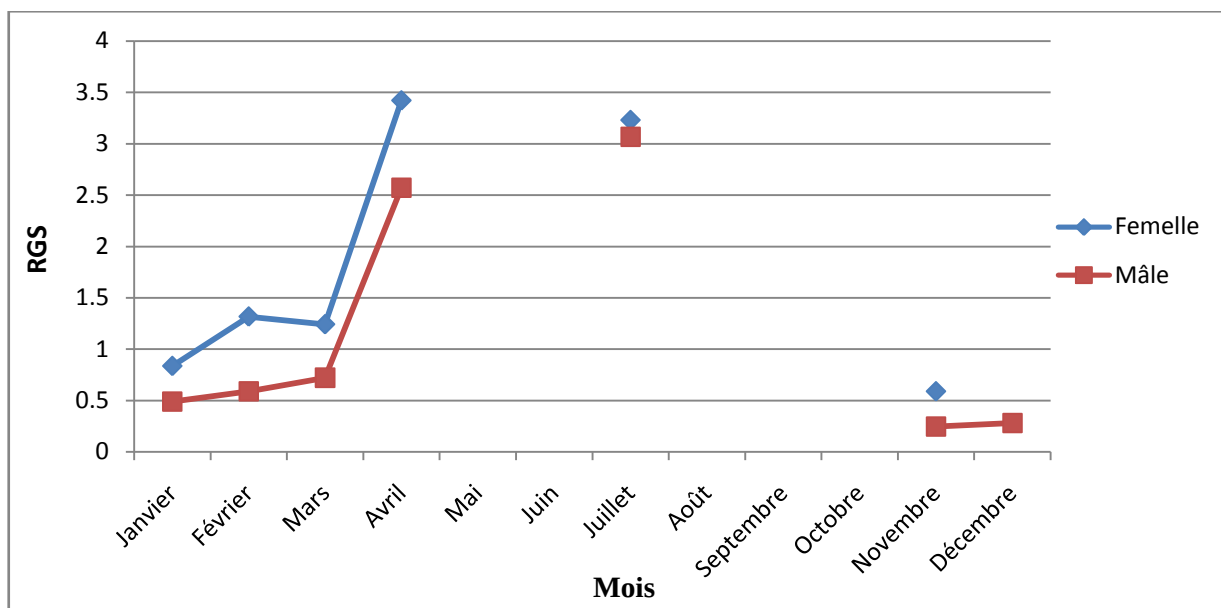


Figure 32.Évolution mensuelle du rapport gonadosomatique (RGS) des deux sexes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016

1.6.Taille à la première maturité sexuelle

Sardinella aurita

La taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) a été estimée à 26,17 et 25,18 cm pour les femelles en 2015 et 2016 respectivement (Figure 33a). Pour les mâles la L_{50} était de 27,21 et 25,37 cm pour les années 2015 et 2016 respectivement (Figure 33b).

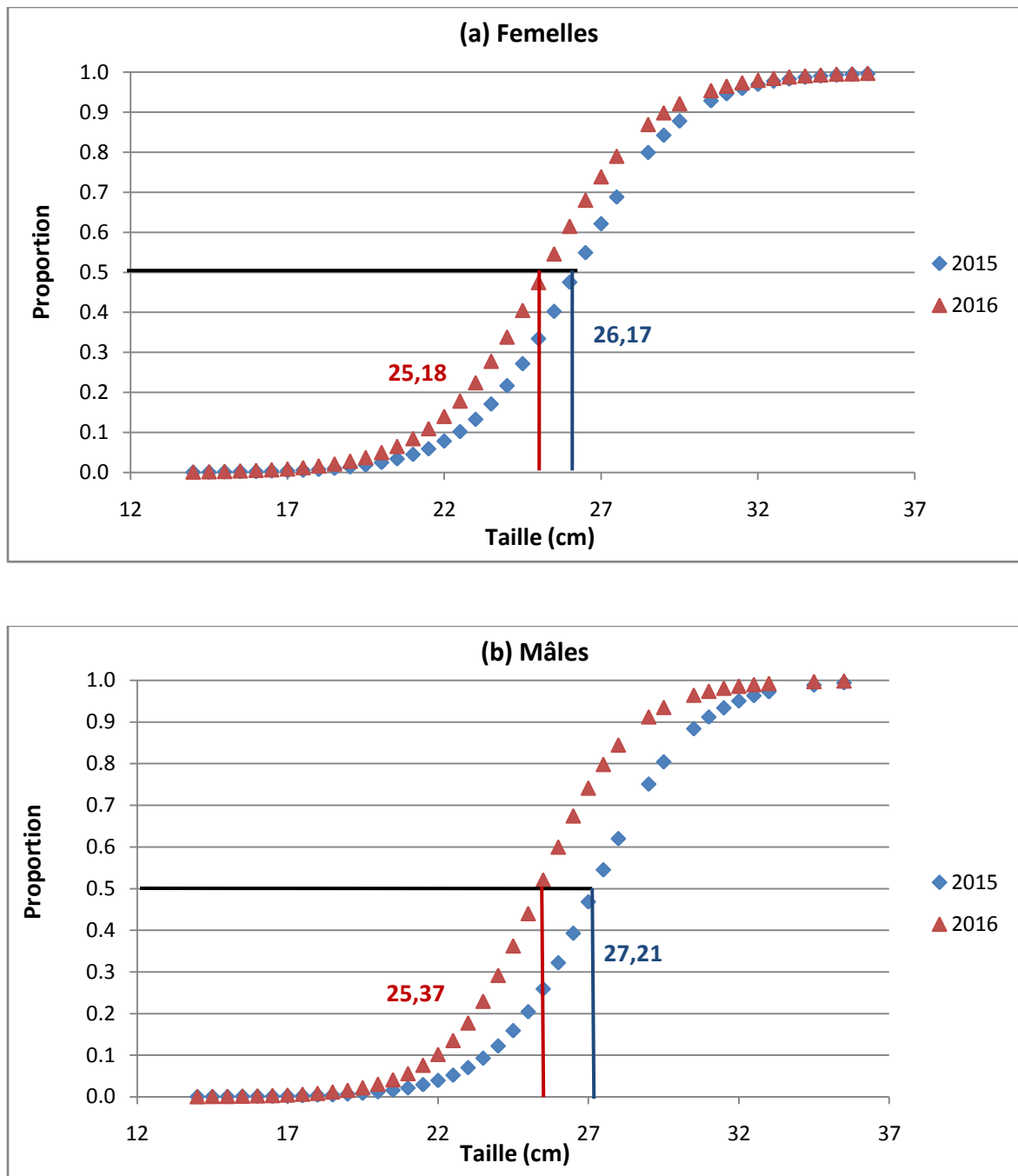


Figure 33. Taille à la première maturité sexuelle (50%) de *Sardinella aurita* dans la période d'étude 2015 et 2016. a) Femelles, b) mâles

Sardinella maderensis

La taille à la première maturité sexuelle (L₅₀) a été estimée à 21,76 cm pour les femelles et à 20,76 cm pour les mâles de la sardinelle plate (Figure 34).

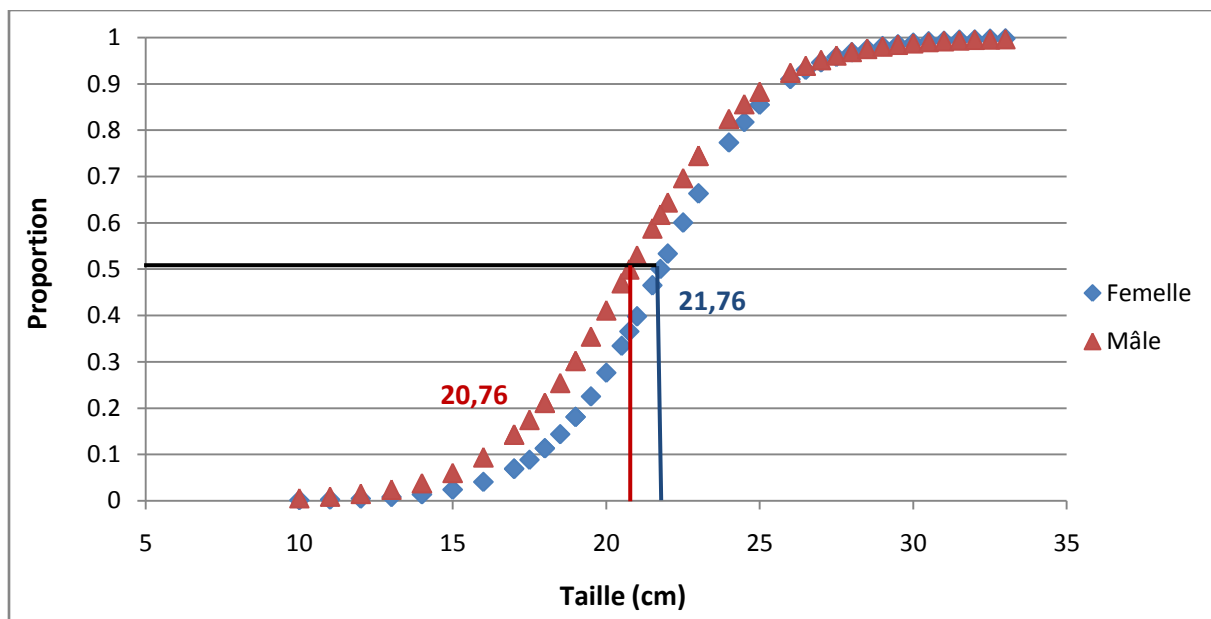


Figure 34. Taille à la première maturité sexuelle (50%) de *Sardinella maderensis* femelle et mâle durant la période d'études 2015 et 2016

1.7.Echelle microscopique des stades ovocytaires chez la sardinelle ronde

L'observation microscopique de la gonade femelle à différents stades de maturité sexuelle a permis de constater l'évolution des cellules germinales. L'évolution ovocytaire se distingue par la pré-vitellogenèse suivie de la vitellogenèse et ce, en se référant à la taille des ovocytes, l'homogénéité de leur structure, la quantité et la distribution des inclusions lipidiques et protéiques dans le cytoplasme. Les sections histologiques ont été examinées au microscope optique à un grossissement croissant allant de 40x à 400x. Les cinq stades principaux du développement de l'ovocyte pour la sardinelle ronde sont définis comme suit :

Stade I : Immature

Ce stade est caractérisé par la présence d'ovocytes primaire (Figure 35a), à différents stades de développement à savoir :

- L'ovogonie dont le diamètre est inférieur à 10 μm . Elles sont souvent présentes dans les nids du tissu germinale avec peu de cytoplasme et un nucléole arrondi central intensément basophile (Figure 35b).
- Les cellules au stade chromatine nucléaire dont le diamètre de l'ovocyte variait entre 10 et 50 μm . Elles sont hautement basophiles et de forme irrégulière. Le noyau est agrandi par rapport au stade précédent (Figure 35c).
- Les cellules au stade périnucléolaire ont un diamètre qui varie entre 50 et 100 μm , au cours de ce stade on observe deux cas : précoce et tardif.

- Le périnucléolaire précoce : se caractérise par un cytoplasme fortement basophile, des nucléoles larges, ronds, également fortement basophiles et d'autres plus petits. Ces derniers sont dispersés dans le nucléoplasme (Figure 35d).
- Le périnucléolaire tardif : le cytoplasme est moins basophile avec une structure granulaire. Dans les ovocytes les plus avancés, le cytoplasme se différencie en une couche externe claire et une couche interne plus dense. Un certain nombre de nucléoles se trouvent généralement dans le périphérique du noyau (Figure 35e). Cette étape a été observée chez les jeunes spécimens ou après la ponte (période de repos).

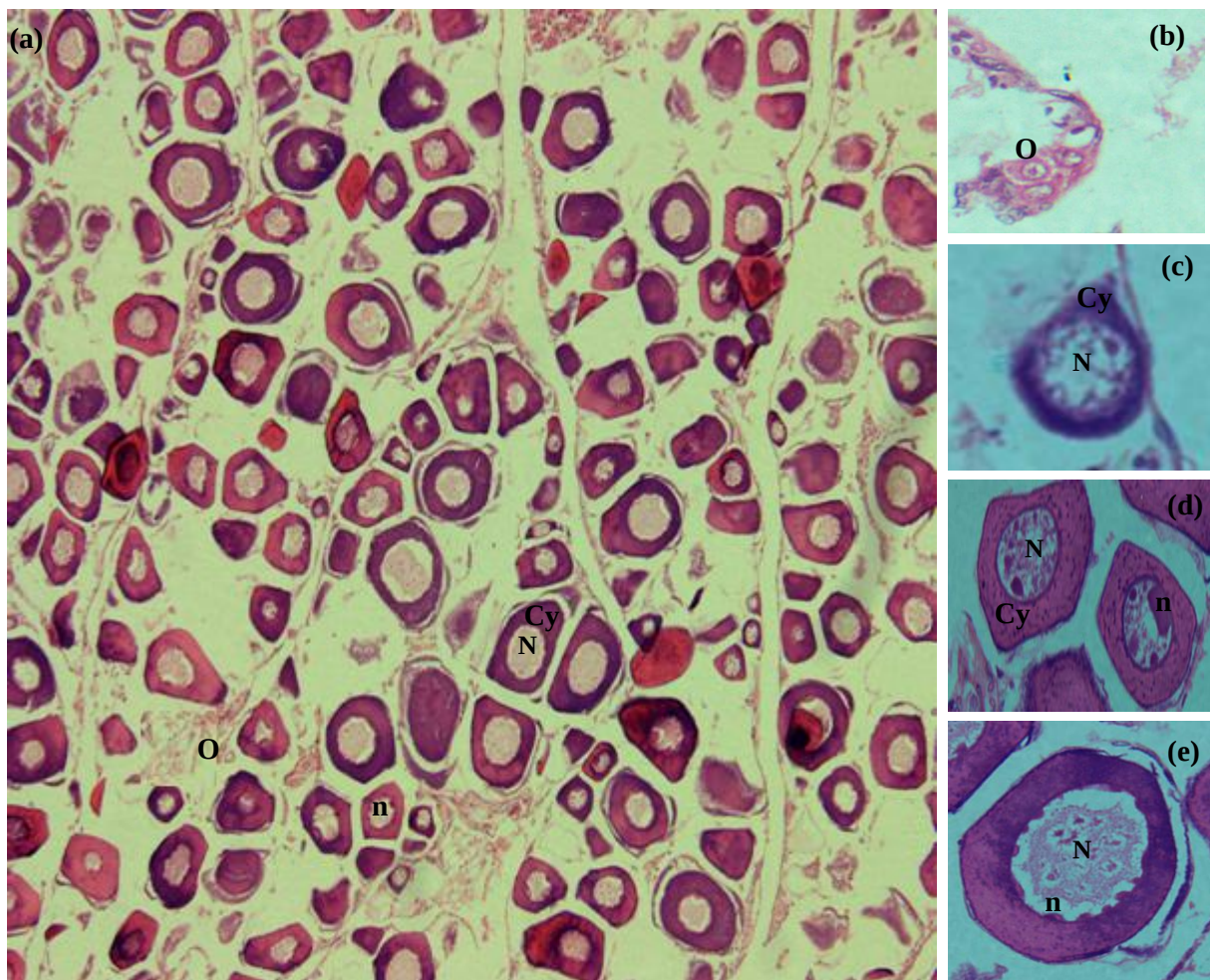


Figure 35. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «immature». a) section transversale à travers un ovaire immature montrant des ovocytes à différents stades de maturité (Gr x 100), b) Ovogonie (Gr x 400), c) Stade chromatine nucléaire (Gr x 400), d) Stade de périnucléolaire précoce (Gr x 400), e) Stade de périnucléolaire tardif (Gr x 400).

Cy : Cytoplasme, N : noyau, n : nucléole, O : ovogonie

Stade II : Pré-ponte

Ce stade contient des follicules bien regroupés dont la lumière remplie de gros ovocytes libres présentant différentes phases de développement. Les ovocytes primaires sont encore présents. À ce stade de développement, deux cas ont été rencontrés :

- **Un développement précoce**

Les ovocytes sont plus volumineux avec un diamètre de 100 à 250 μm . Ce stade se caractérise par un cytoplasme homogène renfermant une couronne périphérique d'alvéoles corticales. Le noyau central est plus gros contenant un ou plusieurs nucléoles. L'alvéole cortical est le stade le plus avancé des ovocytes dans l'ovaire (Figure 36a).

- **Un développement tardif**

À ce stade la zone radiata est en début de développement. Concomitante à la croissance des ovocytes, la couche folliculaire devient visible. De petites gouttelettes lipidiques apparaissent autour du noyau et finissent par envahir tout le cytoplasme. Les gouttelettes de lipides augmentent en nombre et fusionnent en formant des vésicules plus grandes. Les ovocytes de ce stade mesurent un diamètre de 250 à 350 μm (Figure 36b).

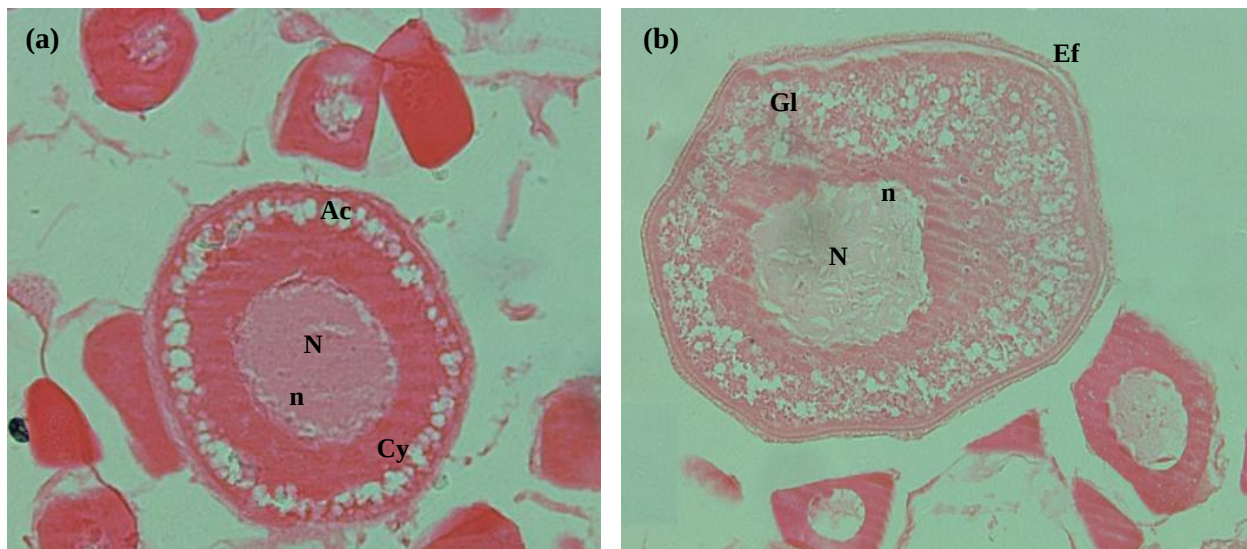


Figure 36. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «pré-ponte». a) Développement précoce (Gr x 200), b) Développement tardif (Gr x 200) ; Ac : alvéole corticale, Cy : Cytoplasme, Ef : enveloppe folliculaire, Gl : gouttelettes lipidiques, N : noyau, n : nucléole

Stade III : Ponte

À ce stade, les ovocytes atteignent une taille comprise entre 350 à 450 μm . Tous les premiers stades de développement des ovocytes peuvent être observés dans le stroma ovarien. Les ovocytes à croissance primaire sont moins évidents. L'ovocyte en vitellogenèse avancée semble

liquéfié avec des inclusions vitellines fusionnées lui donnant un aspect hyalin avec une enveloppe nucléaire irrégulière. Les granules jaunes ont rempli le cytoplasme. La zone radiata augmente en épaisseur. Juste avant la ponte, le noyau migre vers l'un des pôles (Figure 37a) et contient de nombreux nucléoles. À ce stade, l'ovocyte peut se détacher de sa thèque et de sa granulosa pour être libéré dans la cavité ovarienne afin d'être expulsé (Figure 37b).

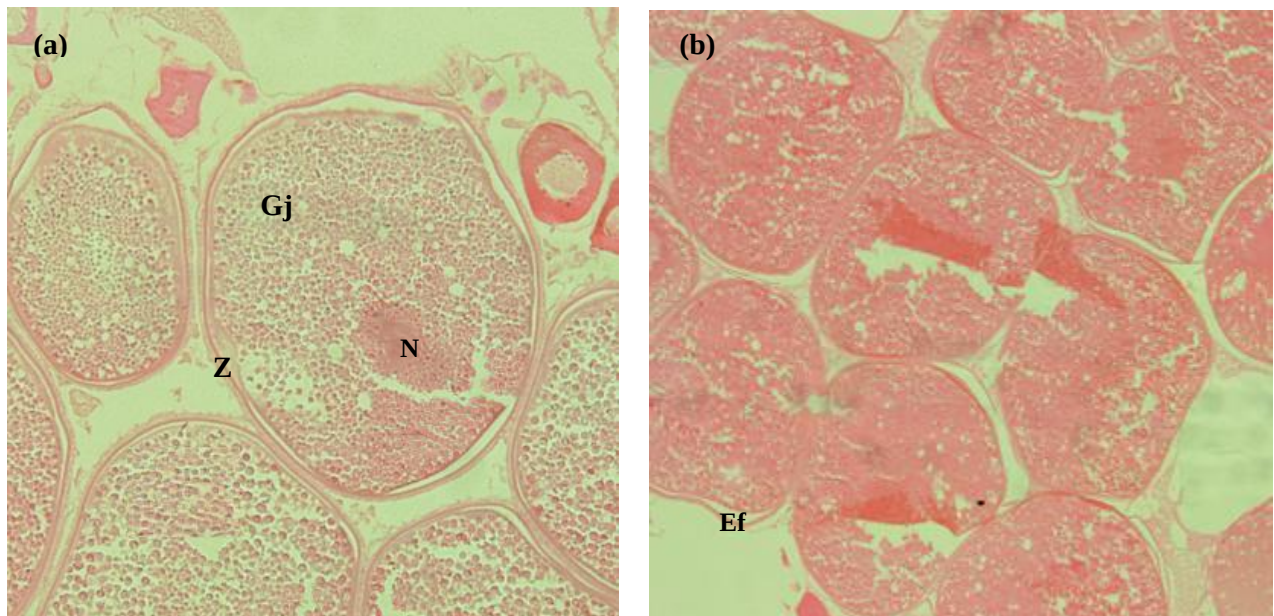


Figure 37. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «ponte». a) Migration du noyau vers l'un des pôles (Gr x 100), b) Ovocytes en stade de ponte (Gr x 100) ; Ef : enveloppe folliculaire ; Gj : globules jaune ; N : noyau ; Zr : la zone radiata

Stade IV : Post-ponte

Les lames ovariennes renferment également des ovocytes vitellogéniques à différents stades de maturation (stock cellulaire pour d'éventuels cycles sexuels ultérieur). Ce stade est caractérisé par la présence des follicules vides post-ovulatoires (Fpo) entourés de tissu conjonctif lâche. Les ovocytes présentent une structure lâche et atrétique. En outre, vers la fin de cette étape, les cellules sanguines ont été observées. L'ovaire après la dernière ponte apparaît nettement désorganisé et tous les ovocytes en voie de maturation présentent des signes de nécrose (Figure 38).

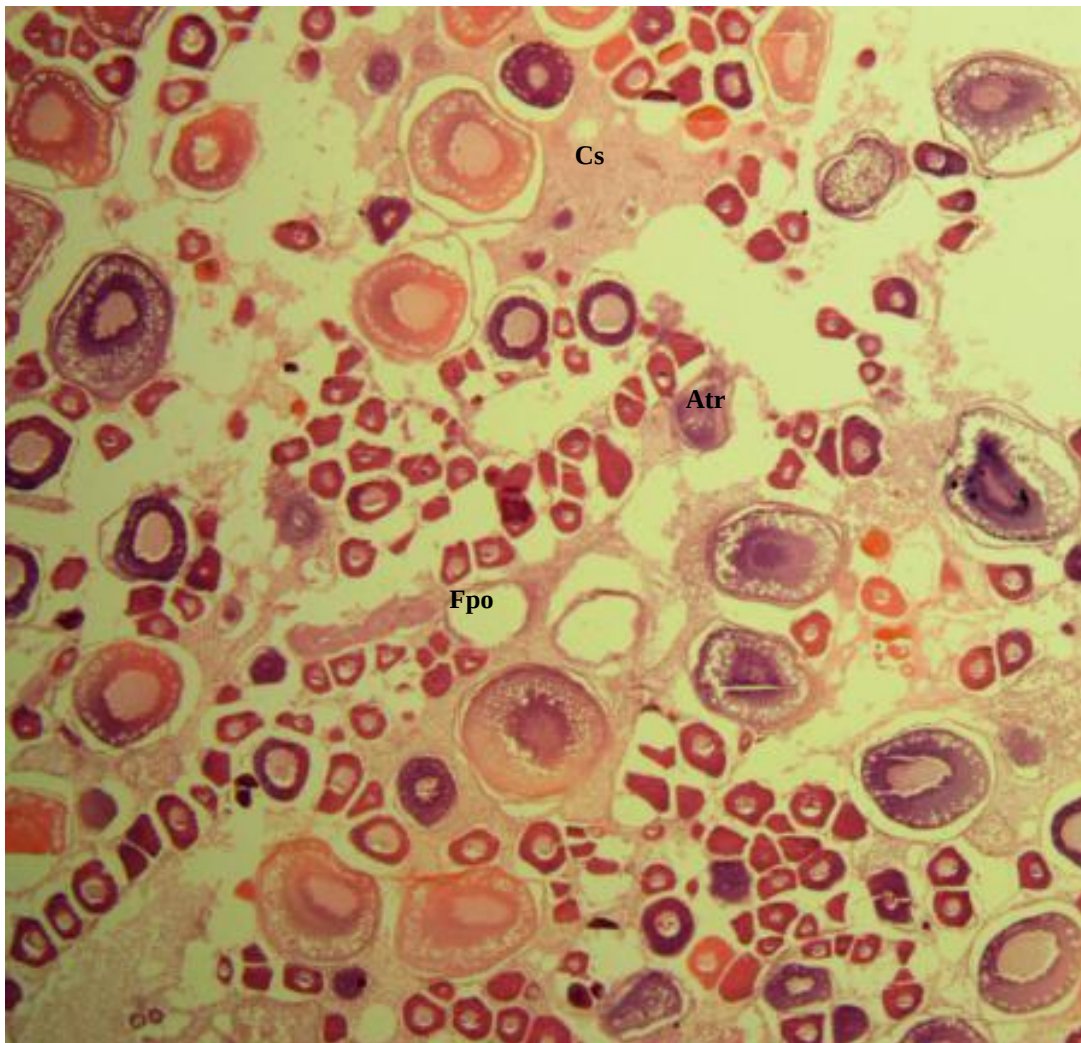


Figure 38. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «post-ovulatoire». Des ovocytes à différents stades de maturité. Atr : ovocytes atretiques, Cs : cellules sanguines, Fpo : follicules post-ovulatoires (Gr x 40)

Stade V : Repos sexuel

Les ovaires renferment des ovocytes atretiques ainsi que des ovocytes prévitellogéniques qui pourront amorcer leur évolution lors du prochain cycle sexuel. Les espaces libérés par la dégénérescence des ovocytes vitellogéniques sont recolonisés par ces ovocytes prévitellogéniques au repos renfermant un volumineux noyau central avec de nombreux nucléoles. Leur cytoplasme contient quelques vésicules vitellines en liseré périphérique (Figure 39).

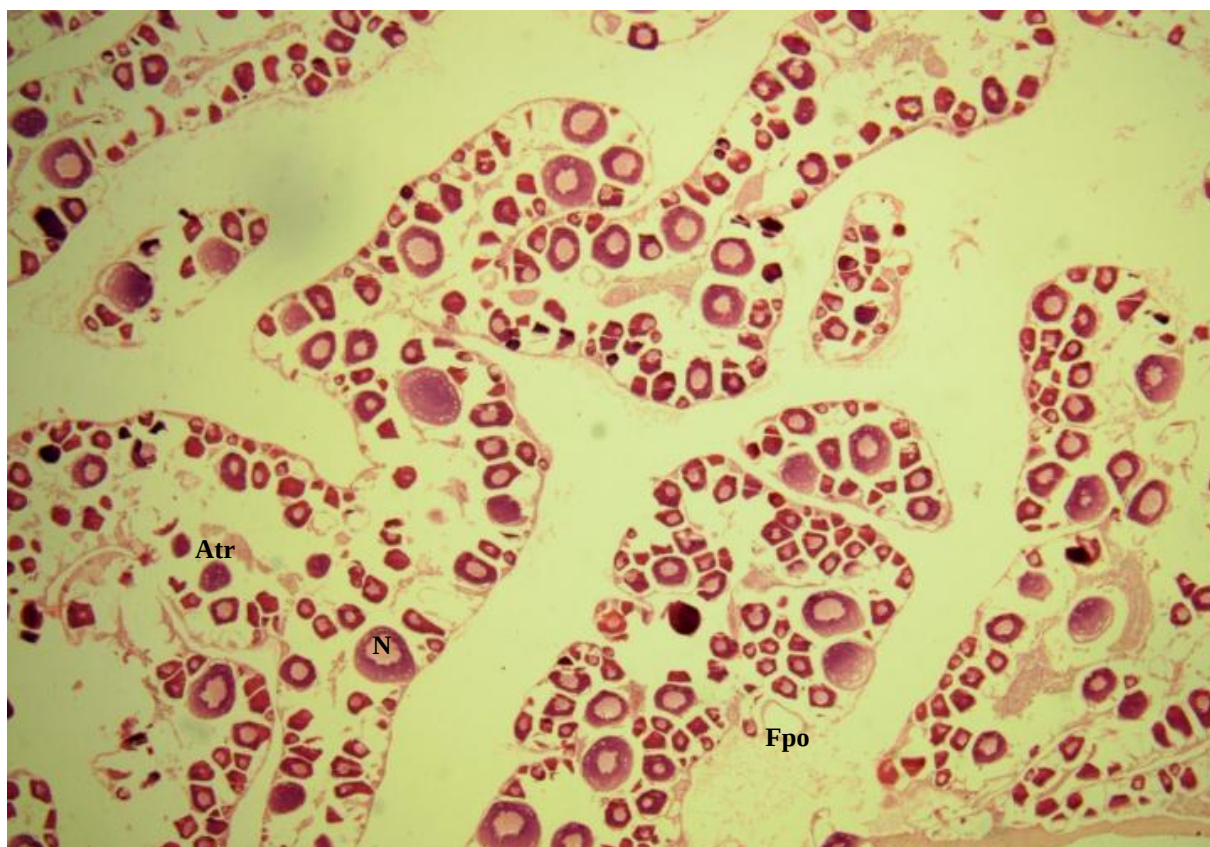


Figure 39. Caractéristiques histologiques des ovaires au stade «repos sexuel». Des ovocytes à différents stades de maturité (Gr x 40). Atr : ovocytes atretiques, Fpo : follicules post-ovulatoires, N : noyau

1.8.Fécondité

La fécondité partielle estimée en nombre d'ovocytes hydratés chez les femelles mûres de la sardinelle ronde se situe entre 9 397 ovocytes pour une femelle de 27 cm de longueur totale et 176 712 ovocytes pour une femelle de 33,5 cm de longueur totale. La fécondité partielle moyenne a été calculée à 71 858 ovocytes hydratés par femelle.

La fécondité relative moyenne a été estimée à 193 ovocytes hydratés par gramme de femelle et se situe entre 41 et 418 ovocytes par gramme de femelle (Tableau 5).

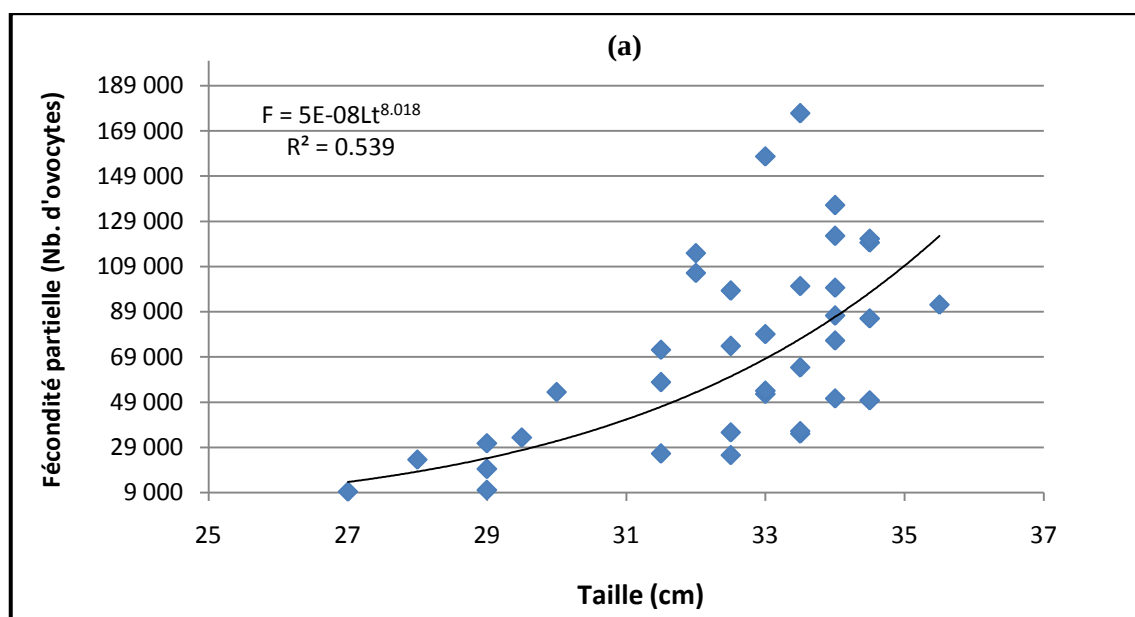
Tableau 5. Valeurs estimées des fécondités partielles et relatives pour les femelles matures de *Sardinella aurita*

	Moyenne	Écart-type	Minimale	Maximale
Fécondité partielle (nombre d'ovocytes/femelle)	71 858	42224	9 397	176 712
Fécondité relative (Nombre d'ovocytes/g de poids total)	193	98	41	418

L'évolution de la fécondité partielle en fonction de la taille (Longueur totale) et du poids total pour les femelles matures de la sardinelle ronde a montré qu'il existe une corrélation positive entre ces paramètres et la fécondité (Figure 40), exprimée par les équations suivantes :

$$F = 5 \times e^{-8} \times Lt^{8,02} \quad (n = 36 \text{ et } R^2 = 0,54)$$

$$F = 0,048 \times Pt^{2,39} \quad (n = 36 \text{ et } R^2 = 0,56)$$



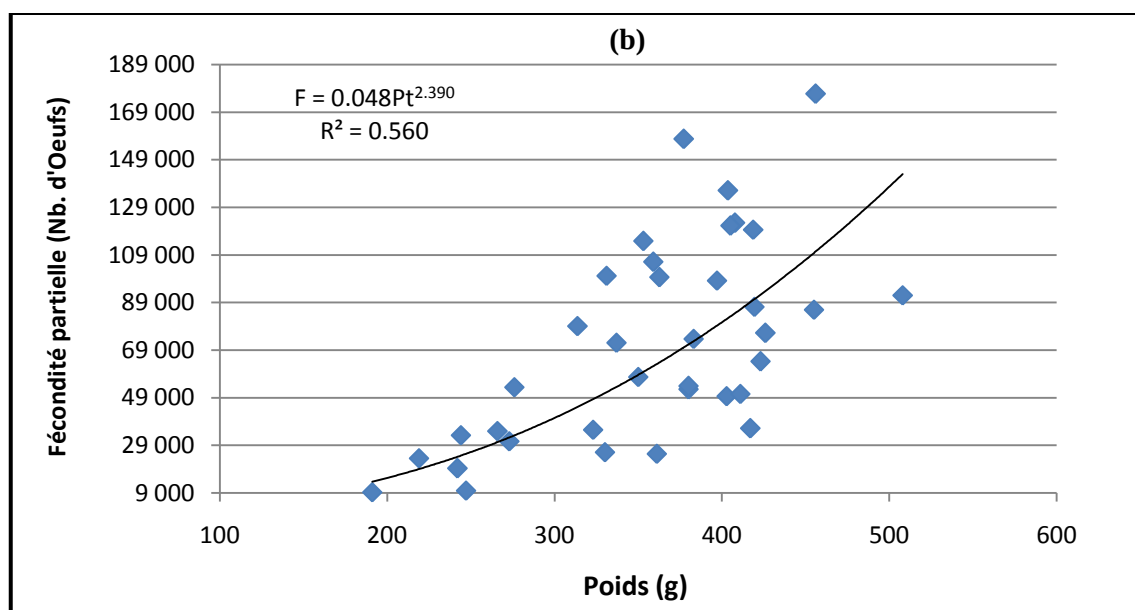


Figure 40. Relation entre la fécondité partielle, la longueur totale (cm) (a) et le poids total (g) (b) des femelles matures de *Sardinella aurita* durant la période d'étude 2015 et 2016

2. Discussion

Sex-ratio

Pour une meilleure connaissance des structures démographiques, la détermination des proportions des sexes est très utile. Le sex-ratio est exprimée comme le rapport du nombre de mâles et de femelles au sein d'une espèce.

Chez les deux espèces de sardinelles, les résultats obtenus montrent que le sex-ratio de toutes tailles confondues est voisine de 1 sauf qu'en 2016 pour la sardinelle ronde où le sex-ratio a été de l'ordre de 0,39. Ces résultats sont en accord avec les résultats de plusieurs travaux réalisés dans la sous-région (Boëly, 1980 ; Camarena-Luhers, 1986 ; Diouf et al., 2010).

Les femelles sont plus nombreuses que les mâles pour les deux espèces. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par plusieurs auteurs tels que Bensahla-Talet et al. (1988) en Algérie et Lawson et al. (2013) en Nigeria. Boëly (1980) a signalé que chez les Clupéidés les femelles sont souvent plus nombreuses que les mâles. Andreu et Rodriguez-Roda (1952) dans les îles Baléares notent également une prédominance importante des femelles, en particulier pendant la saison de reproduction des espèces. Conand (1977) sur la côte sénégalaise, rapporte un rapport sexuel légèrement en faveur des femelles (52,20 %). Dans la ZEE mauritanienne, Cheibany (1990) observe que le rapport sexuel est en faveur des femelles (51,55 %). Le tableau 6 récapitule les valeurs moyennes des sex-ratios trouvées au Maroc et dans la sous-région.

Tableau 6. Valeurs moyennes de la sex-ratio trouvées par différents auteurs

Espèces	Sex-ratio	Région	Références
<i>Sardinella aurita</i>	1,2	Sénégal	Camarena-Luhrs (1986)
	0,98	Sénégal	Diouf et al. (2010)
	1,56	Mauritanie	Lawal et Mylnikov (1988)
	0,56	Maroc	Baali et al. (2015)
	0,93	Maroc	Baali et al. (2017a)
<i>Sardinella maderensis</i>	1,00	Sénégal	Boëly et al. (1982)
	0,78	Sénégal	Diouf et al. (2010)
	1,48	Mauritanie	Lawal et Mylnikov (1988)
	0,81	Maroc	Baali et al. (2017a)

Il est à noter que la proportion des sexes varie en fonction des gammes de taille.

La prédominance des femelles pourrait être expliquée par le caractère migrateur chez les deux espèces (Deme et al., 2012).

En effet, chez les espèces migratrices, la montée des femelles vers les lieux de fraie est d'ordinaire plus tardive que celles des mâles. Il en résulte des variations dans le sex-ratio avec une prédominance des mâles parmi les premiers individus arrivés, suivie d'une inégalité numérique des femelles et des mâles puis d'une prédominance des femelles à la fin de la migration (Diouf et al., 2010).

La supériorité numérique des femelles peut résulter de plusieurs facteurs parmi lesquels le plus crédible serait une plus grande longévité des femelles, un développement plus précoce des ovaires qui de ce fait seraient plus facilement reconnaissable que les testicules, une vulnérabilité des mâles plus importante par rapport aux dispositifs d'engrenage de la pêche ou encore les mouvements migratoires différents de ceux des mâles (Khemiri et Gaamour, 2009).

Les résultats de nos études réalisées en 2015 sur les échantillons de *Sardinella aurita* collectés le long du littoral sud marocain donnent un sex-ratio inférieure à celui des travaux antérieurs que nous avons effectués en 2017 sur la même espèce et dans la même zone. Ces écarts tiennent vraisemblablement en partie à l'échantillonnage propre à chaque pêcherie et à la taille moyenne des échantillons.

Sex-ratio en fonction de la taille et de la saison

Dans la présente étude, nous avons remarqué des grandes variations du sex-ratio en fonction des différents groupes de taille chez les deux espèces. Ces variations sont dues à l'échantillonnage propre à chaque espèce et à la gamme de taille échantillonnée. Dans les eaux libyennes, Pawson et Giama (1985) ont signalé des différences dans le sex-ratio en fonction de la taille qui était liée aux différences sexuelles de croissance, de mortalité ou de reproduction.

Pour les deux espèces, il a été noté que les femelles sont plus abondantes que les mâles pour les grandes tailles, ainsi que pour les petites tailles chez la sardinelle ronde. Ce qui est pareil dans le nord de la mer Égée et dans les eaux algériennes et tunisiennes où les sardinelles femelles dominant généralement dans les grandes classes de tailles (Roy et al., 1989 ; Quatey et Maravelias, 1999). La dominance des femelles dans les classes de petites et de grandes tailles observée chez *Sardinella aurita* semble être une règle générale chez les Clupéiformes car elle a été observée chez d'autres espèces comme la sardine (*Sardina pilchardus*), l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) (Khemiri et Gaamour, 2009 ; Baali et al., 2017b) et l'anchois du Pérou (*Engraulis mordax*) (Parrish et al., 1986).

En plus de ces variations du sex-ratio en fonction des tailles, des variations saisonnières significatives ($p < 0,05$) du taux de féminité ont été observées chez les sardinelles pendant toute la période d'étude.

Cycle de ponte

Dans le sud du Maroc, la période de ponte commence en février et dure jusqu'en juillet pour *Sardinella aurita*. Alors que pour *Sardinella maderensis*, elle se déroule au printemps et en été. Selon les variations mensuelles de RGS et les stades de maturité sexuelle de ces espèces, un maximum de RGS pour la sardinelle ronde est enregistré au printemps (avril) et pour la sardinelle plate en été (juillet). Les résultats que nous avons trouvés concernant la sardinelle ronde concordent avec ceux de Berraho et al. (2005) qui ont signalé que dans la zone sud de l'Atlantique marocaine, *Sardinella aurita* a une ponte principale qui commence en mars (faible présence des larves) et se poursuit jusqu'en été. Comme chez la plupart des poissons marins, le moment de la ponte de la sardinelle ronde a évolué en tant que mécanisme assurant la synchronisation de l'apparence des larves et du pic de la production primaire (Cushing, 1975 ; Blaxter et Hunter, 1982). Cependant, la variation annuelle de l'apparition des sardinelles dans la saison de reproduction est due à des différences de température, avec un RGS corrélée positivement avec la température (Tsikliras, 2004). L'existence d'une corrélation positive entre le RGS et la température n'implique pas nécessairement un effet direct de la température. D'autres

facteurs tels que la disponibilité des aliments peuvent également jouer un rôle (Roy et al., 1989). Dans le nord-ouest de la Méditerranée, la durée interannuelle et les différences de début de reproduction des sardinelles étaient liées aux différences de température (Palomera et Sabatés, 1990). En plus, Ben Tuvia (1960) a noté que les températures idéales de l'eau pour une maturation des gonades des sardinelles rondes sont supérieures à 20 °C. Ettahiri et al. (2003) ont également relié la ponte des sardinelles à des températures élevées de l'eau. Cependant, en raison d'une alimentation défavorable ou des mauvaises conditions environnementales, la maturation des gonades et le processus de frai des sardinelles peuvent être retardés (Gaamour et al., 2001).

Les sardinelles pourraient être des espèces modèles pour comprendre les effets des changements climatiques sur les populations de poissons en raison de la stratégie souple qui résulte de sa plasticité démographique et de sa large gamme géographique (Bouaziz et al., 2001).

La période de reproduction de la sardinelle ronde dans la présente étude était longue (Baali et al., 2017a), alors que dans le nord de la mer Égée, elle était courte, de deux mois (Tsikliras et Antonopoulou, 2006). En effet, la saison de reproduction des poissons qui vivent dans des milieux présentant des variations climatiques saisonnières prononcées est presque toujours limitée à une période brève et spécifique de l'année (Lévéné, 1993). Une augmentation de l'antagonisme chez les poissons clupéidés à certains stades de leur cycle de vie (Cury et Fontana, 1988) a provoqué l'évolution de différentes stratégies de reproduction pour l'éviter dans des stades précoces et plus vulnérables (Samba, 2011). La succession temporelle (Franqueville, 1980 ; Samba, 2011) et la ségrégation spatiale (Cury, 1988) des larves de clupéidés sympatriques réduisent la concurrence de l'habitat et maximisent l'utilisation des ressources (Samba, 2011).

Dans d'autres zones de leurs distributions, la reproduction de la sardinelle ronde est très variable en ce qui concerne la période et la durée de la ponte (Fontana, 1969), présentant des variations interannuelles avec un (Fontana, 1969) ou deux (Bouaziz, 2001) pics d'activité reproductive (Tableau 7).

Au niveau de la sous-région, l'ensemble des auteurs ayant étudié la variation mensuelle du RGS des femelles et des mâles de la sardinelle ronde ou ayant effectué des campagnes de prospection de larves s'accorde sur l'existence d'une activité sexuelle très étalée au cours de l'année avec deux saisons principales de ponte séparées par des périodes de repos plus ou moins marquées (Boëly et al., 1982 ; Fréon, 1986 et 1988 ; Cury et Fontana, 1988 ; Lévéné, 1993 ; Diouf et al., 2010 ; Samba, 2011). Dans la zone Sénégal-mauritanienne, la période de reproduction la plus importante débute en mai au sud de Dakar. Elle se poursuit en juin sur l'ensemble des côtes sénégalaises et vers le nord jusqu'au cap Timiris (19°N) pour se terminer en juillet-août devant les côtes mauritaniennes. La ponte est fractionnée, une partie seulement des ovocytes arrivés à maturité étant éjectée. Chaque individu est capable de pondre plusieurs fois en une même saison de reproduction. Les larves se concentrent dans de vastes nourriceries, localisées plus

particulièrement de la Gambie à la presqu'île du Cap-Vert, le long des côtes mauritaniennes entre 17° et 18° N, à l'intérieur du banc d'Arguin et dans la baie du Lévrier. En octobre-novembre, on observe sur les côtes sénégalaises une seconde poussée reproductive à laquelle ne participent que de jeunes reproducteurs. Cette ponte est côtière et son volume varie fortement d'une année à une autre. De janvier à mars, des pontes de faibles importances ont encore lieu aux abords du plateau continental et le devenir des larves entraînées alors vers le sud et le large est incertain (Conand, 1977 ; Boëly et al., 1978). Une oscillation saisonnière nette du RGS est notée chez *Sardinella aurita* avec des valeurs minimales pendant la saison chaude (juillet et août) et maximales pendant la saison froide (novembre et décembre) période à laquelle 100% des femelles sont matures.

L'étude de Samba (2011) réalisée sur des échantillons collectés mensuellement de janvier à décembre 2010 au niveau de la Baie de Hann à Dakar sur la presqu'île du Cap-Vert (Projet JEA LABEP-AO), montre que la période principale de reproduction de *Sardinella aurita* se situe en octobre-novembre au moment de la phase de transition saison chaude/saison froide au large de la presqu'île du Cap-Vert. Elle est précédée d'une période de reproduction d'amplitude beaucoup plus faible en février-mars, probablement occasionnelle.

Les résultats de Diouf (2010) et Samba (2011) corroborent en partie avec les autres études antérieures. Il est à noter que les dates, le nombre et l'importance des pics de la première période de ponte sont variables d'une année à une autre. La différence observée sur les périodes pourrait être aussi liée à une variabilité interannuelle du milieu qui a un impact réel sur le cycle de reproduction des espèces (Boëly, 1982).

Dans la zone mauritanienne, la ponte aurait lieu de mai à juillet (Franqueville, 1980). Chavance et al. (1991) ont trouvé également deux périodes de reproduction, l'une en juillet-août et une autre en décembre-janvier. L'étude de Pascual-Alayón et al. (2008) conclue à l'existence d'une période principale de ponte (juin, juillet et août) et une seconde (novembre et décembre).

Ainsi, la reproduction de la sardinelle ronde est très irrégulière, la durée et l'importance des pontes pouvant varier dans une même zone et d'une zone à une autre (Tableau 7).

Tableau 7. Périodes de reproduction de la sardinelle ronde par pays

Zone-auteurs / Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mauritanie / Chavance et al. (1991)	+						+	+				+
Mauritanie / Wague et Mbodj (2002)									+	+	+	
Mauritanie / Pascual-Alayón et al. (2008)						+	+	+			+	+
Sénégal / Conand (1977)					+	+				+	+	
Sénégal / Boëly et al. (1982)		+	+	+	+					+		
Sénégal / Cury and Fontana (1988)		+	+	+	+	+			+	+	+	
Sénégal / Diouf et al. (2010)			+	+	+					+		
Sénégal/ Samba (2011)										+	+	+
Afrique nord-ouest / Pham-Thuoc et Szypula (1973)					+	+	+	+	+	+	+	
Maroc-Cap Vert / Boëly et Fréon (1979)					+	+	+	+	+	+	+	
Maroc/ Baali et al. (2017a)		+	+	+	+	+	+				+	+

Pour *Sardinella maderensis*, l'activité sexuelle est intense en mars, avril et juillet avec un maximum en juillet. Au Sénégal, la ponte est continue toute l'année, mais il existe toujours au moins un maximum de reproduction ; des œufs et larves de la sardinelle plate sont présents tout au long de l'année sur les côtes sénégalaises (Conand, 1977). Cependant, l'activité sexuelle est plus intense de février à octobre avec un maximum situé entre mai et août. Ce pic présente une forte variabilité interannuelle (Conand et Fagetti, 1971 ; Boëly, 1980 ; Camarena-Lurhs, 1986 ; Fréon, 1988 ; Diouf et al., 2010 ; Samba, 2011). Certaines années, une ponte de moindre importance a lieu en novembre-décembre (Camarena-Lurhs, 1986 et Samba, 2011). Les résultats obtenus par Diouf et al. (2010) montrent une reproduction continue durant toute l'année pour *Sardinella maderensis*. La période d'activité génésique présente des fluctuations moins marquées, avec des valeurs minimales en saison froide (octobre, novembre, décembre et janvier) et maximales en début de saison chaude (mars, avril et mai). La maturation des gonades est plus continue chez les femelles de *Sardinella maderensis*. Les résultats de Samba (2011) mettent aussi en évidence deux périodes de reproduction principales chez *Sardinella maderensis*, une

ponche étalée qui s'effectue de mai à août pendant la saison chaude et une autre en octobre-novembre pendant la phase de transition saison chaude-saison froide. L'étude récente de Ba et al. (2016) au Sénégal a montré que la sardinelle plate a deux périodes de reproduction, une première entre avril et octobre et une deuxième entre le début de janvier et la fin de mois de février.

Conand (1977) rapporte que l'apparition de fortes densités larvaires se produit à une période assez voisine d'une année à une autre avec cependant un décalage d'une ou de deux semaines. Il semble donc que les dates et l'importance des pics de période de ponche sont variables d'une année à une autre. Le tableau 8 montre les différentes périodes de ponche de la sardinelle plate dans différentes zones.

Tableau 8. Périodes de reproduction de la sardinelle plate par pays

Zone-auteurs / Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mauritanie / Boëly (1979)						+	+	+	+	+		
Mauritanie / Pascual-Alayón et al. (2008)						+	+					
Sénégal / Boëly (1979)					+	+	+	+				
Sénégal / Camarena-Luhers (1986)						+	+	+	+	+		
Sénégal / Diouf et al. (2010)					+	+	+	+	+	+		
Sénégal / Samba (2011)					+	+	+	+		+	+	
Maroc/ Baali et al. (2017a)		+	+	+			+					

Taille à la première maturité sexuelle

Dans la zone sud de l'Atlantique marocain, les sardinelles rondes femelles ont une taille de première maturité sexuelle plus petite que les mâles pour les deux années d'étude (2015-2016), par contre chez la sardinelle plate nous avons remarqué le contraire, les mâles atteignent leurs maturités sexuelles à une taille plus petite que les femelles. En effet, la maturation se produit généralement à la fin de la première année de vie pour les espèces de courte durée (Beverton, 1963). Le bimaturisme qui est commun chez les espèces avec accouplement promiscuit, fertilisation externe et croissance indéterminée (Stearns, 1992), est également observé pour d'autres populations de la sardinelle ronde (Quaatay et Maravelias, 1999 ; Gaamour et al., 2001).

En général, des valeurs élevées de L_{50} ont été rapportées pour les stocks Atlantiques de la sardinelle ronde (Wague et Mbodji, 2002 ; Samba, 2011 ; Baali et al., 2017).

En Méditerranée, cependant, la sardinelle ronde atteint la maturité sexuelle à une taille plus petite (Ananiades, 1952 ; Bouaziz et al., 2001 ; Gaamour et al., 2001) (Tableau 9).

Les facteurs environnementaux et génétiques peuvent influencer la taille à la première maturité sexuelle (Wootton, 1998 ; Sampson et Al-Jufaily, 1999) mais aussi, d'autres facteurs tels que la pression de pêche à long terme peuvent avoir un impact sur L_{50} (Jennings et al., 2001). Ce facteur peut avoir de graves répercussions sur la taille à la première maturité sexuelle, obligeant la population à mûrir à une plus petite taille afin d'assurer la survie de l'espèce (Olsen et al., 2004).

Tableau 9. Taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) de *Sardinella aurita* trouvée dans différentes zones. ($L_t = 1,21 \times L_f - 0,857$) (Boëly et al., 1982)

Areas	Sexes	L_{50} (cm)		Références
		Lf	Lt	
Sénégal	F	20	23	Conand (1977)
	F	18,5	21,5	Boëly (1982)
	F	18	21	Camarena-Luhrs (1986)
	F	20	23,6	Diouf et al. (2010)
	M	21	25	
	F	22,5	26	Samba (2011)
	M	18	21	
Mauritanie	F	21	26	Cheibany (1990)
	M	20	23	Chavance et al. (1991)
	F	29	34	Wague et Mbodji (2002)
	M	29	34	
	F	17	20	Pascual-Alayon et al. (2008)
	M	19	22	
Maroc	F	20	23,73	Baali et al. (2015)
	M	22	25,54	
	F	22,5	26,17	Baali et al. (2017a)
	M	23	26,78	
Algérie	F	12	14,1	Bouaziz et al., 2001
Mer Égée	F	13	15	Ananiades, 1952
	M	12	14	
Tunisie	F	13	15,2	Gaamour et al., 2001
	M	12	14,1	

L_{50} = Taille à la première maturité sexuelle, Lf = Taille à la fourche, Lt = Taille totale.

Pour la sardinelle plate, des études réalisées par Boëly (1980) et Lévéné (1993) au Sénégal ont montré que la L_{50} dans cette région est de 20 cm. Des études plus récentes au Sénégal donnent des tailles moyennes annuelles de première maturité sexuelle de 23,6 cm (Lt) et de 25 cm (Lt) pour les femelles et les mâles respectivement (Diouf et al., 2010) et 22 cm (Lt) pour les deux sexes (Samba, 2011) (Tableau 10).

Nous avons remarqué que la taille à la première maturité sexuelle trouvée au Sénégal et au Maroc était légèrement supérieure à celles observées dans d'autres zones d'étude. Cela s'explique par le taux de croissance plus élevé observé dans les eaux sénégalaises (Boëly et Fréon, 1979). La petite taille à la première maturité sexuelle trouvée dans le Rio Grande de Buba (Guinée Bissau) pourrait être liée à des conditions de salinité accrues qui peuvent conduire à la réduction de la taille (Panfili et al., 2004).

Tableau 10. Taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) de *Sardinella maderensis* trouvée dans différentes zones. ($L_f = 0,843 \times L_t$) (Holzlöhner et Kloxin, 1982)

Areas	Sexes	L_{50} (cm)		Références
		L_f	L_t	
Sénégal	F	16,5	20	Boëly (1980)
	F	17	21	Camarena-Luhrs (1986)
	F	18	22	Diouf (1996)
	M	17	21	
	F	22	27	Diouf et al. (2010)
	M	19	23	
	F	18	22	Samba (2011)
Guinée Bissau (Rio Grande Buba)	M	18	22	
	F	12	15	Kromer (1994)
Maroc (South of Atlantic)	M	12	15	
	F	18	21,76	Baali et al. (2017a)
	M	17	20,75	

L_{50} = Taille à la première maturité sexuelle, L_f = Taille à la fourche, L_t = Taille totale.

Echelle microscopique des stades ovocytaires chez la sardinelle ronde

L'utilisation de la morphologie des gonades pour la détermination des stades de maturation sexuels reste un indicateur imprécis de l'état de reproduction et ne permet pas de déterminer le degré de maturité des ovaires. De ce fait, une analyse microscopique devient indispensable pour déterminer la maturation des gamètes et confirmer l'analyse macroscopique.

La sardinelle ronde est une reproductrice multiple qui pond plusieurs fois au cours d'une même saison de reproduction. Le développement des ovocytes se fait de façon asynchrone, c'est-à-dire que tous les œufs n'atteignent pas la maturité simultanément. On retrouve des ovocytes de différents stades et de différentes tailles tout au long de la période de reproduction.

La ponte en parcelle est caractéristique de la plupart des téléostéens (Cortés et Aron, 2011), puisque les individus se reproduisent presque toute l'année contrairement aux espèces des eaux tempérées où la variation saisonnière est notoire (Vazzoler, 1996), ils ont une seule saison de ponte et la période de reproduction est bien marquée, comme par exemple *Trachinotus marginatus* (Lemos et al., 2011).

Dans la présente étude, à l'aide de l'analyse histologique des gonades des femelles de la sardinelle ronde dans l'Atlantique sud marocain, nous avons pu identifier cinq stades de maturation à savoir : stade I : immature, stade II : pré-ponte, stade III : ponte, stade IV : post-ponte, stade V : repos sexuel. Ces mêmes stades ont été retrouvés par Bouhali et al. (2015) chez *Sardina pilchardus* du golfe d'Annaba (Algérie), par Chakrabarti et Barun (2017) chez *Gudusia chapra*.

L'étude réalisée chez les sardinelles par Fontana (1969) dans la région de la Pointe Noire (Congo) a montré l'existence de six stades sexuels. Ces mêmes stades ont été retrouvés chez *Sardina pilchardus* (Pinto et Andreu, 1957 ; Amenzoui, 2010). Le Duff (1997) a décrit les mêmes stades chez la sardine ainsi que d'autres poissons téléostéens (*Solea vulgaris*, *Scomber scombrus*, *Trachurus trachurus*). Ces résultats différents montrent que le processus de maturation des ovaires semble variable chez les Clupéidés.

Pour différencier entre le stade immature du stade de repos sexuel, la taille à la première maturité a été utilisée en vue de distinguer les poissons qui n'ont jamais pondu des poissons qui sont au stade de repos après une période de ponte. Ces deux stades possèdent tous les deux la même distribution de fréquence des diamètres des ovocytes et pratiquement les mêmes caractères histologiques.

Fécondité

Nos études concernant la fécondité ont porté seulement sur la sardinelle ronde à cause du nombre très réduit des femelles au stade de ponte chez la sardinelle plate.

La sardinelle ronde est une espèce à forte fécondité qui varie au cours du temps dans le même milieu et également en fonction du poids et de la taille des individus (Fontana et Pianet, 1973 ; Conand, 1977).

Les résultats obtenus ont montré que la fécondité relative moyenne obtenue est estimée à 193 ± 98 ovocytes par gramme de poisson. Nos valeurs sont faibles par rapport à celles obtenus par Samba (2011) dans la zone sénégalaise (644 ± 180 ovocytes par gramme de poisson), et aussi à

celles estimées par Conand (1977) et FAO (1979) dans la même zone (Sénégal). Celles-ci variaient de 370 à 430 ovocytes par gramme de poisson soit en moyenne 400 ovocytes par gramme de poisson pour les femelles de plus de 113 g.

3. Conclusion

L'étude de la biologie de reproduction des deux espèces de la sardinelle (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) en Atlantique sud marocain a montré que :

Pour *Sardinella aurita* :

- Le sexe-ratio est en faveur des femelles pour les deux années d'étude, ce paramètre varie significativement en fonction des saisons et de la taille des individus.
- Les deux sexes de la sardinelle ronde sont en activité de reproduction durant la période de février jusqu'à juillet avec un pic de ponte au printemps (avril).
- Pour les deux sexes, la taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) estimée en 2015 a été supérieure à celle en 2016.
- La valeur de la fécondité relative moyenne que nous avons trouvée est inférieure aux valeurs estimées par d'autres auteurs de la sous-région, notamment au niveau de la zone du Sénégal.

Pour *Sardinella maderensis* :

- Le sexe-ratio est en faveur des femelles durant toute la période d'étude et il varie significativement en fonction de la taille des individus.
- La sardinelle plate est en activité de reproduction durant la période de février à avril et en juillet avec un pic de ponte au printemps (avril) pour les femelles et en été (juillet) pour les mâles.
- La taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) des femelles a été supérieure à celle des mâles durant la période d'étude 2015-2016.

Les résultats obtenus dans la présente étude clarifient certains aspects de la biologie de la reproduction des sardinelles sur la côte de l'Atlantique sud marocain et montrent que les paramètres de la reproduction de cette espèce à la limite nord de son aire de répartition sont différents des valeurs de la sous-région (Sénégal et Mauritanie) avec lesquelles on partage le même stock.

L'utilisation des analyses histologiques pour les sardinelles rondes femelles a confirmé l'existence de cinq stades de développement ovocytaire.

II. Étude de la biologie de la croissance des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) de l'Atlantique sud marocain

1. Résultats

1.1. Facteur de condition (K)

Sardinella aurita

L'évolution mensuelle du facteur de condition (K) moyen de la sardinelle ronde est représentée dans la figure 41.

Nous avons observé une augmentation du K à partir du mois de février et il continue à augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale en juin, puis il décroît jusqu'à une valeur minimale en janvier.

Comme pour le RGS, les courbes du facteur de condition (K) évoluent de la même façon chez les deux sexes.

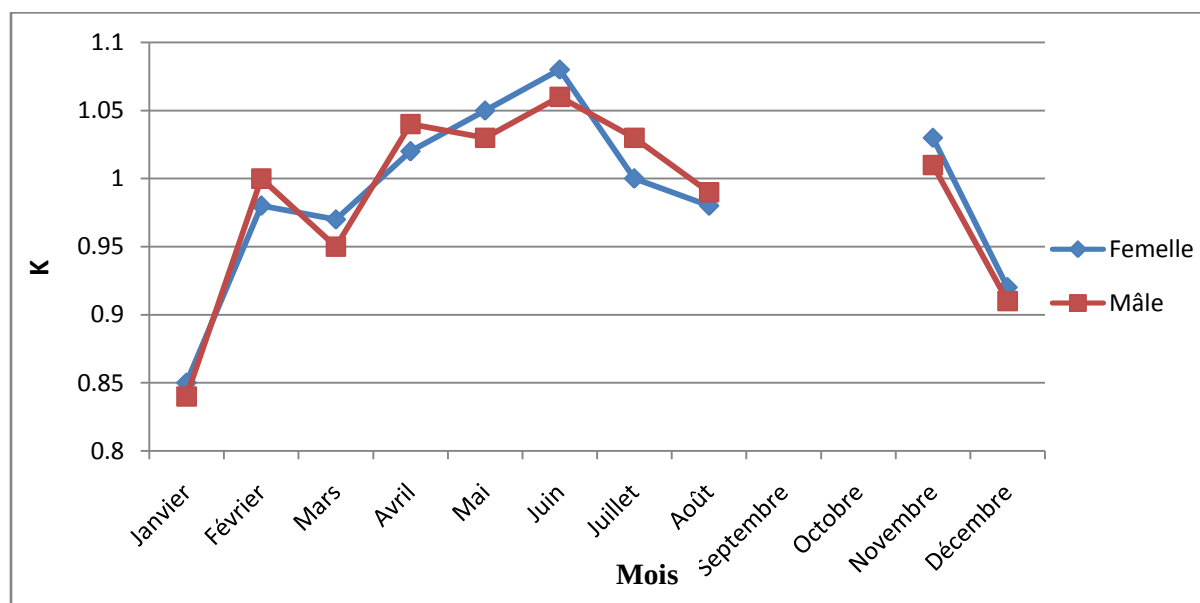


Figure 41. Évolution mensuelle du facteur de condition (K) des deux sexes de la sardinelle ronde durant la période 2015-2016

Sardinella maderensis

L'évolution mensuelle du facteur de condition (K) moyen de la sardinelle plate est représentée dans la figure 42.

Nous avons constaté une augmentation de ce facteur à partir du mois de février pour atteindre une valeur maximale en avril ensuite nous avons noté une valeur minimale en juillet.

Comme pour la sardinelle ronde, les courbes du facteur de condition des deux sexes évoluent de la même façon (Figures 42).

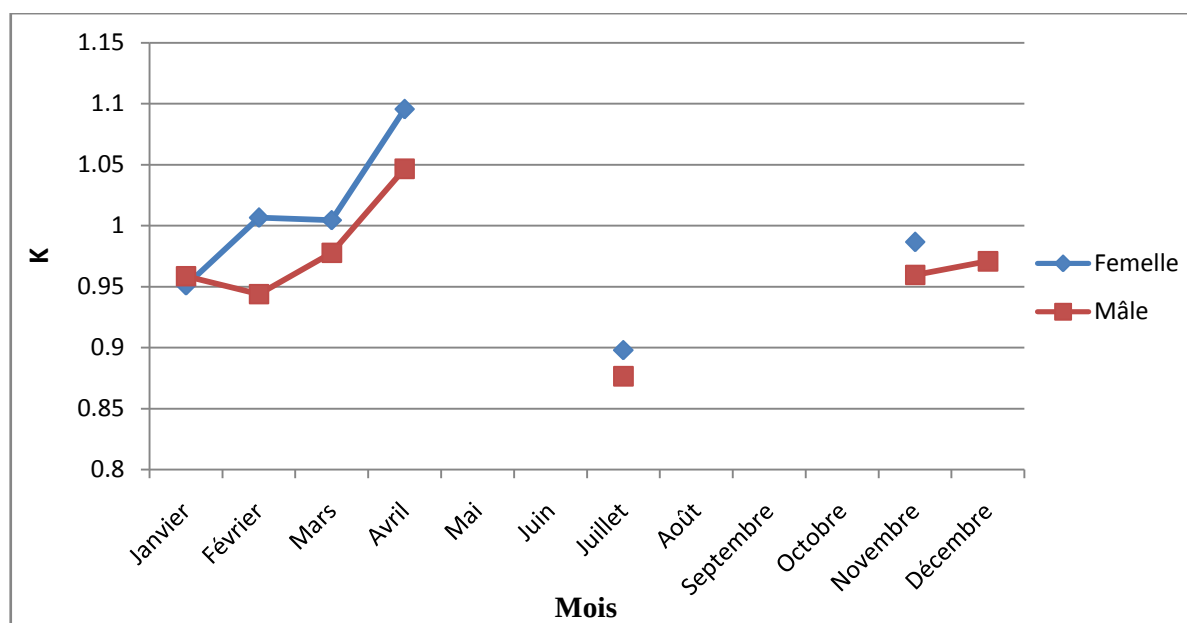


Figure 42. Évolution mensuelle du facteur de condition (K) des deux sexes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016

1.2.Relation taille-poids

La relation entre la taille totale et le poids total a été étudiée pour les deux sexes séparés et combinés des deux espèces de sardinelle.

Sardinella aurita

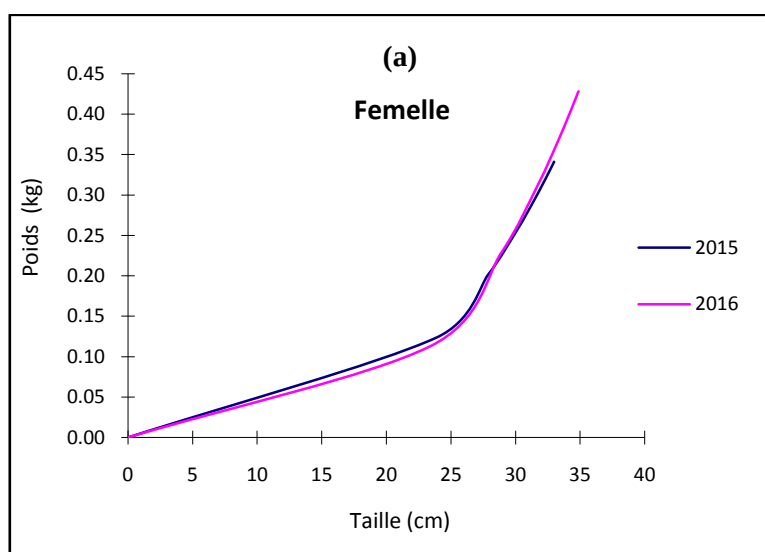
Les paramètres de l'équation : $P = a \times L^b$ de Ricker (1980) ont été décrites dans le tableau ci-dessous. Pour la sardinelle ronde, nous avons remarqué que le paramètre "b" de la relation taille-poids, calculé pour les deux sexes combinés, et pris séparément, ainsi que pour les deux années d'échantillonnage, est significativement supérieur à 3, ce qui montre qu'il s'agit d'une allométrie majorante ; qui signifie que le poids de la sardinelle ronde croît plus vite que la taille (Tableau 11).

Tableau 11. Paramètres de la relation taille-poids total estimés pour *Sardinella aurita* durant la période d'étude 2015 et 2016

Année	Sexe	a	b	R ²	n	t _{obs}	t _{thé}	Type d'allométrie
2015	Combiné	0,006	3,124	0,96	533	44,49	1,64	Majorante
	Femelle	0,006	3,132	0,97	276	40,12	1,64	Majorante
	Mâle	0,006	3,118	0,93	257	23,5	1,64	Majorante
2016	Combiné	0,003	3,342	0,99	186	155,89	1,65	Majorante
	Femelle	0,003	3,342	0,99	134	131,97	1,66	Majorante
	Mâle	0,003	3,318	0,98	52	54,35	1,67	Majorante

Les courbes de la relation taille-poids de la sardinelle ronde sont représentées graphiquement pour les femelles et les mâles durant les deux années 2015 et 2016 (Figure 43).

La représentation sur un même graphique montre que pour une même taille, le poids des femelles en 2015 est légèrement supérieur à celui en 2016 (Figure 43a). Le même résultat a été observé pour les mâles concernant les deux années (Figure 43b). La différence entre les deux années est très petite à partir de la taille 25 cm pour les mâles et 28 cm pour les femelles.



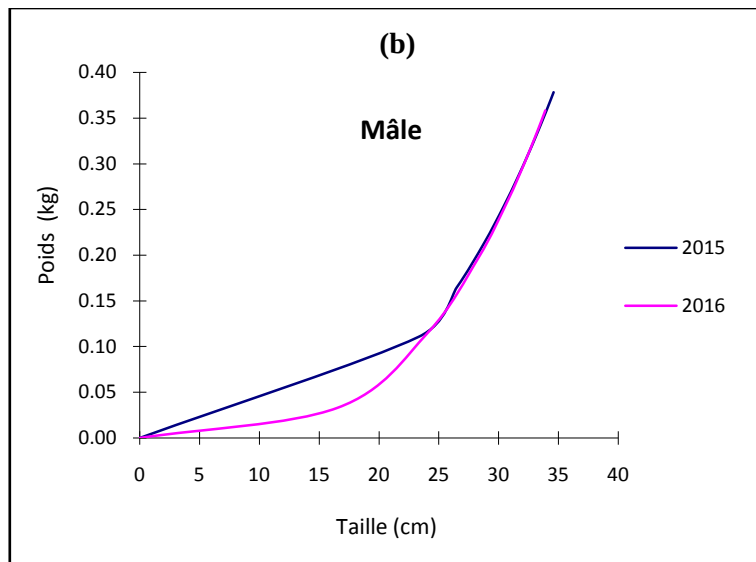


Figure 43. Comparaison des équations de la relation taille-poids (g) des femelles (a) et mâles (b) de la sardinelle ronde en 2015 et 2016

Sardinella maderensis

Le paramètre “b” de la relation taille-poids calculé pour les deux sexes combinés de la sardinelle plate est significativement inférieur à 3 (test de Student). Pour les deux sexes séparés, le test statistique de Student montre que le facteur “b” est significativement supérieur à 3 pour les femelles ce qui signifie une allométrie majorante et il est significativement inférieur à 3 pour les mâles ce qui signifie une allométrie minorante (Tableau 12).

Tableau 12. Paramètres de la relation taille-poids total estimés pour *Sardinella maderensis* durant la période d’étude 2015 et 2016

Sexe	a	b	R ²	n	t _{obs}	t _{thé}	Type d’allométrie
Combiné	0,011	2,95	0,84	102	4,02	1,66	Minorante
Femelle	0,007	3,07	0,85	56	4,43	1,68	Majorante
Mâle	0,019	2,79	0,85	46	11,13	1,68	Minorante

La représentation sur un même graphique montre que pour une même taille, le poids des mâles est légèrement supérieur à celui des femelles (Figure 44).

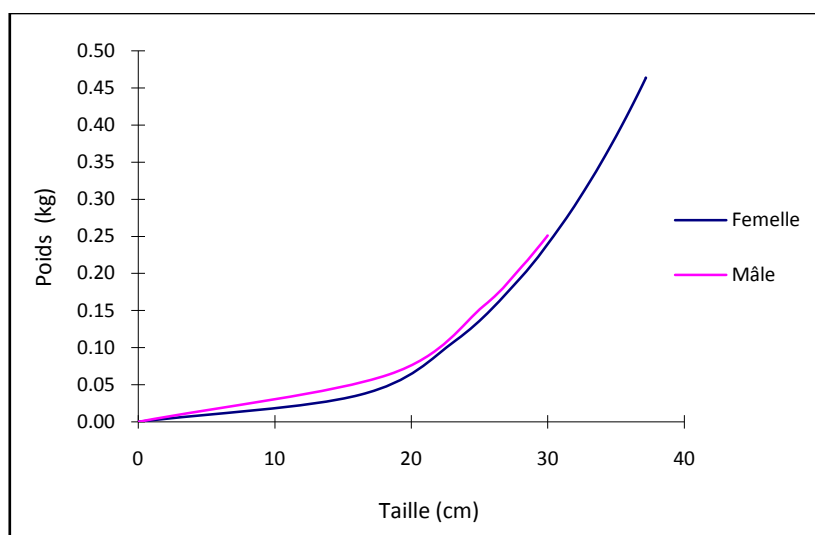


Figure 44. Comparaison des équations de la relation taille-poids (g) des femelles et mâles de la sardinelle plate durant la période 2015-2016

1.3. Allongement marginal et périodicité de formation des anneaux

La périodicité de l'apparition des anneaux sur les otolithes des sardinelles a été vérifiée à partir d'un échantillon de poissons prélevé mensuellement selon la disponibilité de ce dernier durant la période 2015-2016. Pour *S. aurita* l'évolution au cours de l'année des distances moyennes entre le dernier anneau visible et le bord de l'otolithe, montre qu'à partir de mars jusqu'au mois de juin, il y a une période active d'allongement marginal, au cours de laquelle la distance entre le dernier anneau hivernal et le bord de l'otolithe s'accroît (Figure 45). En novembre, l'allongement marginal est plus faible et correspond à la mise en place de la zone hyaline (zone de croissance ralentie). La zone opaque (zone de croissance rapide) se met en place durant les mois de mars à juillet. En ce qui concerne *S. maderensis* on voit que l'allongement marginal est important durant le mois d'avril et juillet et qui correspond à la mise en place de la zone opaque. En janvier, l'allongement marginal est faible et il correspond à la mise en place de la zone hyaline (Figure 46). Ces observations confirment l'identification des anneaux hyalins comme marques hivernales et leur utilisation possible comme marques annuelles dans la détermination de l'âge.

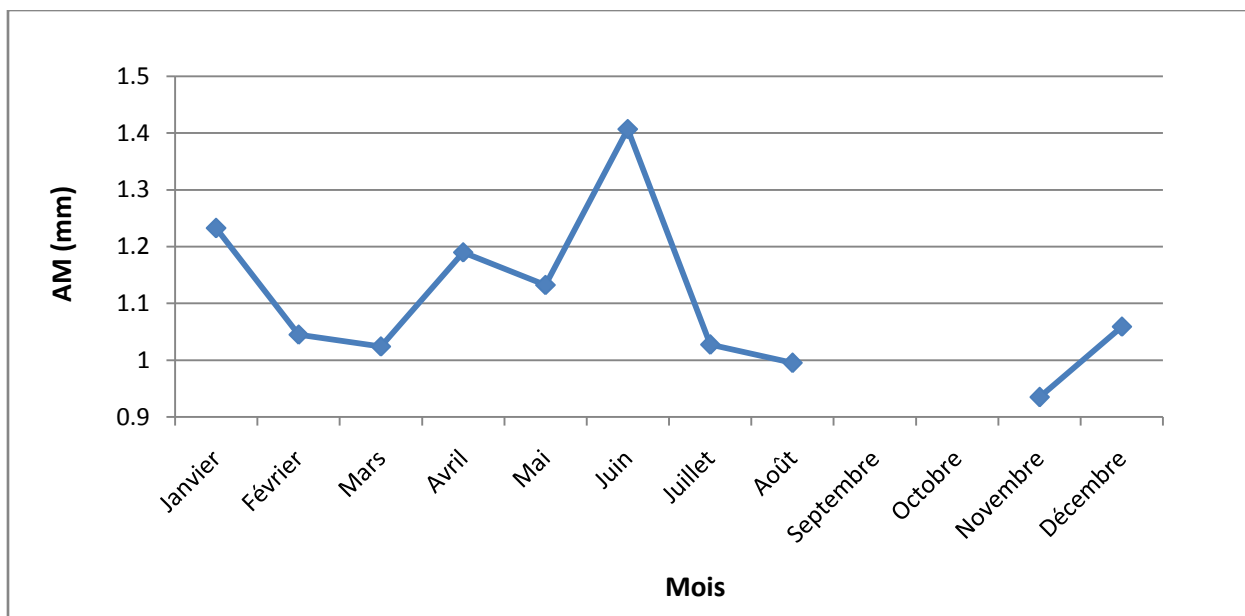


Figure 45. Allongement marginal (A.M.) des otolithes de la sardinelle ronde par mois durant la période 2015-2016

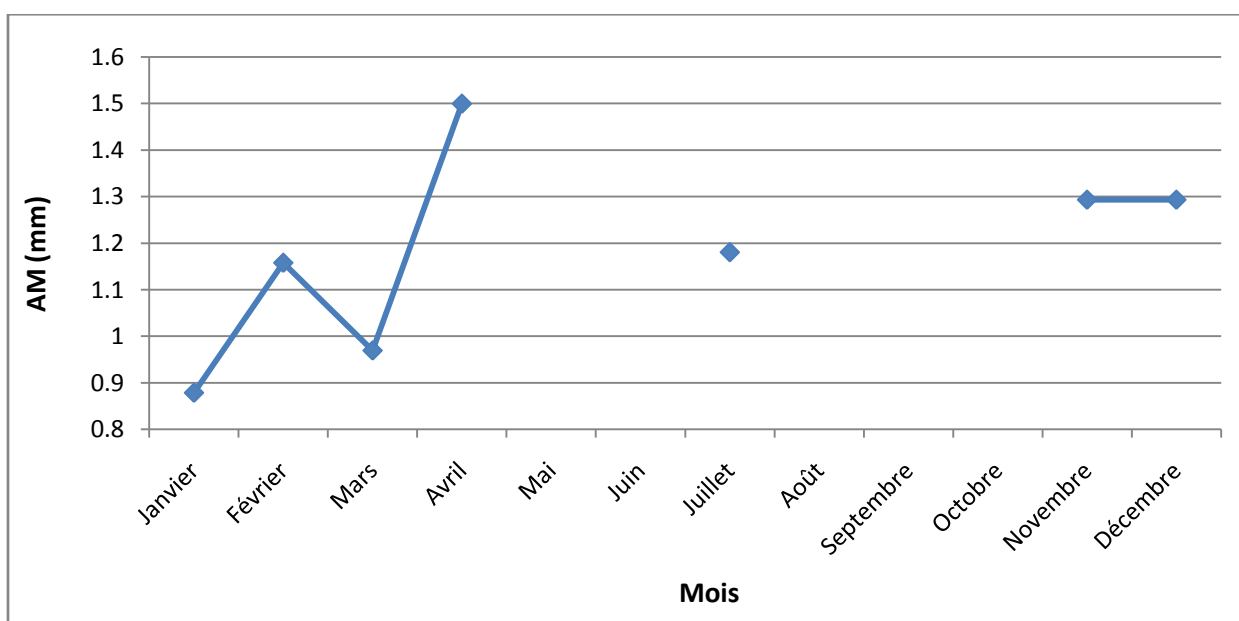


Figure 46. Allongement marginal (A.M.) des otolithes de la sardinelle plate par mois durant la période 2015-2016

1.4. Clés âge-taille

Sardinella aurita

Durant notre période d'étude (2015-2016) les plus jeunes individus capturées dans la zone sud de l'Atlantique marocaine appartenant au groupe d'âge 0+, mais en nombre très réduit (6 individus). En ce qui concerne les sardinelles rondes les plus âgées, elles appartiennent au groupe d'âge 5+. En 2015, les sardinelles rondes de groupe d'âge 3+ sont nombreuses, tandis que pour l'année 2016, les individus de groupe d'âge 1+ qui domine (Annexe 6).

Sardinella maderensis

Les résultats de la clé âge-taille ont montré que les classes d'âges minimales observées sont 2+ et 3+ pour les mâles et les femelles respectivement. Pour la classe d'âge maximale, elle est de 5+ pour les deux sexes. Ainsi, nous avons remarqué que durant notre période d'étude, les individus de groupe d'âge 4+ qui dominent (Annexe 7).

1.5.Croissance linéaire

Sardinella aurita

La croissance linéaire de la sardinelle ronde a été étudiée selon le modèle de Von Bertalanffy (1938). Les paramètres de l'équation de la croissance linéaire (L_{∞} , k et t_0) ont été estimés par la méthode de Gulland et Holt pour les deux sexes combinés et prises séparément.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les deux sexes combinés**

Les deux paramètres L_{∞} et k de l'équation de Von Bertalanffy ont été calculés par la régression linéaire $\Delta L/\Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t)$. L'équation de régression obtenue est la suivante :

Pour l'année 2015 :

$\Delta L/\Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t) = 10,36 - 0,28 \times \bar{L}(t)$, avec : $k = -b = 0,28 \text{ an}^{-1}$ et $L_{\infty} = -a/b = 10,32/0,28 = 36,86 \text{ cm}$. L'estimation de t_0 a été effectuée à partir de la relation :

$$y = -\ln(1 - \bar{L}(t) / L_{\infty}) = -k \times t_0 + k \times t = 0,56 + 0,3 \times t$$

D'où : $a = 0,56$; $b = 0,28$ et $t_0 = -a/b = -2 \text{ an}$.

Pour l'année 2016 :

$\Delta L/\Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t) = 10,84 - 0,27 \times \bar{L}(t)$, avec : $k = -b = 0,27 \text{ an}^{-1}$ et $L_{\infty} = -a/b = 10,84/0,27 = 40,15 \text{ cm}$. L'estimation de t_0 a été effectuée à partir de la relation :

$$y = -\ln(1 - \bar{L}(t) / L_{\infty}) = -k \times t_0 + k \times t = 0,23 + 0,27 \times t$$

D'où : $a = 0,26$; $b = 0,27$ et $t_0 = -a/b = -0,96 \text{ an}$.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les sardinelles rondes femelles**

En utilisant la même méthode de calcul, nous avons obtenus :

Pour l'année 2015 :

$k = -0,58 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 32,97 \text{ cm}$ et $t_0 = -0,72 \text{ an}$.

Pour l'année 2016 :

$k = 0,65 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 34,86 \text{ cm}$ et $t_0 = -0,18 \text{ an}$.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les sardinelles rondes mâles**

De même :

Pour l'année 2015 :

$k = 0,33 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 34,09 \text{ cm}$ et $t_0 = -1,9 \text{ an}$.

Pour l'année 2016 :

$k = 0,57 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 33,60 \text{ cm}$ et $t_0 = 0,44 \text{ an}$.

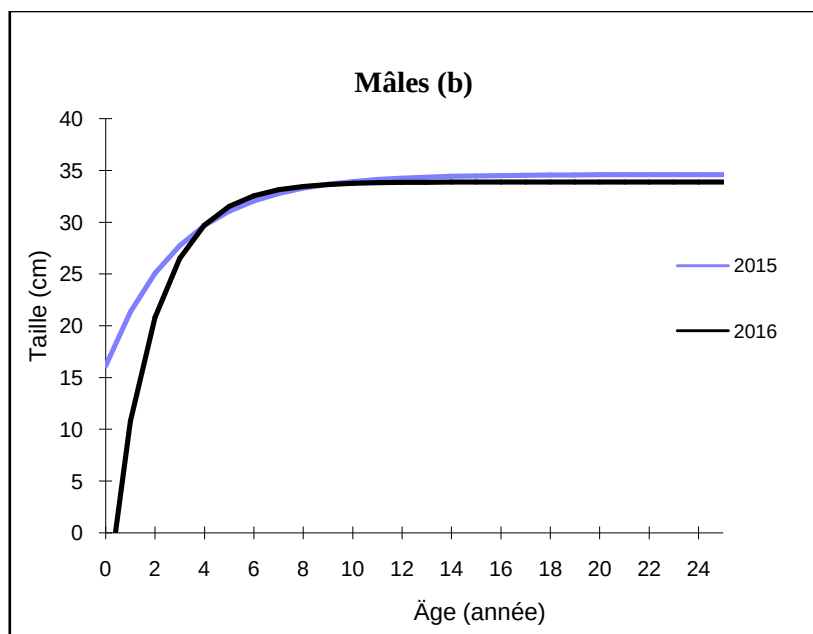
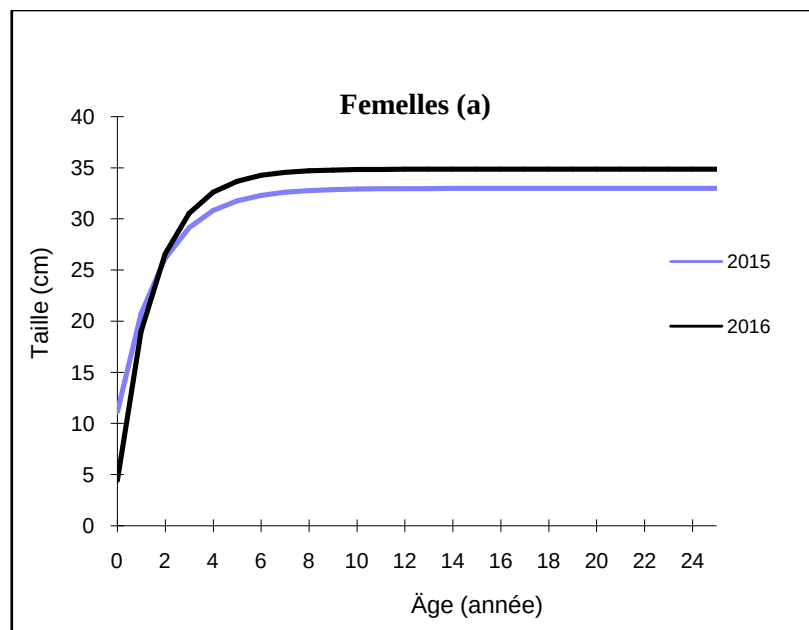
Le tableau 13 présente les paramètres de l'équation de Von Bertalanffy, retenus pour les deux sexes combinés et pris séparément durant les deux années d'échantillonnage (2015-2016).

Tableau 13. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) dans la période d'étude 2015 et 2016

Année	Sexe	L_{∞} (cm)	k (an^{-1})	t_0 (an)	$\emptyset'$	Effectif
2015	Combiné	36,86	0,28	-2,00	2,58	476
	Femelle	32,97	0,58	-0,72	2,80	245
	Mâle	34,09	0,33	-1,90	2,58	231
2016	Combiné	40,15	0,27	-0,96	2,64	133
	Femelle	34,86	0,65	-0,18	2,90	96
	Mâle	33,60	0,57	0,44	2,81	37

D'après le tableau 13 et la représentation graphique des équations de Von Bertalanffy (Figure 47) nous remarquons que la taille asymptotique des femelles (32,97 cm) est inférieure à celle des mâles (34,09 cm) pour l'année 2015 et l'inverse a été observé pour l'année 2016 (34,86 cm pour les femelles et 33,60 cm pour les mâles). En comparant le même sexe des deux années, les femelles en 2015 ont une croissance plus rapide que celles en 2016, mais pour les mâles on voit l'inverse. A partir de l'âge 2+ et pour un même âge, les femelles en 2016 présentent des tailles plus grandes que celles en 2015 (Figure 47a). Concernant les mâles, nous observons que pour un même âge, l'année 2015 présente des tailles supérieures à celles observées en 2016, sauf pour l'âge 6+ où nous avons remarqué l'inverse (sachant que les sardinelles n'atteignent pas ce groupe d'âge) (Figure 47b). La comparaison des courbes de croissance linéaire des sexes combinés des deux années montre qu'à partir de l'âge 0+ jusqu'à l'âge 5+, l'année 2015 présente des tailles supérieures à celles de 2016 et à partir de l'âge 5+, nous enregistrons l'inverse (Figure 47c).

En ce qui concerne l'indice de performance de croissance estimé dans cette étude, nous remarquons que les valeurs retrouvées en 2016 sont supérieures à celles en 2015, avec des femelles qui présentent des valeurs supérieures à celles des mâles pour les deux années d'études.



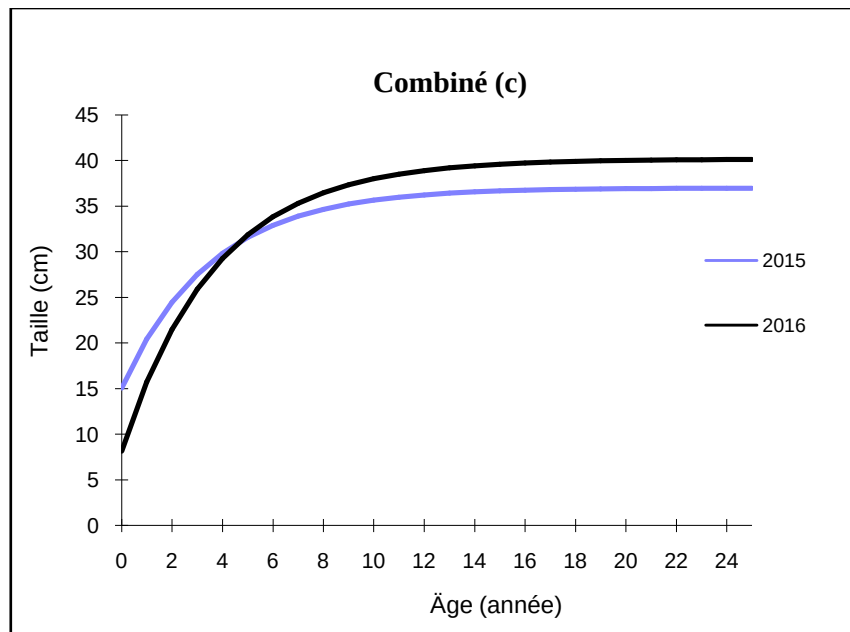


Figure 47. Courbes de Von Bertalanffy pour la Croissance linéaire de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) femelles (a), mâles (b) et combiné (c) en Atlantique sud marocain pendant la période d'étude 2015 et 2016

Sardinella maderensis

La croissance linéaire de la sardinelle plate a été aussi étudiée selon le modèle de Von Bertalanffy (1938) et par la même méthode que la sardinelle ronde.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les deux sexes combinés**

Les deux paramètres L_{∞} et k de l'équation de Von Bertalanffy ont été calculés par la régression linéaire $\Delta L / \Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t)$. L'équation de régression obtenue est la suivante :

$\Delta L / \Delta t = k \times L_{\infty} - k \times \bar{L}(t) = 23,85 - 0,72 \times \bar{L}(t)$, avec : $k = -b = 0,72 \text{ an}^{-1}$ et $L_{\infty} = -a/b = 23,85/0,72 = 33,13 \text{ cm}$. L'estimation de t_0 a été effectuée à partir de la relation :

$$y = -\ln(1 - \bar{L}(t) / L_{\infty}) = -k \times t_0 + k \times t = 0,45 + 0,72 \times t$$

D'où : $a = -0,44$; $b = 0,72$ et $t_0 = -a/b = 0,61 \text{ an}$.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les sardinelles plates femelles**

En utilisant la même méthode de calcul, nous avons obtenus :

$k = 0,41 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 37,19 \text{ cm}$ et $t_0 = 0,1 \text{ an}$.

- **Estimation des paramètres L_{∞} , k et t_0 pour les sardinelles plates mâles**

De même :

$k = 0,91 \text{ an}^{-1}$, $L_{\infty} = 29,99 \text{ cm}$ et $t_0 = 0,46 \text{ an}$.

Le tableau 14 ci-dessous présente les paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pendant les deux années d'échantillonnage (2015-2016).

Tableau 14. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour la croissance linéaire de la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) durant la période d'étude 2015-2016

Sexe	L_{∞} (cm)	k (an ⁻¹)	t_0 (an)	$\emptyset'$	Effectif
Combiné	33,13	0,72	0,61	2,90	93
Femelle	37,19	0,41	0,01	2,75	50
Mâle	29,99	0,91	0,46	2,91	43

D'après le tableau 14 et la figure 48 nous remarquons que la taille asymptotique des femelles (37,19 cm) est supérieure que celles des mâles (29,99 cm). La comparaison des courbes de croissance linéaire des sexes, pris séparément, montre que pour un même âge les femelles présentent des tailles supérieures à celles des mâles à l'exception des individus de groupes d'âges entre 1+ et 3+ où les mâles présentent des tailles supérieures.

Le test $\emptyset'$ présente des résultats différents de la sardinelle ronde, chez la sardinelle plate ce sont les mâles qui présentent des valeurs supérieures à celles des femelles.

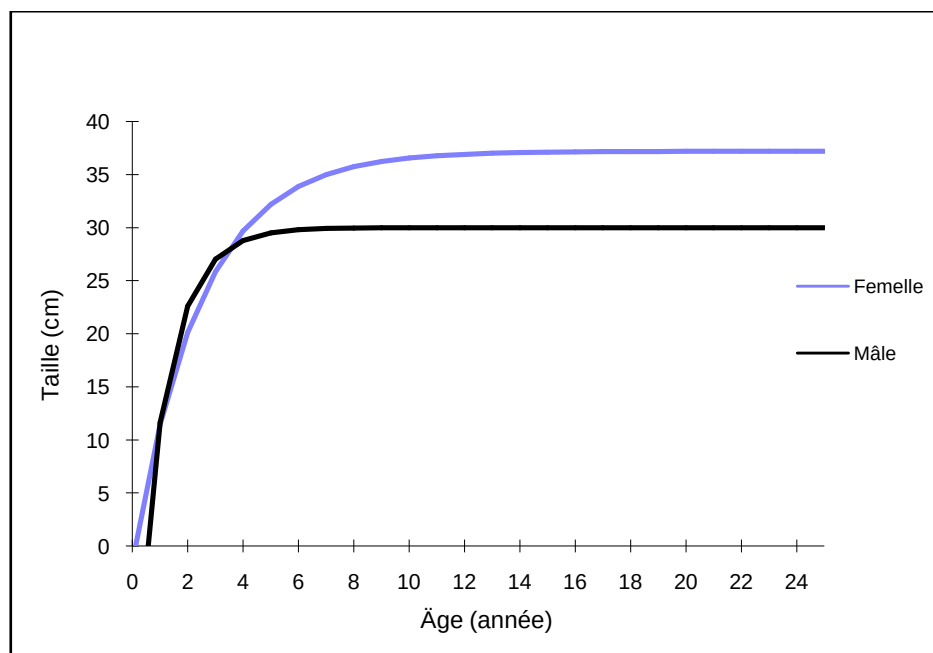


Figure 48. Courbes de Von Bertalanffy pour la Croissance linéaire de la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) en Atlantique sud marocain durant la période d'étude 2015-2016

1.6. Croissance pondérale absolue

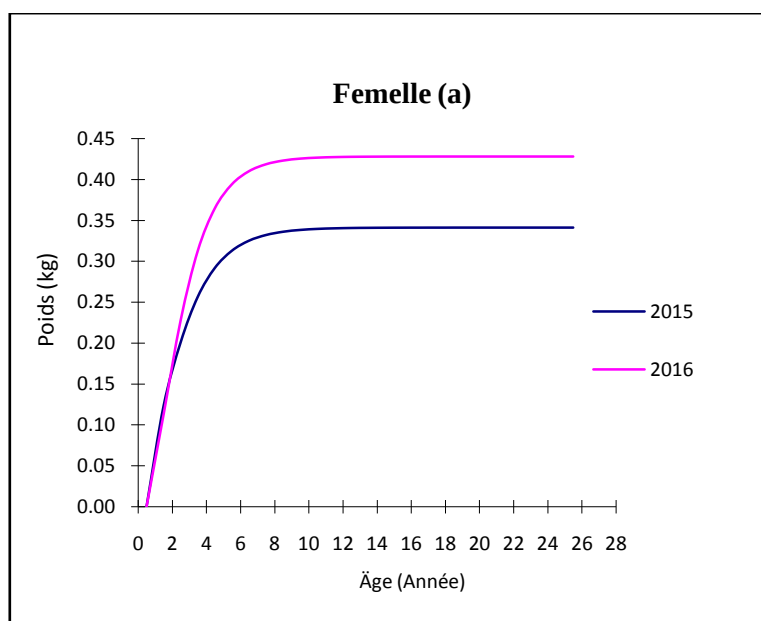
La croissance pondérale absolue a été étudiée pour les deux sexes séparés et combinés des sardinelles. Les paramètres de l'équation : $P_t = P_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$ sont décrits dans les tableaux ci-dessous.

Sardinella aurita

Les paramètres de l'équation de la croissance pondérale absolue de la sardinelle ronde mâle et femelle durant les années 2015 et 2016 sont représentés dans le tableau 15. La figure 49 montre qu'au même âge, le poids des femelles en 2016 est supérieur à celui en 2015, cette différence n'a été observée qu'à partir de l'âge de 2 ans (Figure 49a). Pour les mâles, nous avons remarqué que les poissons échantillonnés en 2015 sont légèrement plus lourds que ceux de 2016, à l'exception des groupes d'âges compris entre 4+ et 5+.

Tableau 15. Paramètres de l'équation de la croissance pondérale absolue de *Sardinella aurita*

Année	Sexe	b	P_{∞} (g)	k (an ⁻¹)	t_0 (an)
2015	Combiné	3,124	475,17	0,28	-2,00
	Femelle	3,132	341,11	0,58	-0,72
	Mâle	3,118	378,24	0,33	-1,90
2016	Combiné	3,342	686,50	0,27	-0,96
	Femelle	3,342	428,13	0,65	-0,18
	Mâle	3,318	358,36	0,57	0,44



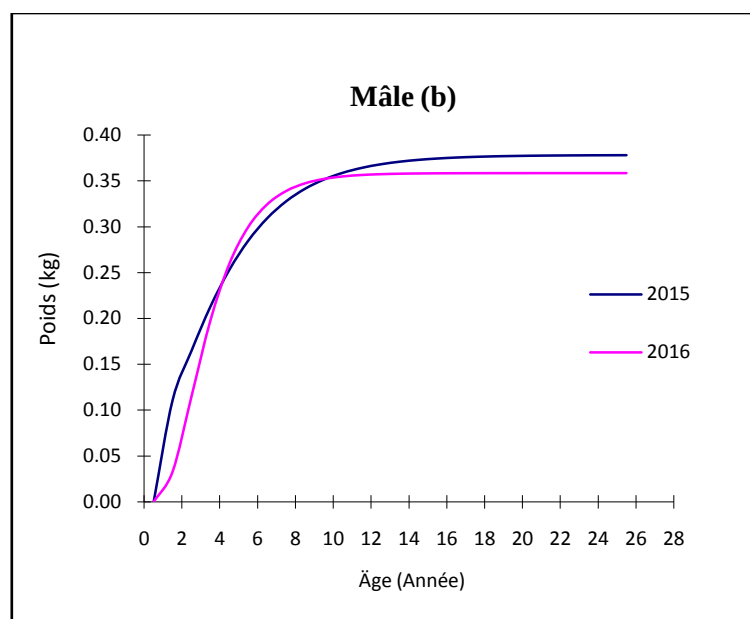


Figure 49. Courbes de la croissance pondérale absolue de *Sardinella aurita*, femelles (a) et mâles (b) en 2015 et 2016

Sardinella maderensis

La croissance pondérale absolue de la sardinelle plate mâle et femelle durant la période 2015-2016 est représentée sur le tableau 16 et la figure 50. Nous remarquons qu'il y a une légère supériorité des mâles pour les groupes d'âges entre 0+ et 4+, et à partir de ce dernier (4+) les femelles présentent des poids supérieurs à ceux des mâles.

Tableau 16. Paramètres de l'équation de la croissance pondérale absolue de *Sardinella maderensis*

Sexe	b	P_{∞} (g)	k (an^{-1})	t_0 (an)
Combiné	2,95	334,14	0,72	0,62
Femelle	3,07	478,49	0,41	0,01
Mâle	2,79	243,1	0,91	0,46

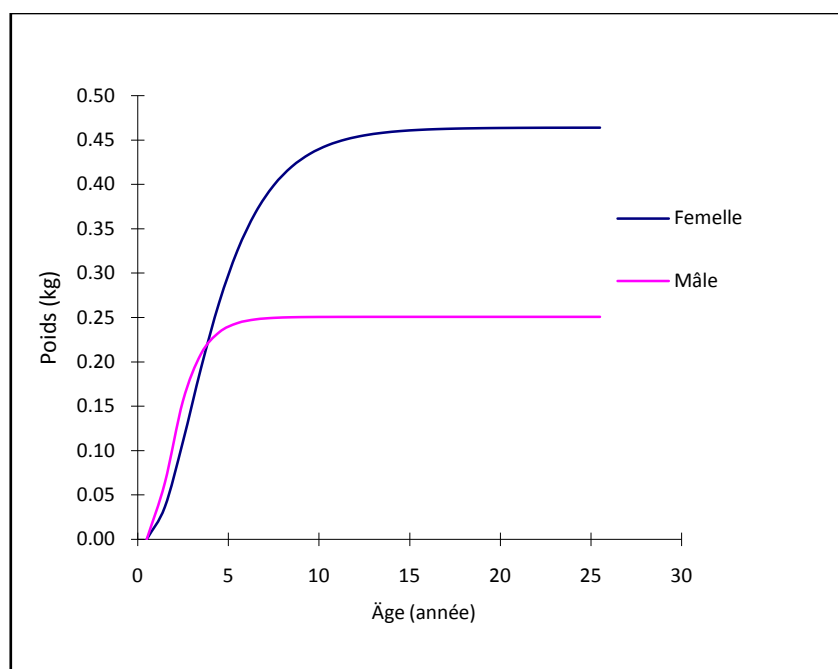


Figure 50. Courbes de la croissance pondérale absolue de *Sardinella maderensis* femelles et mâles durant la période 2015-2016

1.7. Utilisation du poids des otolithes dans l'étude de la croissance

1.7.1. Relations entre la taille des poissons et le poids des otolithes

Les régressions entre le poids des otolithes et la taille des poissons ont été établies pour les deux espèces, afin de comprendre comment évoluent ce paramètre au cours de la croissance des poissons en taille.

Sardinella aurita

Les résultats de cette étude ont montré qu'en 2015 les poids des otolithes des deux sexes ne montrent pas de différence significatives ($p = 0,96$), contrairement à l'année 2016 où la différence entre les poids des otolithes des mâles et des femelles a été significative ($p = 0,00$).

Nous avons remarqué qu'il y a une bonne corrélation entre le poids des otolithes et la taille des poissons pour les deux années et surtout pour l'année 2016.

Nous avons constaté que le poids des otolithes connaît deux phases de croissance. Il est faible au début puis augmente pour les grandes tailles (Figures 51 et 52).

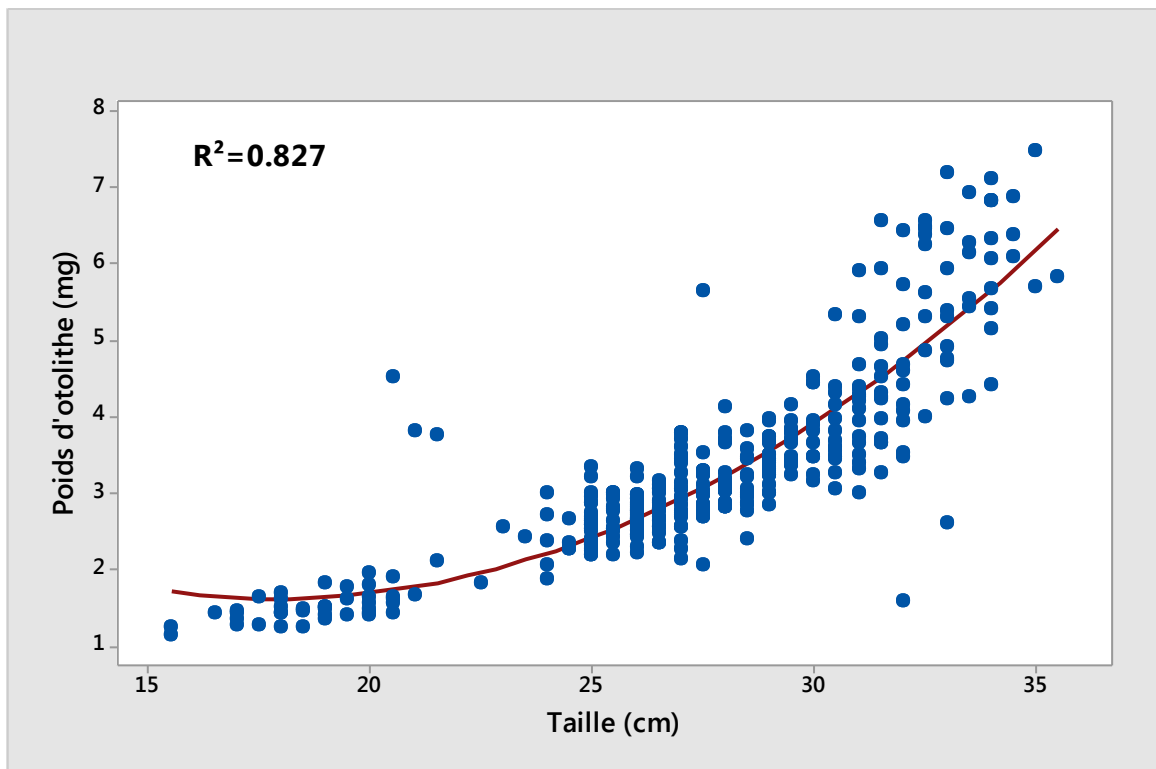
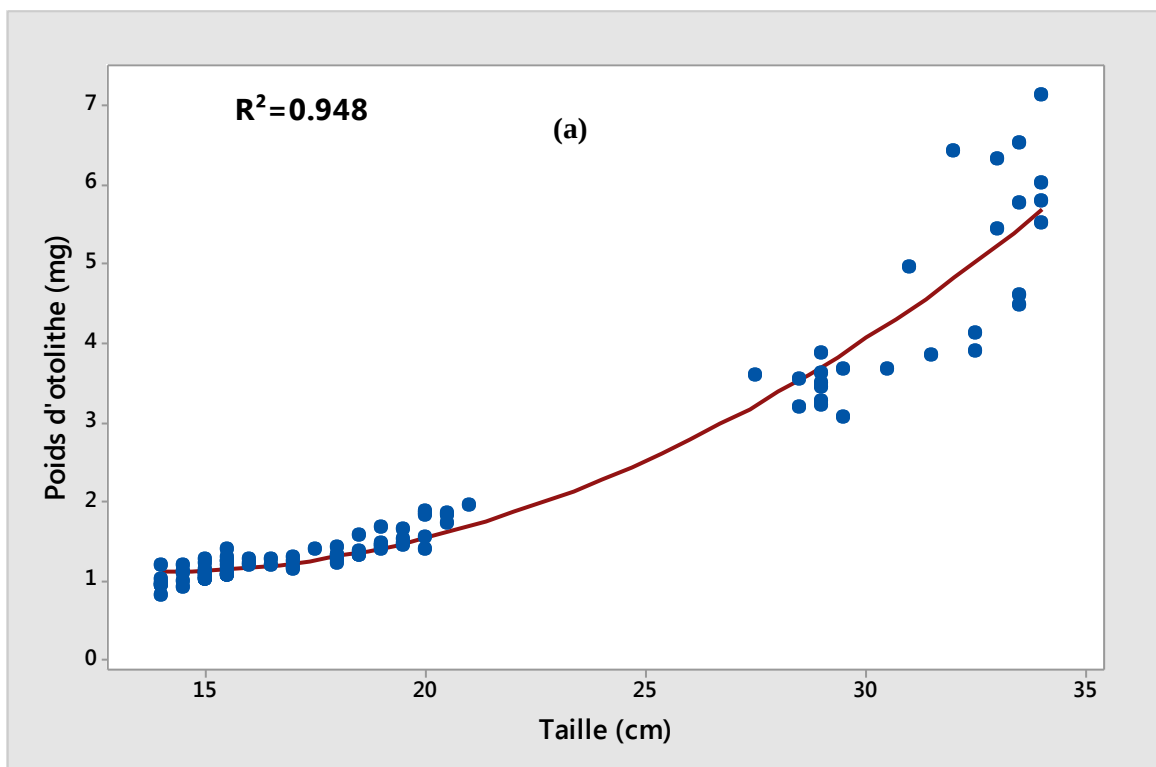


Figure 51. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes des deux sexes de *Sardinella aurita* en 2015



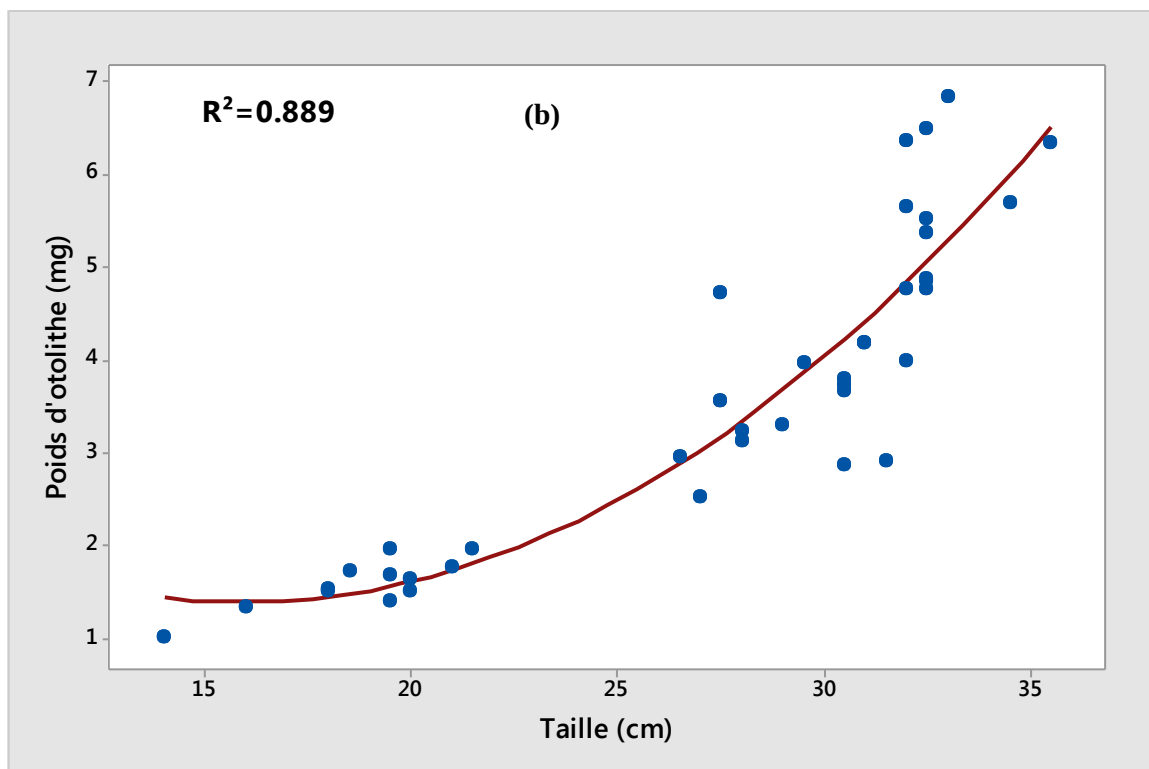


Figure 52. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes de *Sardinella aurita* femelles (a) et mâles (b) en 2016

Sardinella maderensis

Les résultats de cette étude ont montré que les poids des otolithes des mâles et femelles ne montrent pas de différence significatives ($p = 0,11$).

La figure 53 montre qu'il y a une faible corrélation entre le poids des otolithes et la taille des poissons par rapport aux résultats obtenus pour la première espèce. Concernant l'évolution de ces deux paramètres nous avons remarqué qu'ils évoluent presque de la même façon que chez la sardinelle ronde, sauf que pour cette dernière l'augmentation du taux de croissance du poids des otolithes pour les grandes tailles est plus marquante.

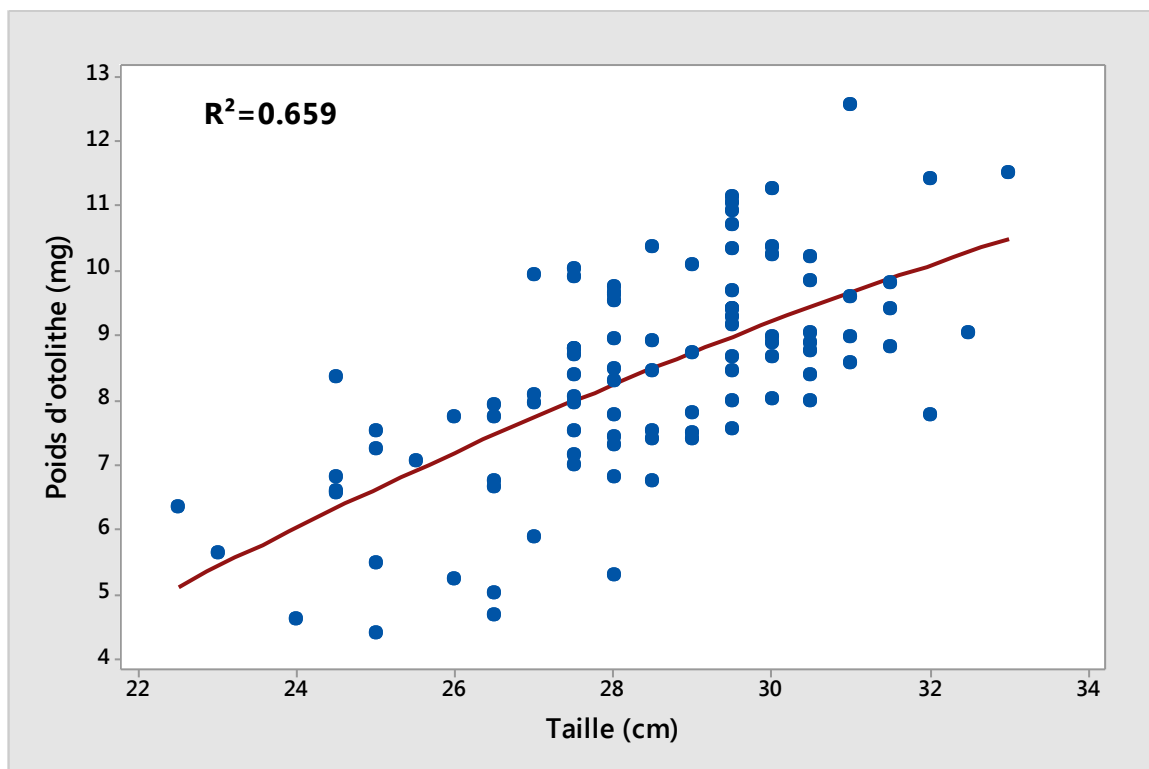


Figure 53. Corrélation entre la longueur totale des poissons et le poids des otolithes des deux sexes de *Sardinella maderensis* en 2015-2016

1.7.2. Âge du poisson en fonction du poids des otolithes

Sardinella aurita

Nous avons remarqué que le poids moyen des otolithes croît avec l'âge du poisson, ceci est valable pour les deux années et les deux sexes (Tableaux 17 et 18). Le coefficient de corrélation varie d'une année à l'autre, il est faible pour l'année 2015 ($R^2=0,35$) (Figure 54) et élevé pour l'année 2016 (R^2 (femelle) = 0,93 ; R^2 (mâle) = 0,85) (Figure 55). En comparant les poids moyens des otolithes des deux années, nous voyons que l'âge des individus ne correspond pas toujours au même poids moyen. Pour l'année 2016, la comparaison entre les deux sexes nous montre que la grande différence a été observée au niveau du groupe d'âge 5+ où les femelles présentent un poids supérieur à celui des mâles (Tableaux 18). Les petits et les grands individus se présentent avec un nombre très faible par rapport aux restes des âges.

Tableau 17. L'âge en fonction du poids moyen des otolithes de la sardinelle ronde en 2015

Âge (an)	Poids moyen d'otolithe (mg)	N (effectif)	Ecart type
0+	1,25	2	0,01
1+	1,81	20	0,63
2+	3,29	102	0,88
3+	3,21	154	0,97
4+	3,68	62	1,15
5+	5,24	6	1,12

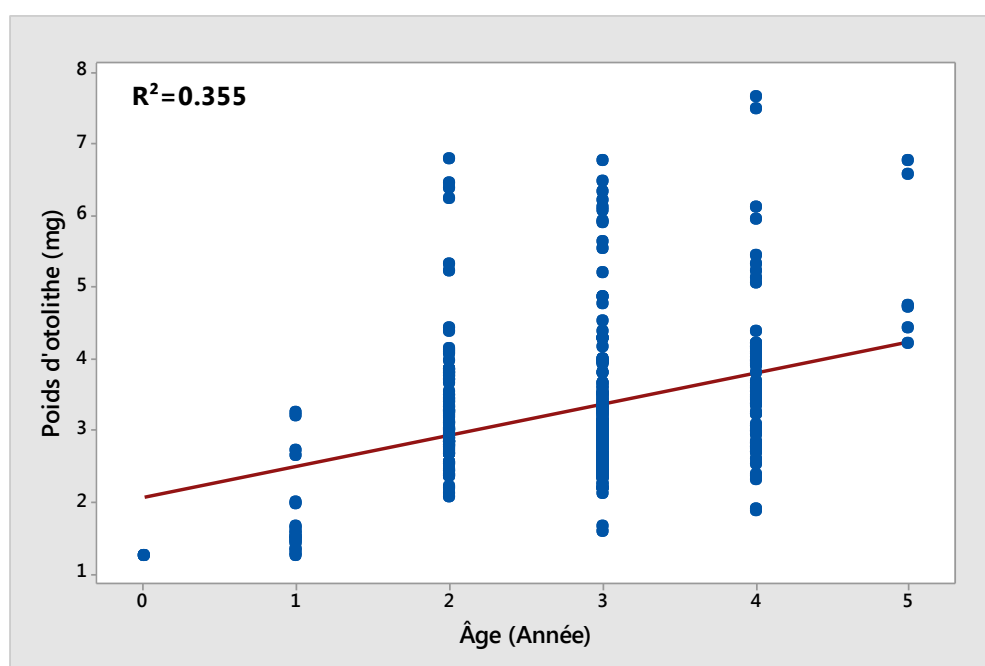


Figure 54. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de *Sardinella aurita* en 2015

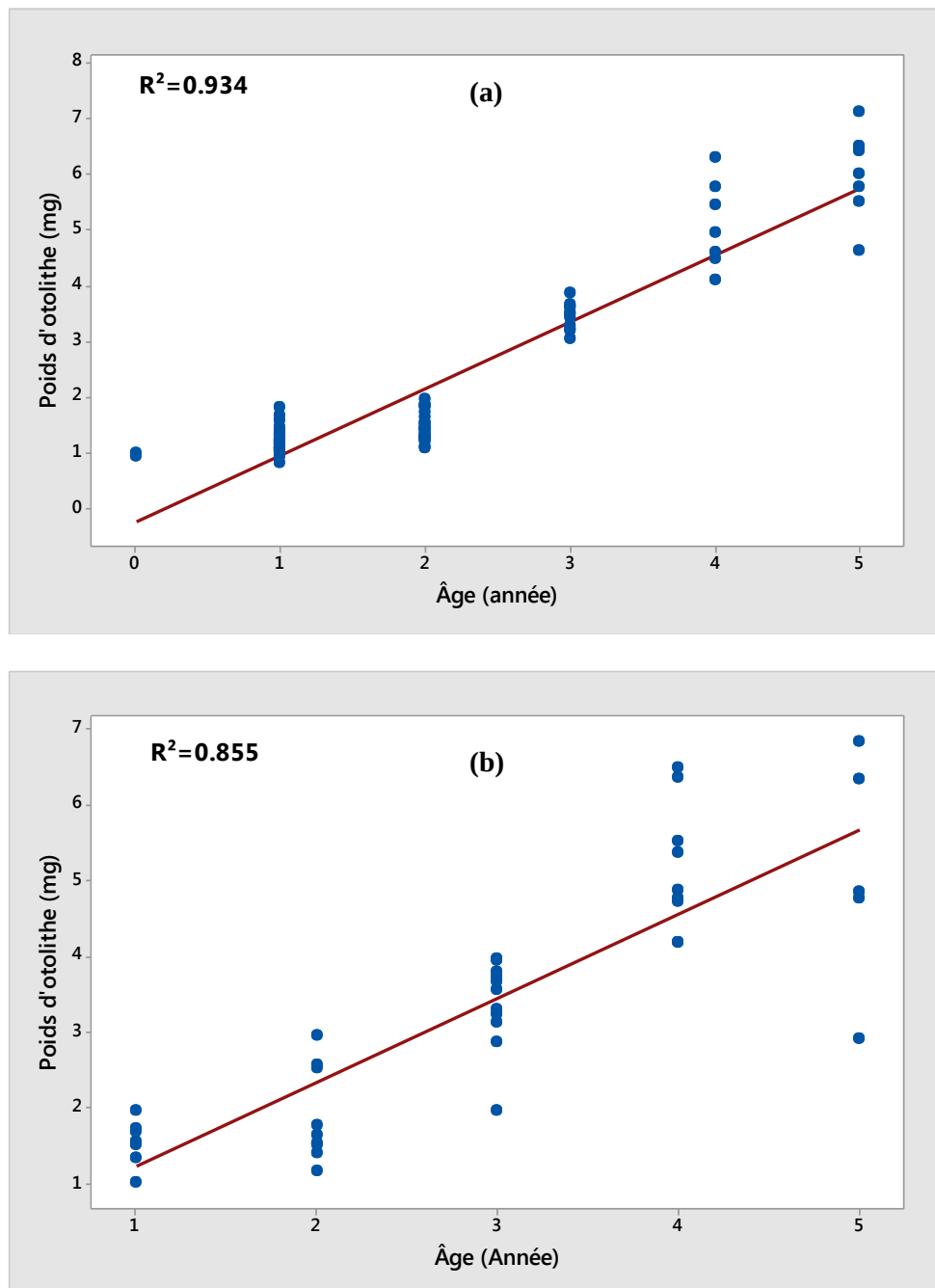
Tableaux 18. L'âge en fonction du poids moyen des otolithes de la sardinelle ronde femelles et mâles en 2016

- Femelles

Âge (an)	Poids moyen des otolithes (mg)	N (effectif)	Ecart type
0+	0,72	4	0,47
1+	1,18	80	0,19
2+	1,46	54	0,24
3+	3,45	20	0,27
4+	5,12	14	0,76
5+	6,15	12	0,52

- Mâles

Âge (an)	Poids moyen d'otolithe (mg)	N (effectif)	Ecart type
1+	1,55	14	0,29
2+	1,94	16	0,62
3+	3,44	20	0,61
4+	5,14	16	0,88
5+	5,12	10	1,45



Figures 55. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de *Sardinella aurita* femelle (a) et mâle (b) en 2016

Sardinella maderensis

Comme pour la sardinelle ronde, le poids moyen de la sardinelle plate croît avec l'âge, et la corrélation entre ces deux paramètres reste positive ($R^2 = 0,56$) (Figure 56). L'effectif des petits et grands individus est faible par rapport aux restes des groupes d'âges (Tableau 19) et c'était la même remarque qu'on a obtenue pour la première espèce.

Le poids moyen des otolithes de la sardinelle plate est supérieur à celui de la sardinelle ronde (Tableaux 17, 18 et 19).

Tableau 19. L'âge en fonction du poids moyen des otolithes de la sardinelle plate durant la période 2015-2016

Âge (an)	Poids moyen d'otolithe (mg)	N (effectif)	Ecart type
2+	6,27	3	0,6
3+	7,04	25	1,65
4+	8,84	56	1,18
5+	9,73	5	1,66

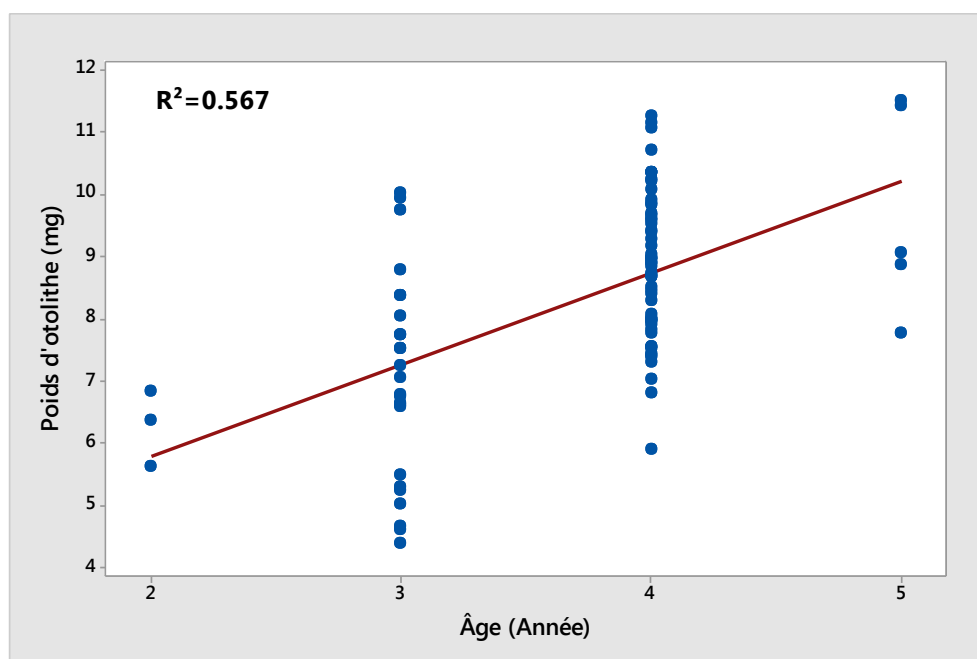


Figure 56. Relation entre l'âge et poids d'otolithe de *Sardinella maderensis* durant la période 2015-2016

2. Discussion

Facteur de condition

Le facteur de condition est un indice qui reflète l'accumulation saisonnière et l'épuisement d'énergie, il peut fournir des informations fiables de la production annuelle totale (Winters et

Wheeler, 1994). Il s'agit du seul indice de croissance fiable pour les poissons pélagiques (Tanasichuk, 1997 ; Cardinale et Arrhenius, 2000).

Chez les deux espèces le maximum de l'embonpoint correspond aux derniers mois de la saison froide, puis il diminue progressivement au fur et à mesure que les eaux se réchauffent. L'étude menée par Ba et al. (2016) a montré que le facteur de condition chez la sardinelle plate n'a affiché qu'un seul creux en mars et deux pics sur l'ensemble de l'année, un en avril et un autre en juillet (période de récupération de la ponte). Cury et Fontana (1988) ont trouvé des valeurs fortes de facteur de condition durant la saison froide (janvier à juin) et faibles le reste de l'année. Ces périodes froides correspondent à la présence d'eaux riches en éléments nutritifs et en plancton et il est donc logique d'admettre que l'abondance de nourriture durant ces périodes conditionne la prise de poids des individus.

Les variations saisonnières du facteur de condition sont similaires pour les deux espèces dont les teneurs en graisse augmentent durant les périodes d'upwelling intense, sachant que notre zone d'étude est sous l'influence de remontées d'eaux froides de façon quasi permanente (Roy, 1991). Les études de Diouf et al. (2010) et Samba (2011) ont démontré que l'embonpoint des individus est maximal lorsque l'upwelling de l'année est le plus intense, ce qui corrobore l'hypothèse d'une action du climat (par l'intermédiaire de l'abondance de nourriture) sur le facteur de condition.

Relation taille-poids

Les relations taille-poids sont importantes en halieutique, particulièrement pour décrire la nature de la croissance individuelle ou pour estimer la biomasse à partir d'évaluations des longueurs (Pauly et Gayanilo, 1996).

Sardinella aurita

Dans notre étude, la corrélation entre ces deux paramètres a été très forte avec l'existence d'une allométrie majorante, c'est-à-dire que le poids croît plus vite que la longueur. Ceci est en accord avec les résultats des travaux effectués au Sénégal (Boëly, 1979 ; Camarena-Lurhs, 1986 ; Fréon, 1988 ; Diouf et al., 2010 ; Samba, 2011), au Congo (Ghéno et Fontana, 1981), en Mauritanie (Holzlöhner et al., 1983 ; Wague et Mboji, 2002 ; Pascual-Alayon et al., 2008), en Algérie (Bouaziz, 2007 ; Dahel et al., 2016) et au Maroc (Baali et al., 2015). Kartas (1981) et Merella et al. (1997) constatent que le poids croît proportionnellement au cube de la longueur et ce respectivement pour *Sardinella aurita* de Tunis et des îles Baléares (Espagne) (Tableau 20). Il est important de noter que les auteurs ont utilisé différentes gammes de tailles et unités de

mesure (longueur à la fourche et longueur totale). Cela pourrait expliquer la différence entre les valeurs obtenues.

Tableau 20. Paramètres de la relation taille-poids chez *Sardinella aurita* tirés de la littérature et les gammes de taille correspondantes

Zone d'étude	Gamme de taille (cm)	a	b	Références
Sénégal	5-32 (Lf)	0,006	3,290	Camarena-Luhrs (1986)
Sénégal	-	1,00E-06	3,388	Boëly (1979)
Sénégal	4-32 (Lf)	0,006	3,274	Fréon (1988)
Sénégal	7,7-40 (Lt)	3,00E-05	3,162	Diouf et al. (2010)
Sénégal	8-36,5	7,00E-06	3,04	Samba (2011)
Mauritanie	22-37 (Lt)	0,002	3,375	Holzlohner et al. (1983)
Mauritanie	15-32 (Lf)	0,008	3,227	Lawal et Mylnikov (1988)
Mauritanie	23,6-37,5 (Lt)	0,007	3,126	Pascual-Alayón et al. (2008)
Tunisie	-	0,007	3,01	Kartas (1981)
Espagne	-	0,006	2,99	Merella et al. (1997)
Algérie	-	0,003	3,28	Bouaziz (2007)
Algérie	8-25,5 (Lt)	0,005 (M) 0,004 (F)	3,13 (M) 3,16 (F)	Dahel et al. (2016)
Maroc	14,5-34,5 (Lt)	0,004 (M) 0,004 (F)	3,25 (M) 3,24 (F)	Baali et al. (2015)
Maroc	14,5-35,5 (Lt)	0,006 0,003	3,124 3,342	Présent travail

Sardinella maderensis

Comme pour *Sardinella aurita*, la relation entre la taille et le poids évolue de manière exponentielle avec une forte corrélation. Le coefficient d'allométrie (b) a été inférieur à 3, ce qui indique une allométrie négative (minorante).

Le tableau 21 présente les différents paramètres de la relation taille-poids obtenus lors de notre étude et tirés de la littérature.

Les différences notées dans les valeurs obtenues par les auteurs pourraient être dues aux différences des gammes de taille et unités de mesure utilisées.

Tableau 21. Paramètres de la relation taille-poids chez *Sardinella maderensis* tirés de la littérature et les gammes de taille correspondantes

Zone d'étude	Gamme de taille (cm)	a	b	Références
Mauritanie	8-30 (Lf)	0,009	3,169	Lawal et Mylnikov (1988)
Mauritanie	21,4-37,4 (Lt)	0,006	3,121	Pascual-Alayón et al. (2008)
Sénégal	4-29 (Lf)	0,010	3,142	FAO (1979)
Sénégal	7-29 (Lf)	0,009	3,167	Camarena-Luhrs (1986)
Sénégal	4-29 (Lf)	0,013	3,142	Fréon (1988)
Sénégal	4,6-38 (Lf)	1.17E-05	2,292	Diouf et al. (2010)
Sénégal	9-36 (Lt)	9E-06	3,01	Samba (2011)
Sénégal	13-31 (Lf)	0,015	3,00	Ba et al. (2016)
Cap-Vert	5-29 (Lf)	0,022	2,778	FAO (1987)
Gambie	8,8-16,7 (Lt)	6.97E-05	3,149	Écoutin et al. (2005)
Maroc	22,5-33,5 (Lt)	0,011	2,95	Présente étude

Allongement marginal et périodicité de formation des anneaux

A partir d'un suivi de l'évolution de l'accroissement marginal chez les deux espèces nous avons validé la rythmicité de la nature des dépôts (hyaline ou opaque). La présente étude a confirmé le dépôt d'une seule zone hyaline par an, correspondant à la période de croissance ralentie et sa formation en hiver.

Dans les zones tempérées, deux facteurs agissent sur la formation de la zone hyaline : les facteurs externes tels que la température de l'eau, la disponibilité de la nourriture et la migration, et les facteurs internes comme la reproduction et le rythme interne du métabolisme du calcium et la synthèse protéique (Castanet et al., 1977 ; Meunier et Pascal, 1980 ; Morales-Nin, 1991 ; Panfili et al., 2002).

Croissance linéaire

Nous avons estimé les paramètres de la croissance à partir de l'équation de Von Bertalanffy à partir des résultats cumulés de l'étude de la lecture directe des otolithes des sardinelles.

Sardinella aurita

La croissance de la sardinelle ronde est très rapide. Elle atteint en moyenne une taille de 20,4 cm au bout d'un an pour l'année 2015 et 15,7 cm pour l'année 2016. Cette rapidité de croissance a

été confirmée par différents auteurs (Camarena Luhrus, 1986 ; Cury et Fontana, 1988). Au large des côtes du Sénégal la croissance de la sardinelle ronde est extrêmement rapide, elle atteint sa taille maximale au bout de trois années de vie (Boëly, 1982). A partir de la troisième année, la croissance est pratiquement terminée : la taille asymptotique est atteinte en quatre ans.

D'après (Conand, 1977), les larves de *Sardinella aurita* grandissent au minimum de 3 cm en un mois et les juvéniles atteignent 12 cm en quatre mois. L'étude de Samba (2011) dans la Presqu'île du Cap-Vert a montré aussi une croissance très rapide de *Sardinella aurita* avec un âge maximal observé à 4 ans. En zone mauritanienne, la croissance de *Sardinella aurita* est également rapide, de l'ordre de 1,5 cm par mois pour les tailles variant de 20 à 25 cm et 1,2 cm par mois pour les tailles comprises entre 25 et 30 cm (Ould Sidina et al., 2006).

Une récente étude de Dahel et al. (2016) dans la mer Méditerranée (Algérie) a montré que la sardinelle ronde a une croissance lente avec un âge maximum de 7 ans.

Le tableau 22 présente une synthèse des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Sardinella aurita* tirés de la littérature.

L'interprétation des résultats est complexe à cause des migrations qu'effectuent ces poissons ainsi que par le type de pêche échantillonnée par les auteurs. En effet, il peut se poser un problème de représentativité d'une des classes de tailles dans les échantillons utilisés pour l'étude de la croissance selon les auteurs (une frange du stock peut être absente ou sous échantillonnée). Des différences portant en particulier sur la vitesse de croissance qui peut être rapide pour les uns, ou relativement lente pour les autres. A partir d'un échantillon de 1873 otolithes et 1162 écailles, Santamaria et al. (2008) ont montré que la lecture basée sur les otolithes tend à surestimer le taux de croissance k due aux difficultés de lecture et la présence de fausses marques. De même pour la méthode de lecture des écailles, la différence entre les différents auteurs peut s'expliquer par une interprétation totalement différente des écailles. En effet, les résultats de Pham-Thuoc et Szypula (1973) semblent montrer une sous-estimation de la vitesse de croissance des juvéniles et des jeunes. La lecture d'âge est difficile à partir de 3 ans.

Les estimations de l'indice de performance de croissance obtenues dans cette étude et dans d'autres études sont présentées dans le tableau 22.

Les valeurs élevées obtenus de cet indice au niveau du Sénégal (Samba, 2011) et du Maroc (Baali et al., 2015) pourrait être attribué à l'upwelling existant dans ces zones, alors que des valeurs plus faibles pourraient être dues à des eaux de faible productivité.

Tableau 22. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Sardinella aurita* tirés de la littérature

Zone d'étude	Auteurs	Méthode utilisée	L _∞ (cm)		t ₀ (an)	k (an ⁻¹)	Ø'
			Lf	Lt			
Mauritanie	Pham-Thuoc et Szypula, (1973)	Lecture d'écaille	34,35	40,70	0,33	-0,63	2,73
Mauritanie	Chesheva (1998)	Lecture d'écaille	35,12	41,63	0,26	-0,87	2,66
Mauritanie	Pascual-Alayón et al. (2008)	Lecture d'otolithe	31	36,6	0,39	1,46	2,72
Mauritanie	Santamaria et al. (2008)	Lecture d'écaille et otolithe	32,92	38,97	0,32	-1,78	2,69
Sénégal-Mauritanie	Maxim et Maxim, 1987	Lecture d'écaille	38,10	45,22	0,36	-0,69	2,72
Sénégal	Boëly (1979)	Fréquence de taille et lecture d'écaille	31,23	36,92	0,97	0,21	2,97
Sénégal	Krzeptowski (1981)	Lecture d'écaille	36,25	43	0,3	-0,95	2,75
			34,34	40,69	0,27	-0,99	2,66
			35,52	42,12	0,28	-0,99	2,7
Sénégal	Boëly et al. (1982)	Fréquence de taille et lecture d'écaille	30,60	36,2	1,21	-0,06	3,05
Sénégal	Camarena-Luhurs (1986)	Lecture d'écaille	31,93	37,77	0,61	-0,75	2,94
Sénégal	Fréon (1986)	Lecture d'écaille	30,63	36,2	1,21	-0,06	3,03
Sénégal	Samba (2011)	Lecture d'otolithe	26,7	31,45	1,79	0,55	3,6
Algérie	Dahel et al. (2016)	Lecture d'otolithe	27,37	32,26	-1,99	0,13	2,13
			23,27	27,3	-1,9	0,18	2,12
Maroc	Baali et al. (2015)	Lecture d'otolithe	28,58	33,72	-0,34	0,83	2,97
			28,53	33,66	-0,02	0,97	3,04
Maroc	Présente étude	Lecture d'otolithe	31,28	36,86	-2,00	0,28	2,58
			33,89	40,15	-0,96	0,27	2,64

Sardinella maderensis

La croissance de la sardinelle plate de l'Atlantique sud marocain est très rapide.

Elle atteint 11,6 cm (Lt) au bout d'un an et 22,6 cm en deux ans. Nos valeurs sont faibles par rapport à celles retrouvées par plusieurs auteurs au niveau du Sénégal, Nigéria et Sierra Leone (Tableau 23). Comme pour la sardinelle ronde, la croissance de la sardinelle plate des côtes sénégalaises s'effectue essentiellement au cours des deux premières années de vie, et à partir de trois ans la croissance est pratiquement terminée (Camarena-Luhurs, 1986 ; Samba, 2011).

Boëly (1979), indique une croissance très rapide des juvéniles jusqu'à 9-10 cm. À partir de cette taille la croissance se ralentit. À cette taille les individus seraient âgés de quatre mois et

atteindraient 18-20 cm à l'âge d'un an. Camarena-Lurhs (1986) a montré que les petits individus de la sardinelle plate du sud du Cap-Vert atteignent la taille de 18 cm (Lf) en un an et 22 cm (Lf) en deux ans avec un taux de croissance moyen de 1,6 cm par mois. Dans la zone sénégalaise, Samba (2011) a trouvé que les juvéniles de la sardinelle plate atteignent 15,7 cm (Lt) en un an, 26 cm en deux ans (21,5 cm Lf) et une taille asymptotique de 31,5 cm en quatre ans. Le tableau ci-dessous donne les estimations des paramètres de la croissance de la sardinelle plate dans différentes zones étudiées.

Les valeurs de l'indice de performance de croissance obtenues dans cette étude et dans d'autres études sont présentées dans le tableau 23.

Comme pour la sardinelle ronde, la valeur la plus élevée de cet indice a été obtenus au niveau du Sénégal (Samba, 2011) en raison de la forte productivité de cette zone.

Tableau 23. Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy chez *Sardinella maderensis* tirés de la littérature

Zone d'étude	Auteurs	Méthode utilisée	L _∞ (cm)		t ₀ (an)	k (an ⁻¹)	Ø'
			Lf	Lt			
Sénégal	Postel (1955)		28,5	35	-0,25	0,61	2,87
Sénégal	Camarena-Luhrs (1986)	Fréquence de taille et lecture d'écaille	30,34	37,24	-0,59	0,49	2,65
Sénégal	Samb (1988)	Fréquence de taille	30,56	37,5	0	0,33	2,63
Sénégal	Samba (2011)	Lecture d'otolithe	25,67	31,5	0,37	1,09	3,03
Sénégal	Ba et al. (2016)	Fréquence de taille	33,4	39,62	-0,46	0,35	2,59
Congo	Ghéno et Le Guen (1968)	Lecture d'otolithe	24,4	28,94	-0,29	0,08	1,68
Congo	Ghéno et Le Guen (1968)	Lecture d'otolithe	24,9	29,54	ND	0,99	2,79
Cameroun	Gabche et Hockey (1995)	Fréquence de taille	27,2	32,27	-0,85	1,26	2,97
Nigeria	Marcus (1989)	Fréquence de taille	37,5	44,48	-0,25	0,34	2,68
Sierra Leone	Showers PAT (1996)	Fréquence de taille	29,6	35,11	ND	0,35	2,49
Maroc	Présente étude	Lecture d'otolithe	27,93	33,13	0,62	0,72	2,9

Croissance pondérale absolue

A partir des paramètres de l'équation de von Bertalanffy (1938) et des paramètres de la relation taille-poids nous avons obtenu la relation de la croissance pondérale du stock des sardinelles de

l'Atlantique sud du Maroc. Gascuel (2007) note que c'est la croissance pondérale des individus qui contribue également à accroître la biomasse du stock.

Sardinella aurita

Le poids asymptotique du stock de la sardinelle ronde de l'Atlantique sud marocain est supérieur à celui trouvé dans différentes régions (Tableau 24). La raison de cette différence observée peut être expliquée soit par le fait que l'exploitation de la sardinelle dans notre zone d'étude cible les individus à poids corporel élevé, soit que les conditions du milieu permettent une croissance plus rapide par rapport aux autres régions. Dans la même zone d'étude Baali et al. (2015) ont trouvé des valeurs plus faibles que celles qu'on a trouvé, ceci est dû au type de pêche qui diffèrent entre ces deux études.

Tableau 24. Poids asymptotiques P_{∞} de *Sardinella aurita* d'après la littérature

Auteur	Zone d'étude	P_{∞} (cm)
Bébars (1981)	Égypte (baie de Saloum)	311,35
Kartas (1981)	Tunisie	198,18
Bouaziz (2007)	Algérie (région centre)	220,24
Belouahem (2010)	Algérie (golf de Annaba)	133,49
Baali et al. (2015)	Maroc (Atlantique sud)	362,3 (mâle)
		353,05 (femelle)
Présente étude	Maroc (Atlantique sud)	475,17 (2015)
		686,5 (2016)

Sardinella maderensis

Dans la zone sud du Maroc, le poids asymptotique de la sardinelle plate est de 334,14 cm pour les deux sexes combinés.

Nous n'avons trouvé aucune étude qui traite ce paramètre de croissance pour cette espèce.

Utilisation du poids des otolithes dans l'étude de la croissance

La croissance des otolithes est généralement proportionnelle à la croissance des poissons (Woodbury, 1999).

L'étude de la régression de la taille des poissons par rapport au poids des otolithes des deux espèces *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*, a montré des relations significatives avec des coefficients de corrélation positifs et élevés pour la première espèce, ce qui concorde avec les

travaux de Miller et al. (1999), Mariano et al. (2002), Monteiro et al. (2005), et Hanson et Stafford (2017).

Pour les deux espèces l'étude de la régression du poids des otolithes en fonction de la taille des poissons montrent une courbe de régression qui s'incurve à un stade de développement des individus, avec un taux de croissance qui tend vers l'augmentation.

La croissance des otolithes est continue au cours de la vie des individus. Le poids d'otolithe se révèle être un indicateur de croissance chez les poissons. Ceci est en accord avec les résultats de plusieurs auteurs qui ont montré l'étroite relation entre le poids des otolithes et l'âge des poissons pour de nombreuses espèces des régions tropicales et tempérées (Cardinale et al., 2000 ; Araya, 2001 ; Pilling et al., 2003 ; Pino et al., 2004 ; Stevens et al., 2004 ; Lou et al., 2005). Mais en revanche, Brander (1974) a noté que pour une meilleure estimation de l'âge, des mesures doubles du poids des otolithes et de la longueur du poisson pourraient être réalisées. La courbe de l'âge des individus en fonction du poids des otolithes est linéaire à tous les stades de croissance des poissons, ses résultats sont en accords avec celles de Boehlert (1985), Fletcher (1991), Araya et al. (2001), Pilling et al. (2003) et Hanson et Stafford (2017) qu'ils ont signalé que les poissons présentent généralement une relation approximativement linéaire entre le poids des otolithes et l'âge, tandis que le poids des otolithes est généralement une fonction allométrique ou exponentielle de la longueur du poisson. Strelcheck et al. (2003) a mis en évidence dans leur étude que le poids des otolithes est plus précis pour indiquer les différences du taux de croissance entre les régions, que la taille des otolithes, et ce pour la grande variabilité de leur forme.

3. Conclusion

L'étude de la biologie de croissance des sardinelles en Atlantique sud marocain a révélé que :

Pour *Sardinella aurita* :

- Pour les deux années d'étude, la longévité de la sardinelle ronde est de 5 ans (groupe d'âge 5+), avec une dominance des groupes d'âge 3+ et 1+ pour les deux années 2015 et 2016 respectivement.
- La taille et le poids asymptotique des sexes combinés en 2015 ont été inférieurs à ceux en 2016. En 2015, le taux de croissance en longueur et en poids des femelles a été inférieur à celui des mâles, un cas inverse a été observé pour l'année 2016.
- La croissance linéaire de la sardinelle ronde de l'Atlantique sud marocain vérifie l'hypothèse d'une croissance rapide et une durée de vie courte.

- L'évolution du poids par rapport à la taille chez la sardinelle ronde pour les deux sexes pris séparément ou combiné et pour les deux années est allométrique (allométrie majorante).
- L'étude de l'accroissement marginal confirme l'identification des anneaux hyalins comme marque hivernales dont on peut se servir pour la détermination de l'âge.
- Le poids des otolithes est positivement corrélé avec la taille et l'âge des individus.

Pour *Sardinella maderensis* :

- Le groupe d'âge maximal de la sardinelle plate est 5+, avec une dominance des individus appartenant aux groupes d'âge 4+.
- La taille et le poids asymptotique des femelles sont supérieurs à ceux des mâles.
- La sardinelle plate a une croissance rapide et une durée de vie courte.
- L'évolution du poids par rapport à la taille chez la sardinelle plate (sans distinction du sexe) est allométrique de type minorante (allométrie négative).
- Comme pour la sardinelle ronde l'étude de l'accroissement marginal de cette espèce confirme l'identification des anneaux hyalins comme marque hivernales.
- Le poids des otolithes est positivement corrélé avec la taille et l'âge des sardinelles plates.

III. Écologie alimentaire des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) de l'Atlantique sud marocain

1. Résultats

1.1.Aspect qualitatif

Les estomacs analysés proviennent des individus des sardinelles dont les tailles varient entre 13,5 et 35 cm de longueur totale pour l'année 2015 et entre 12,5 et 35,5 cm pour l'année 2016 pour *Sardinella aurita*, et entre 22,5 et 33 cm de longueur totale pour *Sardinella maderensis*.

Sardinella aurita

Ces analyses ont montré que l'espèce *Sardinella aurita* de l'Atlantique sud marocain se nourrit de quatre groupes d'animaux qui constituent l'essentiel de son régime alimentaire, à savoir : les crustacés, les poissons, les mollusques et les protozoaires, en plus de ces quatre groupes de proies, on trouve la présence des vers pour l'année 2015. Les proies non digérées totalement ont été identifiées au niveau taxonomique ''famille''. Pour d'autres proies, seuls les ordres ont été reconnus. Certaines proies ont été repérées seulement par des restes d'appendices pour les crustacés et d'écailles pour les poissons.

Ainsi la liste faunistique de l'ensemble des proies ingérées par la sardinelle ronde durant les années 2015 et 2016 est donnée dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 25. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de *Sardinella aurita* en 2015

Proies		Familles
Crustacés	Copépodes	Calanidae
		Candaciidae
		Centropagidae
		Corycaedae
		Ectinosomatidae
		Euchaetidae
		Euterpinidae
		Metridinidae
		Oithonidae
		Oncaeidae
		Paracalanidae
		Pontellidae
		Sapphirinidae
		Temoridae
		Copépodes (n.i.d)*
	Cladocères	Podonidae
	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)
	Euphausiacés	Euphausiacés (n.i.d)
	Isopodes	Tylidae
	Ostracodes	Ostracodes (n.i.d)
	Zoés	Zoés (n.i.d)
	Larves de Cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)
	Mysidacés	Mysidacés (n.i.d)
	Œufs de crustacé	Œufs de crustacé (n.i.d)
	Naupliis	Naupliis (n.i.d)
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)
Poissons	Larves de poisson	Larves de poisson (n.i.d)
	Œufs d'anchois	Engraulidae
	Œufs de poisson	Œufs de poisson (n.i.d)
	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)
Protozoaires	Foraminifères pélagiques	Foraminifères pélagiques (n.i.d)
Vers	Annélides	Annélides (n.i.d)
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)

*n.i.d : non identifié

Tableau 26. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de *Sardinella aurita* en 2016

Proies		Familles
Crustacés	Copépodes	Acartidae
		Calanidae
		Candaciidae
		Centropagidae
		Corycaedae
		Ectinosomatidae
		Euterpinae
		Oithonidae
		Oncaeidae
		Témoridae
		Copépodes (n.i.d)
	Amphipodes	Caprellidae
		Gammaridae
		Amphipodes (n.i.d)
	Cladocères	Podonidae
	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)
	Zoés	Zoé (n.i.d)
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)
	Isopodes	Isopode (n.i.d)
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)
	Œufs de crustacé	(Œufs de crustacé (n.i.d)
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)
Poissons	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)
	Œufs d'anchois	Engraulidae
	Œufs de poisson	(Œufs de poisson (n.i.d)
Protozoaires	Foraminifères pélagiques	Foraminifères pélagiques (n.i.d)
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)
Diatomées	Diatomées centriques	Coscinodiscacées

Au total, dans l'année 2015, 17 familles ont été identifiées dans les contenus stomacaux de la sardinelle ronde appartenant à 16 ordres distincts. Pour l'année 2016, nous avons identifiée 15 familles qui appartiennent à 14 ordres. Les familles de crustacé constituent l'essentiel du régime alimentaire de la sardinelle ronde pour les deux années avec 14 familles différentes en 2015 et 10 familles en 2016.

Sardinella maderensis

Les analyses sur la sardinelle plate ont montré que cette espèce se nourrit de trois groupes d'animaux qui constituent l'essentiel de son régime alimentaire, à savoir : les crustacés, les

poissons et les mollusques (Tableau 27). La méthode d'identification et la détermination du niveau taxonomique a été la même pour les deux espèces.

Tableau 27. Liste des proies identifiées dans les contenus stomacaux de *Sardinella maderensis* durant la période 2015-2016

Proies		Familles
Crustacés	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)
		Leucothoe
	Cladocères	Podonidae
	Copépodes	Acartiidae
		Calanidae
		Candaciidae
		Centropagidae
		Corycaedae
		Ectinosomatidae
		Euterpinae
		Copépode (n.i.d)
		Lucicutiidae
		Oithonidae
		Oncaeidae
		Paracalanidae
		Temoridae
	Isopodes	Tylidae
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)
	Larves de décapode	Larve de décapode (n.i.d)
	Mégaloopes de crabe	Mégaloope de crabe (n.i.d)
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)
	Œufs de crustacé	Œuf de crustacé (n.i.d)
Mollusques	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)
	Zoés	Zoé (n.i.d)
Poissons	Larves de bivalve	Larve de bivalve (n.i.d)
	Larves de gastéropode	Larve de gastéropode (n.i.d)
	Ecailles de poisson	Ecaille de poisson (n.i.d)
	Larves de poisson	Larve de poisson (n.i.d)
Détritus	Œufs d'anchois	Engraulidae
	Œufs de poisson	Œuf de poisson (n.i.d)
Débris (sable et végétale)		Débris (sable et végétale)

A partir des estomacs examinés de la sardinelle plate durant la période 2015-2016, 16 familles ont été identifiées dans les contenus stomacaux appartenant à 13 ordres distincts. Comme pour *Sardinella aurita*, les familles de crustacé constituent l'essentiel du régime alimentaire de la sardinelle plate avec 12 familles différentes.

1.2.Aspect quantitatif

1.2.1. Coefficient de vacuité C.V

Sardinella aurita

Sur un total de 304 estomacs analysés de la sardinelle ronde (216 estomacs en 2015 et 88 en 2016), seuls 11 ont été vides en 2015 et 10 en 2016 avec des coefficients de vacuité de 5,09 % et 11,36 % respectivement pour les deux années (Tableau 28).

Tableau 28. Evolution du coefficient de vacuité par sexe et par année de *Sardinella aurita*

Sexe	Mâles		Femelles		Population totale	
Année	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Estomacs vides	3	4	8	6	11	10
Estomacs non vides	98	55	107	23	205	78
Total	101	59	115	29	216	88
Coefficient de vacuité (%)	2,97%	6,78%	6,89%	20,69%	5,09%	11,36%

D'après le tableau ci-dessus et durant les deux années d'étude, le coefficient de vacuité est très faible chez les mâles que chez les femelles.

Sardinella maderensis

Pour cette espèce, seulement 88 estomacs ont été examinés durant la période 2015-2016, avec 2 estomacs vides et qui représentent un coefficient de vacuité de 2 %. Contrairement à la sardinelle ronde le coefficient de vacuité a été élevé chez les mâles (Tableau 29). En comparant les deux espèces, le coefficient de vacuité chez *S. maderensis* a été faible par rapport à celui retrouvé chez *S. aurita* (Tableaux 28 et 29).

Tableau 29. Evolution du coefficient de vacuité par sexe de *Sardinella maderensis*

Sexe	Mâles	Femelles	Population totale
Estomacs vides	2	0	2
Estomacs non vides	37	49	86
Total	39	49	88
Coefficient de vacuité (%)	5,13%	0,00%	2%

1.2.2. Variation du coefficient de vacuité par sexe, saison et par année

L'évolution saisonnière du coefficient de vacuité de la sardinelle ronde par sexe et année a montré qu'il y a une grande variation pour les deux années ainsi que pour les deux sexes. Le

coefficient de vacuité a été élevé pour les deux sexes en automne durant l'année 2016 (Tableau 30).

Tableau 30. Evolution du coefficient de vacuité (C.V) de *Sardinella aurita* par sexe, saison et année

	Année	Femelles		Mâles	
		2015	2016	2015	2016
Saison					
Printemps		3,13%	0,00%	2,86%	0,00%
Été		4,26%	0,00%	4,55%	0,00%
Automne		14,29%	75%	0,00%	66,67%
Hiver		13,04%	0,00%	4,17%	0,00%

Pour la sardinelle plate nous n'avons pas constaté des variations à cause de l'effectif très réduit des estomacs analysés (2 estomacs vides).

1.2.3. Indice d'occurrence (Fc)

1.2.3.1. Variation de l'indice d'occurrence par groupe de proie et par sexe

L'indice d'occurrence corrigé (Fc) a permis de définir l'importance des différentes proies dans le régime alimentaire des deux espèces.

Sardinella aurita

L'évolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie et par sexe a montré que les crustacés constituent la proie préférentielle de la sardinelle ronde pour les deux sexes et pendant toute la période d'étude. Les poissons (œufs, larves et écailles de poissons), mollusques et détritiques constituent des proies secondaires pour l'année 2015, mais pour l'année 2016 seuls les poissons (œufs et écailles de poissons) constituent la proie secondaire pour les deux sexes combinés. Le reste des proies constituent une alimentation occasionnelle. Cette préférence de proies varie en fonction du sexe (Tableau 31).

Tableau 31. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie, par sexe et par année chez la sardinelle ronde

Année	2015			2016		
Groupe	F	M	Totale	F	M	Totale
Crustacés	56,11%	53,26%	54,69%	65,11%	63,79%	64,45%
Vers	0,25%	0,54%	0,40%	0,00%	0,00%	0,00%
Poissons	15,71%	16,03%	15,87%	4,86%	17,84%	11,35%
Protozoaires	1,50%	1,09%	1,30%	6,35%	4,82%	5,59%
Mollusques	8,98%	11,96%	10,47%	9,93%	6,30%	8,11%
Détritus	10,97%	10,33%	10,65%	2,46%	4,04%	3,25%
Diatomées centriques	0,00%	0,00%	0,00%	4,23%	0%	2,15%
Autres	7,48%	6,97%	7,22%	7,06%	3,21%	5,13%

Sardinella maderensis

Comme pour la sardinelle ronde les crustacés représentent la proie préférentielle de la sardinelle plate. Les poissons (œufs, larves et écailles de poissons) constituent la proie secondaire et le reste de proies représente une alimentation occasionnelle. Cette préférence de proie a été la même pour les deux sexes (Tableau 32).

Tableau 32. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie et par sexe chez la sardinelle plate

Groupe	F	M	Totale
Crustacés	71,21%	67,28%	69,25%
Poissons	14,39%	17,05%	15,72%
Mollusques	3,41%	3,69%	3,55%
Détritus	7,58%	6,9%	7,24%
Autres	3,41%	5,1%	4,24%

1.2.3.2. Variation de l'indice d'occurrence par groupe de proie et par saison

Sardinella aurita

L'évolution saisonnière de la sardinelle ronde durant les deux années d'étude (2015 et 2016) a montré que les crustacés représentent la proie préférentielle de la sardinelle ronde durant les quatre saisons. Pour le reste des proies nous avons remarqué des grandes variations entre des proies secondaires et occasionnelles durant les deux années et pendant les quatre saisons.

Pour l'année 2015, seulement les poissons (œufs, larves et écailles de poissons) et les détritiques représentent des proies secondaires en hiver et au printemps. Pour l'année 2016 les proies secondaires sont représentées par les poissons (œufs et écailles de poissons) et autres proies en

automne, mollusques en été et hiver, diatomées centriques en hiver et protozoaires au printemps (Tableau 33).

Tableau 33. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie, par saison et par année chez *Sardinella aurita*

Année	2015				2016			
Saison	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver
Crustacés	64,05%	79,26%	76,03%	57,74%	63,77%	79,64%	50,60%	66,29%
Vers	0,84%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Poissons	10,67%	9,68%	9,74%	11,31%	9,52%	4,35%	20,62%	2,30%
Protozoaires	0,00%	1,84%	0,37%	0,60%	11,62%	0,00%	0,00%	3,45%
Mollusques	4,49%	6,45%	9,36%	5,36%	5,22%	12,19%	9,59%	11,08%
Détritus	15,17%	0,46%	0,00%	15,48%	6,10%	0,00%	0,00%	1,12%
Diatomées centriques	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,79%
Autres	4,78%	2,30%	4,49%	9,52%	3,79%	3,82%	19,19%	1,97%

Sardinella maderensis

La variation saisonnière de l'indice d'occurrence en fonction des saisons pour la sardinelle plate durant la période 2015-2016 a montré que les crustacés restent la proie préférentielle durant les quatre saisons. Les poissons (œufs, larves et écailles de poissons) représentent l'alimentation secondaire pendant toute l'année ainsi que les détritits constituent aussi une proie secondaire mais seulement pour les saisons d'hiver et printemps (Tableau 34).

Tableau 34. Evolution de l'indice d'occurrence (Fc) par groupe de proie et par saison chez *Sardinella maderensis*

Saison				
Groupe	Printemps	Été	Automne	Hiver
Crustacés	70,00%	72,97%	80,00%	52,59%
Poissons	15,00%	18,38%	12,50%	14,66%
Mollusques	0,00%	5,41%	4,17%	1,72%
Détritus	15,00%	0,54%	0,00%	21,55%
Autres	0,00%	2,70%	3,33%	9,48%

1.2.3.3. Variation de l'indice d'occurrence par groupe de taille et saison

Sardinella aurita

- **Année 2015**

La composition du régime alimentaire par groupe de taille et par saison est décrite dans la figure 57.

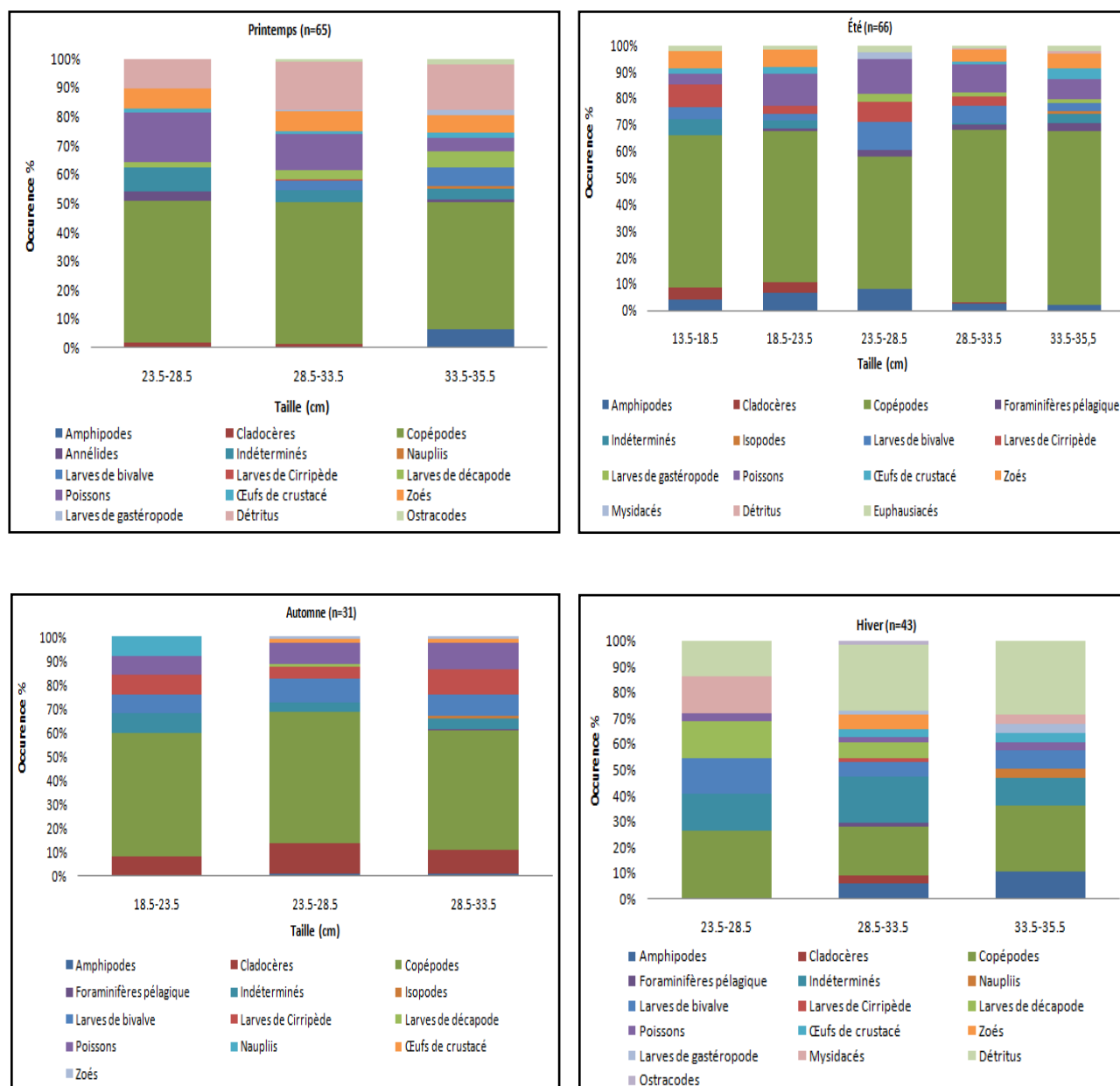


Figure 57. Principales proies de la sardinelle ronde par groupe de taille et par saison durant l'année 2015

D'après la figure 57 les crustacés sont consommés pendant toute l'année par la sardinelle ronde et par toutes les classes de taille. Les copépodes qui sont les principales proies de *Sardinella aurita* sont rencontrés dans les estomacs analysés durant les quatre saisons aussi bien pour les jeunes que pour les adultes. Les poissons qui sont représentés par des œufs, larves, et écailles sont présents aussi pendant toute l'année et chez toutes les classes de taille.

En hiver, nous avons remarqué une dominance des détritits surtout pour les adultes de tailles entre 28 et 35,5 cm.

- **Année 2016**

Comme pour l'année 2015, les crustacés sont consommés pendant toute l'année et pour les différentes classes de taille qui existent. Parmi ces crustacés on trouve les copépodes qui sont les principales proies consommées par la sardinelle ronde durant toute l'année et par toutes les classes de tailles. Le reste des proies n'est pas consommé par toutes les classes de tailles durant les quatre saisons (Figure 58).

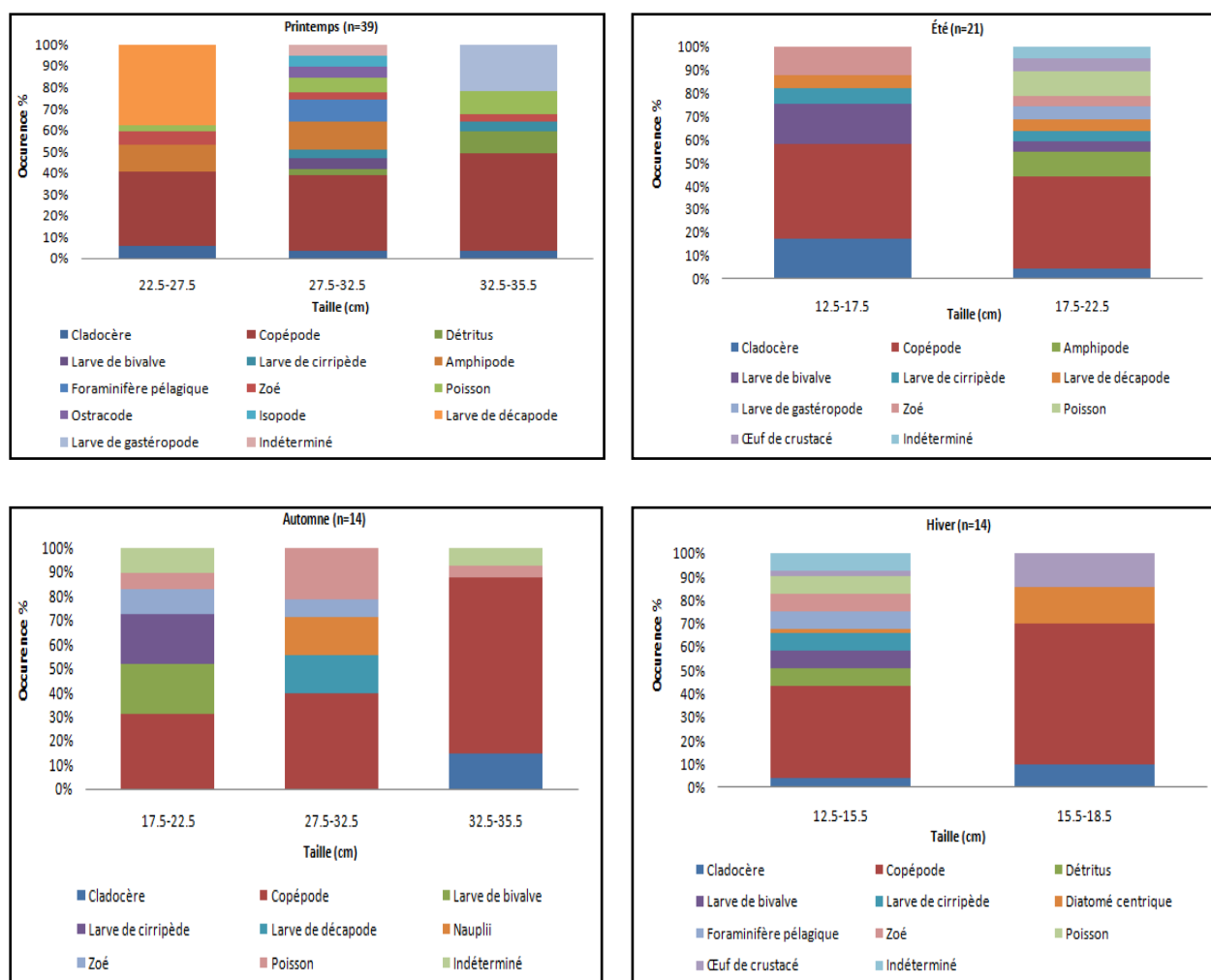


Figure 58. Principales proies de la sardinelle ronde par groupe de taille et par saison durant l'année 2016

Sardinella maderensis

Pour la sardinelle plate la variation des groupes de proies par classes de tailles et par saison a montré des résultats presque similaires à ceux de la sardinelle ronde concernant la proie préférentielle. En effet, les crustacés notamment les copépodes sont consommés par toutes classes de tailles et durant toutes les périodes de l'année.

Le reste de proies leurs présence est variable, elle dépende de la classe de taille et de la saison (Figure 59).

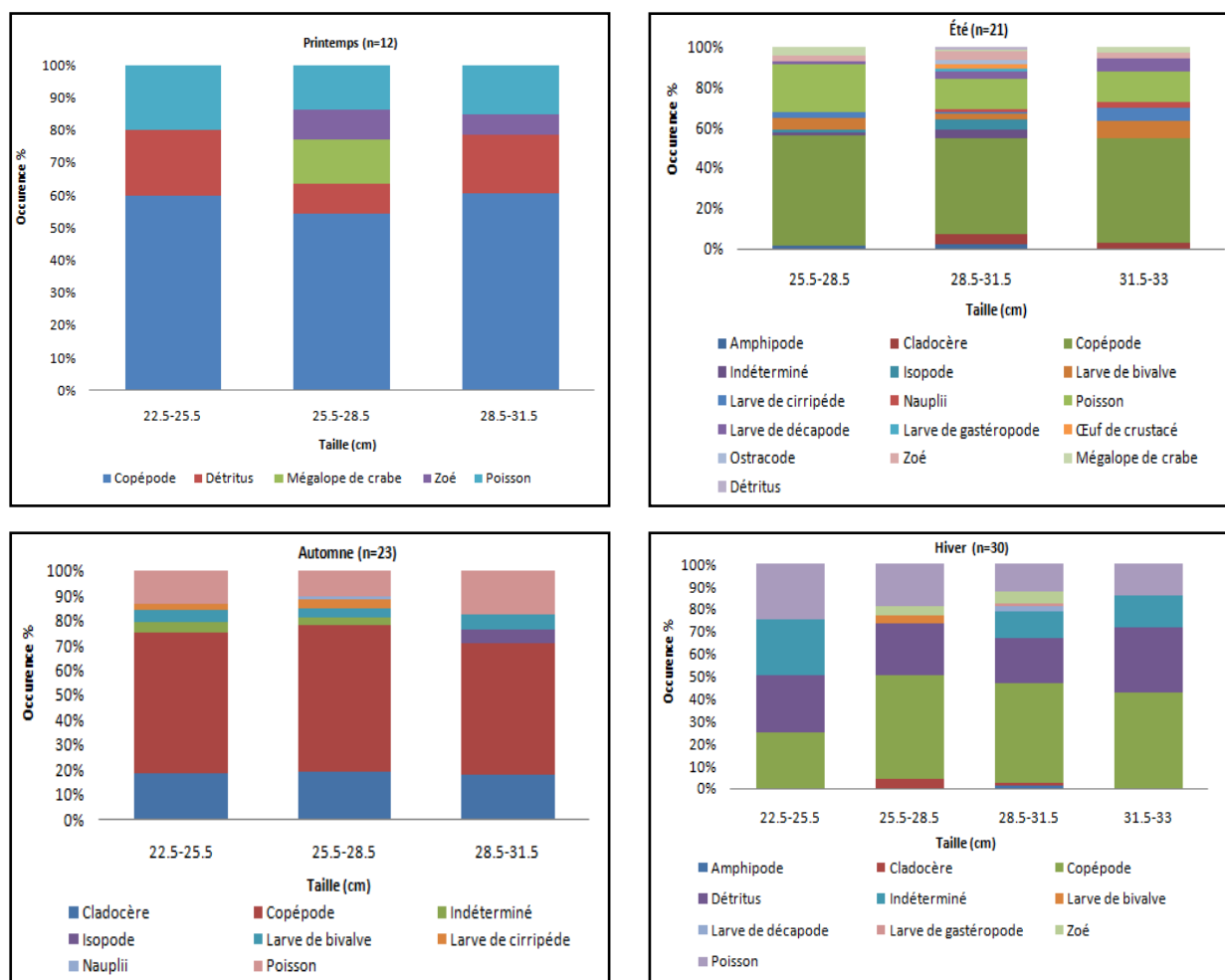


Figure 59. Principales proies de la sardinelle plate par groupe de taille et par saison durant la période 2015-2016

1.2.4. Indice de remplissage total (TFI)

Sardinella aurita

Les valeurs de l'indice de remplissage total (TFI) calculées par taille, par saison et par sexe pendant les années 2015 et 2016 sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 35. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de *Sardinella aurita*, calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant l'année 2015

Caractère		Moyenne de TFI	Nombre d'estomacs	Ecart type
Tailles (cm)	13,5-18,5	15,11	10	7,32
	18,5-23,5	16,29	17	6,59
	23,5-28,5	10,65	41	5,76
	28,5-33,5	11,81	102	4,55
	33,5-35,5	14,58	37	1,68
Sexe	Femelles	13,63	76	7,66
	Mâles	11,86	75	7,85
Saison	Printemps	9,98	18	6,23
	Été	13,63	60	23,27
	Automne	17,55	29	8,11
	Hiver	5,14	44	10,74

L'évolution de TFI par saison, par sexe et par taille est testée par l'analyse de la variance à plusieurs facteurs 'MANOVA'. Les résultats de l'analyse de la variance sur ces données ont montré que la saison a un effet significatif sur l'indice TFI ($p = 0,00$), contrairement à la taille et au sexe qui ont des effets non significatifs sur l'indice TFI avec $p = 0,09$ et $p = 0,7$ respectivement.

Les valeurs des TFI des individus immatures sont légèrement supérieures à celles des individus matures. Par rapport à la saison, les valeurs élevées de TFI sont observées en automne et été. Pour les deux sexes nous avons trouvé un indice de TFI chez les femelles supérieur à celui des mâles (Tableau 35).

Tableau 36. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de *Sardinella aurita*, calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant l'année 2016

Caractère		Moyenne de TFI	Nombre d'estomacs	Ecart type
Tailles (cm)	12,5-17,5	36,60	17	13,58
	17,5-22,5	21,97	30	16,42
	22,5-27,5	22,31	3	15,22
	27,5-32,5	13,31	28	10,24
	32,5-35,5	6,19	13	3,18
Sexe	Femelles	23,87	59	16,97
	Mâles	12,28	32	10,21
Saison	Printemps	12,58	41	9,83
	Été	33,28	21	11,53
	Automne	4,24	15	5,80
	Hiver	37,39	14	11,82

En 2016, la variation de TFI par saison, par sexe et par taille est testée aussi par l'analyse de la variance à plusieurs facteurs "MANOVA". Les résultats de l'analyse de la variance sont les mêmes que l'année précédente, les données ont montré que la saison a un effet significatif sur l'indice TFI ($p = 0,00$), contrairement à la taille et le sexe qui ont des effets non significatifs sur l'indice TFI avec $p = 0,18$ et $p = 0,09$ respectivement.

Les valeurs des TFI des individus immatures sont supérieures à celles des individus matures. Par rapport à la saison, les valeurs élevées de TFI sont observées en été et hiver. En comparant les deux sexes nous avons trouvé le même résultat que l'année précédente, l'indice TFI chez les femelles a été supérieur à celui des mâles (Tableau 36).

Sardinella maderensis

Concernant la sardinelle plate, les résultats du test statistique (MANOVA) ont montré que la saison et la taille ont des effets significatifs sur l'indice (TFI) avec $p = 0,00$. Le sexe ne présente aucun effet significatif sur cet indice ($p = 0,39$).

Les valeurs des TFI varient d'un groupe de taille à un autre. La faible valeur a été observée chez les individus de grande taille. Concernant la saison, les valeurs élevées ont été constatées en hiver et au printemps. Pour la sardinelle ronde, les femelles ont toujours un indice de TFI supérieur à celui des mâles (Tableau 37).

Tableau 37. Valeurs moyennes de l'indice de remplissage total (TFI) de *Sardinella maderensis*, calculées par groupe de taille, par saison et par sexe durant la période 2015-2016

Caractère		Moyenne de TFI	Nombre d'estomacs	Ecart type
Tailles (cm)	22,5-25,5	22,55	11	13,70
	25,5-28,5	17,81	32	18,07
	28,5-31,5	26,46	35	18,86
	31,5-33	12,62	5	20,84
Sexe	Femelles	22,33	50	18,06
	Mâles	20,66	36	18,07
Saison	Printemps	39,37	12	3,82
	Été	7,56	21	3,09
	Automne	15,64	23	6,27
	Hiver	42,85	30	18,06

1.2.5. Indice de l'Importance Relative : IRI

Sardinella aurita

A partir de l'analyse de 242 contenus stomacaux (151 en 2015 et 91 en 2016) pour des individus de tailles comprises entre 13,5 et 35,5 cm de longueur totale pour l'année 2015 et entre 12,5 et 35,5 cm pour 2016, 36 proies ont été identifiées pour 2015 et 31 proies pour 2016 (Tableaux 38 et 40). La diète alimentaire de la sardinelle ronde durant les deux années est composée essentiellement de crustacés, suivis de poissons et autres proies avec des indices IRI très faibles. En 2015, les crustacés représentent 83,41% de l'IRI total et 71,55% de la fréquence d'occurrence (F) et ils sont dominés par les copépodes, notamment la famille des euterpinidae, calanidae et oncaeidae. Une grande partie des copépodes rencontrés dans l'estomac de la sardinelle ronde est composée d'individus non identifiés et qui représentent 17,93 % de l'IRI et 8,34 % de F total. Les copépodes non identifiés sont rencontrés en état de digestion très avancée.

Les poissons qui représentent 12,28 % de l'IRI total et 10,21 % de F sont composés essentiellement des œufs et écailles de poissons non identifiés et en très faible proportion des œufs d'anchois (*Engraulis encrasicolus*).

Les mollusques qui représentent seulement 3,53 % de l'IRI et 6,37 % de F total sont composés seulement de larves de bivalves et gastéropodes.

Les détritiques avec une fréquence d'occurrence (F) de 6,69 % sont composés de débris de sable et végétale, la mesure des autres indices pour ce groupe de proie a été impossible puisque leur présence a été avec un très grand nombre et petites taille qu'on ne peut pas quantifier ni mesurer.

Les protozoaires et les vers sont représentés avec des très faibles proportions et ils se composent respectivement de foraminifères pélagiques et des annélides.

Le dernier groupe des indéterminés concerne les proies qui étaient dans un état de digestion avancée et qui représentent 4,49 % de F et 0,79 % de l'IRI (Tableau 38).

Tableau 38. Importance des différentes proies de *Sardinella aurita* exprimée en : F, % de fréquence d'occurrence ; N, % d'abondance ; P, % de biomasse et % de l'IRI pour l'année 2015

Proies		Familles	N (%)	F (%)	P (%)	IRI (%)
Crustacés	Copépodes	Calanidae	14,85	11,69	9,39	19,10
		Candaciidae	1,81	0,98	1,84	0,24
		Centropagidae	2,78	2,62	8,36	1,97
		Corycaedae	1,22	2,7	0,32	0,28
		Ectinosomatidae	0,69	2,45	0,19	0,15
		Euchaetidae	0,02	0,08	0,00	0,00
		Euterpinae	23,23	13,25	5,03	25,23
		Metridinidae	0,33	0,25	0,68	0,02
		Oithonidae	0,10	0,25	0,02	0,00
		Oncaeidae	18,52	8,91	4,20	13,64
		Paracalanidae	0,06	0,41	0,17	0,01
		Pontellidae	0,03	0,16	0,07	0,00
		Sapphirinidae	0,06	0,25	0,11	0,00
		Temoridae	0,09	0,65	0,08	0,01
		Copépodes (n.i.d)	13,10	8,34	18,80	17,93
	Cladocères	Podonidae	4,76	3,35	2,31	1,60
	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)	0,78	2,7	0,12	0,16
	Euphausiacés	Euphausiacés (n.i.d)	0,10	0,57	0,10	0,01
	Isopodes	Tylidae	0,02	0,16	1,04	0,01
	Ostracodes	Ostracodes (n.i.d)	0,06	0,41	0,02	0,00
	Zoés	Zoés (n.i.d)	1,02	4,42	7,22	2,46
	Larves de Cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	1,60	3,11	0,68	0,48
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)	0,28	1,55	0,08	0,04
	Mysidacés	Mysidacés (n.i.d)	0,03	0,25	0,12	0,00
	Œufs de crustacé	Œufs de crustacé (n.i.d)	0,61	1,71	0,01	0,07
	Naupliis	Naupliis (n.i.d)	0,04	0,33	0,00	0,00
	Total		86,17	71,55	60,98	83,41
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)	4,42	5,47	4,55	3,31
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)	0,15	0,9	3,52	0,22
	Total		4,57	6,37	8,07	3,53
Poissons	Larves de poisson	Larves de poisson (n.i.d)	0,04	0,25	0,04	0,00
	Œufs d'anchois	Engraulidae	0,34	0,25	0,09	0,01
	Œufs de poisson	Œufs de poisson (n.i.d)	4,30	5,63	16,46	7,90
	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)	3,40	4,08	12,47	4,38
	Total		8,08	10,21	29,06	12,28
Protozoaires	Foraminifères pélagique	Foraminifères pélagique (n.i.d)	0,15	0,82	0,30	0,02
	Total		0,15	0,82	0,30	0,02
Vers	Annélides	Annélides (n.i.d)	0,03	0,25	0,00	0,00
	Total		0,03	0,25	0,00	0,00
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	6,69	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	6,69	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	1,00	4,49	1,61	0,79
	Total		1,00	4,49	1,61	0,79

La variation de l'indice IRI des 36 proies par taille du prédateur est représentée dans le tableau ci-dessous.

Les crustacés sont consommés par tous les groupes de tailles de la sardinelle ronde. Leur pourcentage d'IRI est variable d'un groupe de taille à un autre. Leur contribution dans le régime alimentaire de la sardinelle ronde est significativement importante par rapport au reste de proies pour tous les groupes de taille.

D'après le tableau 39 nous avons remarqué que parmi les crustacés consommés, les copépodes représentent l'IRI le plus important, ce dernier a été élevé chez les individus de petites tailles (13,5-23,5 cm) par rapport aux autres groupes de taille. Parmi les copépodes les plus ingérés, nous signalons les calanidae, qui ont été consommés avec un pourcentage élevés par les individus de petites tailles, par contre les euterpinidae et oncaeidae dominant chez les sardinelles rondes de grandes tailles.

Tableau 39. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de *Sardinella aurita* calculé par groupe de taille du prédateur en 2015

			Groupes de taille (cm)				
Proies		Familles	13,5-18,5	18,5-23,5	23,5-28,5	28,5-33,5	33,5-35,5
Crustacés	Copépodes	Calanidae	69,44	38,12	24,23	10,89	12,18
		Candaciidae	0,00	0,01	0,08	0,09	1,13
		Centropagidae	0,00	0,06	0,22	2,67	2,45
		Corycaedae	0,00	0,46	0,36	0,19	0,39
		Ectinosomatidae	0,82	0,85	0,01	0,05	0,28
		Euchaetidae	0,00	0,00	0,004	0,00	0,00
		Euterpinidae	2,87	1,91	10,05	36,09	22,45
		Metridinidae	0,35	1,13	0,00	0,00	0,00
		Oithonidae	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00
		Oncaeidae	0,53	3,29	6,11	11,40	29,52
		Paracalanidae	0,29	0,00	0,00	0,01	0,00
		Pontellidae	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
		Sapphirinidae	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
		Temoridae	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
		Copépodes (n.i.d)	15,21	26,95	8,33	17,65	17,14
		Cladocères	Podonidae	0,18	3,48	14,31	0,97
	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)	0,36	0,65	0,08	0,04	0,50
	Euphausiacés	Euphausiacés (n.i.d)	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02
	Isopodes	Tylidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
	Ostracodes	Ostracodes (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,004	0,004
	Zoés	Zoés (n.i.d)	4,71	7,95	0,32	1,13	3,64
	Larves de Cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	1,89	0,49	0,69	0,64	0,00
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)	0,00	0,00	0,05	0,04	0,07
	Mysidacés	Mysidacés (n.i.d)	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01
	Œufs de crustacé	Œufs de crustacé (n.i.d)	0,11	0,14	0,02	0,04	0,17
	Naupliis	Naupliis (n.i.d)	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
	Total			96,80	85,67	64,97	81,90
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)	1,75	2,67	7,51	3,23	1,47
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)	0,00	0,00	0,08	0,12	1,37
	Total		1,75	2,67	7,58	3,35	2,84
Poissons	Larves de poisson	Larves de poisson (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	Œufs d'anchois	Engraulidae	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
	Œufs de poisson	Œufs de poisson (n.i.d)	0,15	8,56	16,41	7,38	5,68
	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)	0,10	2,52	9,92	6,81	0,19
	Total		0,25	11,08	26,40	14,19	5,89
Protozoaires	Foraminifères pélagique	Foraminifères pélagique (n.i.d)	0,00	0,18	0,00	0,01	0,01
	Total		0,00	0,18	0,00	0,01	0,01
Vers	Annélides	Annélides (n.i.d)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Total		0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Détritrus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	1,20	0,40	1,04	0,55	1,16
	Total		1,20	0,40	1,04	0,55	1,16

Le calcul du degré de similarité des préférences alimentaires entre les cinq groupes de tailles de la sardinelle ronde est illustré par le dendrogramme présenté sur les figures 60 et 61.

Pour une distance de 35,5 la population de la sardinelle ronde en 2015 peut être scindée en deux groupes :

- Le premier groupe est composé d'individus appartenant à la gamme de taille (13,5-28,5 cm) qui se nourrit essentiellement des copépodes de la famille des calanidae, dont le quel se forme deux sous-groupes (13,5-18,5 et 18,5-28,5 cm). En plus des calanidae le deuxième groupe a une certaine préférence vers les œufs de poisson et cladocères (podonidae).
- Le deuxième groupe contient les individus les plus proches de point de vue préférence alimentaire, de tailles comprises entre 28,5 et 35,5 cm, qui se nourrit principalement des copépodes de la famille des euterpinidae et oncaeidae.

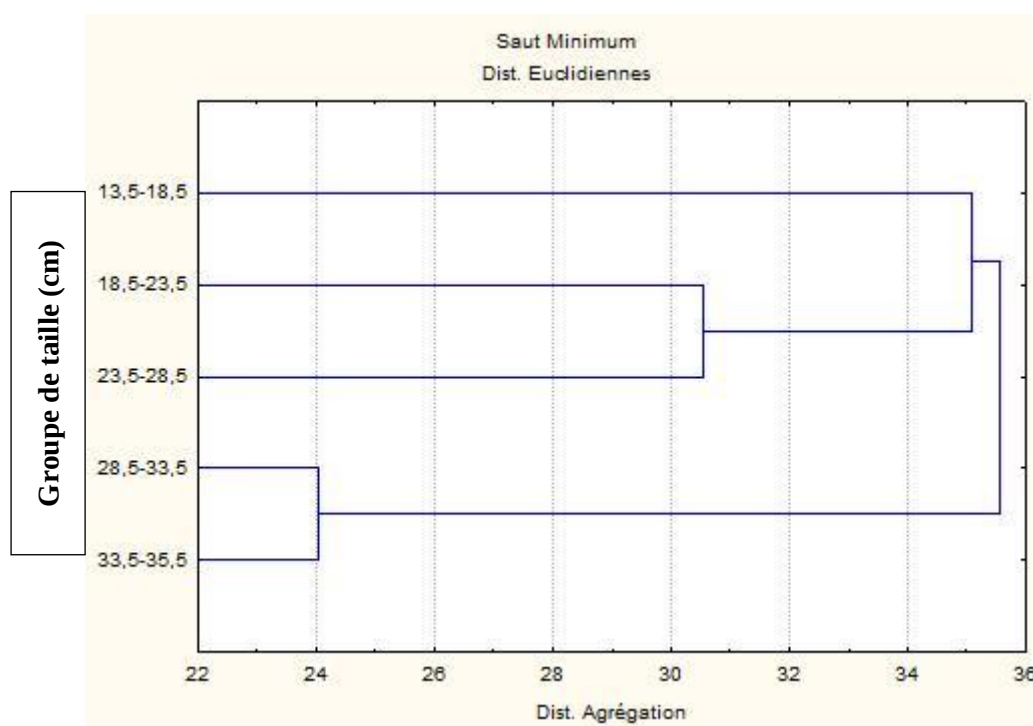


Figure 60. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de cinq groupes de taille de sardinelle ronde durant l'année 2015

En 2016, les crustacés restent la proie la plus consommée et qui représentent le pourcentage le plus élevé avec 90,79 % de l'IRI et 77,66 % de fréquence d'occurrence. Parmi ces derniers les copépodes restent les plus dominants, particulièrement la famille des centropagidae, oncaeidae, calanidae et euterpinidae. En plus des copépodes, nous avons trouvé les cladocères avec un IRI égale à 11,76 % et un F de 6,30 %.

Après les crustacés vient le groupe des poissons qui représente 9,04 % de l'IRI et 9,11 % de F total, dans ce groupe on trouve les écailles et les œufs de poisson non identifiés et les œufs d'anchois avec un pourcentage très faible.

Dans la troisième position, nous avons rencontré les mollusques notamment des larves de bivalve et gastéropode avec un pourcentage de 0,13 d'IRI et 3,33 de F total.

Le reste des proies consommées (protozoaires, détritus, indéterminés et diatomées) présentent des proportions très faibles (Tableau 40)

Tableau 40. Importance des différentes proies de *Sardinella aurita* exprimée en : F, % de fréquence d'occurrence ; N, % d'abondance ; P, % de biomasse et % de l'IRI pour l'année 2016

Proies		Familles	N (%)	F (%)	P (%)	IRI (%)
Crustacés	Copépodes	Acartidae	0,06	0,35	0,06	0,00
		Calanidae	8,81	9,81	2,15	8,06
		Candaciidae	0,01	0,18	0,02	0,00
		Centropagidae	39,66	6,83	40,83	41,26
		Corycaedae	0,49	4,03	0,06	0,17
		Ectinosomatidae	0,45	4,55	0,05	0,17
		Euterpinidae	8,33	11,21	0,92	7,78
		Oithonidae	0,01	0,18	0,00	0,00
		Oncaeidae	20,67	11,38	2,06	19,42
		Témoridae	0,54	2,10	0,26	0,13
		Copépodes (n.i.d)	2,04	7,53	0,59	1,49
	Amphipodes	Caprellidae	0,07	0,88	0,06	0,01
		Gammaridae	0,11	0,88	0,19	0,02
		Amphipodes (n.i.d)	0,01	0,18	0,07	0,00
	Cladocères	Podonidae	13,93	6,30	10,92	11,76
	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)	0,01	0,18	0,00	0,00
	Zoés	Zoé (n.i.d)	0,19	2,80	0,33	0,11
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)	0,02	0,18	0,00	0,00
	Isopodes	Isopode (n.i.d)	0,01	0,18	0,01	0,00
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	0,34	3,68	0,13	0,13
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)	0,44	3,15	0,52	0,23
	Œufs de crustacé	Œufs de crustacé (n.i.d)	0,30	1,10	0,00	0,05
	Total		96,52	77,66	59,23	90,79
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)	0,18	2,63	0,48	0,13
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)	0,06	0,70	0,02	0,00
	Total		0,24	3,33	0,50	0,13
Poissons	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)	1,58	2,45	37,43	7,19
	Œufs d'anchois	Engraulidae	0,04	0,18	0,02	0,00
	Œufs de poisson	Œufs de poisson (n.i.d)	1,40	6,48	2,41	1,85
	Total		3,02	9,11	39,86	9,04
Protozoaires	Foraminifères pélagique	Foraminifères pélagique (n.i.d)	0,06	0,88	0,01	0,00
	Total		0,06	0,88	0,01	0,00
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	5,43	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	5,43	n.i.d	n.i.d
Diatomées	Diatomées centriques	Coscinodiscacées	n.i.d	1,23	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	1,23	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	0,18	2,36	0,20	0,04
	Total		0,18	2,36	0,20	0,04

L'évolution de l'indice d'importance relatif des 31 proies ingérées par la sardinelle ronde de différentes tailles est représentée dans le tableau 41.

Comme pour l'année précédente les crustacés sont consommés par tous les groupes de tailles avec un pourcentage très élevé de l'IRI surtout pour les individus de petites et moyennes tailles (12,5 à 27,5 cm). Chez les crustacés nous avons remarqué qu'en plus des copépodes qui sont présents avec un pourcentage élevé, les cladocères (podonidae) ont été rencontrés avec un pourcentage élevé pour les tailles comprises entre 22,5 et 32,5 cm. Nous avons remarqué que les individus de petites tailles ont une préférence pour les copépodes de la famille des centropagidae et oncaeidae, cette dernière famille on la trouve aussi avec un IRI élevé chez les individus de grandes tailles en plus des euterpinae et calanidae.

Chez les poissons, le grand pourcentage d'IRI a été observé chez les écailles de poisson qui ont été principalement consommés par les individus de grandes tailles.

Tableau 41. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de *Sardinella aurita* calculé par groupe de taille du prédateur en 2016

			Groupes de taille (cm)				
Proies		Familles	12,5-17,5	17,5-22,5	22,5-27,5	27,5-32,5	32,5-35,5
Crustacés	Copépodes	Acartidae	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
		Calanidae	0,42	0,35	23,59	23,79	14,78
		Candaciidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
		Centropagidae	25,24	87,31	3,79	1,09	0,02
		Corycaedae	1,02	0,09	0,00	0,02	0,03
		Ectinosomatidae	0,12	0,10	0,00	0,13	0,83
		Euterpinidae	1,18	6,36	2,47	6,36	16,89
		Oithonidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Oncaeidae	68,25	2,88	0,00	4,48	40,69
		Témoridae	1,01	0,01	0,09	0,11	0,05
		Copépodes (n.i.d)	0,58	1,16	0,11	1,64	2,59
	Amphipodes	Caprellidae	0,00	0,01	0,13	0,02	0,00
		Gammaridae	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00
		Amphipodes (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	Cladocères	Podonidae	1,05	0,03	66,48	34,87	0,55
	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Zoés	Zoé (n.i.d)	0,14	0,06	0,43	0,13	0,03
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Isopodes	Isopode (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	0,05	0,25	0,00	0,06	0,02
	Larves de décapode	Larves de décapode (n.i.d)	0,02	0,75	1,38	0,00	0,00
	Œufs de crustacé	Œufs de crustacé (n.i.d)	0,13	0,06	0,00	0,00	0,00
	Total		99,19	99,47	98,48	72,73	76,53
Mollusques	Larves de bivalve	Larves de bivalve (n.i.d)	0,72	0,21	0,00	0,00	0,00
	Larves de gastéropode	Larves de gastéropode (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
	Total		0,72	0,21	0,00	0,00	0,10
Poissons	Ecailles de poisson	Ecailles de poisson (n.i.d)	0,00	0,13	0,00	22,40	15,36
	Œufs d'anchois	Engraulidae	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	Œufs de poisson	Œufs de poisson (n.i.d)	0,07	0,16	1,52	4,75	7,99
	Total		0,07	0,30	1,52	27,20	23,36
Protozoaires	Foraminifères pélagique	Foraminifères pélagique (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	Total		0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
Diatomées	Diatomées centriques	Coscinodiscacées	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	0,02	0,02	0,00	0,05	0,02
	Total		0,02	0,02	0,00	0,05	0,02

Le calcul du degré de similarité des préférences alimentaires a montré que pour une distance de 90, la population de la sardinelle ronde en 2016 peut être scindée en deux groupes :

- Le premier groupe est composé d'individus appartenant à la gamme de taille (12,5-17,5 et 22,5-35,5 cm) qui se nourrit essentiellement des copépodes de la famille des oncaeidae et cladocères (podonidae). À l'intérieur de ce groupe, on trouve deux sous-groupes dont le plus proche (22,5-32,5 cm) se nourrit essentiellement de podonidae et calanidae.
- Le deuxième groupe est composé d'individus de longueur totale comprise entre 17,5 et 22,5 cm qui se nourrit principalement des copépodes de la famille des centropagidae (Figure 61).

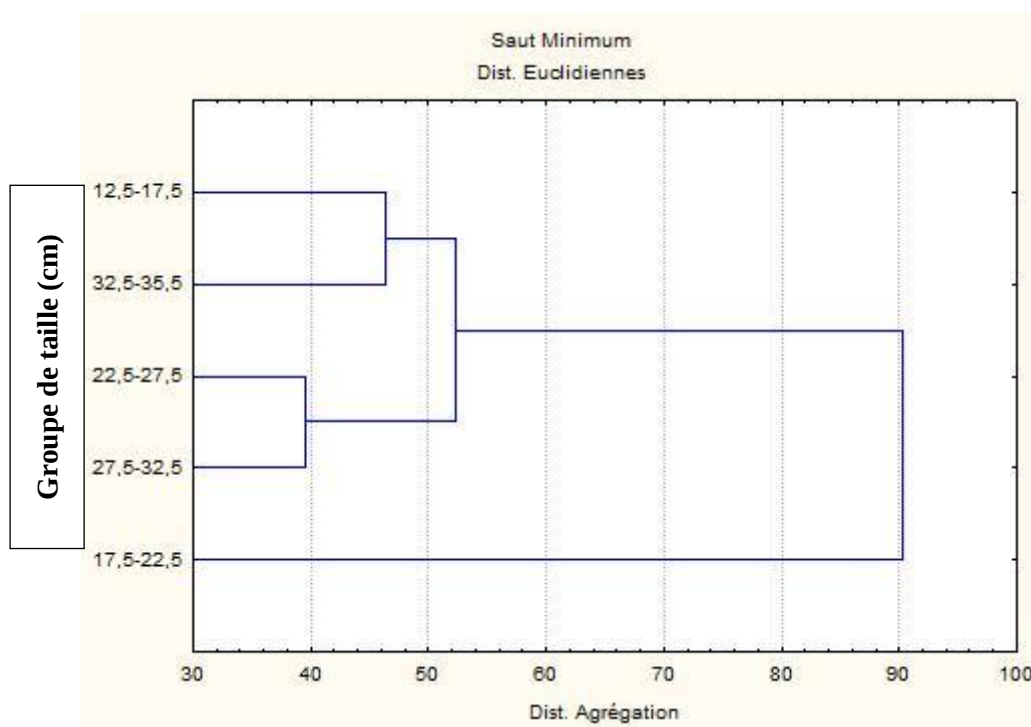


Figure 61. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de cinq groupes de taille de sardinelle ronde durant l'année 2016

Sardinella maderensis

A partir de l'analyse de 88 contenus stomacaux pour des individus de tailles comprises entre 22,5 et 33 cm de longueur totale pour la période 2015-2016, 32 proies ont été identifiés dans les estomacs de la sardinelle plate (Tableau 42). Comme pour la sardinelle ronde la diète alimentaire durant cette période a été composée essentiellement de crustacés, suivis de poissons (œufs, larves et écailles de poissons) et autres proies avec des indices IRI très faibles, sauf que pour la sardinelle plate la différence entre l'IRI des crustacés et des poissons (œufs, larves et écailles de poissons) a été faible. De point de vue poids, la consommation des poissons (œufs, larves et écailles de poissons) dépasse celle des crustacés.

Les crustacés représentent 51,68 % de l'IRI total et 69,44 % de la fréquence d'occurrence (F). Ils sont dominés par les copépodes de la famille des euterpinae, calanidae et d'Oncaeidae. Une grande partie des copépodes rencontrés dans l'estomac de la sardinelle plate est composée d'individus non identifiés et qui représentent 6,49 % de l'IRI et 12,06 % de F total. Les copépodes non identifiés sont rencontrés en état de digestion très avancée.

Les poissons qui représentent 47,84 % de l'IRI total et 7,28 % de F sont composés essentiellement des œufs et écailles de poissons non identifiés et en très faible proportion des œufs d'anchois (*Engraulis encrasicolus*), ces œufs de poissons représentent la grande part de la consommation en poids de cette espèce.

Les mollusques qui représentent seulement 0,13 % de l'IRI et 3,54 % de F total sont composés seulement de larves de bivalves et gastéropodes.

Les détritiques avec une fréquence d'occurrence (F) de 7,28 % sont composés de débris de sable et végétale, comme pour *Sardinella aurita*, la mesure des autres indices pour ce groupe de proie a été impossible avec le grand nombre et petites tailles de ces détritiques.

Le dernier groupe des indéterminés concerne les proies qui étaient dans un état de digestion avancée et qui représentent 4,16 % de F et 0,35 % de l'IRI.

Tableau 42. Importance des différentes proies de *Sardinella maderensis* exprimée en : F, % de fréquence d'occurrence ; N, % d'abondance ; P, % de biomasse et % de l'IRI

Proies		Familles	N (%)	F (%)	P (%)	IRI (%)
Crustacés	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)	0,12	0,62	0,40	0,02
		Leucothoe	0,05	0,21	1,17	0,02
	Cladocères	Podonidae	5,54	6,03	2,44	3,05
	Copépodes	Acartiidae	0,22	0,21	0,11	0,00
		Calanidae	15,36	12,47	3,50	14,91
		Candaciidae	0,12	1,04	0,26	0,03
		Centropagidae	0,36	1,87	0,93	0,15
		Corycaedae	1,29	3,74	0,47	0,42
		Ectinosomatidae	0,05	0,42	0,01	0,00
		Euterpinidae	24,61	12,06	2,78	20,93
		Copépode (n.i.d)	7,19	12,06	1,30	6,49
		Lucicutiidae	0,07	0,21	0,04	0,00
		Oithonidae	1,01	1,46	0,17	0,11
		Oncaeidae	12,22	5,41	1,27	4,62
		Paracalanidae	0,02	0,21	0,01	0,00
		Temoridae	0,07	0,62	0,12	0,01
	Isopodes	Tylidae	0,36	1,25	0,20	0,04
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	0,24	1,66	0,10	0,04
	Larves de décapode	Larve de décapode (n.i.d)	0,36	1,66	3,11	0,37
	Mégaloopes de crabe	Mégaloope de crabe (n.i.d)	0,55	1,66	2,60	0,33
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)	0,07	0,62	0,01	0,00
	Œufs de crustacé	Œuf de crustacé (n.i.d)	0,05	0,42	0,00	0,00
	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)	0,05	0,42	0,22	0,01
	Zoés	Zoé (n.i.d)	0,46	3,12	0,21	0,13
	Total		70,43	69,44	21,42	51,68
Mollusques	Larves de bivalve	Larve de bivalve (n.i.d)	0,5	3,12	0,15	0,13
	Larves de gastéropode	Larve de gastéropode (n.i.d)	0,05	0,42	0,01	0,00
	Total		0,55	3,54	0,16	0,13
Poissons	Ecailles de poisson	Ecaille de poisson (n.i.d)	1,49	5,41	1,12	0,89
	Larves de poisson	Larve de poisson (n.i.d)	0,14	0,83	0,01	0,01
	Œufs d'anchois	Engraulidae	1,29	2,08	0,98	0,30
	Œufs de poisson	Œuf de poisson (n.i.d)	25,33	7,28	75,77	46,64
	Total		28,25	15,60	77,88	47,84
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	7,28	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	7,28	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	0,77	4,16	0,55	0,35
	Total		0,77	4,16	0,55	0,35

L'évolution de l'indice d'importance relatif des proies ingérées par la sardinelle plate de différentes tailles est représentée dans le tableau ci-dessous.

Comme pour la sardinelle ronde, les crustacés sont consommés par tous les groupes de tailles avec un pourcentage très élevé de l'IRI surtout pour les individus de petites tailles (22,5 à 25,5 cm). Chez ces derniers, nous avons remarqué qu'ils ont une préférence vers les copépodes de la famille des calanidae et les cladocères de la famille des podonidae. Pour les individus de grandes tailles (31,5-33 cm), l'IRI a été élevée chez les copépodes de type euterpinae et oncaeidae. Chez les poissons, le grand pourcentage d'IRI a été retrouvé chez les œufs qui ont été consommés surtout par les individus de tailles comprises entre 25,5 et 31,5 cm (Tableau 43).

Tableau 43. Evolution du pourcentage de l'indice d'importance relatif (IRI) des groupes de proies de *Sardinella maderensis* calculé par groupe de taille du prédateur

			Groupes de taille (cm)			
Proies	Familles		22,5-25,5	25,5-28,5	28,5-31,5	31,5-33
Crustacés	Amphipodes	Amphipodes (n.i.d)	0,00	0,00	0,03	0,00
		Leucothoe	0,00	0,12	0,03	0,00
	Cladocères	Podonidae	29,21	2,76	2,32	1,08
	Copépodes	Acartiidae	0,00	0,03	0,01	0,00
		Calanidae	43,17	14,85	15,62	4,73
		Candaciidae	0,00	0,03	0,04	0,00
		Centropagidae	1,37	0,38	0,12	0,59
		Corycaedae	0,55	0,40	0,39	2,81
		Ectinosomatidae	0,00	0,00	0,00	0,24
		Euterpinidae	3,32	23,92	27,37	33,15
		Copépode (n.i.d)	13,47	5,57	7,33	0,99
		Lucicutiidae	0,00	0,01	0,00	0,25
		Oithonidae	0,00	0,14	0,15	0,00
		Oncaeidae	0,28	6,43	6,03	14,26
		Paracalanidae	0,00	0,00	0,00	0,00
		Temoridae	0,00	0,02	0,01	0,53
	Isopodes	Tylidae	0,00	0,00	0,07	0,00
	Larves de cirripède	Larves de Cirripède (n.i.d)	0,06	0,06	0,03	1,11
	Larves de décapode	Larve de décapode (n.i.d)	0,00	0,05	0,35	9,82
	Mégaloques de crabe	Mégaloque de crabe (n.i.d)	0,00	0,86	0,26	9,79
	Naupliis	Nauplii (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,25
	(Œufs de crustacé	(Œuf de crustacé (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ostracodes	Ostracode (n.i.d)	0,00	0,00	0,01	0,00
	Zoés	Zoé (n.i.d)	0,00	0,16	0,19	0,25
	Total		91,41	55,79	60,36	79,85
Mollusques	Larves de bivalve	Larve de bivalve (n.i.d)	0,19	0,15	0,11	2,38
	Larves de gastéropode	Larve de gastéropode (n.i.d)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total		0,19	0,15	0,11	2,38
Poissons	Ecaillés de poisson	Ecaillé de poisson (n.i.d)	0,73	1,41	1,14	0,25
	Larves de poisson	Larve de poisson (n.i.d)	0,00	0,00	0,01	0,25
	(Œufs d'anchois	Engraulidae	0,00	0,32	0,28	10,26
	(Œufs de poisson	(Œuf de poisson (n.i.d)	7,20	42,28	37,70	6,64
	Total		7,93	44,02	39,13	17,40
Détritus	Débris (sable et végétale)	Débris (sable et végétale)	n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
	Total		n.i.d	n.i.d	n.i.d	n.i.d
Indéterminés	n.i.d	n.i.d	0,47	0,04	0,40	0,37
	Total		0,47	0,04	0,40	0,37

Le calcul du degré de similarité des préférences alimentaires entre les quatre groupes de tailles de la sardinelle plate a été représenté dans la figure 62.

Pour une distance de 55, la population de la sardinelle plate peut être divisée en deux groupes :

- Le premier groupe est composé d'individus appartenant à la gamme de taille 22,5-25,5 cm et qui se nourrit essentiellement des copépodes de la famille des calanidae et des cladocères appartenant à la famille des podonidae.
- Le deuxième groupe est composé d'individus de tailles comprises entre 25,5 et 33 cm dont la consommation des œufs de poisson et des euterpinidae est préférentielle. Ce groupe se compose de deux sous-groupes, le premier (25,5-31,5 cm) se nourrit des calanidae et le deuxième (31,5-33 cm) a une certaine préférence envers les oncaeidae et les œufs d'anchois (Figure 62).

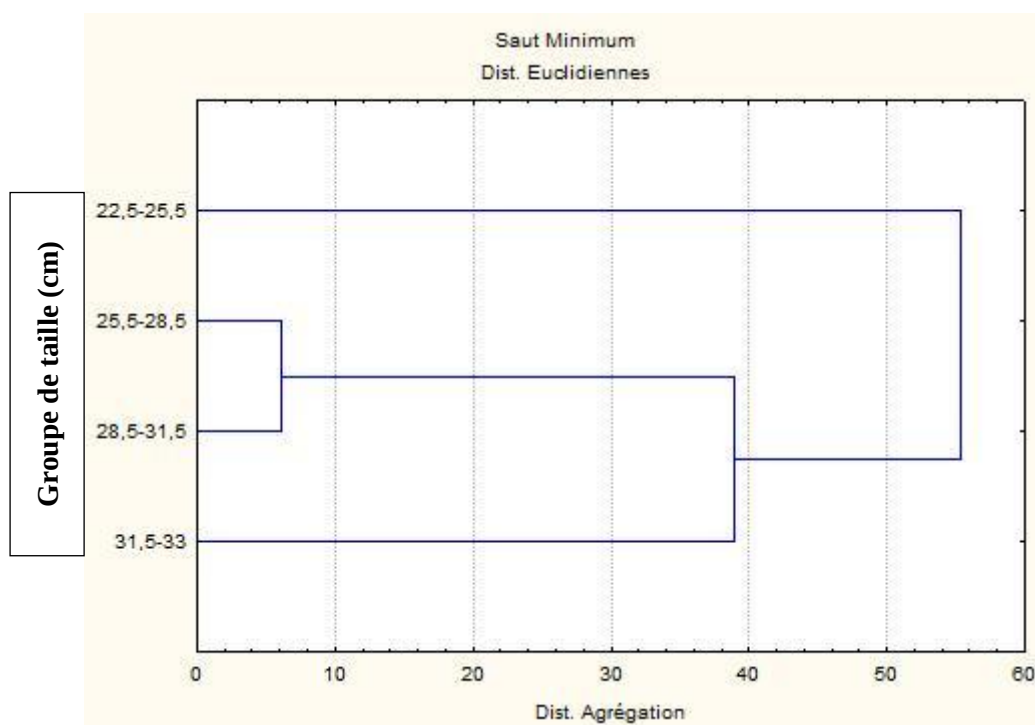


Figure 62. Dendrogramme basé sur le % IRI et montrant la similarité alimentaire de quatre groupes de taille de sardinelle plate

2. Discussion

Les préférences alimentaires des espèces de poissons sont importantes dans la théorie écologique classique, principalement dans l'identification de la concurrence alimentaire (Bacheler et al., 2004), la structure et la stabilité des réseaux alimentaires (Post et al., 2000) et l'évaluation des réponses fonctionnelles des proies-prédateurs (Dörner et Wagner, 2003). Le rôle clé des études d'alimentation pour la biologie et l'écologie des pêches et important pour la gestion des pêches, il n'a été découvert que la dernière décennie avec l'utilisation du niveau trophique pour prédire les effets de la pêche sur l'équilibre des réseaux alimentaires marins (Pauly et al., 1998).

L'analyse quantitative du régime alimentaire des sardinelles a été effectuée à travers le coefficient de vacuité (C.V) qui est inversement proportionnel à l'intensité d'alimentation,

l'indice d'occurrence (F), l'indice de remplissage total de l'estomac (TFI) et l'indice d'importance relative (IRI).

Sardinella aurita

Les résultats de cette étude ont montré que le régime alimentaire de la sardinelle ronde est composé de six groupes de proies en 2015 : les crustacés, les mollusques, les poissons, les protozoaires, les détritiques et les vers, ces mêmes groupes ont été retrouvés en 2016 avec l'apparition des diatomées à la place des vers. La liste faunistique des proies est composée de 17 familles pour 2015 et 15 familles en 2016 avec d'autres non identifiées en raison de leur digestion avancée. L'analyse des contenus stomacaux prélevés a révélé l'identification de trois familles qui constituent l'essentiel du régime alimentaire de la sardinelle ronde, notamment les euterpinidae, les calanidae et les oncaeidae pour l'année 2015 et les centropagidae, les oncaeidae et les podonidae pour 2016.

Notre étude nous a montré que la sardinelle ronde peut être caractérisée comme un poisson omnivore avec une préférence pour les proies animales (zooplanctons), ces résultats sont en accord avec ceux de Tsikliras et al. (2005) en Méditerranée (Mer Égée), Madkour (2011) en Égypte (Côte de Port Said) et Nieland (1982) dans les eaux Sénégalaises, sauf que ce dernier a trouvé une dominance des phytoplanctons et détritiques. Cependant, Postel (1955), Pham-Thuoc et Szypula (1973), Rincon et al. (1988), Moreno et Castro (1995) dans les eaux océaniques et Ananiades (1952), Ben-Tuvia (1956), Bayhan et Sever (2015) en Méditerranée ont reporté que *Sardinella aurita* est une espèce zooplanctonique.

Le pourcentage relativement faible d'apparition d'estomac vide était dû à la disponibilité de matériel alimentaire pour cette espèce. La présence d'un ventre vide occasionnel peut être due à une digestion des aliments dans les estomacs de poisson. La plupart des estomacs vides ont été rencontrés en automne, suivie par l'hiver, l'été et le printemps. De même, selon une étude réalisée par Tsikliras et al. (2005) dans la mer d'Égée du nord de la Grèce, la saison avec le taux le plus élevé d'estomac vide était l'automne (36,6%). À la suite d'une analyse des contenus stomacaux de 400 individus de *Sardinella aurita* menée dans la côte de Port-Saïd située sur les rives méditerranéennes d'Égypte, Madkour (2011) a trouvé que 27,3 % des estomacs examinés étaient vides. Les estomacs vides étaient plus couramment observés pendant la période estivale, alors qu'aucun estomac vide n'était trouvé au printemps. De même, le taux d'estomac vide le plus bas a été trouvé au printemps dans notre étude (0-3,13%). Des résultats similaires ont été obtenus par Bayhan et Sever (2015) qui ont trouvé que la plupart des estomacs vides ont été mentionnée en automne (19,1 %) et que la valeur la plus faible de l'indice de vacuité a été notée au printemps (2,00 %). Cependant, la sardinelle ronde a affiché des valeurs élevées de l'indice de

vacuité, allant de 64,3% en été à 80,0% en automne dans le nord de la mer d'Égée (Karachle et Stergiou, 2014). Au mois de mars, plus de la moitié des estomacs de la sardinelle ronde, contenait de la nourriture (Gushchin et Corten, 2015). L'indice de vacuité a été faible au printemps (saison de ponte), ce qui concorde avec les résultats de Tsikliras et al. (2005) qui ont retrouvé que l'indice de vacuité a été faible durant la saison de ponte. Ceci peut être expliqué par le fait que les poissons ont besoin de plus d'énergie dans la saison de frai pour répondre aux exigences de la reproduction. D'autres auteurs ont trouvé que l'indice de vacuité a été élevé durant la période de reproduction (Pawson et Giama, 1985 ; Wassef et al., 1985), ils ont expliqué ça par le fait que, pendant la ponte, le poisson avait une cavité abdominale complètement occupée avec les gonades mûres.

La fréquence d'occurrence, abondance numérique, composition gravimétrique et indice d'importances relatives obtenues dans l'étude, dans lequel sept groupes alimentaires ont été trouvés, y compris les crustacés, les vers, les poissons, les protozoaires, les mollusques, les détritiques et les diatomées centriques. Au moyen de l'apparition numérique, il y avait une domination claire des crustacés toutes les saisons. De même, d'après l'IRI, les crustacés étaient le groupe de proies les plus importants alors que d'autres taxons comme les poissons (larves, écailles et œufs) ou les mollusques ont moins d'importance dans le régime alimentaire de la sardinelle ronde.

Parmi les crustacés, les copépodes ont contribué le plus dans le régime alimentaire de la sardinelle ronde avec un IRI de 78,58 %, suivis par le groupe des poissons (larves, écailles et œufs) avec un IRI de 12,28 % pour l'année 2015, en 2016 les copépodes dominent avec un IRI de 78,48 %, suivis par les cladocères (podonidae) (11,76 %) et les poissons (écailles et œufs) en troisième place avec un IRI égal à 9,04 %. Cette dominance a été observée chez les individus de toutes les gammes de tailles et pendant les quatre saisons et durant les deux années d'études. Nos résultats sont en accords avec ceux de Bayhan et Sever (2015) dans la mer Égée Turque, qui ont trouvé que les crustacées spécialement les copépodes (calanoides) sont les proies les plus importantes dans la diète alimentaire de la sardinelle ronde avec un IRI de 42,16 % suivis par les polychètes (IRI % = 3,778), cladocères (podonidae) (IRI % = 1,171). Les sardinelles trouvées au Venezuela se nourrissent surtout de zooplancton (copépodes planctoniques, mysid, cladocères, œufs et larves de poissons), zoobenthos (ostracodes et amphipodes), phytoplancton (diatomées, dinoflagellés) et autres crustacés planctoniques (*Lucifer* sp.) (Rincon et al., 1988). Aux îles Canaries, la sardinelle ronde se nourrit principalement de copépodes et des appendiculaires (Moreno et Castro, 1995). Sur une étude menée dans la région de cap Hatteras aux États-Unis, ils ont constaté que la sardinelle ronde se nourrit de zooplancton. Spécialement les copépodes planctoniques (caloniodes) ont été choisis comme alimentation préférentielle (Bowman et al.,

2000). Dans leur étude en Columbia (La Guajira) Gómez-Canchong et al. (2004) ont signalé que la sardinelle ronde se nourrit principalement de zooplancton. L'analyse des contenus stomacaux des individus de *Sardinella aurita* examinés dans la mer égéenne du nord de la Grèce montrent que les crustacés (copépodes, amphipodes, mysidacés, larves de décapodes et autres) constituaient le principal groupe alimentaire, suivis respectivement par les siphonophores, phytoplancton et larves de poissons. Les copépodes étaient le groupe de proies les plus abondants en hiver et au printemps, tandis que les larves de décapodes et les amphipodes ont remplacé les copépodes en été et en automne (Tsikliras et al., 2005). Lomiri et al. (2008) a étudié le contenu du système digestif de cette espèce dans la côte de Sicile située au milieu de la Méditerranée. Les analyses de contenu de l'estomac ont montré que l'espèce se nourrissait principalement de crustacés, surtout les copépodes. La première étude du régime d'alimentation larvaire de cette espèce dans le nord-ouest de la Méditerranée a montré que cette espèce se nourrit principalement de copépodes (nauplii et postnauplii) et cladocères (*Evadne spp.*) (Morote et al., 2008). En Égypte, dans la côte de Port-Saïd, le zooplancton représente 50,1 %, le phytoplancton représente 34 % et les détritiques constituent 15,9 % des proies ingérées par l'espèce (Madkour, 2011).

L'analyse du contenu de l'estomac a révélé 31 produits alimentaires différents, et parmi les proies consommées par la sardinelle ronde dans le nord de la mer Égée, les copépodes dominent (Karachle et Stergiou, 2014). Dans notre étude et dans d'autres études dans lesquelles le contenu du système digestif de *S. aurita* a été identifié, nous avons constaté que l'espèce se nourrit principalement de crustacés, en particulier de copépodes. Nous avons retrouvé que nos résultats étaient similaires aux études menées au Venezuela (Rincon et al., 1988), aux Canaries (Moreno et Castro, 1995), aux États-Unis (Bowman et al., 2000), au Columbia (La Guajira) (Gómez-Canchong et al., 2004), la côte grecque de la mer Égée (Tsikliras et al., 2004 ; Karachle et Stergiou, 2014), la côte de Sicile de la Méditerranée (Lomiri et al., 2008) et le nord-ouest Méditerranéen (Morote et al., 2008). Concernant les détritiques que nous avons trouvé pendant les deux années d'étude avec des fréquences d'occurrences de 6,69 % et 5,43 % en 2015 et 2016 respectivement, ils ont été trouvés aussi en Égypte chez la même espèce, cette dernière contenait 15,9 % de détritiques dans leur système digestif (Madkour, 2011) ; dans les eaux de la Mauritanie Gushchin et Corten (2015) ont mentionnées la présence des détritiques-algues.

L'évolution de l'indice d'importance relative en fonction de la taille de poisson a révélé des changements qualitatifs et quantitatifs des habitudes alimentaires de la sardinelle ronde. En effet, pour toutes les gammes de tailles et pour les deux années d'étude, les crustacées représentent la proie préférentielle de *Sardinella aurita*. Pour l'année 2015, les jeunes individus de tailles comprises entre 13,5 et 28,5 cm se nourrissent principalement de copépodes de la famille des

calanidae, au fur et à mesure que la sardinelle ronde grandit, le taux des calanidae diminue et celui des euterpinae et les oncaeidae augmente. Concernant l'année 2016, les individus de petites tailles (12,5-22,5 cm) se nourrissent principalement de copépode de la famille des oncaeidae et centropagidae, pour les tailles comprises entre 22,5 et 32,5 cm, nous avons remarqué une dominance des cladocères de la famille des podonidae, les individus les plus grandes (32,5-35,5 cm) consomment les calanidae avec un pourcentage de 40,69 %. La différence observée entre les deux années et entre tous les groupes de tailles montre que les modes d'alimentation de la sardinelle ronde dépendent principalement de la saison, ainsi que de la disponibilité et des constituants de leur approvisionnement alimentaire (Komarovskiy, 1959). Les différences de régime alimentaire entre les groupes de taille sont probablement dues aux besoins énergétiques, qui varient selon le stade de développement (Tsikliras et al., 2005), ce qui leur permet d'exploiter séquentiellement une série de tailles de proies allant du phytoplancton et du petit zooplancton à des proies beaucoup plus grandes (Wootton, 1998).

Un des avantages que les sardinelles ont dans l'obtention de nourriture sont les deux mécanismes qu'elles peuvent utiliser (Madkour, 1992). Le premier mécanisme est connu sous le nom d'alimentation par filtrage, c'est le processus où l'eau est filtrée à travers ses branchies ; le phytoplancton et le zooplancton peuvent être obtenus. Ce mécanisme est plus écoénergétique que l'autre mécanisme d'alimentation qui est sélective.

Sardinella maderensis

Concernant les études sur le régime alimentaire de la sardinelle plate sont un peu rares.

Dans la présente étude les résultats de l'analyse des contenus stomacaux ont montré que le régime alimentaire de cette espèce est composé de quatre groupes de proies : les crustacés, les mollusques, les poissons et les détritus. La liste faunistique des proies est composée de 16 familles et d'autres non identifiées. La composition alimentaire de la sardinelle plate est constituée essentiellement des œufs de poissons, des euterpinae et des calanidae.

Les individus analysés ont été de grandes tailles, les estomacs analysés ont montré que la sardinelle plate de la zone sud du Maroc est zooplanctonophage, mais nous signalons aussi la présence des détritus dans les contenus stomacaux de cette espèce pour toutes les classes de tailles.

Dans différentes parties de sa zone de distribution, les sardinelles plates se nourrissent de détritus (Diouf, 1996), de phytoplancton (Whitehead, 1985) et de zooplancton (Da Silva Monteiro et Marques, 1998) ; des cas d'alimentation des œufs et des larves de poissons sont observés (Whitehead, 1985). Cependant, il convient de noter que dans la zone mauritanienne, la part de

détritus atteint 40 % de la masse alimentaire chez les sardinelles plates jeunes avec TL <100 mm (Gushchin, 2013). Une étude récente de Gushchin et Corten (2015) ont montré que *Sardinella maderensis* est une espèce omnivore avec la présence des détritus dans l'estomac des individus de petites tailles.

Sur un total de 88 estomacs analysés de la sardinelle plate, durant la période 2015-2016, 2 estomacs étaient vides, représentant un coefficient de vacuité (C.V) de 2 %. Cette valeur très faible peut être expliquée par la disponibilité de la nourriture dans notre zone d'étude. La présence de ces deux estomacs vides peut être due à la digestion des aliments dans l'estomac de l'espèce. Dans le Golfe d'Arguin, Gushchin (2013) a trouvé que, dans 31 estomacs analysés des juvéniles de la sardinelle plate, 13 estomacs étaient vides représentant un C.V de 42 %.

Le calcul des paramètres concernant la fréquence d'occurrence et abondance numérique a montré qu'il y avait une dominance des crustacés. L'utilisation de la composition gravimétrique a montré des résultats différents, la dominance a été observée chez les œufs de poissons avec $P = 75,77\%$. D'après l'IRI, les crustacés et les poissons (larves, écailles et œufs) étaient les groupes de proies dominants avec une légère dominance de premier groupe par rapport au deuxième. Alors que d'autres proies comme les mollusques ou les détritus ont moins d'importance dans le régime alimentaire de la sardinelle plate.

Parmi les crustacés rencontrés dans l'estomac de *Sardinella maderensis*, ce sont les copépodes qui ont contribué le plus dans le régime alimentaire avec un IRI de 47,67 %, suivis par le groupe de poisson dont les œufs de poisson représentent un IRI de 46,64 %. Cette dominance des crustacés a été observée pour les individus de toutes les gammes de taille et pour les quatre saisons.

A l'aide de l'IRI nous avons trouvé que parmi les copépodes déterminés la famille des euterpinidae était la plus dominante suivie par la famille des calanidae, ces résultats sont similaires à ceux que nous avons retrouvé pour la sardinelle ronde durant l'année 2015, ce qui nous donne une idée sur la disponibilité de ces deux groupes de proies durant cette année. Outre, la valeur de l'IRI des œufs de poisson observée chez la sardinelle plate (46,64%) a été plus élevée que celle retrouvée chez la sardinelle ronde (< 8%) ce qui montre que les sardinelles plates ont une préférence vers les proies de grandes tailles que pour les proies de petites tailles.

La variation de l'indice d'importance relative avec la taille de poisson a montré que les individus de petites tailles ont un régime alimentaire différent de celui des individus de grandes tailles. Les individus de tailles comprises entre 22,5 et 25,5 cm consomment les calanidae et pondolidae plus que les autres proies. Pourtant les individus de tailles entre 25,5 et 31,5 cm, ont une préférence

pour les œufs de poissons. Pour le dernier groupe (31,5 et 33 cm), les euterpinidae constituent la proie dominante.

3. Conclusion

L'étude du régime alimentaire des sardinelles en Atlantique sud marocain a révélé que :

Pour *Sardinella aurita* :

- Pour les deux années d'étude, le régime alimentaire de la sardinelle ronde est composé de crustacés comme proies préférentielles, de poissons (larves, écailles et œufs) comme proies secondaires et le reste de proies constitue une alimentation occasionnelle. En 2015, en plus des poissons (larves, écailles et œufs), nous avons rencontré les mollusques et détritiques qui constituent aussi une proie secondaire pour *Sardinella aurita*.
- Le coefficient de vacuité a été faible durant toute la période d'étude ce qui montre la disponibilité de la nourriture pour cette espèce.
- Les principaux groupes de proies consommées sont : les copépodes de la famille des euterpinidae et calanidae en 2015 et de la famille des centropagidae et oncaeidae en 2016.
- Des changements qualitatifs et quantitatifs des habitudes alimentaires de la sardinelle ronde en fonction de la taille ont été observés, dont on distingue deux grands groupes de tailles qui ont des préférences alimentaires différentes. La similitude entre les deux groupes de taille a été grande en 2015 (distance = 35,5) par rapport à 2016 (distance = 90).

Pour *Sardinella maderensis* :

- Le régime alimentaire de la sardinelle plate est composé de crustacés comme proies préférentielles, de poissons comme proies secondaires et les mollusques et détritiques constituent une alimentation occasionnelle.
- Le pourcentage de l'indice de vacuité a été trop faible ce qui montre la disponibilité de la nourriture pour cette espèce dans notre zone d'étude.
- Les principaux groupes de proies consommées sont : les poissons (œufs de poissons) et les copépodes appartenant aux familles des euterpinidae et calanidae.
- À partir de l'évolution de l'indice d'importance relative en fonction de la taille, la population de la sardinelle plate peut être divisée en deux grands groupes de taille (groupe 1 : 22,5-25,5 cm et groupe 2 : 22,5-33 cm) qui présentent des habitudes alimentaires différentes. La distance entre ces deux groupes de taille a été de 55.

IV. Influence des paramètres environnementaux sur l'abondance de *Sardinella aurita* dans la zone Atlantique sud marocaine

1. Résultats

1.1. Variabilité annuelle des débarquements de la sardinelle ronde et des paramètres environnementaux (SST et Chl-a)

La répartition des débarquements totaux des sardinelles rondes des différents ports de débarquements au Maroc est présentée dans la figure 63.

Les débarquements de *S. aurita* les plus importants sont enregistrés au niveau du port de Dakhla avec un pourcentage de 97 %, suivi par Laâyoune (2 %), le reste des ports représentent des pourcentages très faibles de débarquement de cette espèce (< 1 %). D'où vient l'utilité de l'utilisation des données du port de Dakhla pour les prochaines analyses.

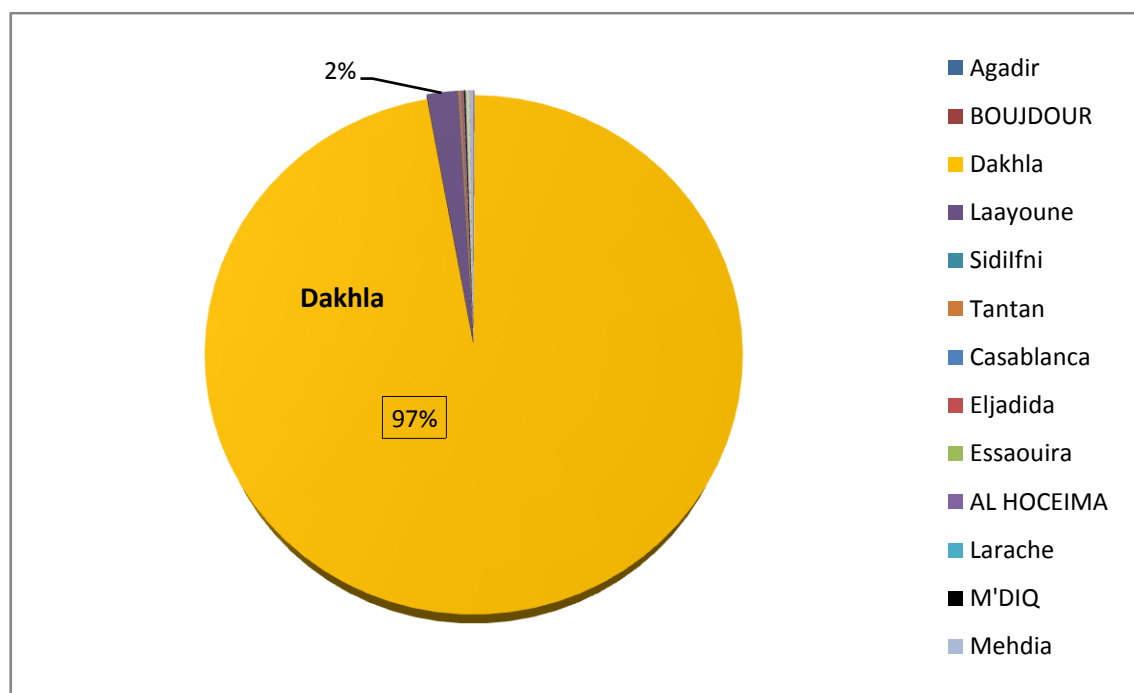


Figure 63. Répartition de captures totales de la sardinelle ronde par région au Maroc durant la période (2009-2016)

Les débarquements de *S. aurita* révèlent une variabilité interannuelle avec une tendance à la baisse durant ces dernières années (Figure 64), les débarquements maximaux des sardinelles rondes ont été enregistrés en 2012 avec une valeur de 101 373 tonnes et la plus faible valeur a été observée en 2016 (8 230 t).

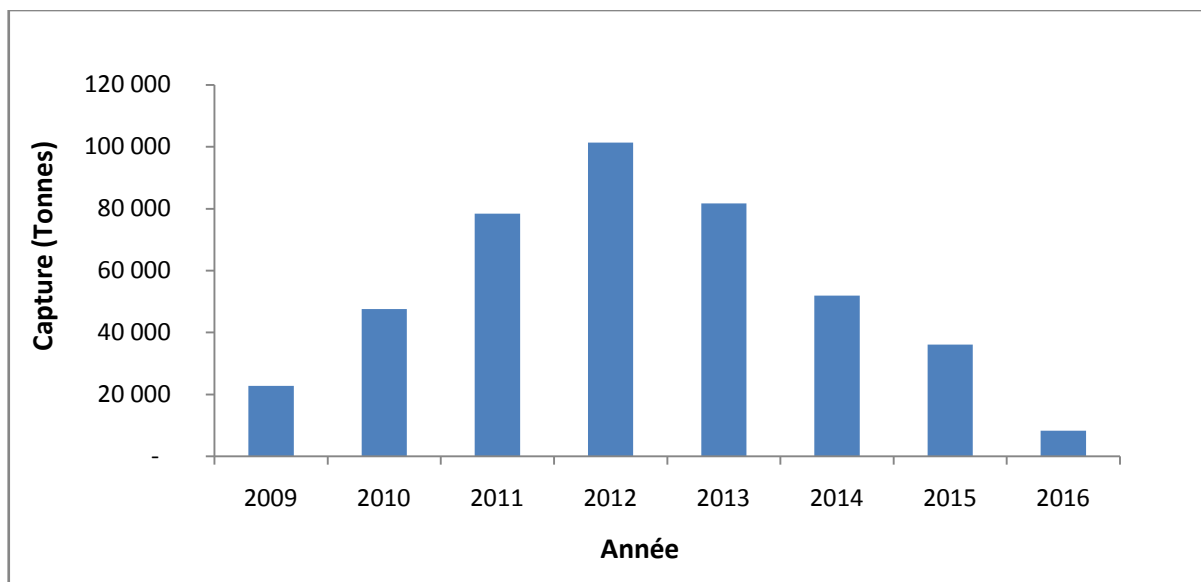


Figure 64. Variabilités annuelles des captures de *Sardinella aurita* au Maroc (2009-2016)

La variabilité interannuelle des paramètres environnementaux (SST, Chl-a) a montré une baisse de la température de surface de la mer et de la concentration de la chlorophylle-a ces dernières années qui coïncident avec la diminution des débarquements de *S. aurita* (Figure 65 et Figure 66).

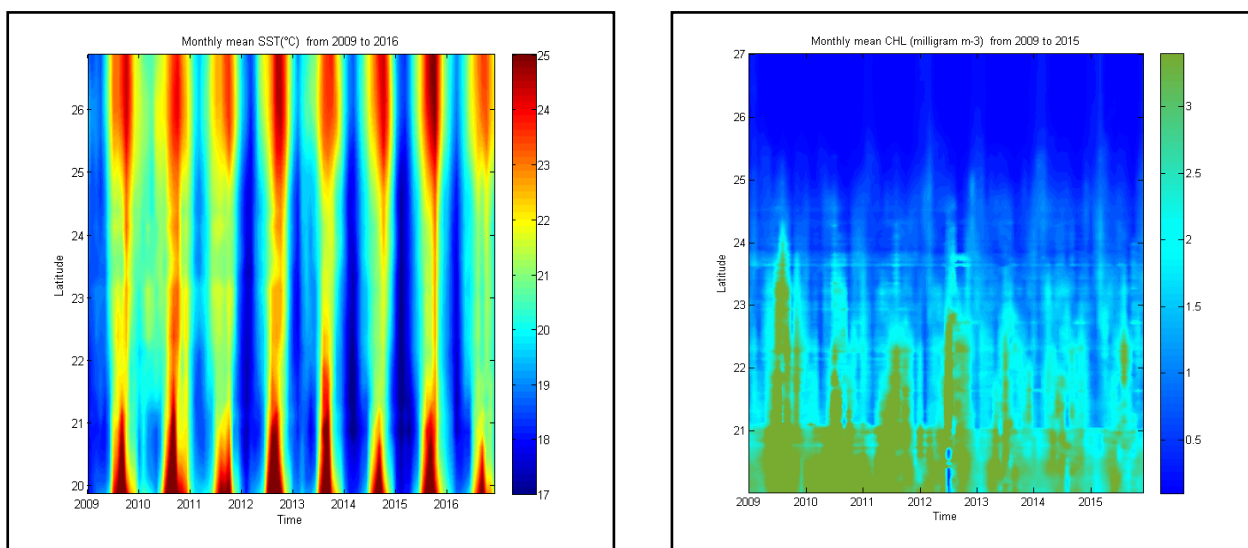


Figure 65. Tendances interannuelles du SST (à gauche) et de Chl-a (à droite)

1.2. Relation entre les paramètres environnementaux et les débarquements de *S. aurita*

Les corrélations entre les débarquements de *S. aurita* et les paramètres environnementaux (SST, UI et Chl-a) ont été testées mensuellement, avec tous les décalages possibles et pour chaque degré de latitude. Les résultats ont montré que les corrélations entre les débarquements de *S. aurita* et la SST étaient positives, et élevées au niveau de la latitude 22° N ($r = 0,76$, $p = 0,005$).

Pour l'UI, nos résultats ont montré que les corrélations entre cet indice et les débarquements de *S. aurita* ont été positives au niveau de la latitude 21 et 22° N, pourtant ces corrélations restent non significatives ($p > 0,05$). Ces corrélations ont été obtenues avec un décalage de deux mois. Avec un décalage d'un mois, la concentration de la Chl-a était positivement et significativement corrélée avec les débarquements de *S. aurita*, en particulier à la latitude de 22° N ($r = 0,68$, $p = 0,01$) (Tableau 44).

Tableau 44. Corrélation entre les paramètres environnementaux et les débarquements de *S. aurita* au niveau de chaque degré de latitude dans le sud du Maroc

Latitudes	21° N	22° N	23° N	24° N	25° N	26° N
SST (°C)/Débarquements (t)	0,74	0,76	0,67	0,66	0,54	0,52
Chl-a (mg.m ⁻³)/Débarquements (t)	0,64	0,68	0,40	0,65	-0,11	-0,04
UI/ Débarquements (t)	0,54	0,31	-0,03	0,002	-0,37	-0,17

En considérant les paramètres au niveau de la latitude 22°N comme des bons indices qui pourraient renseigner sur les corrélations avec l'environnement. Nous avons utilisé les données mensuelles des débarquements de la sardinelle ronde au niveau du port de Dakhla ainsi que les données de la SST, la Chl-a et l'UI au niveau de cette latitude durant la période 2009-2016.

La variation mensuelle des débarquements de poissons a montré que le maximum des débarquements de la sardinelle ronde a été observé en octobre (6 698 t) avec un minimum en juin (2 493 t) (Figure 66).

Les figures 67 et 68 ont montré que la SST et l'IU commencent à augmenter à partir de la période fin hiver-printemps pour atteindre leurs valeurs maximales en été, puis les deux paramètres diminuent pour atteindre leur valeur minimale en hiver (Figures 67 et 68).

Les valeurs de la SST et du Chl-a variaient respectivement de 17 à 23,1 °C et de 0,9 à 5,2 mg.m⁻³. La moyenne mensuelle de la Chl-a présentait deux tendances. Elle a montré une période de forte concentration de Chl-a de mai à novembre avec un pic en septembre et une période de faible concentration de Chl-a de décembre à avril (Figure 69).

Nos résultats ont montré qu'à partir de l'année 2010, les débarquements de la sardinelle ronde commencent à augmenter, les valeurs maximales ont été observées au cours de la période 2011-2013 (Figure 66). Durant cette période, la concentration de la SST, la Chl-a et l'UI était aussi élevée (figures 67, 68, 69). Après cette augmentation, les débarquements de *S. aurita* commencent à diminuer, atteignant ses valeurs minimales en 2016. Cette tendance à la baisse a

également été observée pour la concentration de la Chl-a, l'UI et la SST au cours des dernières années.

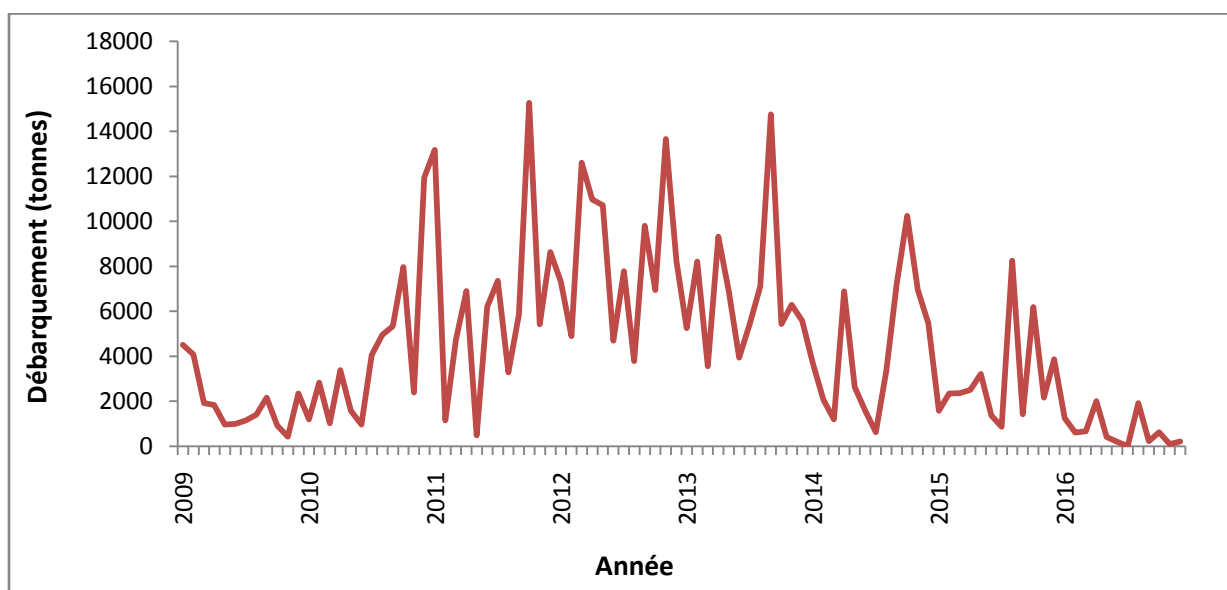


Figure 66. Tendances interannuelles des débarquements de *Sardinella aurita* dans le port de Dakhla

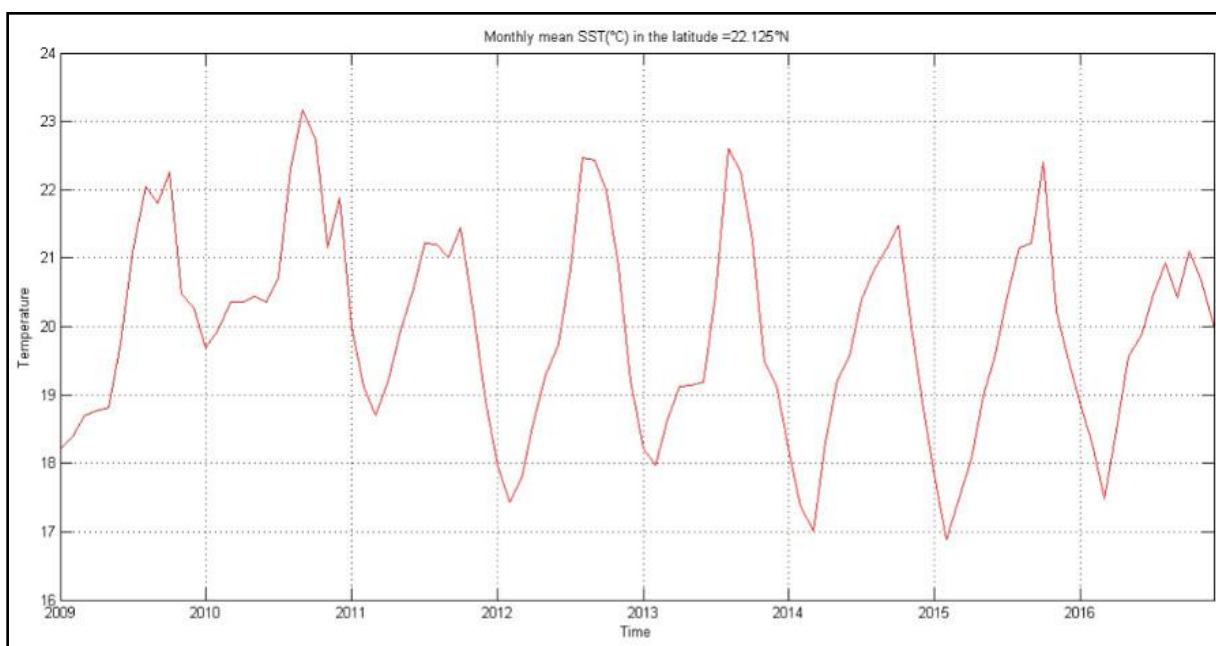


Figure 67. Tendances interannuelles du SST à la latitude de 22° N

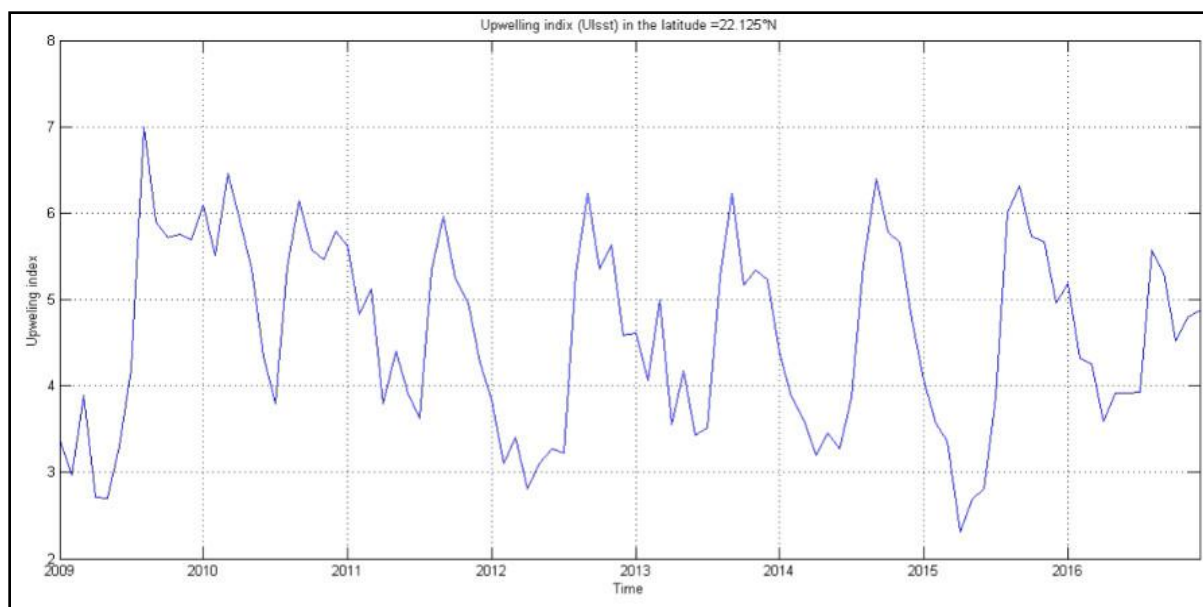


Figure 68. Tendances interannuelles de l'UI à la latitude de 22° N

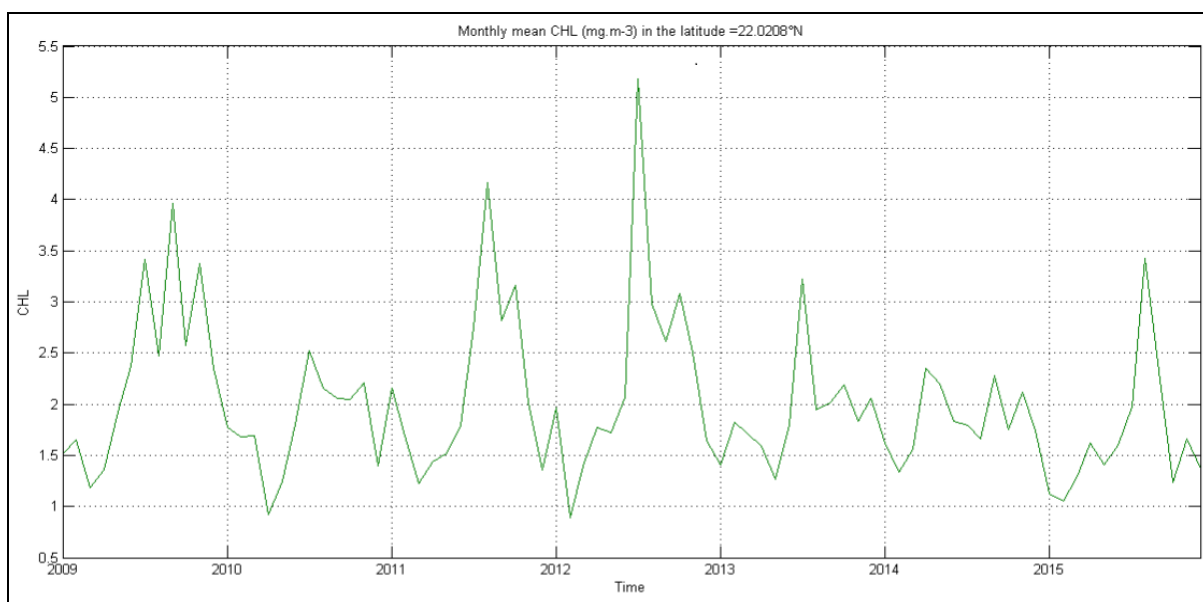


Figure 69. Tendances interannuelles de la Chl-a à la latitude de 22° N

2. Discussion

Les résultats de cette étude ont démontré qu'il existe un effet environnemental sur l'abondance de *Sardinella aurita* au niveau de la zone sud marocaine.

En effet de nombreuses études ont suggéré que l'abondance des ressources des petits pélagiques est liée à la variabilité spatio-temporelle des facteurs environnementaux tels que la SST, la Chl-a, le stress du vent et la hauteur de la surface de la mer (Cury et Roy, 1989 ; Fréon, 1991 ; Bakun, 1996 ; Zagaglia et al., 2004 ; Diankha et al., 2013).

Les débarquements de la sardinelle ronde ont montré une augmentation durant la période de juillet jusqu'à octobre, la SST, la Chl-a et l'UI augmente aussi durant cette période. Il semble

que la tendance croissante du SST, Chl-a et UI est favorable pour la sardinelle ronde en raison de sa préférence pour les eaux à température élevées (Zeeberg et al., 2008).

Nos résultats montrent une corrélation positive entre l'UI et les débarquements de la sardinelle ronde, ce qui montre que l'intensité de l'upwelling est une source de fluctuations interannuelles observées dans l'abondance côtière de la sardinelle ronde (Demarcq et Faure, 2000 ; Braham et al., 2014 ; Diankha et al., 2015 ; Mbaye et al., 2015 ; Thiaw et al., 2017).

L'augmentation des débarquements des sardinelles rondes durant la période (juillet-octobre) est due à la nature de la migration de l'espèce. Sur les côtes mauritaniennes, les températures sont inférieures à 21 °C pendant l'hiver (janvier-mars). Bien que la production primaire soit maximale au cours de ces mois, le brassage par le vent est élevé (Nykjær et Van Camp, 1994 ; Barton, 1998) et les "filaments d'upwelling" transportent les eaux loin de la côte vers l'océan improductif (Rodrigues et al., 1999 ; Demarcq et Faure, 2000 ; Bécognée et al., 2006). Ces conditions sont défavorables pour *S. aurita* parce que la croissance du poisson est limitée par la température et la fraie sera moins réussie (Cole et McGlade, 1998). À cette période de l'année, la plupart des *S. aurita* se trouvent dans les eaux sénégalaises où la température reste supérieure à 21 °C. La productivité des eaux sénégalaises est élevée pendant l'hiver, en raison de l'écoulement des cours d'eau après la saison des pluies, des affluences localisées et des tourbillons cycloniques conservant les eaux productives. Autour de mai, les conditions hydrographiques du Sénégal deviennent moins favorables, la SST augmentant vers environ 25 °C, la stratification des eaux de surface et diminution de la disponibilité alimentaire (Zeeberg et al., 2008). L'accumulation de la stratification verticale semble induire la migration de *S. aurita*. Lorsque la force des alizés diminue en avril / mai, l'eau tropicale se précipite vers le nord avec des courants géostrophiques de surface forts. La majeure partie de la population de sardinelle ronde se déplace ensuite vers la Mauritanie en cherchant un habitat de frai plus approprié. Au cours de mai-juillet, les poissons bénéficient d'une productivité élevée dans la zone mauritanienne en se nourrissant et se reproduisant en même temps. Les conditions de reproduction sont optimales pendant cette période. En août/septembre, les températures élevées de l'eau indiquent une stratification des eaux de surface et une productivité fortement réduite. Le réchauffement de la surface de la mer et la réduction de la vitesse du vent limitent l'affermage à une étroite bande côtière, et les sardinelles suivent la zone de productivité en retrait vers la côte. Lorsque la production alimentaire est encore réduite, les poissons migrent plus au nord vers les eaux marocaines. Ici, l'upwelling est permanent toute l'année et la nourriture reste abondante en automne.

On ignore quel facteur déclenche la migration de retour du Maroc au Sénégal : des températures plus basses, une pénurie de nourriture ou une horloge biologique liée à l'élévation solaire. Parce qu'on sait peu de choses sur le comportement du poisson dans les eaux marocaines, cette question reste posée.

3. Conclusion

Dans l'ensemble, cette étude a montré qu'il existe un lien étroit entre les débarquements de *Sardinella aurita*, la température de surface de la mer, l'indice d'upwelling et la concentration de la chlorophylle-a dans la zone sud de l'Atlantique marocaine. L'abondance mensuelle de *S. aurita* est fortement régie par l'effet de la SST, la Chl-a et l'UI par lequel une augmentation de ces paramètres entraîne une augmentation de l'abondance de la sardinelle ronde

Les paramètres à la latitude 22°N semblent être de bons indices qui régissent la dynamique de la sardinelle ronde au Maroc. Concernant la dominance des débarquements de *S. aurita* durant la période de juillet à octobre, elle était due à la nature migratoire de cette espèce, provenant de la Mauritanie vers le Maroc.

Nous signalons que l'utilisation de données satellitaires telles que la température de surface de la mer (SST) et la chlorophylle-a (Chl-a) est un outil important pour aider les scientifiques à élaborer des stratégies de gestion appropriées pour la gestion durable des ressources halieutiques.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Le présent travail vise l'étude des paramètres biologiques de *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*, notamment la biologie de la reproduction, l'âge, la croissance et le régime alimentaire indispensables pour une bonne analyse de la dynamique de populations et pour la gestion des stocks des sardinelles. L'étude a également mis l'accent sur l'impact des paramètres environnementaux (SST, Chl-a et UI) sur l'abondance des sardinelles rondes dans la zone sud marocaine.

L'étude de la biologie de reproduction a révélé que la sardinelle ronde a un sex-ratio qui est en faveur des femelles pour les deux années d'étude. La saison de reproduction de cette espèce est située entre février et juillet avec un pic de ponte au printemps (avril).

Les sardinelles sont des reproducteurs multiples qui pondent plusieurs fois au cours d'une même saison de reproduction. Le développement des ovocytes se fait de façon asynchrone c'est-à-dire que tous les œufs n'atteignent pas la maturité simultanément. On retrouve des ovocytes de différents stades donc de différentes tailles tout au long de la période de reproduction. La fécondation est externe et sans soins parentaux des œufs.

L'utilisation des analyses histologiques pour la sardinelle ronde femelle a confirmé l'existence de cinq stades de développement ovocytaire, stade I : immature, stade II : pré-ponte, stade III : ponte, stade IV : post-ponte et stade V : repos sexuel.

Concernant la taille à la première maturité sexuelle (L_{50}), elle a été estimée à 26,17 cm en 2015 et 25,18 cm en 2016 pour les femelles et 27,21 cm en 2015 et 25,31 cm en 2016 pour les mâles. La fécondité partielle moyenne a atteint 71 858 ovocytes hydratés par femelle et la fécondité relative moyenne a été estimée à 193 ovocytes hydratés/g de femelle mature. Nous avons constaté que le nombre d'ovocytes hydratés par femelle augmente en fonction de la taille et du poids corporel.

A partir de la lecture directe des otolithes des sardinelles, nous avons conclu que les sardinelles rondes de la zone sud marocaine ont une longévité courte et qui ne dépasse pas le groupe d'âge 5+. Pour l'année 2015, le groupe d'âge 3+ a été le plus dominant, tandis que pour l'année 2016, le groupe d'âge 1+ qui domine. La croissance linéaire de la sardinelle ronde a été étudiée en utilisant le modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938). La taille et le poids asymptotique des sexes combinés en 2015 ont été inférieurs à ceux de 2016 avec $L_{\infty} = 36,86$ cm, $P_{\infty} = 475,17$ g, $k = 0,28 \text{ an}^{-1}$ et $t_0 = -2$ an pour 2015 et $L_{\infty} = 40,15$ cm, $P_{\infty} = 686,50$ g, $k = 0,27 \text{ an}^{-1}$ et $t_0 = -0,96$ an pour 2016. En 2015, le taux de croissance en longueur et en poids des femelles a été inférieur à celui des mâles, le contraire a été observé pour l'année 2016.

L'évolution du poids par rapport à la taille chez la sardinelle ronde pour les deux sexes pris séparément ou combiné et pour les deux années, est de type allométrique positif. L'utilisation de l'accroissement marginal nous a été utile pour confirmer l'identification des anneaux hyalins

comme marque hivernales. En ce qui concerne le poids des otolithes, les résultats obtenus révèlent l'existence d'une corrélation positive entre ce paramètre et la taille et l'âge des poissons.

L'analyse des contenus stomacaux a révélé que durant la période d'étude 2015-2016, le régime alimentaire de la sardinelle ronde est composé de crustacés comme proies préférentielles, de poissons comme proies secondaires et le reste de proies constitue une alimentation occasionnelle. Le coefficient de vacuité a été faible durant toute la période d'étude montrant une disponibilité du matériel alimentaire pour cette espèce.

Les principaux groupes de proies consommées sont : les copépodes dont les familles des euterpinae et calanidae qui dominent en 2015 et les centropagidae et les oncaeidae en 2016.

L'évolution de l'indice d'importance relative par taille de la sardinelle ronde a révélé des changements qualitatifs et quantitatifs des habitudes alimentaires de cette espèce, dont on distingue deux groupes de tailles qui ont des préférences alimentaires différentes et qui varient en fonction des années. D'après le calcul du degré de similarité entre les deux groupes de taille, en 2015 les deux gammes de taille avaient des préférences alimentaires proches qu'en 2016. Ces variations entre les groupes de tailles sont probablement dues à la disponibilité du matériel alimentaire au niveau de la zone d'étude durant la période d'échantillonnage ainsi qu'aux besoins énergétiques de chaque stade de développement.

L'étude de la biologie de reproduction de *Sardinella maderensis* a montré que le sexe-ratio est en faveur des femelles durant toute la période d'étude. Concernant la période de reproduction de l'espèce, la sardinelle plate est en activité de reproduction durant la période de février à avril et en juillet avec un pic de ponte au printemps (avril) pour les femelles et en été (juillet) pour les mâles. La taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) a été estimée à 21,76 cm pour les femelles et 20,76 cm pour les mâles.

L'utilisation de l'otolithométrie pour l'étude de l'âge nous a permis d'estimer un âge de 5+ ans comme âge maximal de la sardinelle plate ce qui signifie que cette espèce a une croissance rapide et une durée de vie courte. À partir de la clé âge-taille, nous avons remarqué que nos échantillons ont été dominés par les adultes appartenant au groupe d'âge 4+.

L'utilisation du modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938) nous a permis d'obtenir une taille et poids asymptotiques des femelles supérieurs à ceux des mâles avec $L_{\infty} = 37,19$ cm ; $P_{\infty} = 478,49$ g ; $k = 0,41$ an⁻¹ et $t_0 = -0,1$ an pour les femelles et $L_{\infty} = 29,99$ cm ; $P_{\infty} = 243,1$ g ; $k = 0,91$ an⁻¹ et $t_0 = -0,46$ an pour les mâles. L'évolution du poids par rapport à la taille chez la sardinelle plate (sexe combiné) est de type allométrique négatif.

Comme pour la sardinelle ronde l'étude de l'accroissement marginal de la sardinelle plate confirme l'identification des anneaux hyalins comme marque hivernales. Ainsi l'utilisation du poids des otolithes a été positivement corrélée avec la taille et l'âge des sardinelles plates.

L'étude de l'écologie alimentaire de la sardinelle plate indique que son régime alimentaire est composé de crustacés comme proies préférentielles, de poissons comme proies secondaires et les mollusques et détritiques comme alimentation occasionnelle. Le pourcentage de l'indice de vacuité a été trop faible ce qui montre la disponibilité de la nourriture pour cette espèce dans notre zone d'étude (Atlantique sud marocain). Concernant les principaux groupes de proies consommées on trouve : les poissons (œufs de poissons) et les copépodes appartenant aux familles des euterpinae et calanidae. À partir de l'évolution de l'indice d'importance relative par taille, à une distance de 55, la population de la sardinelle plate peut être divisée en deux grands groupes qui présentent des habitudes alimentaires différentes (groupe 1 : 22,5-25,5 cm et groupe 2 : 22,5-33 cm).

L'étude menée sur l'impact de la température de surface de la mer (SST), la chlorophyll-a (Chl-a) et l'indice d'upwelling (UI) sur l'abondance de la sardinelle ronde dans la zone sud marocaine montre qu'il existe un lien étroit entre l'abondance de *Sardinella aurita* et ces paramètres. L'abondance mensuelle de *S. aurita* est fortement régie par l'effet de la SST, Chl-a et UI par lequel une augmentation de ces facteurs entraîne une augmentation de l'abondance de la sardinelle ronde. La corrélation entre la SST, la Chl-a et l'UI de chaque degré de latitude et les débarquements de la sardinelle ronde dans le port de Dakhla a montré que la SST de la latitude 22° N a un impact significatif et positif sur l'abondance de la sardinelle ronde dans la zone sud du Maroc. L'abondance de *S. aurita* durant la période juillet-octobre est due à la nature de migration de l'espèce entre le Sénégal, la Mauritanie et le Maroc.

A la lumière des résultats que nous avons obtenus et des études précédemment réalisées, certains aspects devraient être développés et approfondis en particulier :

- Faire une étude morphométrique et génétique de la sardinelle ronde à l'échelle régionale pour confirmer l'existence d'un stock partagé.
- Renforcement de l'échantillonnage pour qu'il soit régulier.
- Déterminer les facteurs qui agissent sur la migration de la sardinelle ronde surtout de la zone marocaine vers la zone sénégalaise.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdel Aziz, N., Gharib, S. 2007. Food and feeding habits of round sardinella (*Sardinella aurita*) in El Mex Bay, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 33(2), 202-221.

Amenzoui K. 2010. *Variabilité des Caractéristiques Biologiques de la Sardine, Sardina pilchardus (Walbaum, 1792) Exploitée au Niveau des Zones de Safi, Agadir et Laâyoune (Côtes Atlantiques Marocaines)*. Thèse Doctorale. Université Mohamed V, Rabat, 329 pp.

Ananiades, K. 1952. Quelques considérations biométriques sur l'allache (*Sardinella aurita* C. V.) des eaux grecques. *Praktika hellenic hydrobiological institute* 5, 5-45.

Andreu, B., Rodriguez-Roda, J. 1952. Considération sur la proportion des sexes dans la pêche de poissons pélagiques dans la Méditerranée et leur signification statistique. *Vie et Milieu Supplement* 2, 271-281.

Araya, M., Cubillos, A.L., Guzman, M., Penailillo, J., Sepuveda, A. 2001. Evidence of relationship between age and otolith weight in the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols). *Fisheries Research* 51, 17-26.

Arneri, E., Cclella, S., Gianntti, G. 2001. Age determination and growth of turbot and brill in the Adriatic Sea; reversal of the seasonal pattern of otolith zone formation. *Journal applied ichthyologie* 17, 256-261.

Ba, K., Thiaw, M., Lazar, N., Sarr, A., Brochier, T., Ndiaye, I., Faye, A., Sadio, O., Panfili, J., Thiom Thiaw, O., Brehmer, P. 2016. Resilience of Key Biological Parameters of the Senegalese Flat Sardinella to Overfishing and Climate Change. *PLoS ONE* 11(6), e0156143. doi:10.1371/journal.pone.0156143

Baali, A., Yahyaoui, A., Amenzoui, K., Manchih, K., Abderrazik, W. 2015. A preliminary study of reproduction, age and growth of *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) in the southern of Atlantic Moroccan area. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation - International Journal of the Bioflux Society* 8(6), 960-974.

Baali, A., Bourassi, H., Falah, S., Abderrazik, W., Manchih, K., Amenzoui, K., Yahyaoui, A. 2017a. Reproductive Biology of *Sardinella* sp. (*Sardinella aurita* and *Sardinella maderensis*) in the South of Morocco. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 20, 165-178. DOI: [10.3923/pjbs.2017.165.178](https://doi.org/10.3923/pjbs.2017.165.178).

Baali, A., Bourassi, H., Falah, S., Abderrazik, W., El Qoraychy, I., Amenzoui, K., Yahyaoui, A. 2017b. Study of reproduction of anchovy *Engraulis encrasicolus* (Actinopterygii, Engraulidae) in the central area of the Moroccan Atlantic coast. *Journal of Materials and Environmental Sciences* 8(12), 4467-4474.

Bacheler, N.M., Neal, J.W., Noble, R.L. 2004. Diet overlap between native bigmouth sleepers (*Gobiomorus dormitor*) and introduced predatory fishes in a Puerto Rico reservoir. *Ecology of freshwater fish* 13, 111-118.

Bagenal, T.B. 1973. Fish fecundity and its relations with stock and recruitment. Conseil international pour l'exploration de la mer. Rapports et procès-verbaux des réunions 164, 186-198.

Baillon, N. 1991. Otolithométrie en milieu tropical: application à trois espèces du lagon de Nouvelle-Calédonie (Vol. Travaux et Documents Microétités, TDM 113). Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en coopération. Bondy, France, Éditions de l'ORSTOM, 290 pp.

Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean. Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California Sea Grant program, San Diego, California, USA, in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, Mexico. California Sea Grant College, University of California, La Jolla, 323 pp.

Bard, F.X., Koranteng, K.A. 1995. Dynamics and Use of Sardinella Resources from Upwelling of Ghana and Ivory Coast. Proceedings of Scientific Meeting, Accra 5-8 October, 1993, Paris: ORSTOM Editions, 438 pp.

Barton, E.D. 1998. Eastern boundary of the North Atlantic: Northwest Africa and Iberia. In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.), *The Sea*, vol. 11. Wiley, New York, 633–657.

Bauchot, M.L. 1987. Poissons osseux. In: Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37, Vol. II (eds Fischer W, Bauchot ML, Schneider M). Commission des Communautés Européennes and FAO, Rome, 891–1421

Bayhan, B., Sever, T.M. 2015. Feeding of the round sardinella *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 (Osteichthyes: Clupeidae) in the Turkish Aegean Sea. *International Journal of Fauna and Biological Studies* 2 (4), 38-42.

Beare, D., Burns, F., Jones, E., Peach, K., Portilla, E., Greig, T., McKenzie, E., Reid, D. 2004. An increase in the abundance of anchovies and sardines in the north-western north sea since 1995. *Global Change Biology* 10 (7), 1209-1213.

Beaugrand, G. 2009. Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Deep Sea Research* 56, 656–673.

Bébars, M.I. 1981. *Exploitation rationnelle des pêcheries égyptiennes : Application aux pêcheries des sardinelles (Sardinella aurita, Valenciennes 1847) de la baie de Saloume, Egypte*. Thèse de Doctorat d'État. Université des Sciences et Techniques Languedoc, Montpellier, 354 pp.

Bécognée, P., Almeida, C., Barrera, A., Hernández-Guerra, A., Hernández-León, S. 2006. Annual cycle of clupeiform larvae around Gran Canaria Island, Canary Islands. *Fisheries Oceanography* 15, 293-300.

Belkin, I.M. 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography* 81, 207–213. doi: 10.1016/j.pocean.2009.04.011.

Belouahem, S. 2010. Estimation de la biomasse exploitable de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) du golfe d'Annaba (Algérie). Mémoire de Magistère en Sciences de la mer. Département des Sciences de la mer. Institut de Biologie. Faculté des Sciences. Université BADJI Mokhtar, Annaba-Algérie, 150 pp.

Belvèze, H. 1984. *Biologie et dynamique des populations de sardine (Sardina pilchardus) peuplant les côtes atlantiques et proposition pour un aménagement des pêcheries*. Thèse d'État, université Brest Occidentale, 531 pp.

Belvèze, H., Rami, M. 1978. Détermination de l'âge de la sardine marocaine (*Sardina pilchardus* Walb.). Eléments de croissance comparés. Bulletin d'Institut des Pêches Maritimes, Casablanca 23, 58-81.

Belvèze, H.K., Erzini, K. 1983. Influence of hydroclimatic factors in the availability of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the Moroccan fisheries in the Atlantic. Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Stocks, paper N25 San Jose, Costa Rica, April 1983. FAO Fish Report 29 (2), 285-328.

Bensahla-Talet, A., Mortet, Y. Tomasini, J.A. 1988. Relations masse-longueur, sex-ratio et reproduction (saison de ponte, fécondités) de *Sardinella aurita* (Val. 1847) des cotes Oranaïses (Algérie). Bulletin de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée 31 V-II : 14.

Ben-Tuvia, A. 1956. The biology of *Sardinella aurita* with a systematic account of the family Clupeidae of the Mediterranean coast of Israel. *Fisheries Bulletin Haifa* 7, 20-24.

Ben Tuvia, A. 1960. Fluctuations in the stock of *Sardinella aurita* and its dependence on temperature and rain. *FAO Fisheries Synopsis* 14, 287-312.

Bernal, P.A. 1991. Consequences of global change for oceans: a review. *Climatic Change* 18, 339-359.

Berraho, A., Ettahiri, O., Letourneur Y., Orbi, A., Yahyaoui, A. 2005. Importance des paramètres hydrologiques dans la distribution des œufs et des larves des petits pélagiques du sud de l'Atlantique marocain. *Cybium* 29, 21-31.

Berraho, A., Somoue, L., Hernández-León, S., Valdés, L. 2015. Zooplankton in the Canary Current Large Marine Ecosystem. In: Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. Valdés, L. and Déniz-González, I. (eds). IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, 115, 183-195.

Beverton, R.J.H. 1963. Maturation, growth and mortality of clupeid and engraulid stocks in relation to fishing. International Council for the Exploration of the Sea. Rapports et procès-verbaux des réunions 154, 44-67.

Binet, D., 1988. Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. *Aquatic Living Ressources* 1, 115-132.

Binet, D. 1991. Dynamique du plancton dans les eaux côtières ouest-africaines: écosystèmes équilibrés et déséquilibrés. Pêcheries ouest-africaines. Edition ORSTOM 117-136.

Blaxter, J.H.S., Hunter, J.R. 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Advances in Marine Biology* 20, 1-223.

Boehlert, G.W. 1985. Using objective criteria and multiple regression models for age determination in fishes. *U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin* 83, 103–117.

Boëly, T. 1979. *Biologie de deux espèces de sardinelles (Sardinella aurita, Valenciennes, 1847 et Sardinella maderensis, Lowe, 1841) des côtes Sénégalaises*. Thèse de doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. Travaux et documents de l'ORSTROM microédition, 219 pp.

Boëly, T. 1980. Etude du cycle sexuel de la sardinelle plate: *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) des côtes sénégalaise. *Cybiurn* 8, 77-88.

Boëly, T. 1982. Etude du cycle sexuel de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita* val. 1847) au Sénégal. *Océanographie Tropicale* 17 (1), 3-13.

Boëly, T., Østvedt, O. 1976. Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal. Observations faites à bord du navire usine ASTRA de la Mauritanie aux îles Bissagos. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire* 38 (3), 677–702.

Boëly, T., Fréon, F. 1979. Les ressources pélagiques côtières. In: Troadec et Garcia: Les ressources halieutiques de l'Atlantique centre-ouest. 1ere partie: Les ressources du golf de Guinée, de l'Angola à la Mauritanie. FAO Document Technique 186 pp.

Boëly, T., Chabane, J., Fréon, P., Stequert, B. 1978. Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau ouest-africain des îles Bissagos à la Mauritanie. Document présenté au CIEM. COI. FAO. Symposium CINECA sur le courant des Canaries: Upwelling et ressources vivantes, Las Palmas, Espagne, 11-14 avril 1978. Commun. (92), 12 pp.

Boëly, T., Chabanne, J., Fréon, P., Stequert, B. 1982. Cycle sexuel et migrations de *S. aurita* sur le plateau continental ouest-africain des îles Bissagos a la Mauritanie. International Council for the Exploration of the Sea. Rapports et procès-verbaux des réunions 180, 350-355.

Bolger, T., Connolly, P.L. 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology* 34, 171–182. doi: 10.1111/j.1095-8649.1989.tb03300.x.

Botsford, L.W., Castilla, J.C., Peterson, C.H. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science* 277, 509–515.

Bouaziz, A., Bennoui, A., Brahmi, B., Semroud, R. 2001. Sur l'estimation de l'état d'exploitation de la sardinelle (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) de la région centre de la cte algérienne. Rapports et procès-verbaux des réunions - Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée 36, 244.

Bouaziz, A. 2007. *La sardinelle (Sardinella aurita Valenciennes, 1847) des côtes algériennes : distribution, biologie et estimation des biomasses*. Thèse Doctorat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 135 pp.

Bougis, P. 1952. Rapport hépatosomatique et rapport gonadosomatique chez *Mullus barbatus* L. *Bulletin de la Société zoologique de France* 74 (6), 326-330.

Bouhali, F.Z., Lechekhab, S., Ladaimia, S., Bedairia, A., Amara, R. Borhane, A.D. 2015. Reproduction et maturation des gonades de *Sardina pilchardus* dans le golfe d'Annaba (Nord-Est algérien). *Cybium* 39 (2), 143-153.

Bowering, W.R., Lilly, G.R. 1992. Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) of southern Labrador and northeastern Newfoundland (northwest atlantic) feed primarily on Capelin (*Mallotus villosus*). *Netherlands Journal of Sea Research* 29, 211-222.

Bowman, R.E., Stillwell, C.E., Michaels, W.L., Grosslein, M.D. 2000. Food of Northwest Atlantic Fishes and Two Common Species of Squid. *NOAA Technical Memoranda NMFSNE* 155, 138 pp.

Bozzano, A., Recasens, L., Sartor, P. 1997. Diet of the European hake *Merluccius merluccius* (Pisces: Merluciidae) in the western Mediterranean (Gulf of Lion). *Scientia Marina* 61, 1–8.

Braham, C.C., Freon, P., Laurec, A., Demarcq, H., Bez, N. 2014. New insights in the spatial dynamics of sardinella stocks off Mauritania (North-West Africa) based on logbook data analysis. *Fisheries Research* 154, 195–204.

Brander, K. 1974. The effects of age-reading errors on the statistical reliability of marine fishery modelling. In Bagenal T.B., editor. *The ageing of fish*. Unwin Brothers, Surrey, UK. 181–191 pp.

Brander, K. 2010. Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems* 79, 389–402.

Camarena-Luhers, T. 1986. La croissance de *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) au Sénégal. *Océanographie tropicale* 21 (2), 143-151.

Cardinale, M., Arrhenius, F., 2000. Decreasing in weight-at-age of Baltic herring (*Clupea harengus*) between 1960 and 1996: a statistical analysis. *ICES Journal of Marine Science* 57, 882–893.

Cardinale, M., Arrhenius, F., Johnsson, B. 2000. Potential use of otolith weight for the determination of age-structure of Baltic cod (*Gadus morhua*) and plaice (*Pleuronectes platessa*). *Fisheries Research* 45, 239-252.

Carpentier, A., Coppin, F., 1999. Campagnes expérimentales de chalutage en Manche orientale, Vol. II, Les campagnes C.G.F.S. 1997 et 1998, IFREMER / Contrat BioECO n°96/040, 174 pp.

Castanet, J., Meumier, F.J., de Ricqlès, A. 1977. L'enregistrement de la croissance cyclique par le tissu osseux chez les vertébrés poikilothermes: données comparatives et essai de synthèse. *Bulletin biologique de la France et de la Belgique* 16, 183-202.

Chakrabarti, P., Barun, S. 2017. Histological organization and surface ultrastructure of ovaries of *Gudusia chapra* during different phases of reproduction (Teleostei: Clupeidae). *Iranian Journal of Ichthyology* 4 (1), 41-53.

Chavance, P., Loktionov, Y., Mahfoudh, M. 1991. Importance des saisons de transitions hydrologiques et impact des anomalies climatiques sur l'activité d'une flottille industrielle

pélagique en ZEE mauritanienne. Variabilité. In : Cury Philippe (ed.), Roy Claude (ed.). Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement. Paris : ORSTOM, 246-258.

Cheibany, A. 1990. Méthodes d'étude des paramètres biologiques. Rapport de Stage fin d'études CNROP. Nouadhibou.

Chesheva, Z.A. 1998. The method for determining age and growth rate of gilt sardines *Sardinella aurita* in the Senegal-Mauritania population. *Journal of Ichthyology* 38(9), 814-817.

Chevreaux, E., Page, L. 1925. Amphipodes. Faune de France, vol. 9, 1-488 pp., 1-438 figures.

Cole, J., McGlade, J. 1998. Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 8, 445–471.

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. *Cahiers ORSTOM Série Océanographie* 15 (4), 301-312.

Conand, F. Fagetti, E. 1971. Description et distribution saisonnière des larves des côtes du Sénégal et de la Gambie en 1968 et 1969. *Cahiers ORSTOM Série Océanographie* 9 (3), 293-318.

Corten, A. 2012. Rapport de l'atelier sous régional sur les lacunes dans la connaissance sur les sardinelles. Dakar. Commission Sous-Régionale de Pêche, 21 pp.

Cortés, N. Aron, A., 2011. Reproductive cycle and batch fecundity of *Isacia conceptionis* (Perciformes, Haemulidae) at La Herradura, Coquimbo, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46, 101-104 pp. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572011000100016>.

CRODT, 1986. Statistiques de la pêche maritime sénégalaise en 1985. Archives Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye-CRODT n° 153, 98 pp.

Cury, P. 1988. Pressions sélectives et nouveautés évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45 (6), 1099-1107.

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

Cury, P., Roy, C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46 (4), 670-680.

Cury, P., Bakun, A., Crawford, R.J., Jarre, A., Quinones, R.A. 2000. Small pelagic in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. *Journal of Climate* 57, 603–618.

Cushing, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, 278 pp.

Cushing, D.H. 1982. Climate and Fisheries. Academic Press, London & New York. 373 pp. ISBN: 9780121997205.

Daan, N. 1989. Relations trophiques et évaluations des ressources plurispécifiques. In Troadec, J.P., ed. L'homme et les Ressources Halieutiques, essai sur l'usage d'une ressource renouvelable. Brest, France : IFREMER. 97-104 pp.

Daget, J. Le Guen, J.C. 1975. Dynamique des populations exploitées de poissons. In: In: Lamotte et Bourliere: "Problèmes d'écologie. La démographie des populations de vertébrés". (éds.) Masson et Cie. 395-443 pp.

Dahel, A., Tahri, M., Bensouilah, M., Amara, R., Djebbar, B. 2016 Growth, age and reproduction of *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) and *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the Algerian eastern coasts. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society* 9 (5), 1172-1181.

Da Silva Monteiro, Marques, V. 1998. Peixes de Cabo Verde. Ministério do Mar, Gabinete do Secretário de Estado da Cultura. M2- Artes Gráficas, Lda., Lisboa. 179 pp.

Delgado, A., Fernandez, M.A.R., 1985. Datos sobre la biología de la sardina (*Sardina pilchardus* Walb., 1792) capturada por los cerqueros españoles en Africa occidental de 1976 à 1982. In: Simposio Internacional sobre las areas de afloramiento mas importantes del oeste africano (Cabo

Blanco y Benguela) 21-25 de noviembre, 1983. Barcelona, Espana). C. Bas, R. Margalef (Eds.). Inst. De Investigaciones Pesq. Inv. Pesq., Barcelona, Espana, II, 935-955 pp.

Demarcq, H., Faure, V. 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to *Octopus vulgaris* recruitment. *Oceanologica Acta* 23, 391–408.

Demarcq, H., Somoue, L. 2015. Phytoplankton and primary productivity off Northwest Africa. In: Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. Valdés, L., Déniz-González, I. (eds). IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, 115, 161-174.

Deme, M., Thiao, D., Fambaye, N.S., Sarre, A., Diadhiou H.D. 2012. Dynamique des Populations de sardinelles en Afrique du Nord-Ouest : Contraintes Environnementales, Biologiques et Socio Economiques. de sardinelles en Afrique du Nord-Ouest : Contraintes Environnementales, Biologiques et Socio Economiques. USAID/COMFISH project, Senegal, University of Rhode Island, Narragansett, RI 125 pp.

Dia, M., Ghorbel, M., Kone, Y., Bouain, A. 2001. Âge et croissance de *Pagrus caeruleostictus* (Valenciennes, 1830) des côtes de Nouakchott (Mauritanie). *Bulletin Institut National des Sciences et Technologies de la Mer - Salammbô* 28, 77-83.

Diankha, O., Sow, B.A., Thiaw, M., Gaye, A.T. 2013. Seasonal variability of sea surface temperature, chlorophyll-a and *Ethmalosa fimbriata* abundance off the coast of Senegal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 13 (4), 479-485.

Diouf, P.S. 1996. *Les peuplements de poisson des milieux estuariens de l'Afrique de l'ouest : l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum*. Université de Montpellier II. Thèses et documents microfichés n° 156. ORSTOM, Paris. 267 pp.

Diouf, K., Samb, B., Sylla, M. 2010. Contribution à la connaissance de la biologie des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) du littoral sénégalais. Dans Garcia, S., Tandstad, M., Caramelo, A.M. (eds.). Science et aménagement des petits pélagiques. Symposium sur la science et le défi de l'aménagement des pêcheries de petits pélagiques sur les stocks partagés en Afrique nord-occidentale. 11-14 mars 2008, Casablanca, Maroc. FAO Comptes rendus des pêches et de l'aquaculture. No. 18. Rome, FAO. 39–56 pp.

Dorner, H., Wagner, A. 2003. Size-dependent predator-prey relationships between perch and their fish prey. *Journal of fish biology* 62, 1021-1032.

Écoutin, J.M., Albaret, J.J., Trape, S. 2005. Length-weight relationships for fish populations of a relatively undistributed tropical estuary: the Gambia. *Fisheries Research* 72, 347–351. doi: 10.1016/j.fishres.2004.10.007.

Edwards, M., Richardson, A.J. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430, 881–884.

Ettahiri, O., Berraho, A., Vidy, G., Ramdani, M., Dochi, T. 2003. Observation on the spawning area and nursery localization of *Sardina* and *Sardinella* off the south Moroccan Atlantic coast (21 - 26°N). *Fisheries Research* 60, 207-222.

Ettahiri, O., Berraho, A., Houssa, R., Ramzi, A., Somoue, L., Zizah, S., Machu, E. 2008. Caractéristiques des habitats de ponte de la sardine, *Sardina pilchardus*, de la côte atlantique marocaine (21°N-26°N). Characteristics of the spawning habitats of sardine, *Sardina pilchardus*, off the Moroccan Atlantic coast (21°N–26°N). Science and Management of Small Pelagics. Theme 2: Dynamics and variability of pelagic fish populations and environmental influences. 175-185 pp.

FAIR CT97 3402, 2002. Rapport final: Fish Ageing by Otolith Shape Analysis-FABOSA. 204 pp.

FAO, 1978. Les pêches dans l'Atlantique Centre-Est. Rapport du groupe de Travail sur l'unification de la détermination de l'âge de la sardine (*Sardina pilchardus* walb.). COPACE Rapport Technique. 78/8/Dakar, 8 pp.

FAO, 1979. Comité des pêches pour l'Atlantique Centre-est ; Rapport du groupe de travail ad-hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26°N à 5°N). COPACE/PACE séries 78/10, 165 pp.

FAO, 1987. Fishery statistics: catches and landings, 1985. FAO Yearbook of Fishery Statistics, Vol. 60. FAO, Rome, 461 pp.

FAO, 2006. Le Royaume du Maroc: Les données économiques générales et les données sur les pêches. 15 pp. <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/fr/mar/profile.htm>.

FAO, 2011. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 569. Rome. 334 pp.

FAO, 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, Italy. 230 pp.

FAO, 2016. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire. Rome, Italy. 214 pp.

Fisher, W., Bianchi, G., Scott, W.B. 1981. Fiches FAO d'identification des espèces pour besoins de la pêche. Atlantique centre-est ; zones de pêches 34-47 (en partie). Canada Fonds de Dépôt. Ottawa, Ministère des Pêcheries et Océans, en accord avec l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Volume 165, 1-7 pp.

Fletcher, W.J. 1991. A test of the relationship between otolith weight and age for the Pilchard *Sardinops neopilchardus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48, 35–38.

Fontana, A. 1969. Etude de la maturité sexuelle des sardinelles *Sardinella eba* (Val.) et *Sardinella aurita* (C et V) de la région de Pointe-Noire. *Cahier ORSTOM, Séries Océanographie* 7, 101-114.

Fontana, A., Pianet, R. 1973. Biologie des sardinelles, *Sardinella eba* (Val.) et *Sardinella aurita* (Val.) des côtes du Congo et du Gabon. Documents Scientifiques du Centre de Pointe-Noire. Nouvelle Série (31), 40 pp.

Franqueville, C. 1980. Etude des nurseries de daurades *Pagellus coupei* le long de la côte ouest africaine de 10 à 20°N. Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye-CRODT 76, 15 pp.

Frederiksen, M., Edwards, M., Mavor, R., Wanless, S. 2007. Regional and annual variation in black-legged kittiwake breeding productivity is related to sea surface temperature. *Marine Ecology Progress Series* 350, 299–312.

Fréon, P. 1979. Relations, tailles-Poids. Facteurs de condition et indices de maturité sexuelle : rappels bibliographiques, interprétations, remarques et applications. Documents Scientifiques Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye-CRODT 08, 114-171.

Fréon, P. 1986. *Réponses et adaptation des stocks de clupéides d'Afrique de l'Ouest A la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal.* Thèse de doctorat d'État, Université Aix-Marseille-II, France. 231 pp.

Fréon, P. 1988. Réponses et adaptations des stocks de Clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Etudes et Thèses. Editions ORSTOM, 287 pp.

Fréon, P. 1991. L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production. In: Cury P., Roy C. (eds.), *Pêcheries ouest africaines: variabilité, instabilité et changement*, ORSTOM, Paris, France. 395-424 pp. ISBN: 2709910403. Accessible en ligne à [http:// horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/36276.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/36276.pdf).

Fréon, P., Barange, M., Arístegui, J. 2009. Eastern boundary upwelling ecosystems: integrative and comparative approaches, an introduction. *Progress in Oceanography* 83, 1–14.

Furnestin, J. 1959. Hydrologie du Maroc Atlantique. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 23 (1), 5-77.

Furnestin, M.L. 1953. Contribution à l'étude morphologique, biologique et systématique de *Sagitta serrato-dentata* Krohn les eaux Atlantiques du Maroc. *Bulletin de l'Institut Océanographique* 50 (1025), 39 pp.

Furnestin, M.L. 1957. Chaetognathes et zooplancton du secteur Atlantique marocain. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 21 (1), 356 pp.

Furnestin, M.L. 1970. Rapport sur le plancton. Rapports et procès-verbaux des réunions - Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée 159, 0–110

Gaamour, A., Missaoui, H., Ben-Abdallah, L. El Ahmed, A. 2001. Paramètres biologiques de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) dans la région du cap Bon (canal siculo-tunisien) (Biological parameters of round sardinella in the region of cap Bon (Tunisia Sicilian-channel)). GFCM, Kavala, Greece, 26-30 pp. (www.faocopemed.org/en/sac/docs.htm).

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. doi: 10.1016/0165-7836(95)00371-7.

Gascuel, D. 2007. Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques. Support de cours en ligne, Agrocampus Rennes / Campus numérique ENVAM éd., Rennes, France, 126 pp.

Geistdoerfer, P. 1975. *Ecologie alimentaire des macrouridae (Teleosteens, Gadiformes). Alimentation - Morphologie et histologie de l'appareil digestif - Place des Macrouridae dans la chaîne alimentaire profonde*. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Paris VI, France, 315 pp.

Genner, M.J., Sims, D.W., Wearmouth, V.J., Southall, E.J., Southward, A.J., Henderson, P.A., Hawkins, S.J. 2004. Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. *Proceeding of Royal Society B*. 271, 655–661. [doi:10.1098/rspb.2003.2651](https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2651).

Ghéno, Y., Le Guen, J.C. 1968. Détermination de l'âge et croissance de *Sardinella eba* (Val.) dans la région de Pointe-Noire. *Cahier ORSTOM, série Océanographie* 6, 69–82.

Ghéno, Y., Fontana, A. 1981. Les stocks de petits pélagiques côtiers les sardinelles. In: *Milieu marin et ressources halieutiques de la république populaire du Congo*. Document ORSTOM, Paris 138, 213-257.

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 103 pp.

Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 115 (1), 513-585.

Gómez-Canchong, P.L., Manjarrés, M., Duarte, L.O., Altamar, J. 2004. Atlas Pesquero del Area Norte del Mar Caribe de Colombia. Universidad del Magdalena. Santa Marta, 1-230 pp.

Gordoa, A., Maso, M., Voges, L. 2000. Satellites and fisheries: The Namibian hake, a case study. In: D. Halpern (ed.), *Satellites, Oceanography and Society*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 193-205 pp. DOI: 10.1016/S0422-9894(00)80011-2.

Grall, J.R., Laborde, P., Le Corre, P., Nerveux, J., Treguer, P., Thiriot, A. 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et II. *Téthys*, 6, 11-28.

Guegen, J. 1969. Croissance de la Daurade *Pagellus centrodentus* Delaroche. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 18 (3), 251-254.

Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment. A manual of basic methods. Ed. John Wiley and Sons/FAO Series on Food and Agriculture., Volume 1, 1-223 pp.

Gushchin, A.V. 2013. Feeding of fish young from littoral of the Gulf Arguin (Mauritania). *Journal of Ichthyology* 53 (9), 731–738.

Gushchin, A.V., Corten, A. 2015. Feeding of pelagic fish in waters of Mauritania: 1. European anchovy *Engraulis encrasicolus*, European sardine *Sardina pilchardus*, round sardinella *Sardinella aurita*, and flat sardinella *S. maderensis*. *Journal of Ichthyology* 55 (1), 77-85.

Hanson, S.D. Stafford, C.P. 2017. Modeling Otolith Weight using Fish Age and Length: Applications to Age Determination. *Transactions of the American Fisheries Society* 146 (4), 778-790.

Hill, D.K., Magnuson, J.J. 1990. Potential effects of global climate warming on the growth and prey consumption of Great Lakes fish. *Transactions of the American Fisheries Society* 119, 265–275.

Holzlohner, S., Kloxin, G. 1982. On the species composition and the length-age structure of the important pelagic fishes off North West Africa, 1981. International Council for the Exploration of the Sea, Pelagic Fish Committee. CM 1982/H: 55. Pelagic Fish Committee, 1-8 pp.

Holzlohner, S., Kloxin, C., Pingel, C., Hoffmann, U. 1983. On the species composition and length-age structure of the most important pelagic fishes off Mauritania in 1982. International Council for the Exploration of the Sea, Pelagic Fish Committee, 1-44 pp.

Hunt, G., McKinnell, S. 2006. Interplay between top-down, bottom-up, and waspwaist control in marine ecosystems. *Progress in Oceanography* 68, 115–124.

Hunter, J.R., Alheit, J. 1995. International GLOBEC Small Pelagic Fishes and Climate Change Program. Report of the First Planning Meeting, La Paz, Mexico, June 20–24, 1994. Global Ocean Ecosystem Dynamics (GLOBEC) Rep. No. 8, 1-72 pp.

Hunter, J.R., Macewicz, B.J., Lo, N.C.H., Kimbrell, C.A. 1992. Fecundity, spawning and maturity of female Dover sole, *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *Fishery Bulletin, U.S.* 90, 101–128.

Hutchins, L.W. 1947. The bases for temperature zonation in geographical distribution. *Ecological Monographs* 17, 325–335.

Hyslop, E.J. 1980. Stomach content analysis: a review of methods and their applications. *Journal of Fish Biology* 17 (4), 411-429.

INRH, 2014. État des Stocks et des Pêcheries Marocaines 2014. Rapport scientifique. 1-305 pp.

INRH, 2015. Rapport annuel de l'État des stocks et des pêcheries marocaines 2015. 1-295 pp.

IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1-23 pp. Accessible en ligne à <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-spm.pdf>.

Jansen, T., Gislason, H. 2011. Temperature affects the timing of spawning and migration of North Sea mackerel. *Continental Shelf Research* 31, 64–72.

Jennings, S., Kaiser, M.J. Reynolds, J.D. 2001. *Marine Fisheries Ecology*. Oxford: Blackwell Science 1st edition, London. 1-432 pp.

Jørgensen, T. 1992. Long-term changes in growth of North-east Arctic cod (*Gadus morhua*) and some environmental influences. *ICES Journal of Marine Science* 49, 263-277.

Karachle, P.K., Stergiou, K.I. 2014. Feeding and ecomorphology of three clupeoids in the North Aegean Sea. *Mediterranean Marine Science* 15 (1), 9-26.

Kartas, F. 1981. *Les clupéidés de Tunisie. Caractéristiques biométriques et biologiques. Étude comparée des populations de l'Atlantique est et de la Méditerranée*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tunis, Faculté des sciences. 608 pp.

Kartas, F., Quignard, J.P, 1984. La fécondité des poissons téléostéens, Collection de biologie des milieux marins. Masson (éd.). Paris. 121 pp.

Khemiri, S., Gaamour, A. 2009. Relation taille-masse, condition relative et cycle sexuel des anchois et des sardines des côtes tunisiennes. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô* 36, 45-57.

Klemas, V. 2012. Remote Sensing of Coastal and Ocean Currents: An Overview. *Journal of Coastal Research* 28(3), 576-586. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-11- 00197.1

Komarovsky, B. 1959. 'The Feeding Habits Of Sardines'. *New Scientists* 6, 1355-4. <https://books.google.tt/books?id=sJPv6n9Nh8YC>.

Koné, V. 2006. *Modélisation de la production primaire et secondaire de l'écosystème du Benguela sud. Influence des conditions trophiques sur le recrutement des larves d'anchois*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 228 pp.

Koné, V., Machu, E., Penven, P., Andersen, V., Garcon, V., Freon, P. Demarcq, H. 2005. Modeling the primary and secondary productions of the southern Benguela upwelling system: A comparative study through two biogeochemical models. *Global Biogeochemical Cycles* 19, 1-22. doi:10.1029/2004GB002427.

Kromer, J.L. 1994. Rio Grande de Buba: Bio-écologie et paramètres environnementaux. Union internationale pour la conservation de la nature/Ministère des pêches de Guinée-Bissau. 119 pp.

Krzeptowski, M. 1981. Growth characteristics of gilt sardine (*Sardinella aurita* Val., 1847) from Senegal. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 11 (2), 27-38.

Labourg, J.P., Stequert, B. 1973. Régime alimentaire du bar *Dicentrarchus labrax* L. des réservoirs à poissons de la région d'Arcation. *Bulletin d'Ecologie* 4, 187-194.

Lahaye, J. 1980. Les cycles sexuels chez les poissons marins, *Oceanis* 6 (7), 637-654.

Lawal, H.S., Mylnikov, N. 1988. Contribution a l'étude de la relation taille-poids de la reproduction et du sex-ratio des principales espèces pélagiques en Mauritanie,” in Rapport du Groupe de travail CNROP/CRODT/ISRA sur les ressources pélagiques côtiers (Mauritanie-Sénégal) (Nouadhibou, 1988 (Mimeo)). 82–97 pp.

Lawson, E.O., Doseku, P.A., Ajepe, R.G. 2013. Fish assemblage of Majidun Creek, Lagos, Nigeria. *Journal of Biological Sciences* 13, 577-586. DOI: [10.3923/jbs.2013.577.586](https://doi.org/10.3923/jbs.2013.577.586).

Le Duff, M. 1997. *Cinétique de l'ovogenèse et stratégies de ponte chez les poissons téléostéens en milieu tempéré*. Thèse de Doctorat université Bretagne Occidentale. Océanographie Biologique. 170 pp.

Lemos, V.M., Varela Júnior, A.S., Velasco, G., Vieira, J.P. 2011. The reproductive biology of the plata pompano, *Trachinotus marginatus* (Teleostei: Carangidae), in southern Brazil. *Zoologia* 28, 603-609. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702011000500008>

Lévéné, J.J. 1993. Synthèse bibliographique des connaissances sur la biologie de quelques espèces de poissons concernant le symposium. In: Barry-Gérard, M., Diouf, T., Fontenau, A. (Eds.). L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise, 121-141 pp.

Lewis, J.R., Bowman, R.S., Kendall, M.A., Williamson, P. 1982. Some geographical components in population dynamics: possibilities and realities in some littoral species. *Netherlands Journal of Sea Research* 16, 18-28.

Lloret, J., Rätz, H.J. 2000. Condition of cod (*Gadus morhua*) off Greenland during 1982–1998. *Fisheries Research* 48, 79-86.

Lomiri, S., Scacco, U., Mostarda, E., Andaloro, F. 2008. Size-related and Temporal Variation in The Diet of The Round Sardinella, *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), in the Central Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 24 (5), 539-545.

Longhurst, A., Pauly, D. 1987. Dynamics of tropical fish populations. In Longhurst, A., Pauly, D. Ecology of tropical oceans. Academic Press, San Diego. 309-368 pp.

Lou, D.C., Mapstone, B.D., Russ, G.R., Davies, C.R., Begg, G.A. 2005. Using otolith weight-age relationships to predict age-based metrics of coral reef fish populations at different spatial scales. *Fisheries Research* 71, 279-294.

Macchi, G.J., Pájaro, M., Ehrlich, M. 2004. Seasonal egg production pattern of the Patagonian stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Fisheries Research* 67, 25-38.

Machu, E. 2000. *Etude des interactions physiques et biologiques dans le système du courant des Aiguilles au sud de l'Afrique du Sud: Apports des observations spatiales*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier Toulouse III, Toulouse, France. 274 pp.

Machu, E., Ettahiri, O., Makaoui, A., Kifani, S., Demarcq, H. 2008. Modelling the environment of *Sardina pilchardus* over the Saharan bank to investigate the collapse of the stock in 1997. Theme 3: methods and models for assessing small pelagic fish stocks. FAO fisheries and aquaculture proceedings 18. Science and management of small pelagics. 577-578 pp.

Machu, E., Ettahiri, O., Kifani, S., Benazzouz, A., Makaoui, A., Demarcq, H. 2009. Modeling the environment of *Sardina pilchardus* over the Saharan Bank to investigate the collapse of the stock in 1997. *Fisheries Oceanography* 18, 287–300.

Madkour, F.F. 1992. 'Feeding Ecology Of The Round Sardinella, *Sardinella aurita* (Family: Clupeidae) In The Egyptian Mediterranean Waters'. *International Journal Of Environmental Science And Engineering* 2 (9), 84-90.

Madkour, F.F. 2011. Feeding ecology of The Round Sardinella, *Sardinella aurita* (Family: Clupeidae) in the Egyptian Mediterranean waters. *International Journal of Enviromental Science and Engineering* 2, 83-92.

Makaoui, A., Orbi, A., Larissi, J., Zizah, S., Hilmi, K. 2000. Principales caractéristiques océanographiques de la côte atlantique marocaine de 1994 à 1998. INRH, Casablanca, Maroc, Rapport. Trav. Document n° 109, 52 pp.

Makaoui, A., Orbi, A., Hilmi, K., Zizah, S., Larissi, J., Talbi, M. 2005. L'upwelling de la côte atlantique du Maroc entre 1994 et 1998. *Comptes Rendus Géoscience* 337(16), 1518-1524.

Marcus, O. 1989. Breeding, age and growth in *Sardinella maderensis* (Lowe 1839) Pisces: Clupeidae from coastal waters around Lagos, Nigeria. *Journal of Science* 23, 1-5.

Mariano, G.R., Antonio, E. 2002. How fast does grow? A study on the Mediterranean hake (*Merluccius merluccius* L.) comparing whole otoliths readings and length frequency distribution data. *Scientia Marina* 66 (2), 145-156.

Maxim, C., Maxim, C. 1987. Évaluation du stock de sardinelle ronde (*Sardinella aurita* Valenciennes, 1847) sénégal-mauritanienne. *Cercet Marine* 20/21, 313-344.

Mbaye, B.C., Brocher, T., Echevin, V., Lazar, A., Levy, M., Mason, E., Gaye, A.T. 2015. Do *Sardinella aurita* spawning seasons match local retention patterns in the Senegalese-Mauritanian upwelling region?. *Fisheries Oceanography* 24 (1), 69–89.

McFarlane, G.A., King, J.R., Beamish, R.J. 2000. Have there been recent changes in climate? Ask the fish. *Progress in Oceanography* 47, 147–169.

Medina-Gaertner, M. 1985. *Etude du zooplancton côtier de la Baie de Dakar et de son utilisation par les poissons comme source de nourriture*. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université de Bretagne Occidentale. 141 pp.

Merella, P., Quetglas, A., Alemany, F., Carbonell, A. 1997. Length-weight relationship of fishes and cephalopods from the Balearic Islands (western Mediterranean). Naga. *International Center for Living Aquatic Resources Management Quarterly* 20 (3/4), 66-68.

Meunier, F.J., Pascal, M. 1980. Some comparative data on the cyclical growth of skeletal tissues in Osteichthyans. *Bulletin de la Société zoologique de France* 105 (2), 42-337.

Meunier, T., Bartone, D., Barreiro, B., Torres, R. 2012. Upwelling filaments off cap Blanc: Interaction of the NW African upwelling current and the Cape Verde frontal zone eddy field?. *Journal of Geophysical Research* 117, C08031. doi:10.1029/2012JC007905.

Mieszkowska, N., Kendall, M.A., Hawkins, S.J., Leaper, R., Williamson, P., Hardman-Mountford, N.J., Southward, A.J. 2006. Changes in the range of some common rocky shore species in Britain – a response to climate change? *Hydrobiologia* 555, 241-251.

Miller, T.J., Herra, T., Leggett, W.C. 1999. The relation between otolith size and larval size at hatching for Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Fisheries Bulletin* 97 (2), 294-305.

Minas, H.J., Codispoti, L.A., Dugdale, R.C. 1982. Nutrient and primary production in the upwelling region of northwest Africa. *Rapports de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée* 180, 148-183.

Monteiro, L.R., Di Benedetto, A.P.M., Guillermo, L.H., Rivera, L.A. 2005. Allometric changes and shape differentiation of sagitta otoliths in sciaenid fishes. *Fisheries Research* 74, 288-299.

Montevecchi, W. Myers, R. 1997. Centurial and decadal oceanographic influences on changes in northern gannet populations and diets in the north west atlantic: implications for climate change. *ICES Journal of Marine Science* 54, 608-614.

Morales-Nin, B. 1991. Parámetros biológicos del salmonete de roca *Mullus surmuletus* (L. 1758), en Mallorca. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 7 (2), 139-147.

Moreno, T., Castro, J.J. 1995. Community structure of the juvenile of coastal pelagic fish species in the Canary Islands waters. *Scientia Marina* 59, 405-413.

Morote, E., Olivar, M.P., Villate, F., Uriarte, I. 2008. Diet of round sardinella, *Sardinella aurita*, larvae in relation to plankton availability in the NW Mediterranean. - *Journal of Plankton Research* 30 (7), 807-816.

MPM (Ministère des Pêches Maritimes), 2012. Stratégie de développement et de compétitivité du secteur halieutique. 43 pp. Accessible en ligne à

http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/dmag/dv/dmag20100505_15_/dmag20100505 (Accédé le 02/01/2018).

MPM (Ministère des Pêches Maritimes), 2014. Rapport d'activité Département de la Pêche Maritime. Rabat, Maroc. 61 pp. Accessible en ligne à http://www.mpm.gov.ma/wps/wcm/connect/640ef32b-92b1-428f-bbbfa014ba1ff607/Rapport_activite_2014.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=640ef32b_92b1-428f-bbbf-a014ba1ff607 (Accédé le 20/12/2016).

Munro, J.L., Pauly, D. 1983. A simple for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte* 1 (1), 5-6.

Murawski, S.A. 1993. Climate change and marine fish distributions: forecasting from historical analogy. *Transactions of the American Fisheries Society* 122, 647-658.

Murua, H., Saborido-Rey, F. 2003. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 33, 23-31.

Murua, H., Motos, L. 2006. Reproductive strategy and spawning activity of the European hake, *Merluccius merluccius* (L.), in the Bay of Biscay. *Journal of Fish Biology* 69, 1288-1303.

Nieland, H. 1980. Qualitative and quantitative aspects of the food of *Ethmalosa fimbriata* (Bowdich) in the Ebrie lagoon (Ivory coast). Document Scientifique Centre de Recherches Océanographiques Abidjan 11 (1), 85-95.

Nieland, H. 1982. The food of *Sardinella aurita* (Val.) and *Sardinella eba* (Val.) of the coast of Senegal. Rapports et procès-verbaux des réunions conseil international pour l'exploration de la mer 180, 369-373.

Nilssen, E.M., Pedersen, T., Hopkins, C.C.E., Thyholt, K., Pope, J.G. 1994. Recruitment variability and growth of Northeast Arctic cod: influence of physical environment, demography, and predator-prey energetics. *ICES Journal of Marine Science* 198, 449-470.

Nyckær, L., Van Camp, L. 1994. Seasonal and interannual variability of coastal upwelling along northwest Africa and Portugal from 1981 to 1991. *Journal of Geophysical Research* 99 (C7), 14197-14207.

Olsen, E.M., Heino, M., Lilly, G.R., Morgan, M.J., Brattey, J., Ernande, B. Dieckmann, U. 2004. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature* 428, 932-935.

Ombredane, D., Baglinière, J.L. 1991. Les écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. Les écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. In : Baglinière, J.L., Castanet, J., Conand, F. Meunier F.J. (éds.) Tissus durs et âge individuel des vertébrés. Paris. ORSTOM-INRA. Colloque et séminaires, 151-192 pp.

Orbi, A., Roy, C., Cury, P., Bencherifi S. 1991. Abondance apparente des sardines marocaines de la zone A et variabilité du recrutement. In : Pêcheries Ouest Africaines: Variabilité, Instabilité et Changement. Cury, P., Roy, C. (Eds). Paris. ORSTOM. 439-445 pp.

Ould Mohamed El Moustapha, A., Ould Isselmou, C.B., Ould Sidi Cheikh, M.A., Meissa, B. 2012. Etat de lieux de la répartition spatio-temporelle de l'évolution des structures démographiques et des biomasses en Mauritanie de la sardinelle ronde et du chinchard noir africain suivant les résultats des campagnes scientifiques. Commission Sous-Régionale de Pêche, 1-41 pp.

Ould Sidina, E., Samb, B., Corten, A. 2006. Croissance de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) dans la région nord-ouest africaine, estimée à partir des fréquences de tailles, atelier du 28 au 31 août à Nouakchott (Mauritanie). 1-14 pp.

Ould Taleb Ould Sidi, M.M. 2005. *Les ressources de petits pélagiques en Mauritanie et dans la zone ouest africaine : variabilité spatiale et temporelle, dynamique et diagnostic*. Thèse de Doctorat, ENS Agronomique de Rennes, 276 pp.

Oviatt, C. 2004. The changing ecology of temperate coastal waters during a warming trend. *Estuaries* 27, 895-904.

Palomera, I., Sabatés, A. 1990. Co-occurrence of *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* eggs and larvae in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina* 54, 61-67.

Panfili, J. 1992. *Estimation de l'âge individuel des poissons : Méthodologies et applications à des populations naturelles tropicales et tempérées*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II – Sciences et Techniques du Languedoc. 456 pp.

Panfili, J., De Pontual, H., Troadec, H. Wright, P.J. 2002. Manuel de sclerochronologie des poissons. Coéditions IFREMER-IRD, 464 pp.

Panfili, J., Mbow, A., Durand, J.D., Diop, K., Diouf, K., Thior, D., Ndiaye, P. Laë, R. 2004. Influence of salinity on the life-history traits of the West African black-chinned tilapia (*Sarotherodon melanotheron*): Comparison between the Gambia and Saloum estuaries. *Aquatic Living Resources* 17, 65-74. DOI: 10.1051/alr:2004002.

Parrish, R.H., Mallicoate, D.L., Klingbeil, R.A. 1986. Age dependent fecundity, number of spawning per year sex ratio, and maturation stages in northern anchovy *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin* 84, 503-517.

Pascual-Alayón, P., Santamaría, M.T.G., Hernández, E. 2008. Spanish Report on the activity of European pelagic trawlers fishing in Mauritania and landing in the port of Las Palmas de Gran Canaria, Spain. Nine Meeting of the FAO Working Group on the Assessment of Small Pelagic Fish off Northwest Africa Nouakchott, Mauritania, 20-30 April 2009. 23 pp.

Pauly, D. Munro, J.L. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte (ICLARM)* 2 (1), 21.

Pauly, D., Gayanilo, F.C. 1996. Estimating the parameter of length-weight relationship from length-frequency samples and bulk weights. 136 pp. In: Pauly, D., Martosubroto, P. (eds.). Baseline studies of biodiversity: the fish resources of western Indonesia. *ICLARM Studies and Reviews* 23, 321 pp.

Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., Torres, F.Jr. 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279 (5352), 860-863.

- Pawson, M.G., Giama, M.S. 1985. A biological sampling problem illustrated by the population structure and growth patterns of *Sardinella aurita* at Tripoli, Libya. *Environmental Biology of Fishes* 12 (2), 143-154.
- Perry, A.L., Low, P.J., Ellis, J.R. Reynolds, J.D. 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308, 1912–1915.
- Pham-Thuoc, Szypula, J. 1973, Biological characteristics of gilt sardine *Sardinella aurita* Cuv. et Val. 1847 from the north-west African coast. *acta Ichthyologica et Piscatoria* 3 (1), 19-36.
- Pilling, G.M., Grandcourt, E.M., Kirkwood, G.P. 2003. The utility of otolith weight as a predictor of age in the emperor *Lethrinus mashena* and other tropical fish species. *Fisheries research* 60, 493-506.
- Pinkas, L., Oliphant, M.S., Iverson, I.L.K. 1971. Food habits of albacore. bluefin tuna. and bonito in California waters. California Department Of Fish And Game, Fish Bulletin 152, 84 pp.
- Pino, C.A., Cubillos, L.A., Araya, M., Sepulveda, A. 2004. Otolith weight as an estimator of age in the Patagonian grenadier, *Macruronus magellanicus*, in central-south Chile. *Fisheries Research* 66, 145-156.
- Pinto, J.S., Andreu, B. 1957. Scale for the determination of evolutive phases of sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) ovaries in connection with the histophysiology of the gonad. Proc. and Tech. Papers from the General Fisheries Council for the Mediterranean. 46, 393-411.
- Pope, J.A., Margetts, A.R., Hamley, J.M., Akkyuz, E.F. 1983. Manual de métodos para la evaluacion de las poblaciones de peces. Parte 3. Slectividad del arte de pesca. FAO Document Technique. Pesca, (41) Rev. 1, 56 pp.
- Post, D.M., Conners, M.E., Goldberg, D.S. 2000. Prey preference by a top predator and the stability of linked food chains. *Ecology* 81, 8-14.
- Postel, E. 1955. Résumé des connaissances acquises sur les clupéidés de l'ouest africain. Rapport du Conseil d'Exploration de La Mer. 137, 7 pp.

- Quatey, S.N.K. Maravelias, C.D. 1999. Maturity and spawning pattern of *Sardinella aurita* in relation to water temperature and zooplankton abundance off Ghana, West Africa. *Journal of Applied Ichthyology* 15, 63-69.
- Rätz, H., Lloret, J. 2005. Long-term variability of growth and recruitment of cod (*Gadus morhua*) off Greenland. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1310–1321.
- Reibisch, J. 1899. Über die Eizahl bei *Pleuronectes platessa* und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. 4, 232-248.
- Reid, P.C., de Fatima Borges, M., Svendsen, E. 2001. A regime shift in the North Sea circa 1988 linked to changes in the North Sea horse mackerel fishery. *Fisheries Research* 50, 163-171.
- Reynolds, R.W., Smith, T.M., Liu, C., Chelton, D.B., Casey, K.S., Schlax, M.G. 2007. Daily High-resolution Blended Analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate* 20, 5473-5496.
- Richardson, A.J., Davies, C., Slotwinski, A., Coman, F., Tonks, M., Rochester, W., Murphy, N., Beard, J., McKinnon, D., Conway, D., Swadling, K. 2013. Australian Marine Zooplankton: Taxonomic Sheets. 1-294 pp.
- Ricker, W.E. 1980. Calculs et interprétation des statistiques des populations de poissons. *Bulletin canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 191F, 409 pp.
- Rincon MC, Huq MF, Ramirez-Arredondo I. 1988. Aspectos alimenticios de la sardina, *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 (Pisces: Clupeidae) de los alrededores de la region noroccidental de la Peninsula de Araya y alrededores de las Islas de Coche y Cubagua, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente* 27 (1-2), 129-143.
- Rodrigues, J.M., Hernandez-Leon, S., Barton, E.D. 1999. Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Deep-Sea Research* 46, 1969-1984.
- Rose, M. 1933. Copépodes pélagiques. In : Faune de France, volume 26, 1-374 pages, 1-456 figures.

Rosecchi, E., Nouaze, Y. 1987. Comparaison de cinq indices alimentaires utilisés dans l'analyse des contenus stomacaux. *Revue Des Travaux De l'Institut Des Pêches Maritimes* 49(3-4), 111-123.

Roy, C. 1991. Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines. In : Cury P., Roy, C. (éds.), Pêcheries ouest-africaines. Variabilité, instabilité et changement. ORSTOM, 38-66 pp.

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 (1), 21-29.

Salah, S. 2013. *Structure spatiotemporelle du zooplancton dans les deux filaments d'upwelling cap Ghir et cap Juby. Effet de la dynamique des filaments sur la dispersion des copépodes*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II Casablanca, 277 pp.

Salah, S., Ettahiri, O., Berraho, A., Benazzouz, A., Elkalay, K., Errhif, A. 2012. Distribution des copépodes en relation avec la dynamique du filament de cap Ghir, (Côte atlantique du Maroc). Copepods distribution in relation to a Cape Ghir upwelling filament (Moroccan Atlantic coast). *Comptes Rendus Biologies* 335 (2), 155-167. Doi : 10.1016/j.crv.2011.11.008.

Salah, S., Errhif, A., Berraho, A., Benazzouz, A., Makaoui, A., Ettahiri, O. 2013. Contribution à l'étude de l'influence du filament d'upwelling de cap Juby (Maroc) sur la distribution des copépodes. *Journal des sciences halieutique et aquatique* 6, 207-220.

Samb, B. 1988. Seasonal growth, mortality and recruitment pattern of *Sardinella maderensis* off Senegal. In: Venema, S.C., Christensen, J.M., Pauly, D. (eds.) Contributions to tropical fisheries biology. FAO/DANIDA Follow-up Training Course on Fish Stock Assessment in the Tropics, Denmark, 1986 and Philippines, 1987. FAO Fisheries Report 389, 257-271 pp.

Samba, O. 2011. Nouvelle évaluation des caractéristiques biologiques de *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) et *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841). Mémoire de DEA, L'Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 45 pp.

Sampson, D.B., Al-Jufaily, S.M. 1999. Geographic variation in the maturity and growth schedules of English sole along the U.S. west coast. *Journal of Fish Biology* 54, 1-17.

Santamaria, M.T.G., González, J.F., Barrera, A., López Abellán, L.J., Quintero, M.E., Balguerías, E. 2008. Substitution of sardine (*Sardina pilchardus*) for Round Sardinella (*Sardinella aurita*) in the Canary Islands waters. Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. Integrative and Comparative Approaches. Las Palmas de Gran Canaria (España), 2-6 pp.

Sherman, K., Belkin, I., Friedland, K., O'Reilly, J., Hyde, K. 2009. Accelerating warming and emergent trends in fishing biomass yields of the world's Large Marine Ecosystems. *AMBIO* 38 (4), 215-224. doi:10.1579/0044-7447-38.4.2.215.

Showers, PAT. 1996. Comparative growth performance for species of the family Clupeidae of Sierra Leone. Naga. *International Center for Living Aquatic Resources Management Quarterly* 19, 42-44.

Simpson, A.C. 1951. The spawning of the plaice (*Pleuronectes platessa*) in the North sea. *Fish Investment* 22 (2), 1-111.

Sokal, R., Rohlf, F. 1979. Biometría. Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica. Editeur, H. Blume. Madrid. 832 pp.

Somoue, L., Elkhiaiti, N., Ramdani, M., Lam Hoai, T., Ettahiri, O., Berraho, A., Do Chi, T. 2005. Abundance and structure of copepod communities along the Atlantic coast of southern Morocco. *Acta Adriatica* 46 (1), 63-76.

Sparre, P., Venema, S.C. 1996. Introduction à l'évaluation des stocks de poissons tropicaux. Première partie : Manuel FAO document technique sur les pêches. No. 306.1, Rev. 1. Rome, FAO. 401 pp.

Stearns, S.C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, New York. 262 pp.

Steinarsson, B.Æ., Stefansson, G. 1991. An attempt to explain cod growth variability. ICES Council Meeting papers G: 42.

Stenseth, N.C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Chan, K.S., Lima, M. 2002. Ecological effects of climate fluctuations. *Science* 297, 1292-1296.

Stevens, M.M., Andrews, A.H., Cailliet, G.M., Coale, K.H. 2004. Radiometric, validation of age, growth, and longevity for the Blackgill rockfish (*Sebastes melanostomus*). *Fisheries bulletin* 102, 711-722.

Strelcheck, A.J., Fitzhugh, G.R., Coleman, F.C., Koenig, C.C. 2003. Otolithfish size relationship in juvenile gag (*Mycteroperca microlepis*) of the eastern Gulf of Mexico; a comparison of growth rates between laboratory and field populations. *Fisheries Research* 60, 255-265.

Tacon, A.G.J. 2004. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture and Development* 1, 3-14.

Tanasichuk, R.W. 1997. Influence of biomass and ocean climate on the growth of Pacific herring (*Clupea pallasii*) from the southwest coast of Vancouver Island. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54, 2782-2788.

Thiaw, M., Auger, P.A., Ngom, F., Brochier, T., Faye, S., Diankha, O., Brehmer, P. 2017. Effect of environmental conditions on the seasonal and interannual variability of small pelagic fish abundance off NorthWest Africa: The case of both Senegalese sardinella. *Fisheries Oceanography* 26(5), 583–601. <https://doi.org/10.1111/fog.12218>.

Trathan, P., Murphy, E., Forcada, J., Croxall, J., Reid, K., Thorpe S.E. 2006. Physical forcing in the southwest atlantic: ecosystem control. In: Top predators in marine ecosystems (Boyd, I., Wanless, S., Camphuysen, C.J. (Eds)). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 378 pp.

Tsikliras, A.C. 2004. Spawning pattern of round sardinella, *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847, in relation to sea surface temperature (northern Aegean Sea, Greece). *Rapports de la Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée* 37, 449 pp.

Tsikliras, A.C., Antonopoulou E. 2006. Reproductive biology of round sardinella (*Sardinella aurita*) in the north-eastern Mediterranean. *Scientia Marina* 70 (2), 281-290.

Tsikliras, A.C., Torre, M., Stergiou, K.I. 2005. Feeding Habits and Trophic Level of Round Sardinella (*Sardinella aurita*) in The Northeastern Mediterranean (Aegean Sea, Greece). *Journal of Biological Research* 3, 67-75.

Vazzoler, A. 1996. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e pratica. São Paulo, Editora da Universidade Estadual de Maringá, 169 pp.

Von Bertalanffy, 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human biology* 10 (2), 181-213.

Wague, A., Mbodj, O.B. 2002. Etude de quelques aspects de la reproduction chez la sardinelle ronde *Sardinella aurita* (Valencienne, 1847) pêchée le long des côtes mauritaniennes. *Bulletin scientifique de l'Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches* 29, 13-18.

Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Fromentin, J.M, Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389-395.

Wang, Y.G. 1998. Growth Curves with Explanatory Variables and Estimation of the Effect of Tagging. *Australian and New Zealand Journal of Statistics* 40 (3), 299-304.

Wang, J., Qiu, S. 1986. On the feeding habit of *Sardinella aurita* Val. in south Fujian-east Guangdong coastal waters. *Journal of Oceanography In Taiwan Strait* 5, 86-93.

Wassef, E., Ezzat, A., Hashem, T., Faltas, S. 1985. Sardine fishery by purse-seine on the Egyptian Mediterranean coast. *Marine Ecology Progress Series* 26, 11-18.

Whitehead, P.J.P. 1985. FAO Species Catalogue. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Fish. Synop. Rome: FAO. 125(7/1), 1-303 pp.

Winters, G.H., Wheeler, J.P. 1994. Length-specific weight as a measure of growth success of adult Atlantic herring (*Clupea haregus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51, 1169-1179.

Woodbury, D. 1999. Reduction of growth in otoliths of widow and yellowtail rockfish (*Sebastes entomelas* and *S. flavidus*) during the 1983 El Niño. *Fisheries Bulletin* 97, 680-689.

Wooster, W.S., Bakun, A., McLain, D.R. 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *Journal of Marine Research* 34, 131-141.

Wootton, R.J. 1998. Ecology of Teleost Fishes. Dordrecht, Boston. Kluwer Academic Publishers, Chapman & Hall fish and fisheries series 24, 386 pp.

Xiao, Y. 1999. General age-and time-dependent growth models for animals. *Fishery Bulletin US* 97, 690-701.

Zagaglia, C.R., Lorenzetti, J., Stech, J.L. 2004. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of Environment* 93 (1-2), 267-281. doi: 10.1016/j.rse.2004.07.015.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis 2nd edition. New Jersey. Prentice-Hall, 718 pp.

Zeeberg, J., Corten, A., Tjoe-Awie, P., Coca, J. Hamady, B. 2008. Climate modulates the effects of *Sardinella aurita* fisheries off Northwest Africa. *Fisheries Research* 89 (1), 65-75. doi: 10.1016/j.fishres.2007.08.020.

Zizah, S. 2002. Etude de la variabilité de la biomasse chlorophyllienne et de la productivité primaire au niveau de la côte Atlantique sud marocaine (cap Blanc-cap Boujdor). Diplômes d'Études Supérieures Spécialisées, Faculté des Sciences, Rabat. 78 pp.

Zizah, A. 2014. *Les composantes planctoniques et biomasse dans les écosystèmes pélagiques en rapport avec les fluctuations des conditions hydrologiques le long de la côte sud Atlantique marocaine (cap Blanc - cap Boujdor)*. Thèse de Doctorat Université Mohamed V. Faculté des sciences Rabat, 139 pp.

Zizah, S., Ettahiri, O., Salah, S., Yahyaoui, A., Ramdani, M. 2012. Evolution spatio-temporelle des abondances zooplanctoniques au large de la côte Atlantique marocaine entre cap Boujdor (26°30'N) et cap Blanc (21°N). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie* 34 (2), 79-94

ANNEXES

Annexe 1 : Liquide de Gilson

880 ml d'eau distillée

100 ml d'alcool éthylique 60°

15 ml d'acide nitrique à 80%

20 g de chlorure mercurique cristallisé

Ajouter 18 ml d'acide acétique juste avant l'utilisation du produit.

Annexe 2 : Liquide de Bouin

1 l d'alcool éthylique 95°

10 g d'acide picrique cristallisé

Cette solution se conserve indéfiniment.

Pour 100 ml de Bouin alcoolique en vue d'une fixation

45 ml de solution mère

26 ml de formol

7 ml d'acide acétique glacial

22 ml d'eau distillée

Cette solution se conserve deux semaines environ.

Annexe 3 : Programme de l'automate Leica TP 1020

3 bains Ethanol 70 : 1h / 1h / 1h

2 bains Ethanol 95°: 30 min / 1h

2 bains Ethanol absolu : 1h / 1h

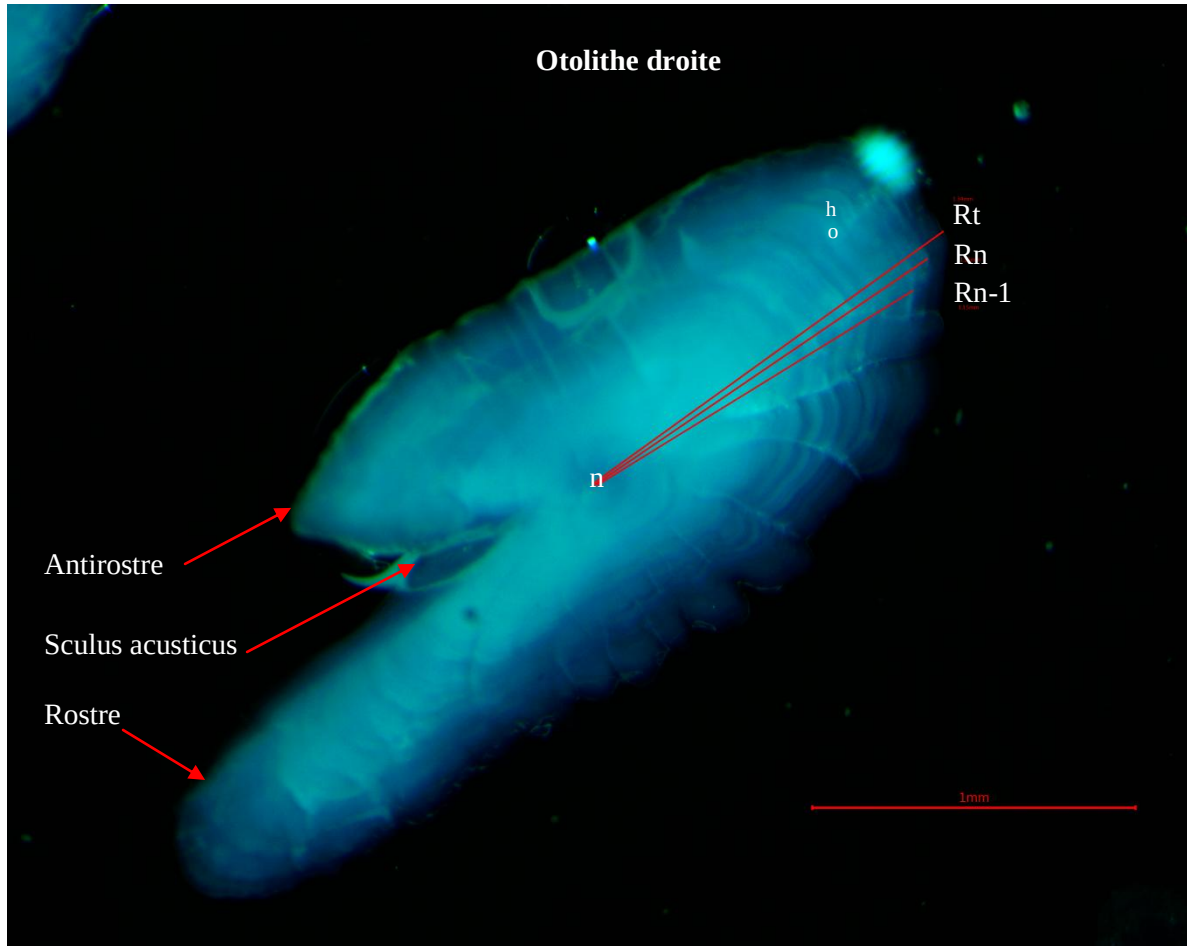
3 bains Xylène : 30 min / 1h / 1h

2 bains Paraffine : 3h / 10h

Annexe 4 : Protocole de coloration

Réactifs	Période d'incubation	Rôle
Xylène 1	30 minutes	Elimination du paraffine
Xylène 2	30 minutes	Elimination du paraffine
Alcool 100°	5 minutes	Début de la réhydratation
Alcool 95°	5 minutes	Réhydratation
Alcool 70°	5 minutes	Réhydratation
L'eau	5 minutes	Réhydratation
L'hématoxyline	1 minute 30 secondes	Coloration du cytoplasme
Lavage à l'eau de robinet	15 minutes	Elimination de l'excès de l'hématoxyline
Eosine Y	15 minutes	Coloration des noyaux
Alcool 95°	2 minutes	Elimination de l'Eosine
Alcool 95°	5 minutes	Déshydratation
Alcool 100°	5 minutes	Déshydratation
Xylène 1	10 minutes	Elimination de l'alcool
Xylène 2	10 minutes	Initiation du montage
DPX		Montage entre lame et lamelle

Annexe 5 : Otolithes (sagittæ) de *Sardinella aurita* observé sous la loupe binoculaire en lumière réfléchie sur fond noir. Rt : Rayon total de l'otolithe ; Rn : Rayon de la dernière marque ; Rn-1 : Rayon de l'avant dernière marque ; h : anneau hyalin : zone de croissance ralentie ; n : nucleus ; o : anneau opaque : zone de croissance rapide.



Annexe 6 : Clé âge-taille pour l'ensemble des sardinelles rondes pour l'année 2015

Taille (cm) / classe d'âge	0+	1+	2+	3+	4+	5+
15,5	1	2				
16,5		2				
17		4	1			
17,5		4				
18		10				
18,5		2	1			
19		9				
19,5		6				
20		11				
20,5		5		1		
21		1	1			
21,5		2				
22		1				
22,5		1				
23		1				
23,5			2			
24		1	2	1	1	
24,5		1	2	5		
25			9	17	2	
25,5			6	10	2	
26			5	20	7	
26,5			6	12	2	
27			12	13	2	
27,5		1	12	11	1	
28		1	11	10	3	
28,5			5	13	1	
29			3	20	3	1
29,5			3	8	6	
30			1	7	6	
30,5			5	7	2	
31			3	9	8	
31,5			2	9	8	1
32			3	13	4	2
32,5			2	9	2	1
33			2	9	5	2
33,5			1	8	3	1
34			1	3	4	3
34,5			1	2	1	2
35				1	2	1
35,5						1
N (effective)	1	65	102	218	75	15
Lt (moyenne)	15,5	19,46	27,6	28,76	30,11	33,2

Annexe 7: Clé âge-taille pour l'ensemble des sardinelles rondes pour l'année 2016

Taille (cm) / classe d'âge	0+	1+	2+	3+	4+	5+
12,5	1					
13		1				
13,5	1	1				
14	3	8				
14,5		6	1			
15		17	3			
15,5		11	3			
16		7	4			
16,5		2	1			
17		3	2			
17,5		1				
18		7	6			
18,5		2	3			
19		2	4			
19,5		1	8			
20			4			
20,5			1			
21			1			
21,5				1		
26,5			2			
27			1			
27,5				2	1	
28				2		
28,5				2		
29				7		
29,5				3		
30,5				5		
31					2	
31,5						1
32					1	2
32,5					6	1
33					3	1
33,5					3	1
34						4
35,5						1
N (effective)	5	69	44	22	16	11
Lt (moyenne)	13,6	15,72	18,6	28,8	32,25	33,28

Annexe 8 : Clé âge-taille pour l'ensemble des sardinelles plates durant la période 2015-2016

Taille (cm) / classe d'âge	2+	3+	4+	5+
22,5	1			
23	1			
24		1		
24,5	1	3		
25		4		
25,5		1		
26		2		
26,5		5	1	
27		1	3	
27,5		5	4	
28		2	10	
28,5		1	4	
29			7	
29,5			14	
30			6	1
30,5			6	
31			2	
31,5			2	
32				2
32,5				1
33				2
N (effective)	3	25	59	6
Lt (moyenne)	23,33	26,26	29,08	32,08

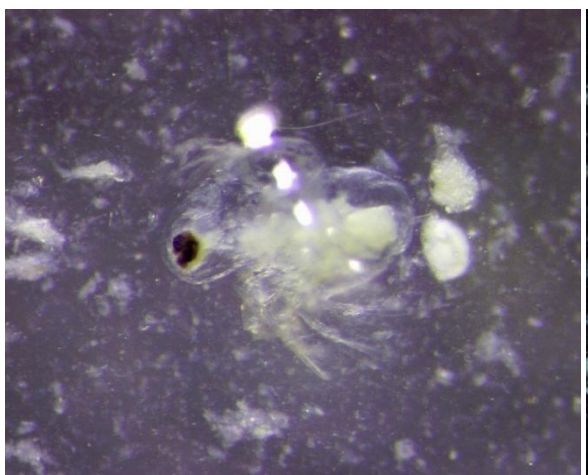
Annexe 9 : Exemples de proies consommées par *Sardinella* sp.



Mégalope de Crabe



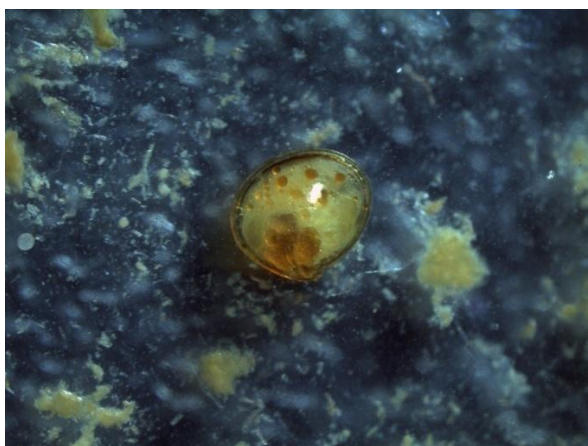
Copépode (Ectinosomatidae (GX32))



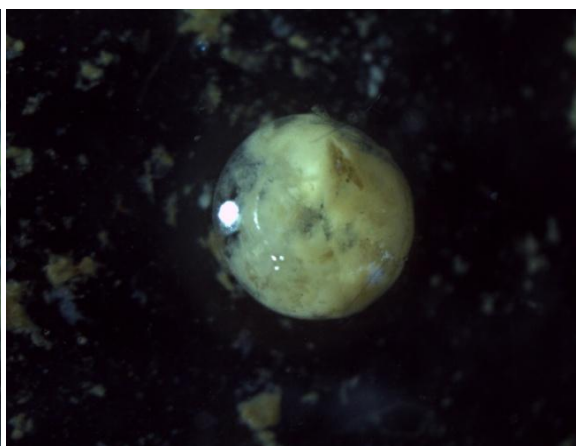
Cladocère (GX44)



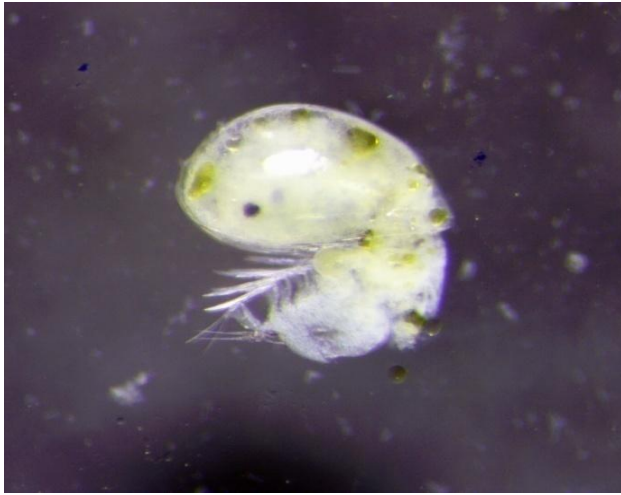
Copépode (Centropagidae (GX37))



Larve de bivalve (GX25)



Œuf de poisson (GX25)



Larve de Cirripède (Gx50)



Isopode (Tylidae) (Gx44)



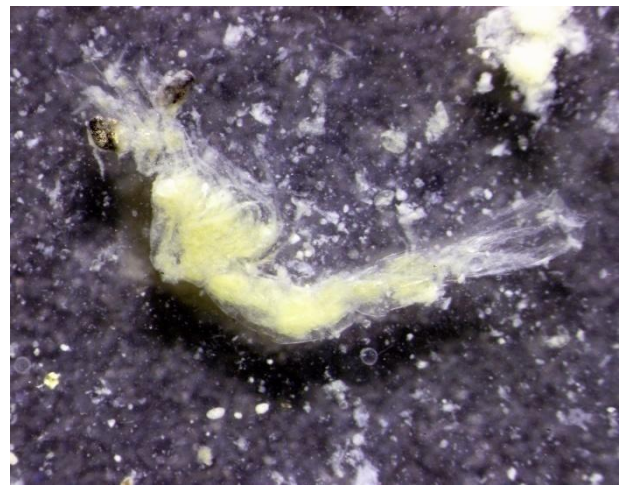
Copépode (Oncaidae) (Gx44)



Annélide (Gx38)



Euphausiacé (Gx25)



Mysidacé (Gx20)