



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC
RESEARCH
جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES
قسم علوم البحر
SCIENCES DE LA MER



Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en
«Aquaculture Durable »

Thème

Croissance, mortalités et exploitation de la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1758) de la côte d'El Tarf

Présenté Par : Raouya Ayoub

Soutenue publiquement le : 14/06/2026

devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Zaidi Raouf	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
Ansel Mohammed Amine	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
Dahel Tania Amina	PR	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

*Je tiens à remercier vivement **Dr. Ansel. M. A**, d'avoir accepté de m'encadrer dans la réalisation de ce travail.*

*Je tien, à remercier aussi **Dr. Zaidi. R**, qui me fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury en dépit de ses nombreuses occupations.*

*Je remercie également **Dr. Dahel. T. A**, pour avoir pris le temps d'examiner ce modeste mémoire.*

Dédicaces à mes parents

Aucun mot ne serait suffisant pour exprimer ma gratitude et mon amour ainsi que mon respect envers mes chers parents.

SOMMAIRE

Liste des acronymes et des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités

I. 1. Zone d'étude	4
I. 2. Espèce étudiée.....	6
I. 2. 1. Présentation de la famille des clupéidés	6
I. 2. 2. Morphologie générale de <i>S. pilchardus</i>	6
I. 2. 3. Position systématique de <i>S. pilchardus</i>	7
I. 2. 4. Le biotope	8
I. 2. 5. La croissance de <i>S. pilchardus</i>	9
I. 2. 6. Le cycle de vie	9
I. 2. 7. Régime alimentaire de <i>S. pilchardus</i>	9
I. 2. 8. Comportement et reproduction de <i>S. pilchardus</i>	10
I. 3. La distribution géographique de <i>S. pilchardus</i>	10
I. 4. Méthode de pêche de <i>S. pilchardus</i>	12

Chapitre II : Croissance, mortalités et exploitation

II. 1. Introduction	15
II. 2. Méthode d'étude	15
II. 2. 1. Âgéeage de <i>S. pilchardus</i>	16
II. 2. 2. Modèle de croissance linéaire de von Bertalanffy, (1938)	17
II. 2. 3. Paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0) de <i>S. pilchardus</i>	18
II. 2. 4. Relation taille-poids.....	18
II. 2. 5. Croissance pondérale	20
II. 3. Etude des mortalités.....	21
II. 3. 1. Introduction	21
II. 3. 2. Mortalité totale (Z).....	22
II. 3. 2. 1. Méthode de Pauly (1990)	22

II. 3. 3. Mortalité naturelle (M)	22
II. 3. 3. 1. Méthode de Pauly, (1980)	23
II. 3. 3. 2. Méthode de Rikhter et Efanov, (1976)	23
II. 3. 3. 3. Méthode de Djabali <i>et al.</i> , (1994).....	24
II. 3. 4. Mortalité par pêche (F).....	24
II. 4. Le taux d'exploitation (E)	24
II. 5. Etude de l'exploitation de <i>S. pilchardus</i>	25
II. 5. 1. Introduction	25
II. 5. 2. Méthodes d'étude	26
III. Résultats et discussions	27
III. 1. Clé âge-longueur	27
III. 2. Paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0) de <i>S. pilchardus</i>	30
III. 3. Relation taille-poids	34
III. 4. Croissance pondérale.....	35
III. 5. Mortalités	36
III. 5. 1. Mortalité totale (Z)	36
III. 5. 2. Mortalité naturelle (M)	36
III. 5. 2. 1. Méthode de Pauly, (1980)	36
III. 5. 2. 2. Méthode de Rikhter et Efanov, (1976).....	37
III. 5. 2. 3. Méthode de Djabali <i>et al.</i> , (1994)	38
III. 5. 3. Mortalité par pêche (F).....	39
III. 6. Le taux d'exploitation (E).....	39
III. 7. Exploitation de <i>S. pilchardus</i>	39
III. 7. 1. Le recrutement.....	39
III. 7. 2. Analyse de population virtuelle (VPA).....	40
III. 7. 2. 1. Analyse de population virtuelle structurée par la longueur.....	40
III. 7. 2. 2. Rendement relatif par recrue (Y/R) et biomasse relative par recrue (B/R)	43
Conclusion générale	45

Références bibliographiques

Références	48
-------------------------	----

Liste des acronymes et des abréviations

a : Est une constante dépendant des unités de mesure utilisées.

b : Est le coefficient d'allométrie, décrivant la nature de la croissance.

Cc : Centre de classe (cm).

CIESM : Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Méditerranée.

C_t : La capture terminale, soit la quantité de poissons prélevée dans la plus grande classe de taille.

GFCM : Commission générale des pêches pour la Méditerranée.

DYNPOP : Groupe du travail pour la Dynamique des Population marines.

E : Le taux d'exploitation.

F : Le coefficient instantané de mortalité par pêche (an^{-1}).

FAO : Food and Agriculture Organisation.

FISAT : FAO-ICLARM Stock Assessment Tools.

F_t : La mortalité par pêche associée à cette classe.

K : Paramètre de croissance caractérisant la vitesse avec laquelle la taille approche de L_{∞} (an^{-1}).

L_∞ : La taille asymptotique maximale que l'animal peut théoriquement atteindre (cm).

L_{mass} : La taille moyenne à la maturité (cm).

L_t : La taille du poisson à l'âge t (cm).

M : Coefficient instantanée de mortalité naturelle (an^{-1}).

MPPH : Ministère de la pêche maritime et des produits de la pêche.

MPRH : Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques

N : Effectif (individus).

S_C : Sexes confondus

T° : Température moyenne de l'eau dont l'échantillon provient (en degré Celsius).

Liste des acronymes et des abréviations

t_0 : Paramètre ajustant l'âge théorique où la taille serait nulle (an).

W_∞ : Poids asymptotique (g)

W_t : Représente le poids total (g).

Z : Le coefficient de mortalité totale (an^{-1}).

Liste des tableaux

Tableau. 1	: Distribution des fréquences des tailles de <i>S. pilchardus</i> de la côte d'El Tarf (sexes confondus)	27
Tableau. 2	: Âges obtenus par la méthode de Bhattacharya (FISAT II 1.2.0 Gayanilo <i>et al.</i> , 2005).....	28
Tableau. 3	: Clefs âges-longueurs de <i>S. pilchardus</i> estimées par différents auteurs	29
Tableau. 4	: Récapitulatif des paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0)	31
Tableau. 5	: Paramètres de croissance de <i>S. Pilchardus</i> obtenus par différents auteurs et dans diverses régions	33
Tableau. 6	: Equation de la relation taille-poids de <i>S. Pilchardus</i>	34
Tableau. 7	: Relation âge-poids pour <i>S. pilchardus</i>	35
Tableau. 8	: Différentes mortalités de <i>S. pilchardus</i> selon la littérature.....	38
Tableau. 9	: Répartition des captures, population, mortalité par pêche et biomasse stable de <i>S. pilchardus</i> par classes de taille	42

Liste des figures

Figure. 1	: La zone d'étude côte de d'El Tarf	4
Figure. 2	: Répartition de la flotte de pêche par wilaya (MPPH, 2020).....	5
Figure. 3	: Evolution de la production en tonnes par wilaya (MPPH, 2020).....	5
Figure. 4	: Morphologie générale de <i>S. pilchardus</i>	7
Figure. 5	: Répartition géographique de <i>S. pilchardus</i> (Scarponi <i>et al.</i> , 2018).....	11
Figure. 6	: Localisation géographique de <i>S. pilchardus</i> (Scarponi <i>et al.</i> , 2018).....	11
Figure. 7	: Engins de pêche de <i>S. pilchardus</i> en Algérie	13
Figure. 8	: Les différentes mensurations effectuées sur <i>S. pilchardus</i>	16
Figure. 9	: Distribution des fréquences des tailles de <i>S. Pilchardus</i> de la côte d'El Tarf (sexes confondus)	28
Figure. 10	: Décomposition des distributions composites à l'aide de la méthode de Bhattacharya FISAT II 1.2.0 (Gayanilo <i>et al.</i> , 2005).....	28
Figure. 11	: Décomposition de la distribution des fréquences de tailles par la méthode de Bhattacharya (1967) FISAT II 1.2.0 (Gayanilo <i>et al.</i> , 2005)	29
Figure. 12	: Courbe de croissance linéaire obtenue par le FISAT II (1.2.0, Gayanilo <i>et al.</i> , 2005).....	32
Figure. 13	: Courbe de croissance linéaire obtenue par le VONBIT (Stamatopoulos, 2011).....	33
Figure. 14	: Relations taille-poids de <i>S. pilchardus</i>	34
Figure. 15	: Courbe de croissance pondérale théorique de <i>S. pilchardus</i>	35
Figure. 16	: Estimation de la mortalité totale instantanée de <i>S. Pilchardus</i>	36
Figure. 17	: Estimation de la mortalité naturelle de <i>S. pilchardus</i> à l'aide de l'équation empirique de Pauly, (1980).....	37
Figure. 18	: Estimation de la mortalité naturelle de <i>S. pilchardus</i> à l'aide du modèle empirique de Rikhter et Efanov, (1976)	37
Figure. 19	: Estimation des valeurs relatives de recrutement de <i>S. pilchardus</i> FISAT II	40
Figure. 20	: Répartition du taux de recrutement de <i>S. pilchardus</i> FISAT II.....	40
Figure. 21	: Analyse de population virtuelle (VPA) de <i>S. pilchardus</i> structurée par la longueur	41
Figure. 22	: Rendement et biomasse par recrue en fonction du taux d'exploitation de <i>S. pilchardus</i> FISAT II	43

Résumé :

La présente étude examine la croissance et la pression exercée par la pêche sur le stock de *Sardina pilchardus* de la côte d'El Tarf. Grâce à la méthode de Bhattacharya, trois (3) groupes d'âges ont été identifiés, ce qui a permis d'estimer les paramètres de croissance selon l'équation de von Bertalanffy, avec des résultats obtenus par le logiciel VONBIT ($L_{\infty} = 20.19$ cm, $K = 0.61 \text{ an}^{-1}$, $t_0 = -0.004$ ans). La mortalité totale ($Z = 2.50 \text{ an}^{-1}$) dépasse largement la mortalité naturelle (0.51 an^{-1}), indiquant une forte pression de pêche. La relation taille-poids montre une allométrie majorante, indiquant une croissance en poids non proportionnelle à la longueur. Le taux d'exploitation élevé (79.6 %) est préoccupant, d'autant que les juvéniles (7.5–11.5 cm) sont nombreux, mais les captures augmentent dans les classes intermédiaires (11.5–15.5 cm), ciblant des poissons en pleine croissance. Ces résultats appellent à une gestion prudente, incluant la limitation des captures, la protection des zones de frai et un suivi régulier, pour assurer la durabilité du stock et la viabilité des pêcheries locales.

Mots-clés : *Sardina pilchardus*, Côte d'El Tarf, Croissance, Mortalités, Exploitation.

Abstract:

This study investigates the growth and fishing pressure on *Sardina pilchardus* stock along the El Tarf coast. Using the Bhattacharya method, three age groups were identified, enabling the estimation of growth parameters based on the von Bertalanffy equation, with results obtained via the VONBIT software ($L_{\infty} = 20.19$ cm, $K = 0.61$ years⁻¹, $t_0 = -0.004$ year). Total mortality ($Z = 2.50$ years⁻¹) significantly exceeds natural mortality (0.51 years⁻¹), indicating substantial fishing pressure. The length-weight relationship reveals positive allometry, indicating that weight growth is not proportional to length growth. The high exploitation rate (79.6%) is concerning, particularly given the abundance of juveniles (7.5–11.5 cm), while catches increase among intermediate size classes (11.5–15.5 cm), targeting actively growing fish. These findings underscore the need for cautious management measures, including catch limits, protection of spawning areas, and continuous monitoring, to ensure stock sustainability and the viability of local fisheries.

Keywords: *Sardina pilchardus*, El Tarf coast, Growth, Mortality, Exploitation.

ملخص:

تبحث هذه الدراسة في النمو وضغط الصيد على سردينيا بيلشاردوستوك *S. pilchardus* على طول ساحل الطارف، باستخدام طريقة باتاتشاريا. تم تحديد ثلاث فئات عمرية، مما مكن من تقدير معلمات النمو استنادا إلى معادلة فون بيرنالايفي، مع الحصول على النتائج من خلال برنامج VONBIT ($L_{\infty} = 20.19$ سم، $K = 0.61$ سنة⁻¹، $t_0 = -0.004$ سنة). إجمالي الوفيات ($Z = 2.50$ سنة⁻¹) يتجاوز بشكل كبير الوفيات الطبيعية (0.51 سنوات⁻¹)، مما يشير إلى ضغط صيد كبير. تكشف العلاقة بين الطول والوزن عن قياس موجب للشكل، مما يشير إلى أن نمو الوزن لا يتناسب مع نمو الطول. إن معدل الاستغلال المرتفع (79.6%) يثير القلق، وخاصة في ضوء وفرة الأسماك اليافعة (7.5 إلى 11.5 سم)، في حين تتزايد الكميات المصيدة بين الفئات المتوسطة الحجم (11.5-15.5 سم)، مستهدفة الأسماك التي تنمو بنشاط. وتؤكد هذه النتائج على الحاجة إلى اتخاذ تدابير إدارية حذرة، بما في ذلك تحديد حدود الصيد، وحماية مناطق التفريخ، والمراقبة المستمرة، لضمان استدامة الأرصد السمكية وقدرة مصائد الأسماك المحلية على البقاء.

الكلمات المفتاحية: سردينيا بيلشاردوس؛ ساحل الطارف؛ نمو؛ معدل الوفيات؛ استغلال.

Introduction générale :

La côte d'El Tarf, située dans la région nord-est de l'Algérie, représente une zone maritime d'une grande richesse écologique et économique, notamment en ce qui concerne les ressources halieutiques. Cette région bénéficie d'un écosystème marin diversifié, caractérisé par une forte productivité biologique et une variété d'espèces pélagiques d'intérêt commercial. Parmi celles-ci, la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1758) occupe une place prépondérante en tant qu'espèce cible majeure pour les pêcheries locales. La sardine est non seulement une source essentielle de revenus pour les communautés de pêcheurs mais aussi un élément clé dans le fonctionnement des réseaux trophiques marins, jouant un rôle crucial dans le transfert d'énergie entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs. De plus, elle constitue une source importante pour l'aquaculture durable, servant d'aliment de base dans l'élevage de nombreuses espèces aquatiques, ce qui renforce sa valeur économique et écologique.

La sardine *Sardina pilchardus* est une espèce clupéidae largement répandue dans les eaux tempérées de l'Atlantique Est et la mer Méditerranée. Sa présence le long de la côte d'El Tarf est particulièrement notable en raison des conditions environnementales favorables, telles que les apports nutritifs liés aux courants marins et la température modérée de l'eau, qui soutiennent sa reproduction et sa croissance. Cependant, ces populations sont soumises à une exploitation intense, ce qui soulève des préoccupations quant à la durabilité des stocks. En effet, la pression de la pêche, combinée aux impacts environnementaux comme le changement climatique et la pollution côtière, peut engendrer un déséquilibre dans les dynamiques de population de cette espèce. Comprendre les processus biologiques fondamentaux, tels que la croissance, la mortalité et l'exploitation, est donc essentiel pour une gestion durable des pêcheries de sardine dans cette région.

Les études portant sur la croissance et la mortalité des populations de *Sardina pilchardus* fournissent des informations précieuses sur la dynamique des stocks et permettent d'établir des stratégies de gestion adaptées. L'évaluation de la structure d'âge, ainsi que la détermination des paramètres de croissance par des méthodes standardisées, comme celles fondées sur le modèle de croissance de von Bertalanffy, sont des étapes indispensables pour caractériser la biologie de la sardine. De plus, l'estimation des taux de mortalité, qu'ils soient naturels ou dus à la pêche, contribue à mieux comprendre les pressions exercées sur la

population et à prévoir son évolution future. Ces données sont cruciales pour orienter les politiques de gestion halieutique visant à maintenir l'équilibre entre exploitation économique et conservation des ressources marines.

Plusieurs travaux antérieurs ont abordé l'étude de la sardine dans différentes zones de la Méditerranée et de l'Atlantique, mettant en lumière la variabilité des paramètres biologiques en fonction des conditions environnementales locales. Cependant, peu d'études détaillées ont été réalisées spécifiquement sur la côte d'El Tarf, ce qui justifie l'intérêt de cette recherche. Elle vise ainsi à combler cette lacune en fournissant une analyse approfondie des caractéristiques biologiques de *Sardina pilchardus* dans cette région, en prenant en compte les influences biologiques et environnementales qui déterminent la dynamique des populations.

À travers cette étude, il sera possible de mieux comprendre les dynamiques biologiques de *Sardina pilchardus* et de proposer des recommandations pour une exploitation durable, préservant à la fois les ressources halieutiques et les moyens de subsistance des communautés dépendantes de cette pêche. Cette contribution s'articule autour de deux chapitres principaux. Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude ainsi qu'à la description de l'espèce *Sardina pilchardus*, en insistant sur son importance écologique et économique dans le contexte local. Le second chapitre se focalise sur l'analyse de la structure d'âge des populations de sardines, en utilisant la méthode de Bhattacharya (1967) pour la construction de la matrice âge-longueur à l'aide du logiciel FISAT II. Par ailleurs, les paramètres de croissance seront déterminés selon le modèle de von Bertalanffy à travers deux approches complémentaires, utilisant les logiciels FISAT II et VONBIT. Enfin, les taux de mortalité seront estimés en vue d'évaluer l'impact combiné des facteurs naturels et anthropiques sur la population de sardines de la côte d'El Tarf.

Chapitre I :

Généralités

I. 1. Zone d'étude :

La côte d'El Tarf, située dans le nord-est de l'Algérie, constitue une zone maritime riche et stratégique pour les activités de pêche ($36^{\circ}45'N$ $8^{\circ}10'E$ - $36^{\circ}45'N$ $8^{\circ}40'E$), cette portion de littoral méditerranéen s'étend sur environ 70 km (MPRH, 2014). et se caractérise par une biodiversité marine importante ainsi que des conditions environnementales favorables qui soutiennent une pêche variée et productive. Positionnée à la frontière avec la Tunisie, la côte d'El Tarf bénéficie d'un contexte géographique unique qui lui confère un rôle essentiel dans l'économie locale, notamment à travers la pêche artisanale et commerciale. La région d'El Tarf se distingue par la coexistence de plusieurs habitats marins, tels que des zones de fonds rocheux, des herbiers marins et des bancs de sable, qui offrent des milieux diversifiés favorisant la présence de nombreuses espèces halieutiques (MPRH, 2014).

Sur le plan de la flotte de pêche, la côte d'El Tarf est desservie par plusieurs ports de pêche importants, notamment le vieux port d'El Kala et le nouveau port d'El Kala (Figure. 1), qui jouent un rôle central dans la commercialisation des produits halieutiques et dans l'organisation des activités maritimes. Ces ports sont équipés d'infrastructures telles que des chambres froides, des ateliers de maintenance des embarcations, ainsi que des installations pour la production et la conservation de glace, indispensables pour garantir la qualité des captures. La flotte locale est majoritairement composée de petites embarcations artisanales, mais on y trouve également des unités plus importantes dédiées à la pêche industrielle (MPPH, 2020).

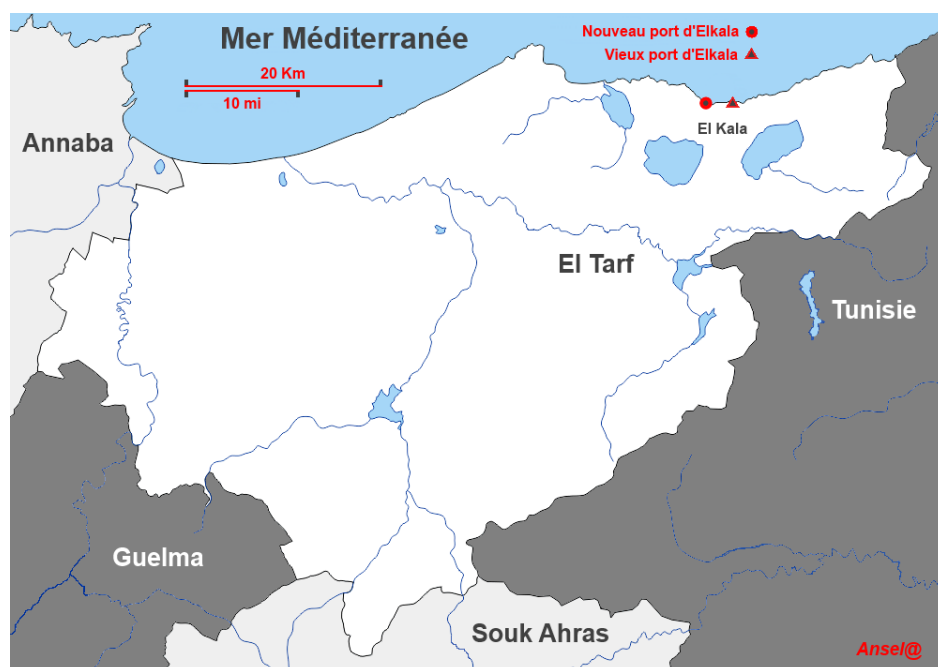


Figure. 1 : La zone d'étude côte de d'El Tarf.

La flottille de pêche d'El Tarf se caractérise par une grande diversité en termes de types de navires et de capacités. La flottille de pêche a atteint 339 unités dont 15 chalutiers, 75 sardiniers, 249 Petit-métier (Figure. 2) constituant 5,8 % de la totalité (MPPH, 2020). Les petits métiers dominent largement, représentant environ 70 % de la flotte, avec des embarcations de faible tonnage adaptées à la pêche côtière et artisanale.

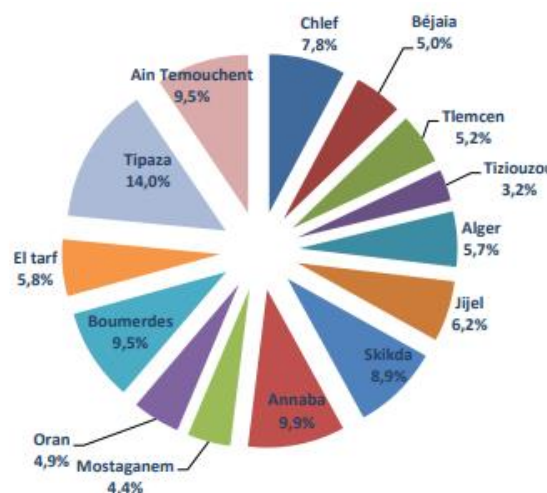


Figure. 2 : Répartition de la flotte de pêche par wilaya (MPPH, 2020).

Les débarquements annuels varient généralement entre 1500 et 4000 tonnes (MPPH, 2020), avec une prédominance notable des poissons pélagiques, notamment la sardine, qui constitue la majorité des prises. La production halieutique nationale réalisée en 2020 est de l'ordre de 87 622 tonnes dont 64 % sont des petits pélagiques, enregistrant une baisse de 16.5 % par rapport à 2019 ; la production d'El Tarf s'élève à 3 634 tonnes (Figure. 3), soit 4.8 % de la production nationale (MPPH, 2020).

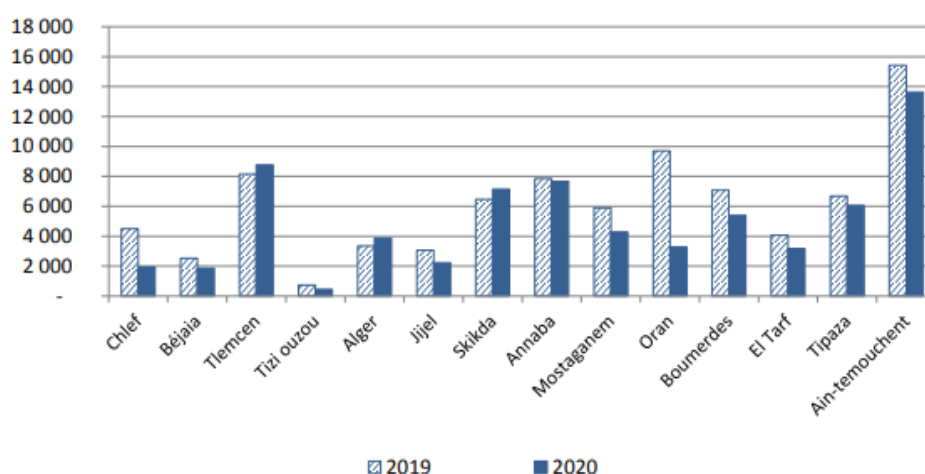


Figure. 3 : Evolution de la production en tonnes par wilaya (MPPH, 2020).

I. 2. Espèce étudiée :

I. 2. 1. Présentation de la famille des clupéidés :

La famille des clupéidés est un groupe diversifié de poissons qui comprend des espèces largement répandues telles que les harengs, les sardines et les sardinelles. Ces poissons se distinguent par leur corps allongé et comprimé latéralement, une adaptation qui leur permet de nager rapidement et avec agilité (Bandarra *et al.*, 1997 ; Ganas *et al.*, 2003). Parmi cette famille, la sardine commune, *Sardina pilchardus*, occupe une place importante tant sur le plan écologique qu'économique. Cette espèce est présente principalement dans l'Atlantique nord-est et la mer Méditerranée, où elle fréquente les zones côtières riches en nutriments.

I. 2. 2. Morphologie générale de *S. pilchardus* :

La sardine, *Sardina pilchardus*, présente une morphologie générale typique des poissons de la famille des clupéidés, adaptée à son mode de vie pélagique et à ses habitudes alimentaires. Son corps est fusiforme, c'est-à-dire allongé et effilé aux extrémités, ce qui lui confère une excellente hydrodynamie pour des déplacements rapides et efficaces dans l'eau (Baibai *et al.*, 2012). Ce corps est comprimé latéralement, donnant à la sardine une silhouette aplatie de chaque côté, facilitant les mouvements rapides en bancs serrés, une stratégie essentielle pour sa survie face aux prédateurs (Silva, 2003).

La taille de la sardine varie généralement entre 15 et 25 cm, avec une croissance rapide dans les premières années de vie (Brosa-Planella *et al.*, 2026). Sa tête est relativement petite par rapport à la taille totale du corps, dotée d'un museau arrondi et d'une bouche terminale munie de petites dents adaptées à la capture du plancton, sa principale source de nourriture. Les yeux sont grands, lui offrant une vision perçante nécessaire pour détecter les variations de lumière sous l'eau et repérer ses proies et prédateurs. Les nageoires de la sardine sont bien développées et réparties de manière à optimiser sa capacité de nage (Neves *et al.*, 2021).

La sardine possède une nageoire dorsale unique (Figure. 4), située au milieu du dos, qui lui procure stabilité et maniabilité. Les nageoires pectorales sont placées latéralement, près de la tête, et servent principalement à la direction et au freinage. La nageoire caudale, profondément échancrée, est puissante et lui permet des accélérations rapides, indispensables pour échapper aux prédateurs et suivre les courants océaniques (Rüdeberg, 1967). Le tégument de la sardine est recouverte de petites écailles cycloïdes, lisses au toucher, qui

réduisent la friction avec l'eau. Sa coloration est caractéristique : un dos bleu-verdâtre ou verdâtre, avec des reflets argentés sur les flancs et un ventre argenté brillant, un camouflage efficace dans son milieu aquatique. Cette morphologie générale est un parfait exemple d'adaptation évolutive, permettant à la sardine de prospérer dans les eaux côtières tempérées et subtropicales où elle est largement pêchée (González-Ortegón *et al.*, 2020).



Figure. 4 : Morphologie générale de *S. pilchardus*.

I. 2. 3. Position systématique de *S. pilchardus* :

L'étymologie du terme « sardine » est également riche d'histoire. Le nom vient de l'île de Sardaigne, située en mer Méditerranée, où ce poisson était abondamment pêché et consommé depuis l'Antiquité (Andrews, 1949). Ce lien géographique souligne l'importance historique de la sardine dans les régions méditerranéennes. Le nom scientifique « *Sardina* » reprend cette origine, tandis que « *pilchardus* » provient du terme anglais « *pilchard* », lui-même dérivé du vieux français « *pelchard* », désignant un poisson similaire (Andrews, 1949). Cette double origine linguistique illustre les échanges culturels et commerciaux autour de la sardine au fil des siècles.

La sardine, *Sardina pilchardus*, est une espèce marine dont la position systématique et l'étymologie révèlent à la fois son appartenance biologique et son origine linguistique. Sur le plan systématique, *Sardina pilchardus* appartient au règne Animalia, au phylum des Chordés, et à la classe des Actinoptérygiens, regroupant les poissons à nageoires rayonnées. Elle est classée dans l'ordre des Clupéidés, une famille de poissons caractérisés par leur corps fusiforme et argenté, adaptés à une vie en bancs dans les eaux côtières. Le genre *Sardina* désigne spécifiquement ce petit poisson pélagique, très présent dans les zones tempérées de l'Atlantique Est et de la Méditerranée (Baibai *et al.*, 2012). Cette classification permet de situer la sardine dans un cadre phylogénétique clair, facilitant l'étude de ses caractéristiques biologiques, écologiques et évolutives.

Le genre *Sardina* ne comprend qu'une seule espèce, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), dont la classification systématique est la suivante :

Règne : Eukaryota

Sous-Règne : Metazoa

Phylum : Chordata

Sous-Phylum : Craniata

Embranchement : Vertebrata

Super-Classe : Gnathostoma

Classe : Osteichthyens

Sous-Classe : Actinoptérygii

Super-Ordre : Teleostei

Ordre : Clupeiformes

Famille : Clupeidae

Genre : *Sardina*

Espèce : *pilchardus* Walbaum, 1792

I. 2. 4. Le biotope :

La sardine *S. pilchardus*, est une espèce marine pélagique, ce qui signifie qu'elle vit en pleine eau, loin du fond marin ou des côtes immédiates. Elle est présente dans les mers et océans bordant le continent européen. Contrairement au plancton, qui dérive passivement dans l'eau, la sardine appartient au necton, un groupe d'organismes aquatiques capables de nager activement. Cette espèce évolue depuis les zones côtières jusqu'aux eaux plus profondes au large, occupant une étendue verticale allant de la surface jusqu'à environ 100 mètres de profondeur (Giannoulaki *et al.*, 2011).

Cette mobilité est essentielle pour ses comportements alimentaires, sa reproduction et ses migrations, notamment la migration verticale quotidienne qui la fait remonter à la surface la nuit et descendre en profondeur le jour (Gordó-Vilaseca *et al.*, 2021). Selon Braga *et al.*, (2017) et Quintanilla *et al.*, (2020), en vivant entre la surface et 100 mètres de profondeur, la sardine est bien adaptée à un environnement où la lumière, la température, et la disponibilité de nourriture varient selon les heures et les saisons. Cette adaptation lui permet de survivre

dans des écosystèmes marins dynamiques, où elle joue un rôle clé dans la chaîne alimentaire en tant que consommateur de zooplancton et proie pour de nombreux prédateurs.

I. 2. 5. La croissance de *S. pilchardus* :

La sardine, *Sardina pilchardus*, présente une croissance rapide, particulièrement marquée durant sa phase juvénile. En Méditerranée, cette croissance est très intense au printemps, alors qu'elle ralentit considérablement en hiver. La taille maximale que peut atteindre la sardine est d'environ 22 cm de longueur totale, bien que la taille la plus commune se situe généralement entre 10 et 20 cm (Dulčić, 1995 ; Silva *et al.*, 2008). Gamulin et Hure (1955) furent les premiers à observer le développement des œufs à des températures comprises entre 13 °C et 18 °C en conditions naturelles. Blaxter (1969) a élevé des larves originaires de la Manche à des températures allant de 10 à 17.3 °C, sans fournir de données numériques ou de modélisations précises. À partir de ses courbes de croissance, Regner *et al.*, (1987) ont ensuite établi une relation mathématique entre la longueur et l'âge des larves.

I. 2. 6. Le cycle de vie :

La sardine (*Sardina pilchardus*) est une espèce marine caractérisée par une stratégie biologique à croissance rapide, une courte durée de vie de 3 à 4 ans, et une maturation précoce, souvent dès la première année (Fernández-Corredor *et al.*, 2021). Elle atteint la maturité sexuelle à une taille comprise entre 10 et 20 cm, variable selon les populations. La période principale de frai se situe entre octobre et juin, avec un pic entre décembre et mars, bien que des sardines matures et des œufs soient observés presque toute l'année sur les côtes (Gonzalez & Zardoya, 2007). Plus les individus vivent au sud, plus la période de reproduction commence tôt et s'étend dans le temps. La reproduction a lieu sur le plateau continental, principalement dans les eaux côtières, plus chaudes et riches en nourriture, sans qu'une zone précise soit clairement définie (Somarakis *et al.*, 2006). La compréhension approfondie de ces caractéristiques biologiques est essentielle pour la gestion durable et la conservation de l'espèce, ainsi que pour le soutien des activités économiques liées à la pêche de la sardine (Somarakis *et al.*, 2006 ; Gonzalez & Zardoya, 2007).

I. 2. 7. Régime alimentaire de *S. pilchardus* :

Les sardines sont des poissons planctonophages, ce qui signifie qu'elles se nourrissent principalement de plancton, en particulier de zooplancton. Leur alimentation est centrée sur de petits crustacés planctoniques, notamment des copépodes appartenant aux genres *Temora*

sp. et *Paracalanus sp* (Garrido *et al.*, 2007). Ces petits organismes constituent la majeure partie de leur régime alimentaire. Le mode d'alimentation des sardines repose essentiellement sur la filtration (Costalago & Palomera, 2014). L'eau pénètre ainsi dans la bouche et ressort par les branchies, tandis que les proies et particules nutritives sont retenues pour être consommées. Ce système de filtration est très efficace pour capturer de petites proies dans le milieu aquatique (Nikolioudakis *et al.*, 2012). Selon Garrido *et al.*, (2008), un autre aspect important de la nutrition des sardines est leur comportement alimentaire nocturne.

I. 2. 8. Comportement et reproduction de *S. pilchardus* :

Les sardines présentent un comportement fascinant de migration verticale quotidienne qui influence significativement leur habitat et leur comportement (Tsagarakis *et al.*, 2012). Selon Sinovčić *et al.*, (2008), les sardines atteignent la maturité sexuelle lorsqu'elles mesurent entre 10 et 20 centimètres, bien que cette taille varie selon les populations et les conditions environnementales. La période principale de frai s'étend d'octobre à juin, avec un pic entre décembre et mars. Cependant, des sardines matures et des œufs sont présents presque toute l'année sur les côtes, ce qui montre une certaine flexibilité dans leur reproduction. La femelle peut pondre jusqu'à 60 000 œufs par frai. Ces œufs, moins denses que l'eau de mer, flottent vers la surface (Ganias *et al.*, 2003).

La fécondation est externe, avec la libération simultanée des œufs et de laitance du mâle dans l'eau. Les œufs éclosent rapidement, en 2 à 4 jours, donnant naissance à des larves d'environ quatre millimètres, qui se développent ensuite en surface, dans des eaux riches en plancton et à température favorable (Planque *et al.*, 2007). Cette combinaison de migration verticale, de reproduction flexible et d'une production élevée d'œufs permet aux populations de sardines de prospérer dans des environnements marins variés. Leurs adaptations comportementales et reproductives sont parfaitement adaptées aux conditions écologiques, assurant ainsi leur survie malgré les fluctuations environnementales et la prédation (Stratoudakis *et al.*, 2007).

I. 3. La distribution géographique de *S. pilchardus* :

S. pilchardus, évolue dans l'Atlantique Nord-Est, avec une aire de répartition s'étendant de l'Islande et de la Norvège jusqu'au Sénégal. Cette espèce se retrouve également en Méditerranée, notamment dans sa partie occidentale (Figure. 5 et 6), et son aire s'étend jusqu'à la mer Noire. La vaste répartition géographique de *Sardina pilchardus* témoigne de sa capacité à s'adapter à différents environnements marins et conditions climatiques. Des eaux

froides de l'Atlantique Nord près de l'Islande et de la Norvège aux régions côtières plus chaudes du Sénégal, cette espèce prospère dans une large gamme de températures et de contextes océanographiques. Sa présence à la fois dans l'Atlantique ouvert et dans des mers fermées comme la Méditerranée et la mer Noire illustre son éclectisme écologique.

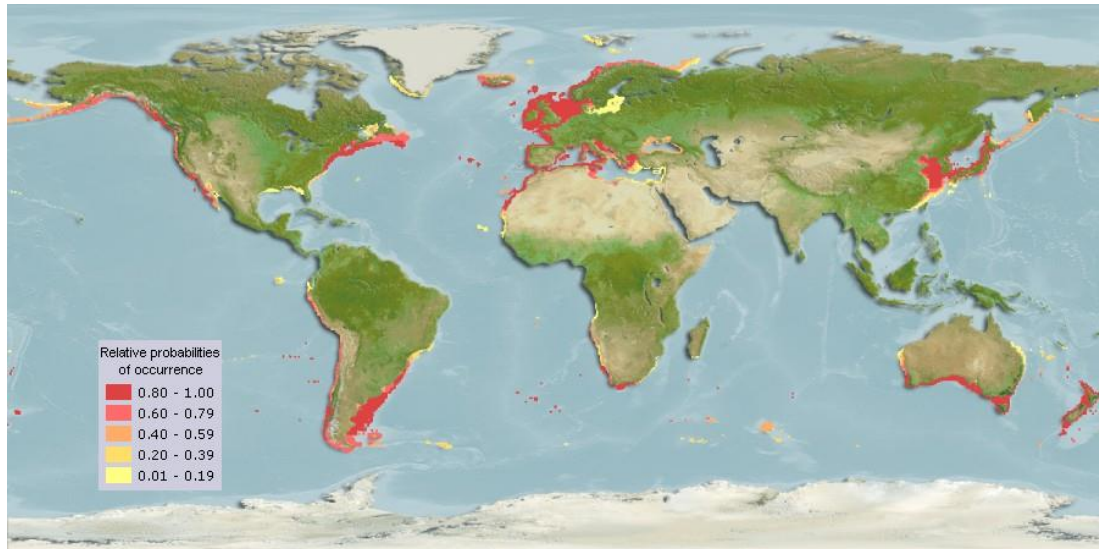


Figure. 5 : Répartition géographique de *S. pilchardus* (Scarponi *et al.*, 2018).

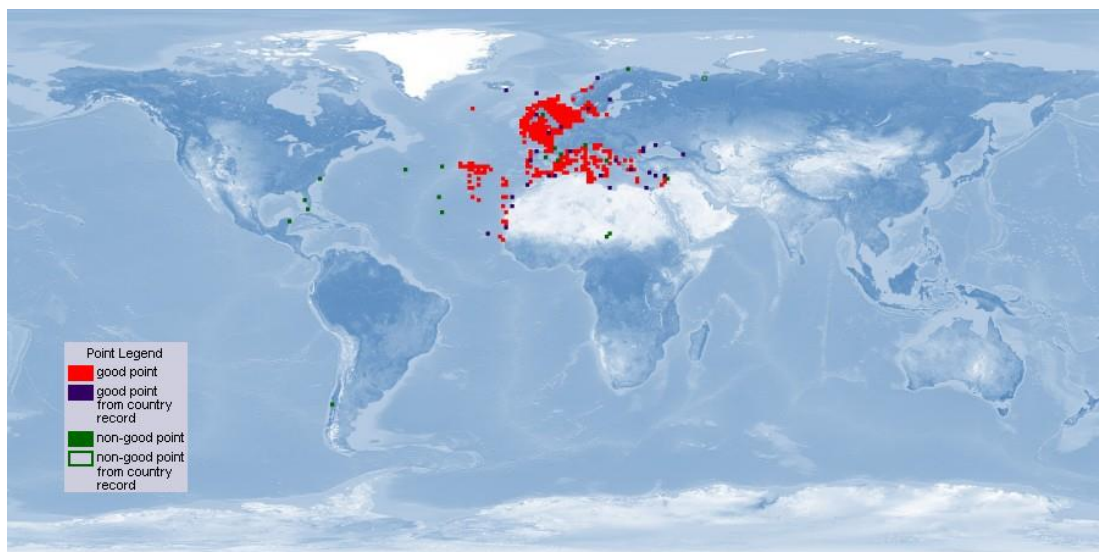


Figure. 6 : Localisation géographique de *S. pilchardus* (Scarponi *et al.*, 2018).

Selon Scarponi *et al.*, (2018), l'espèce est également fortement présente dans la mer Méditerranée occidentale. La carte indique une aptitude modérée à élever le long des côtes est de l'Amérique du Sud, notamment autour du sud du Chili et de l'Argentine. De plus, on observe des zones plus petites mais notables d'habitat favorable le long de certaines parties des côtes pacifiques de l'Amérique du Nord, du sud de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande

(Scarponi *et al.*, 2018). Ces zones présentent des probabilités modérées d'occurrence, ce qui souligne que *S. pilchardus* peut s'adapter à des environnements marins variés au-delà de son aire principale Atlantique-Méditerranée. La préférence d'habitat semble se concentrer dans les eaux côtières tempérées, où la disponibilité en nutriments et les températures adaptées soutiennent les besoins alimentaires et reproductifs de l'espèce. La présence de *S. pilchardus* dans ces zones côtières suggère une préférence pour les plateaux continentaux, avec un accès à la fois aux eaux peu profondes et plus profondes (Scarponi *et al.*, 2018).

I. 4. Méthode de pêche de *S. pilchardus* :

La pêche de la sardine s'inscrit dans un cadre combinant des pratiques semi-industrielles et artisanales (Visciano *et al.*, 2007). Les poissons pélagiques, parmi lesquels figurent les sardines, anchois, maquereaux, chinchards et sardinelles, représentent une part majeure des captures marines à l'échelle mondiale. En Méditerranée, ces espèces constituent près de 50 % des débarquements annuels totaux (Kindong *et al.*, 2024). Parmi elles, l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et la sardine (*Sardina pilchardus*) se distinguent par leur importance commerciale et leur biomasse élevée (GFCM, 2001).

L'exploitation de la sardine repose principalement sur deux types de métiers : la pêche à la senne et les chaluts pélagiques. La dynamique de cette pêche est étroitement liée aux conditions hydrologiques et climatiques, la température de l'eau jouant un rôle déterminant dans la localisation et la concentration des bancs de sardines. Ces facteurs influencent directement l'accessibilité des stocks aux flottilles de pêche (Baibai *et al.*, 2012). Sur les côtes algériennes, la pêche s'opère généralement à une profondeur d'environ 60 mètres (Almeida *et al.*, 2014).

La sardine est présente de manière régulière sur les marchés, où elle est commercialisée sous diverses formes : fraîche, réfrigérée, salée, fumée, marinée, en conserve, ainsi que transformée en huile ou en farine de poisson. Elle sert également d'appât dans d'autres pêcheries, témoignant de son rôle économique polyvalent (Bauchot, 1987). En Algérie, la pêche de la sardine mobilise un éventail diversifié d'engins, notamment les sennes coulissantes (Figure. 7A), ainsi que les chaluts pélagiques (Figure. 7B). Cette activité est majoritairement nocturne, en cohérence avec le comportement vertical de la sardine : les bancs, plus dispersés la nuit, se regroupent en effet près du fond pendant la journée.

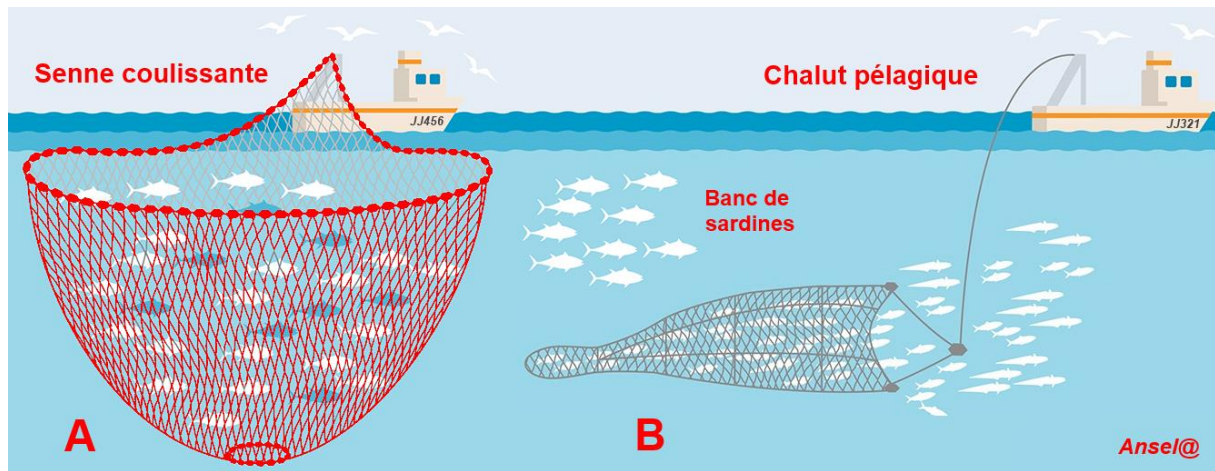


Figure. 7 : Engins de pêche de *S. pilchardus* en Algérie.

La migration verticale nyctémérale conditionne fortement les stratégies de pêche et optimise les captures. La pêche de la sardine se caractérise par une forte dépendance aux paramètres environnementaux, à la sélectivité des engins et à l'écologie comportementale de l'espèce. La compréhension fine de ces interactions est indispensable pour assurer une gestion durable et maximiser les retombées socio-économiques. La coexistence de pratiques artisanales et semi-industrielles souligne par ailleurs la nécessité d'un équilibre entre exploitation économique et préservation des ressources dans les eaux méditerranéennes et adjacentes.

Chapitre II :

Croissance, mortalités et exploitation

II. 1. Introduction :

L'étude de l'estimation de l'âge et de la croissance de *S. pilchardus*, communément appelée la sardine européenne, revêt une importance majeure dans le domaine de la biologie marine et de la gestion des ressources halieutiques. Cette espèce, largement répandue dans l'Atlantique Est et en Méditerranée, joue un rôle écologique et économique crucial. Comprendre ses paramètres biologiques tels que l'âge et la croissance permet d'optimiser les stratégies de pêche durable et d'assurer la conservation des populations (Dulčić, 1995).

Selon Kerstan (2000), L'estimation de l'âge chez *S. pilchardus* repose principalement sur l'analyse des structures calcifiées, notamment les otolithes. La croissance de *S. pilchardus* est habituellement modélisée à l'aide de fonctions mathématiques, dont la plus répandue est la fonction de von Bertalanffy. L'estimation des paramètres de cette fonction, tels que la longueur asymptotique maximale et la vitesse de croissance, est essentielle pour comprendre le potentiel de croissance de la population. Ces paramètres varient en fonction de facteurs environnementaux, de la disponibilité alimentaire, ainsi que des pressions anthropiques telles que la pêche (Silva *et al.*, 2008). Cubillos *et al.*, (2002), ont reportés que les données nécessaires à l'estimation de l'âge et de la croissance sont collectées à travers des campagnes d'échantillonnage régulières. Les individus capturés sont mesurés, pesés, et leurs otolithes extraits pour une analyse détaillée.

L'étude de l'âge et de la croissance de *S. pilchardus* présente plusieurs implications pratiques. Elle contribue à l'évaluation des stocks, à la détermination des tailles minimales de capture, et à la mise en place de quotas de pêche adaptés. En outre, elle permet d'anticiper les impacts des changements climatiques sur les cycles biologiques de cette espèce, qui peut être sensible aux variations de température et de productivité marine. L'estimation de l'âge et de la croissance de *S. pilchardus* constitue une étape fondamentale dans la compréhension de la dynamique de cette espèce clé.

II. 2. Méthode d'étude :

Toutes les données morphométriques utilisées dans cette recherche proviennent de la base dédiée à l'évaluation des stocks de clupéidés dans la région Est de l'Algérie. L'objectif principal est d'analyser la croissance ainsi que les différents taux de mortalité de *S. pilchardus* le long de la côte d'El Tarf. Au cours de cette étude, 601 spécimens de *S. pilchardus*, dont la longueur totale (L_T) variait entre 7.6 et 19.8 cm ($\overline{L_T} = 13.54 \pm 0.26$ cm), ont été collectés entre

fin novembre 2025 et mi-avril 2026 dans les principaux ports de pêche, notamment le vieux et le nouveau port d'El Kala. Les poissons ont été principalement capturés sur divers sites de débarquement, grâce à des chalutiers pélagiques et des senneurs opérant en haute mer ainsi que près des côtes de la zone étudiée. La mesure de la longueur totale (L_T) (du museau à la nageoire caudale) de chaque individu (Figure. 8) a été réalisée à l'aide d'un ichtyomètre, tandis que le poids total (W_T) a été enregistré avec une balance électronique.



Figure. 8 : Les différentes mensurations effectuées sur *S. pilchardus*.

II. 2. 1. Âgéeage de *S. pilchardus* :

L'estimation de la relation entre l'âge et la longueur des poissons représente une étape fondamentale dans l'étude de la biologie halieutique, jouant un rôle central dans la gestion durable des ressources marines (Dulčić, 1995). Selon Garrido *et al.*, (2021), cette relation âge-longueur permet d'attribuer un âge approximatif à un poisson en fonction de sa taille, fournissant ainsi des informations clés pour l'évaluation des populations et la compréhension de leur dynamique. Elle constitue un outil indispensable pour la science halieutique, car elle aide à modéliser la croissance des poissons, à évaluer les stocks, et à orienter les stratégies de gestion visant à garantir la pérennité des espèces exploitées (Francis et Campana, 2004 ; Jennings *et al.*, 2009).

Deux approches méthodologiques principales sont employées pour établir la clé âge-longueur. La première, dite indirecte, repose sur l'analyse des distributions des tailles observées dans les échantillons de poissons. Cette méthode utilise des techniques démographiques classiques, notamment les travaux de Petersen, (1892) ; Harding, (1949) ; Tanaka, (1956) ; Bhattacharya,

(1967) et Gheno et Le Guen, (1968). Ces méthodes permettent une estimation collective des âges en décomposant statistiquement les classes de taille en groupes d'âge, offrant une solution efficace et économiquement intéressante pour des études à grande échelle (Harding, 1949). La seconde approche, dite directe, consiste à examiner les structures calcifiées du poisson telles que les écailles, les otolithes ou les vertèbres, ou encore à utiliser des techniques de marquage permettant un suivi individuel. Bien que plus précises, ces méthodes sont souvent plus complexes, coûteuses et laborieuses à mettre en œuvre.

Dans le cadre de cette étude, la méthode de Bhattacharya, (1967), relevant des approches indirectes, a été appliquée pour estimer la clé âge-longueur de la sardine (*Sardina pilchardus*) dans la région centrale du littoral algérien. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel FISAT II version 1.2.0 (Gayanilo *et al.*, 2005), un outil reconnu pour son efficacité dans l'analyse des données halieutiques. Le choix de cette méthode et de cet outil s'appuie sur les recommandations du groupe de travail DYNPOP de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée (CIESM), ainsi que sur les conseils méthodologiques de Campana, (2001), qui soulignent l'importance d'approches rigoureuses et standardisées pour garantir la fiabilité des résultats.

II. 2. 2. Modèle de croissance linéaire de von Bertalanffy, (1938) :

Le modèle de croissance linéaire élaboré par Ludwig Von Bertalanffy en 1938 représente une avancée majeure dans la modélisation mathématique des phénomènes biologiques, en particulier la croissance des organismes vivants. Selon Essington *et al.*, (2001), ce modèle propose une représentation simplifiée selon laquelle la taille d'un organisme augmente de manière proportionnelle au temps, à un rythme constant r . Cette approche, bien que simple, a connu une large application dans divers domaines scientifiques, notamment en biologie, en écologie, et même en économie. Elle a servi à étudier la croissance démographique des populations, l'utilisation des ressources naturelles, ainsi que d'autres phénomènes où la taille ou la quantité évolue de manière continue dans le temps (Campana, 2001). Malgré son utilité, le modèle linéaire présente toutefois des limites importantes. La croissance d'un organisme, en particulier chez les poissons, est rarement un processus strictement linéaire. Elle est souvent influencée par des facteurs internes liés à la physiologie de l'organisme, ainsi que par des conditions environnementales variables, entraînant des rythmes de croissance qui ralentissent ou s'accroissent selon les phases de la vie ou les contraintes externes (Gamito, 1998).

Cette interaction dynamique est formalisée par une équation différentielle que Von Bertalanffy a transformée en une expression mathématique non linéaire largement utilisée aujourd'hui :

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

L_t : La taille du poisson à l'âge t (cm).

L_{∞} : La taille asymptotique maximale que l'animal peut théoriquement atteindre (cm).

K : Paramètre de croissance caractérisant la vitesse avec laquelle la taille approche de L_{∞} (an^{-1}).

t_0 : Paramètre ajustant l'âge théorique où la taille serait nulle (an).

En intégrant à la fois des fondements physiologiques solides et une modélisation mathématique rigoureuse, ce modèle demeure une référence majeure dans l'analyse de la croissance des organismes aquatiques et au-delà (Kim *et al.*, 2017).

II. 2. 3. Paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0) de *S. pilchardus* :

L'estimation des paramètres de croissance linéaire *S. pilchardus* a été réalisée à l'aide de deux logiciels spécialisés : FISAT II version 1.2.0 (Gayaniilo *et al.*, 2005) et VONBIT (Stamatopoulos, 2011). Pour garantir une précision optimale des résultats obtenus, il est important de fournir aux deux logiciels un point de départ sous la forme d'un couple initial où la longueur (L_t) est égale à zéro lorsque l'âge est nul. Cette étape est essentielle pour améliorer la justesse des estimations et assurer la cohérence des paramètres de croissance calculés.

II. 2. 4. Relation taille-poids :

La relation taille-poids est une des plus fondamentales et fréquemment utilisées en biologie des pêches pour décrire la croissance des organismes aquatiques. Cette relation taille-poids joue un rôle crucial dans la gestion des ressources halieutiques, car elle permet d'estimer la biomasse à partir de mesures simples de la taille, facilite le suivi de la condition physique des populations, et aide à comprendre les stratégies énergétiques des espèces étudiées (Jones *et al.*, 1999). Selon İlkyaz *et al.*, (2008), la précision de cette relation dépend toutefois de la qualité des données de terrain et de la rigueur dans les analyses statistiques appliquées. La formule de la relation taille-poids est un outil indispensable pour la biologie des pêches, fournissant des indications précises sur la croissance et la condition des organismes

aquatiques (Tarkan *et al.*, 2006 ; Cort *et al.*, 2015). Elle permet de quantifier la manière dont le poids (W_t) d'une espèce évolue en fonction de sa longueur totale (L_t). Cette relation est mathématiquement exprimée par la formule suivante :

$$W_t = a L_t^b$$

W_t : Représente le poids total (g).

L_t : La longueur totale de l'individu (cm).

a : Est une constante dépendant des unités de mesure utilisées.

b : Est le coefficient d'allométrie, décrivant la nature de la croissance.

Pour déterminer les valeurs de a et b , la relation est généralement linéarisée en appliquant le logarithme naturel à chaque côté de l'équation, ce qui donne :

$$\ln(W_t) = \ln(a) + b \ln(L_t)$$

Cette transformation permet d'utiliser des méthodes statistiques linéaires pour estimer les paramètres a et b à partir des données empiriques de poids et de taille.

Le coefficient (b) est particulièrement important car il renseigne sur le type de croissance observé.

- Lorsque ($b = 3$), la croissance est dite isométrique, ce qui signifie que le poids de l'organisme croît proportionnellement au cube de sa longueur totale.
- Dans le cas où ($b < 3$), la croissance est qualifiée d'allométrie minorante. Ici, le poids augmente moins rapidement que le cube de la longueur totale.
- Inversement, si ($b > 3$), on parle d'allométrie majorante, indiquant que le poids croît plus rapidement que le volume théorique basé sur la longueur.

Le test de conformité de Schwartz (1983) doit être effectué pour valider la valeur du paramètre b .

$$|\epsilon_{cal}| = (p - p_0) / sp_0$$

$$Sp_0 = \sqrt{\frac{\frac{s^2(y)}{s^2(x)} - p_0}{N-2}}$$

$P = 3$: Pente théorique.

P_0 : Pente observée.

$S^2(Y)$: Variance de ($y = \ln W_T$).

$S^2(X)$: Variance de ($x = \ln L_T$).

$N-2$: Degré de liberté (d.d.l = $N-2$, $\alpha = 5\%$).

On compare le $|\epsilon_{cal}|$ avec le $|\epsilon_{Table}|$:

- -Si $|\epsilon_{cal}| < |\epsilon_{Table}|$: la différence est non significative.
- -Si $|\epsilon_{cal}| > |\epsilon_{Table}|$: la différence est significative.

II. 2. 5. Croissance pondérale :

La croissance pondérale des poissons a également été modélisée à l'aide de l'équation de Von Bertalanffy, (1938), largement reconnue en biologie pour décrire la croissance des organismes aquatiques, selon l'équation mathématique suivante :

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

Cette équation permet d'estimer le poids asymptotique maximal (W_{∞}) que peut atteindre un poisson, exprimé en grammes. Les paramètres k et t_0 , inhérents à cette équation, correspondent respectivement au taux de croissance et à l'âge théorique auquel la taille serait nulle. Par ailleurs, dans l'étude des relations taille-poids, la pente « b » représente l'exponentielle des droites moyennes obtenues à partir des données observées. Lorsque les sexes sont confondus comme le cas de cette présente étude, le poids maximum théorique peut être calculé à partir d'une équation intégrant ces paramètres, ce qui facilite l'analyse globale de la croissance pondérale au sein d'une population donnée.

$$W_T = a L_T^b$$

Ainsi, la combinaison des paramètres issus de l'équation de von Bertalanffy avec les relations taille-poids offre un outil robuste pour analyser et prédire la croissance pondérale dans différentes conditions environnementales et démographiques.

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

II. 3. Etude des mortalités :

II. 3. 1. Introduction :

Pauly, (1983) a défini la mortalité des poissons comme un paramètre clé dans l'étude des populations halieutiques et la gestion durable des ressources aquatiques. Comprendre les différentes formes de mortalité permet d'évaluer l'état des stocks, d'adapter les politiques de pêche et de préserver l'équilibre des écosystèmes aquatiques. On distingue principalement trois types de mortalité chez les poissons : la mortalité naturelle, la mortalité par pêche, et la mortalité due aux facteurs environnementaux ou anthropiques (King, 2007).

La mortalité naturelle regroupe tous les décès qui surviennent indépendamment de l'activité de pêche. Elle englobe la prédation, les maladies, la compétition pour les ressources, ainsi que la sénescence (Benoît *et al.*, (2012). Ce type de mortalité est souvent difficile à quantifier précisément car il dépend de multiples facteurs biologiques et écologiques. Par exemple, la prédation selon Lee *et al.*, (2011), varie selon les espèces présentes dans l'écosystème, tandis que les maladies peuvent être influencées par la densité des populations et les conditions environnementales.

La mortalité par pêche est directement liée à l'exploitation humaine des ressources piscicoles. Elle représente la part des poissons capturés et retirés de la population. Cette mortalité est une variable cruciale à surveiller pour éviter la surexploitation des stocks. Une mortalité excessive due à la pêche peut entraîner un déclin rapide des populations, menaçant la viabilité des espèces et l'économie des communautés dépendantes de la pêche (Benoît *et al.*, (2012). Pour cette raison, les scientifiques utilisent des modèles de gestion et des quotas afin de contrôler l'effort de pêche et maintenir les populations à un niveau durable.

En complément, la mortalité liée aux facteurs environnementaux et anthropiques regroupe les décès causés par la pollution, la dégradation des habitats, les changements climatiques, ainsi que par des événements extrêmes tels que les tempêtes ou les sécheresses. Ces facteurs peuvent aggraver la mortalité naturelle ou réduire la résilience des populations face aux pressions de pêche (King, 2007). Selon Lee *et al.*, (2011), la contamination des eaux par des substances toxiques peut affecter la reproduction et la croissance des poissons, augmentant leur vulnérabilité aux maladies et à la prédation.

Gulland, (1969) rapporte que l'évaluation globale de la mortalité des poissons nécessite l'intégration de ces différentes sources dans des modèles de population. Cette connaissance

approfondie est essentielle pour garantir la pérennité des écosystèmes aquatiques et assurer un équilibre durable entre exploitation et conservation (Walters et Martell, 2004).

II. 3. 2. Mortalité totale (Z) :

II. 3. 2. 1. Méthode de Pauly (1990) :

Le coefficient de mortalité totale (Z) intègre la pression exercée par la pêche et les causes naturelles, permettant une évaluation complète des stocks. L'application de la méthode de Pauly (1990) fournisse des estimations précises, indispensables à la gestion durable et à la conservation des espèces à cycle de vie rapide telles que *S. pilchardus* (Gayanilo et Pauly, 1997). Le coefficient instantané de mortalité totale, noté (Z), correspond à la combinaison de deux types de mortalité : la mortalité liée à la pression de pêche (F) et la mortalité naturelle (M). Cette dernière englobe l'ensemble des causes autres que la pêche, telles que le vieillissement, les maladies, et divers facteurs environnementaux (Pauly, 1990).

Mathématiquement, cette relation s'exprime ainsi :

$$Z = M + F$$

Pour estimer Z , nous avons recours à la méthode de Pauly, (1990), qui s'appuie sur les courbes de captures basées sur la longueur des poissons. Cette méthode est particulièrement adaptée aux espèces à faible longévité, comme *S. pilchardus*, car elle fournit des estimations fiables de la mortalité totale (Gayanilo *et al.*, 1996). La méthode de Pauly est l'une des approches les plus couramment utilisées pour déterminer Z , et elle permet également d'estimer la taille de sélection, notée L_c . Selon Pauly (1990), cette approche exploite la relation entre la longueur des poissons et la fréquence des captures au cours du temps, permettant ainsi une évaluation robuste des taux de mortalité en interprétant la pente de la phase descendante de la courbe de capture basée sur la longueur.

II. 3. 3. Mortalité naturelle (M) :

Alors que les scientifiques alertent régulièrement sur la pression excessive exercée par la pêche et les risques de déclin des populations, les activités de pêche ne semblent pas s'être arrêtées ou même réduites de manière significative (Maynou, 2020). Selon Sampson, (2014), une des explications avancées pour cette apparente incohérence réside dans la mauvaise spécification du taux de mortalité naturelle (M) dans les modèles d'évaluation des stocks. prédation, les maladies, le vieillissement ou les conditions environnementales défavorables.

Une estimation incorrecte ou imprécise de ce paramètre peut entraîner une mauvaise interprétation de l'état réel des populations de poissons. En sous-estimant la mortalité naturelle, les modèles peuvent surestimer la mortalité causée par la pêche et, par conséquent, diagnostiquer à tort une surexploitation. Inversement, une surévaluation de la mortalité naturelle pourrait masquer un déclin réel des stocks. Cette difficulté à spécifier précisément la mortalité naturelle complique la prise de décisions de gestion efficaces, car elle impacte directement les recommandations sur les niveaux de capture durables (Sampson, 2014).

II. 3. 3. 1. Méthode de Pauly, (1980) :

L'équation de Pauly, (1980) pour estimer la mortalité naturelle (M) est un outil fondamental en écologie et en gestion des ressources halieutiques. Cette formule empirique, développée par Pauly (1980), permet d'estimer le taux de mortalité naturelle des poissons à partir de quelques paramètres biologiques clés. L'équation de Pauly, (1980) s'écrit de la manière suivante :

$$\text{Log}_{10} M = -0,0066 - 0,279 \text{Log}_{10} L_{\infty} + 0,6543 \text{Log}_{10} K + 0,4634 \text{Log}_{10} T^{\circ}$$

M : Coefficient instantané de mortalité naturelle (an^{-1}).

L_{∞} : Longueur totale asymptotique exprimée en centimètre.

K : Taux de croissance (an^{-1}).

T° : Température moyenne de l'eau dont l'échantillon provient (degré Celsius).

II. 3. 3. 2. Méthode de Rikhter et Efanov, (1976) :

Une variante de cette méthode s'inspire de l'équation de Beverton et Holt, (1956) qui relie la longévité (t_{max}) au rapport $L_{\text{mass}} / L_{\infty}$, où L_{mass} représente la taille moyenne à la maturité. Ce modèle établit un lien entre la mortalité naturelle (M) et l'âge auquel 50 % du stock atteint la période de « frai massif » (t_{mass}). La formule utilisée est :

$$M = ((1,52 / t_{\text{mass}})^{0,72}) - 0,16$$

Cette approche nécessite comme paramètre d'entrée l'âge de la maturité (t_{mass}) et permet une estimation plus précise de M en tenant compte du stade clé du cycle reproductif. Ce modèle est particulièrement adapté pour les espèces dont les données sur la maturité sont bien documentées (Rikhter et Efanov, 1976). L'estimation de M selon cette méthode peut être réalisée efficacement grâce au logiciel FISAT II, qui intègre ces calculs et facilite l'analyse des paramètres biologiques des populations halieutiques.

II. 3. 3. 3. Méthode de Djabali *et al.*, (1994) :

La méthode proposée par Djabali *et al.*, (1994) s'appuie sur des analyses de régressions linéaires multiples afin d'estimer le coefficient instantané de mortalité naturelle (M) chez les poissons méditerranéens. Cette approche a été élaborée à partir de l'étude de 56 stocks de poissons vivant en Méditerranée, en intégrant les paramètres biologiques clés que sont la croissance et la mortalité.

La relation mathématique établie par Djabali *et al.*, (1994) est formulée comme suit :

$$\text{Log}_{10} M = -0.0278 - 0.1172 \text{Log}_{10} L_{\infty} + 0.5092 \text{Log}_{10} K$$

M : Coefficient instantané de mortalité naturelle (an^{-1}).

L_{∞} : Longueur totale asymptotique (cm).

K : Taux de croissance (an^{-1}).

Selon Tserpes et Tsimenides, (2001), cette méthode est particulièrement utile car elle permet de relier des paramètres biologiques facilement mesurables à un indicateur clé de la dynamique des populations, en l'occurrence la mortalité naturelle.

II. 3. 4. Mortalité par pêche (F) :

Le coefficient instantané de mortalité par pêche, noté F , représente la vitesse à laquelle les poissons sont retirés d'une population en raison des activités de pêche. Ce paramètre est fondamental pour évaluer l'impact de la pêche sur les stocks halieutiques et pour élaborer des stratégies de gestion durable des ressources marines (Chopin *et al.*, 1996). Le taux total de mortalité instantanée, symbolisé par Z , regroupe l'ensemble des causes de mortalité affectant une population de poissons, incluant à la fois la mortalité naturelle (M) et la mortalité due à la pêche (F). La relation mathématique simple qui lie ces paramètres est la suivante :

$$Z = F + M$$

Cela permet d'isoler l'effet spécifique de la pêche sur la population étudiée (Wang et Liu, 2006).

II. 4. Le taux d'exploitation (E) :

Le taux d'exploitation, noté ($E = F/Z$), constitue un indicateur halieutique fondamental permettant d'évaluer la proportion de la mortalité totale d'une population de poissons qui est

imputable à la pêche. L'analyse du taux d'exploitation permet d'apprécier l'état des stocks de poissons et d'orienter les politiques de gestion durable des pêcheries. Selon Pauly, (1985), un taux d'exploitation optimal est généralement situé autour de 0.5. Cette valeur signifie que la moitié de la mortalité totale est causée par la pêche, ce qui correspond à un équilibre où le rendement est maximisé sans compromettre la pérennité du stock. En revanche, un taux d'exploitation supérieur à 0.5 suggère une surexploitation, ce qui est préoccupant car cela peut entraîner un déclin rapide des populations. À l'inverse, un taux inférieur à 0.5 indique que le stock est sous-exploité ou que la pêche est insuffisante pour maximiser le rendement.

Il est important de préciser que la valeur de la mortalité naturelle (M) adoptée pour le calcul du taux d'exploitation de *S. pilchardus* a été déterminée en se basant sur la méthode de Djabali *et al.*, (1994). Cette approche a été retenue afin d'assurer une estimation précise et fiable de ce paramètre essentiel à l'évaluation de l'état du stock.

II. 5. Etude de l'exploitation de *S. pilchardus* :

II. 5. 1. Introduction :

Selon Patterson, (1992), et Dalzell, (1993), l'exploitation des petits pélagiques est caractérisée par une grande variabilité spatiale et temporelle. Ces poissons sont souvent soumis à des fluctuations importantes de biomasse liées à des facteurs environnementaux, tels que la température de l'eau, la disponibilité du plancton, et les phénomènes climatiques comme El Niño. Cette variabilité rend la gestion des stocks complexe, car elle nécessite des évaluations régulières et adaptées aux conditions spécifiques de chaque région. Les méthodes de capture employées pour ces espèces incluent principalement les filets maillants, les senneurs et les chaluts pélagiques. Ces techniques permettent de capturer de grands volumes en peu de temps, mais peuvent aussi engendrer des prises accessoires et affecter d'autres espèces marines. C'est pourquoi il est essentiel d'adopter des pratiques de pêche responsables, incluant des quotas, des tailles minimales de capture, et des périodes de fermeture de pêche (Saraux *et al.*, 2019).

L'étude de l'exploitation des petits pélagiques nécessite également une compréhension approfondie des paramètres biologiques tels que la croissance, la mortalité naturelle et par pêche, ainsi que la reproduction. Ces informations permettent de modéliser la dynamique des populations et d'évaluer leur capacité à supporter une pression de pêche donnée. Par exemple, le calcul du taux instantané de mortalité par pêche (F) et de mortalité naturelle (M) est crucial

pour déterminer le taux total de mortalité (Z) et ainsi orienter les décisions de gestion (Patterson, 1992). La gestion durable des petits pélagiques passe par une coopération internationale renforcée, étant donné que ces espèces migrent souvent à travers plusieurs zones économiques exclusives. Des politiques basées sur des données scientifiques fiables, associées à une sensibilisation des pêcheurs et une surveillance continue, sont indispensables pour garantir la pérennité de ces ressources vitales tant sur le plan écologique qu'économique.

II. 5. 2. Méthodes d'étude :

La méthode utilisée pour l'étude de l'exploitation de *S. pilchardus* est dérivée de la méthode initialement développée par Jones et van Zalinge, (1981), elle constitue une adaptation avancée de l'analyse de population virtuelle (VPA) structurée par âge, spécialement conçue pour traiter les données de fréquences de longueur. Cette méthode a été mise en œuvre à l'aide du logiciel FISAT II (Fish Stock Assessment Tool), un outil largement utilisé dans l'évaluation des stocks halieutiques, qui facilite le traitement et l'analyse des données biologiques et de capture. Les paramètres biologiques indispensables pour l'application de cette méthode sont la longueur asymptotique (L_{∞}) et le taux de croissance (K), issus généralement d'analyses préalables telles que la modélisation de la croissance selon Von Bertalanffy. La première étape de la routine consiste à estimer la population terminale (N_t), c'est-à-dire le nombre d'individus dans la plus grande classe de taille, en utilisant la relation suivante :

$$N_t = C_t \cdot (M + F_t) / F_t$$

C_t : La capture terminale, soit la quantité de poissons prélevée dans la plus grande classe de taille.

M : Le coefficient instantané de mortalité naturelle.

F_t : La mortalité par pêche associée à cette classe.

À partir de cette estimation de N_t , la méthode procède par une série d'itérations pour déduire les coefficients de mortalité par pêche (F) pour les classes de longueur inférieures. Cette étape repose sur la résolution répétée de l'équation :

$$C_i = N_i + \Delta t \cdot (F_i / Z_i) \cdot (\exp^{(Z_i \cdot \Delta t)} - 1)$$

$$\Delta t_i = (t_{i+1} - t_i).$$

$$t_i = t_0 - (1 / K) \cdot \ln (1 - (L_i / L_\infty)).$$

Où les tailles de population (N_i) sont calculées à partir de l'équation :

$$N_i = N_{i+\Delta t} \cdot \exp^{(Z_i)}$$

Grâce à FISAT II, cette méthode permet non seulement de calculer un tableau détaillé des coefficients de mortalité par pêche pour chaque classe de taille, mais aussi de reconstituer la population totale en nombre d'individus et d'estimer la biomasse moyenne de la ressource selon les classes de longueur.

III. Résultats et discussions :

III. 1. Clé âge-longueur :

La décomposition de la distribution des fréquences de tailles, présentée dans le Tableau 1 et la Figure 9, a été réalisée en utilisant la méthode de Bhattacharya à l'aide du logiciel FISAT II 1.2.0 (Gayanilo *et al.*, 2005). Cette approche statistique a permis d'analyser précisément la structure d'âge de la population étudiée. Grâce à cette méthode, nous avons pu identifier trois (3) classes d'âges distinctes, détaillées dans le Tableau 2 et illustrées visuellement dans la Figure 10, fournissant ainsi une meilleure compréhension de la dynamique démographique.

Tableau. 1 : Distribution des fréquences des tailles de *S. pilchardus* de la côte d'El Tarf (sexes confondus).

Cc (cm)	Effectifs
7.5	23
8.5	43
9.5	53
10.5	67
11.5	38
12.5	98
13.5	107
14.5	123
15.5	32
16.5	11
17.5	4
18.5	1
19.5	1

Cc : Centre de classe (cm).

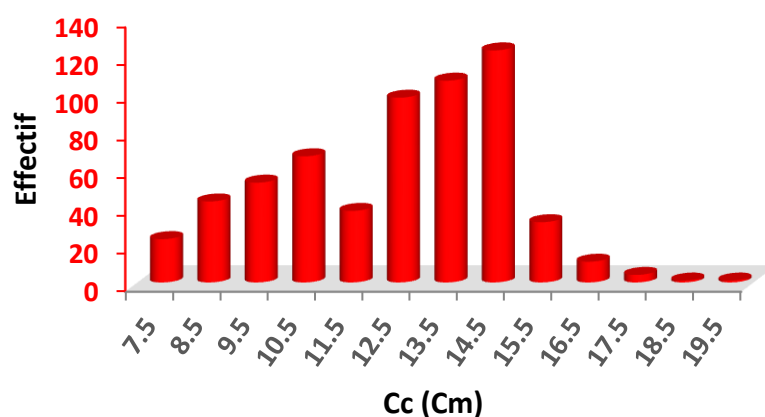


Figure. 9 : Distribution des fréquences des tailles de *S. Pilchardus* de la côte d'El Tarf (sexes confondus).

L'analyse du Tableau 2 ainsi que des Figures 10 et 11 révèle que la pêche de *S. pilchardus* sur la côte d'El Tarf, toutes sexes confondus, cible principalement les individus âgés de 1 et 2 ans, avec des tailles moyennes respectives de 9.50 cm et 13.86 cm, représentant respectivement 23.75 % et 73.06 % des captures totales. En revanche, les sardines de 3 ans, d'une taille moyenne de 17.15 cm, sont peu présents dans les prises, ne constituant que 3.19 % du total.

Tableau. 2 : Âges obtenus par la méthode de Bhattacharya (FISAT II 1.2.0 Gayanilo *et al.*, 2005).

Âge	Taille moyenne (cm)	Ecart type (s.d)	Effectif (Ni)	Indice de séparation (S.I)
1	9.50	1.55	119	n.a
2	13.86	1.10	366	3.29
3	17.15	0.83	16	3.41

S.I : Doit > 2.

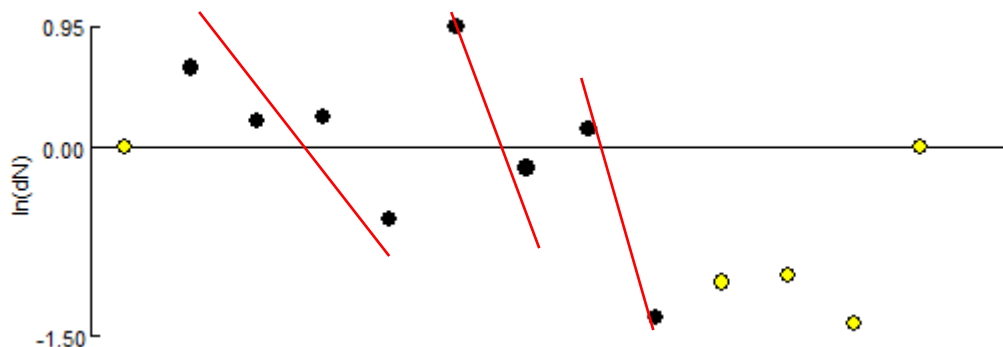


Figure. 10 : Décomposition des distributions composites à l'aide de la méthode de Bhattacharya FISAT II 1.2.0 (Gayanilo *et al.*, 2005).

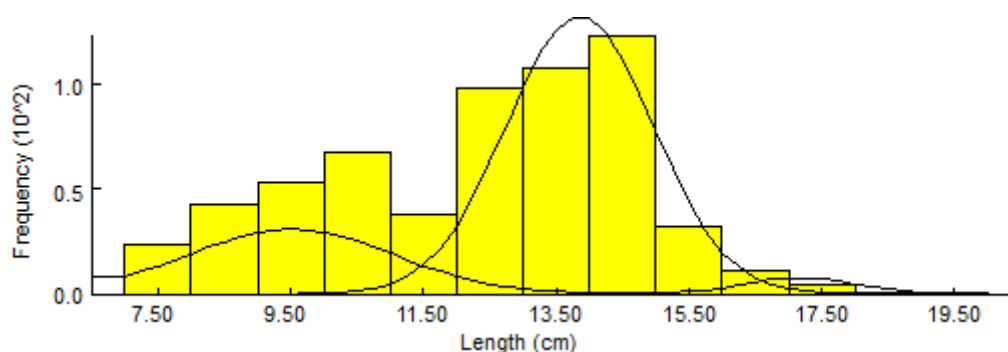


Figure. 11 : Décomposition de la distribution des fréquences de tailles par la méthode de Bhattacharya (1967) FISAT II 1.2.0 (Gayanilo *et al.*, 2005).

Tableau. 3 : Clefs âges-longueurs de *S. pilchardus* estimées par différents auteurs.

Auteurs	Zone d'étude	Âge									Méthode
		Sexe	1	2	3	4	5	6	7	8	
Fage, (1920)	Alger	Sc	8.1	12	14.3	15	-	-	-	-	1
Andreu <i>et al.</i>, (1950)	Castello Espagne (Méditerranée)	Sc	11.3	13.8	14.9	15.4	16.3	-	-	-	2
Mouhoub, (1986)	Baie de Bou-Ismaïl	♂	12.2	13.7	15.32	16.17	17.3	-	-	-	2
		♀	12.2	14.1	15.82	16.42	17.6	18.5	-	-	
Morales -nin Pertierra, (1990)	Espagne (Méditerranée)	Sc	10.54	11.9	13.18	15.08	16.02	16.69	17.41	18.15	2
Bedairia et Djebar, (2009)	Golfe de Annaba	Sc	7.8	10.01	12.77	15.14	16.72	18.72	-	-	3
Miloud abid et Hidaoui, (2009)	Beni Saf	Sc	10.35	12.53	14.78	16.34	17.9	19.38	-	-	3
Boukedjouta et Zeghloul, (2009)	Golfe de Annaba	Sc	10.18	12.53	14.86	16.43	17.56	-	-	-	3
Présent étude, (2026)	Côte d'El Tarf	Sc	9.50	13.86	17.15	-	-	-	-	-	3

Sc : Sexes confondus, ♀ : Femelles, ♂ : Mâles, 1 : Scalinométrie, 2 : Otolithométrie, 3 : Indirecte.

Le tableau 3 met en lumière des différences notables entre les résultats obtenus dans la présente étude (2026) menée sur la Côte d'El Tarf et ceux rapportés par divers auteurs antérieurs travaillant sur des régions proches ou similaires. Ces écarts peuvent être attribués à

plusieurs facteurs méthodologiques, ainsi qu'à des variations dans les critères de vieillissement adoptés par les chercheurs, mais aussi à des différences écologiques régionales influençant la croissance des populations étudiées.

Une distinction majeure réside dans les méthodes employées pour l'estimation de l'âge. Les premiers travaux, tels que ceux de Fage, (1920) à Alger et d'Andreu *et al.*, (1950) sur la côte méditerranéenne espagnole, ont principalement utilisé la scalimétrie et l'otolithométrie, respectivement. Ces techniques probabilistes, appliquées plusieurs décennies avant la généralisation de l'analyse des otolithes, présentent une résolution moindre et peuvent être sujettes à des biais dans l'interprétation des fréquences de taille polymodales. En revanche, les études plus récentes, y compris la présente, ont recours à des méthodes indirectes plus sophistiquées, intégrant des approches statistiques avancées et une analyse approfondie des otolithes, qui permettent une estimation plus précise et fiable de l'âge.

En comparant les âges moyens par classe d'âge, on observe que les valeurs de la présente étude sont généralement inférieures à celles rapportées par Mouhoub, (1986) ou Morales-nin Pertierra, (1990), qui utilisent l'otolithométrie et présentent des âges moyens plus élevés (par exemple, jusqu'à 18.15 ans pour la classe 8 chez Morales-nin Pertierra). Cette tendance est également visible par comparaison avec Bedairia et Djebbar, (2009) et Boukedjoua et Zeghloul, (2009), qui ont employé des méthodes indirectes dans le Golfe de Annaba et rapportent des âges moyens légèrement supérieurs aux nôtres. Ces divergences peuvent être en partie expliquées par des différences dans les critères de vieillissement appliqués, puisque les protocoles d'interprétation des annuli sur les otolithes ne sont pas entièrement standardisés entre les études, ce qui peut conduire à des variations dans la lecture et l'estimation de l'âge.

Les différences observées entre les résultats de la présente étude et ceux des auteurs antérieurs sont liées à une combinaison de facteurs : l'évolution des méthodes analytiques, les critères variés de vieillissement, et les différences écologiques régionales. Ces éléments soulignent l'importance d'une méthodologie rigoureuse et adaptée pour l'étude du vieillissement chez les populations de poissons, afin d'obtenir des résultats comparables et fiables à travers les différentes régions et périodes (Campana, 2001).

III. 2. Paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0) de *S. pilchardus* :

Les courbes de croissance linéaire obtenues à l'aide des logiciels FISAT II 1.2.0 (Gayanilo *et al.*, 2005) et VONBIT (Stamatopoulos, 2011) sont présentées aux figures 12 et 13. Le tableau

4 synthétise les paramètres (L_{∞} , k , t_0) estimés selon les différentes méthodes appliquées. Ces résultats mettent en évidence les variations des paramètres obtenus par chaque méthode dans la modélisation des courbes de croissance.

Tableau. 4 : Récapitulatif des paramètres de croissance (L_{∞} , k , t_0).

Paramètres	Méthode	
	FISATII (1.2.0 Gayanilo <i>et al.</i> , 2005)	VONBIT (Stamatopoulos, 2011)
L_{∞} (cm)	20.07	20.19
K (an ⁻¹)	0.62	0.61
t_0 (an)	0	-0.004
Equation de Von Bertalanffy	$L_t = 20.07 (1 - e^{(-0.62t)})$	$L_t = 20.19 (1 - e^{-0.61*(t + 0.004)})$

Les paramètres de croissance estimés dans notre étude révèlent une longueur asymptotique moyenne (L_{∞}) de 20.13 cm, une valeur qui, bien qu'approchant celles rapportées dans la littérature méditerranéenne, reste inférieure à plusieurs résultats antérieurs. En effet, une comparaison détaillée avec les données publiées par divers auteurs met en lumière des variations notables. Laraneta, (1976) a obtenu une L_{∞} de 22.4 cm à Castellon, la plus élevée parmi les études recensées, suivie des résultats du GFCM, (1981) dans le Golfe de Lion avec 21.2 cm (Tableau. 5). Ces valeurs suggèrent que dans ces zones, les individus tendent à atteindre une taille asymptotique supérieure à celle observée dans notre population. De même, Sinovčić, (1986) en Adriatique centrale et Djabali (1990) à Beni-Saf ont reporté des L_{∞} proches de 20.5 cm, légèrement supérieures à notre valeur moyenne. Mouhoub, (1986) à Alger relève aussi une L_{∞} de 20.3 cm (Tableau. 5), ce qui confirme cette tendance générale à des tailles asymptotiques légèrement plus élevées que celles que nous avons enregistrées.

En revanche, la valeur de L_{∞} rapportée par Akyol *et al.*, (1996) en Turquie (Tableau. 5) est significativement plus basse (15 cm), ce qui pourrait refléter des différences écologiques marquées, des pressions environnementales ou encore des particularités méthodologiques propres à cette étude. Le coefficient de croissance (K), qui exprime la vitesse à laquelle l'organisme atteint sa taille maximale, varie également de manière significative entre les études. Notre valeur de 0.62 an⁻¹ est plus élevée que celles relevées par Bouchereau, (1981) à Oran (0.21 pour les femelles, 0.26 pour les mâles) ou Djabali (1990) à Beni-Saf (0.26), mais

plus faible que celles mesurées par Voulgaridou et Stergiou, (2003) dans l'Est méditerranéen (0.86) ou Akyol *et al.*, (1996) en Turquie (0.59) (Tableau. 5). Ces différences indiquent une hétérogénéité dans les rythmes de croissance, probablement liée aux conditions écologiques spécifiques, à la pression de la pêche, ou à des variations biologiques intrinsèques aux populations étudiées.

Il est également essentiel de considérer les conditions environnementales propres à chaque site d'étude, telles que la température, la disponibilité alimentaire, et la pression anthropique, qui influencent fortement les caractéristiques biologiques et la croissance des populations (Di Marco et Santini, 2015). D'après Thorarensen *et al.*, (2015), pour assurer une comparaison valide entre études, il est primordial que les chercheurs appliquent des méthodes homogènes de mesure et d'analyse, tout en tenant compte des variables confondantes susceptibles d'impacter les résultats.

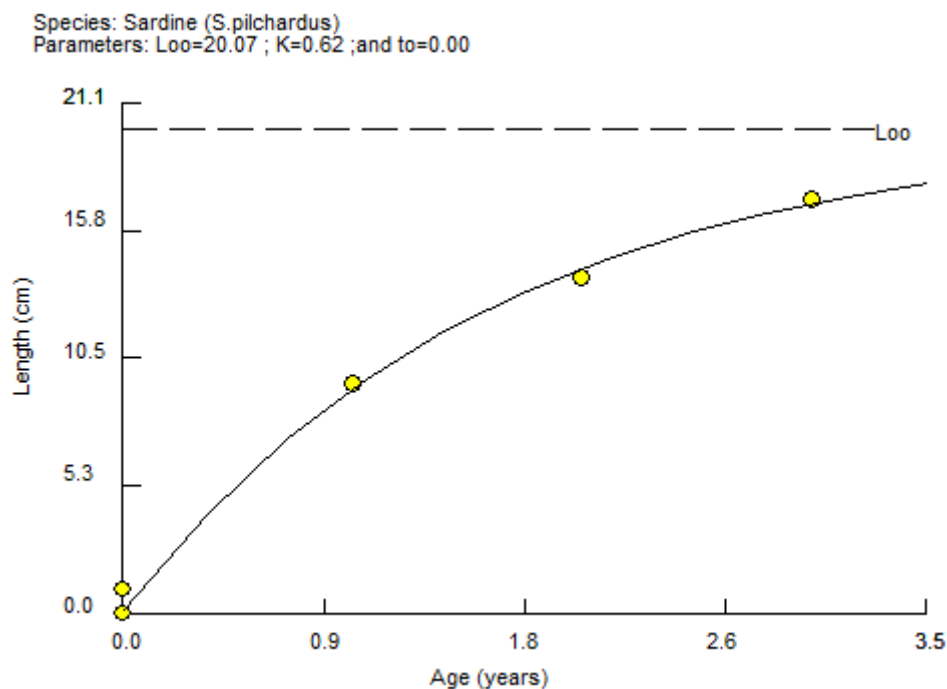


Figure. 12 : Courbe de croissance linéaire obtenue par le FISAT II (1.2.0, Gayanilo *et al.*, 2005).

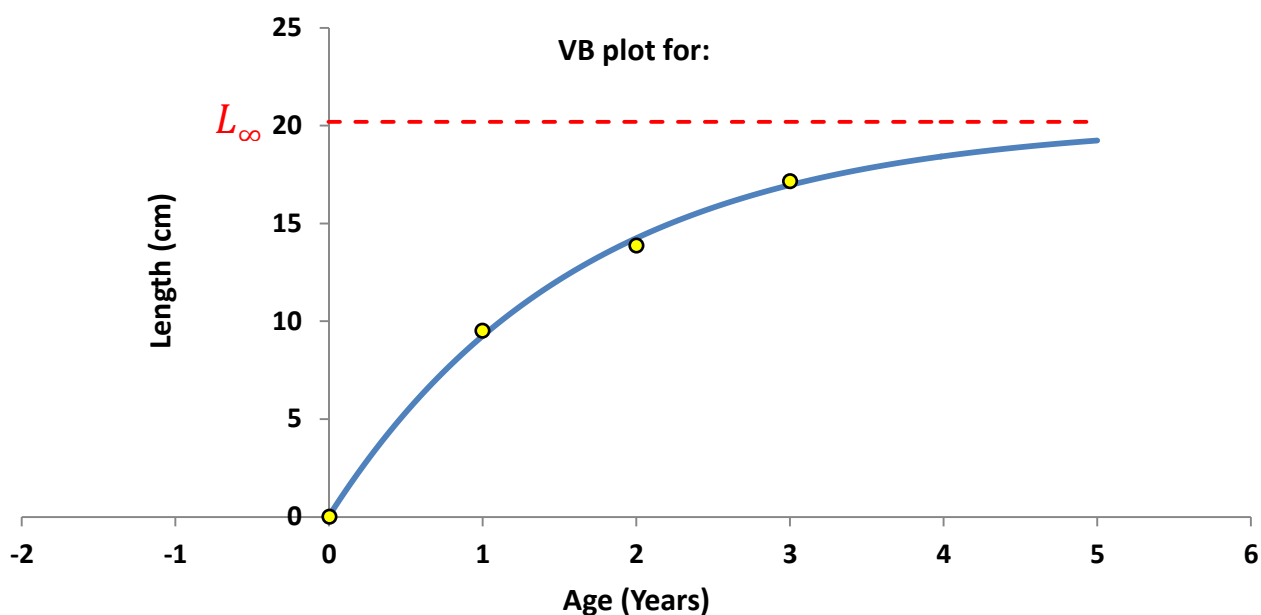


Figure. 13 : Courbe de croissance linéaire obtenue par le VONBIT (Stamatopoulos, 2011).

Tableau. 5 : Paramètres de croissance de *S. Pilchardus* obtenus par différents auteurs et dans diverses régions.

Auteurs	Zone d'étude	Sexe	L_{∞} (cm)	K (an ⁻¹)
Laraneta, (1976)	Castellon	Sc	22.4	0.29
Bouchereau, (1981)	Oran	♀	21.04	0.21
		♂	18.88	0.26
GFCM, (1981)	Baléare, Golf de Lion	Sc	21.2	0.39
Sinovčić, (1986)	Adriatique centrale	Sc	20.5	0.46
Mouhoub, (1986)	Alger	Sc	20.3	0.26
Djabali, (1990)	Beni-Saf	Sc	20.5	0.26
Akyol <i>et al.</i> , (1996)	Turquie	Sc	15	0.593
Voulgaridou et Stergiou, (2003)	Est méditerranéen	Sc	20.8	0.86
Présent travail (VONBIT) (2026)	Côte d'El Tarf	Sc	20.19	0.61

Sc : Sexes confondus, ♀ : Femelles, ♂ : Mâles.

Il convient de souligner que les paramètres de croissance issus du logiciel VONBIT (Stamatopoulos, 2011) ont été utilisés comme base pour le calcul des différentes mortalités dans cette étude.

III. 3. Relation taille-poids :

L'analyse de la relation entre la taille totale (L_T) et le poids total (W_T) est effectuée sans distinction de sexe. La méthode des moindres carrés a été utilisée pour effectuer l'ajustement des données par régression. La relation selon le sexe et de manière globale sont détaillée dans l'équation présentée au Tableau 6.

Tableau. 6 : Equation de la relation taille-poids de *S. Pilchardus*.

Sexe	Equation	r	pente	$ \epsilon_{cal} $
Sc	$W_T = 0.0034 L_T^{3.02}$	0.96	3.02	0.11

Sc : Sexes confondus.

En ce qui concerne la pente pour l'ensemble des individus, la valeur observée est légèrement supérieures à 3, ce qui suggère la présence d'une allométrie majorante. Cela signifie que la croissance du poids total (W_T) ne suit pas exactement la croissance de la longueur totale (L_T), mais croît à un rythme différent. Plus précisément, un coefficient de pente supérieur à 3 indique que le poids augmente plus rapidement que le volume théorique calculé à partir de la longueur (Figure. 14). Pour confirmer cette observation, un test statistique de l'écart réduit a été réalisé, et les résultats ont montré une différence non significative. L'allométrie majorante observée traduit une croissance pondérale plus rapide que celle attendue en fonction de la longueur, ce qui peut être interprété comme un changement dans les caractéristiques corporelles des individus au fil du temps.

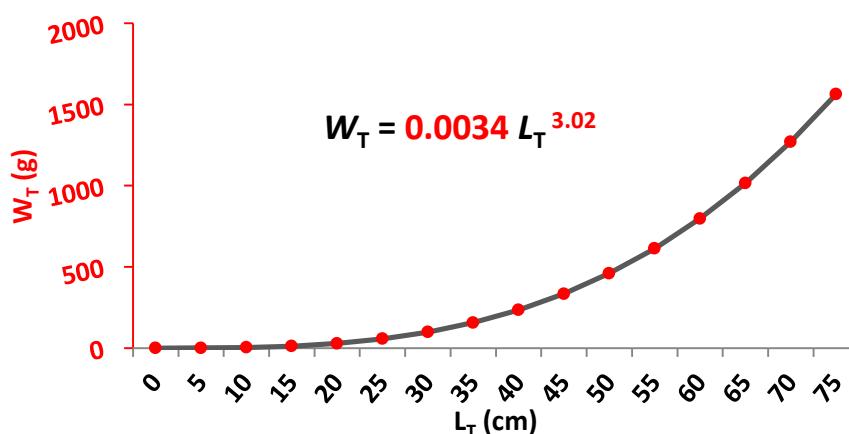


Figure. 14 : Relations taille-poids de *S. pilchardus*.

III. 4. Croissance pondérale :

La croissance massique, à l'instar de la croissance en longueur, est modélisée à l'aide de l'équation de Von Bertalanffy, qui décrit l'évolution du poids au cours du temps. Cette équation exprime de manière mathématique la variation de la masse des individus en fonction de leur âge. Décrite selon l'équation suivante :

$$W_t = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^b$$

Avec : $W_{\infty} = a L_{\infty}^b$

Pour estimer ce poids asymptotique, le paramètre L_{∞} , représentant la longueur asymptotique, est d'abord déterminé à partir du VONBIT. En remplaçant la longueur totale (L_T) dans la relation taille-poids par cette longueur asymptotique, on obtient une estimation précise de $W_{\infty} = 29.71\text{g}$ dans le cas étudié. Les formules mentionnées ont permis d'établir, dans le tableau 7, une correspondance entre l'âge et le poids des individus, sexes confondus. Ces données sont visualisées dans la figure 15, qui illustre la courbe théorique de croissance pondérale selon le modèle de Von Bertalanffy, (1934). L'équation de croissance pondérale théorique de *S. pilchardus* s'écrivent alors :

$$W_t = 29.71 * (1 - e^{-0.61(t + 0.004)})^{3.02}$$

Tableau. 7 : Relation âge-poids pour *S. pilchardus*.

Âge (ans)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
W_T (g)	0.0004	22.7	29.03	29.64	29.694	29.699	29.699	29.699	29.699	29.71	29.71

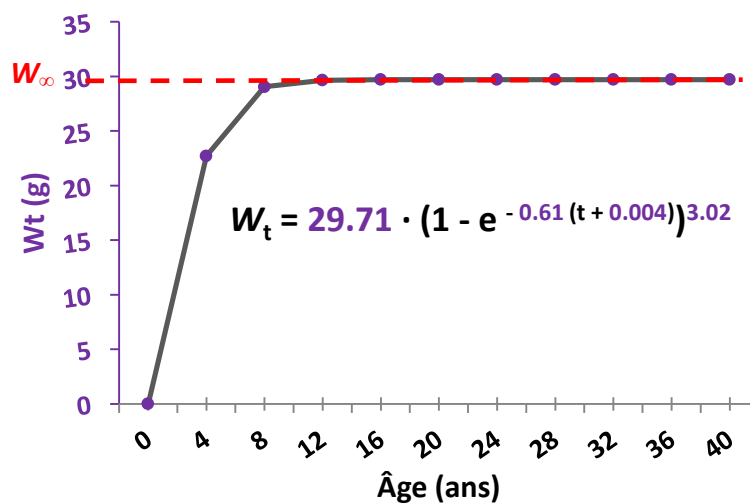


Figure. 15 : Courbe de croissance pondérale théorique de *S. pilchardus*.

III. 5. Mortalités :

III. 5. 1. Mortalité totale (Z) :

L'estimation de la mortalité totale instantanée (Z) a été réalisée à l'aide du logiciel FISAT II (Figure. 16), qui implémente la méthode de Pauly, (1990). Cette méthode repose sur la sélection rigoureuse des points pour la construction de la droite présentant le meilleur coefficient de corrélation, comme illustré dans la figure 10. Ainsi, la valeur élevée de Z observée peut être justifiée par ces changements dans la dynamique de la pêche, en accord avec les résultats rapportés dans la littérature scientifique (Tableau. 8).

Le coefficient instantané de mortalité totale (Z) calculé est de 2.50 an^{-1} , ce qui est relativement élevé. Pauly et Sarano, (1986) ainsi que Gislason *et al.*, (2010) notent que la mortalité par pêche (F) qui maximise le rendement par recrue est souvent élevée dans les pêcheries intensives. Cette tendance est cohérente avec l'évolution récente significative de la flottille de pêche, qui a accru la pression de pêche et, par conséquent, la mortalité par pêche.

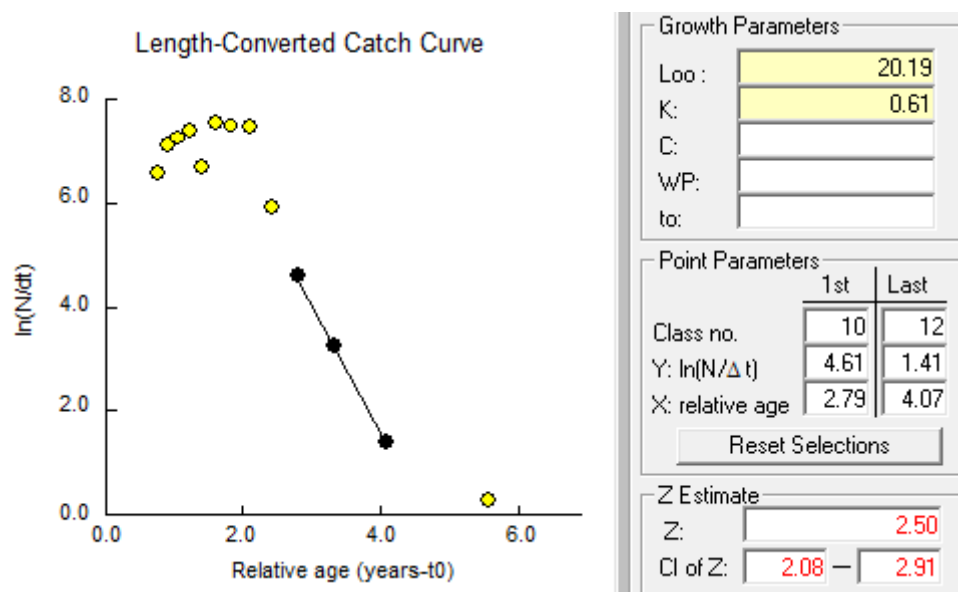


Figure. 16 : Estimation de la mortalité totale instantanée de *S. Pilchardus*.

III. 5. 2. Mortalité naturelle (M) :

III. 5. 2. 1. Méthode de Pauly, (1980) :

La mortalité naturelle (M) a été estimée en prenant en compte une température de l'eau de 18 °C lors de la période d'échantillonnage, conformément aux travaux de Kenchington, (2014). L'équation de Pauly, (1980), appliquée via le logiciel FISAT II, a permis d'obtenir une valeur

de M de 0.85 an^{-1} (Figure. 17). En effet, les poissons vivant dans ces régions s'alimentent davantage que ceux des eaux méditerranéennes, ce qui les expose plus fréquemment à des risques de prédation (Palomera *et al.*, 2007).

Function

Pauly's M empirical equation for estimation of natural mortality (M) is :

$$\log(M) = -0.0066 - 0.279 \log(L_{\infty}) + 0.6543 \log(K) + 0.4634 \log(T)$$

where:

L_{∞} is the asymptotic length measured in total length

K is the VBGF growth constant

T is the mean annual habitat

User Defined Inputs

Asymptotic length, L_{∞} (cm):	20.19
VBGF growth constant K (1/year):	0.61
Mean habitat temperature ($^{\circ}\text{C}$):	9

Estimate

Estimated value of natural mortality (1/year): 0.85236

Figure. 17 : Estimation de la mortalité naturelle de *S. pilchardus* à l'aide de l'équation empirique de Pauly, (1980).

III. 5. 2. 2. Méthode de Rikhter et Efanov, (1976) :

La mortalité naturelle a été estimée en utilisant le modèle empirique de Rikhter et Efanov, (1976) via le logiciel FISAT II, qui a permis d'obtenir une valeur de $M = 0.76 \text{ an}^{-1}$ (Figure. 18). Par conséquent, pour garantir la pertinence et la fiabilité des résultats, les estimations issues du modèle de Rikhter et Efanov doivent être confrontées à celles d'autres approches spécifiques aux environnements tropicaux.

Rikhter and Efanov's method uses the following relationship:

$$M = (1.52 / (t(\text{mass.})^{0.72}) - 0.16$$

where $t(\text{mass.})$ is the age (in year) at 'massive maturation'.

Parameters

$t(\text{mass.})$:	2
Computed mortality (M/year):	0.763

Figure. 18 : Estimation de la mortalité naturelle de *S. pilchardus* à l'aide du modèle empirique de Rikhter et Efanov, (1976).

III. 5. 2. 3. Méthode de Djabali *et al.*, (1994) :

La méthode proposée par Djabali *et al.*, (1994) est reconnue comme la plus adaptée pour estimer le coefficient de mortalité naturelle (M) des poissons en Méditerranée, notamment pour la sardine (*Sardina pilchardus*). Dans le cadre du présent travail, l'application de cette méthode a permis d'estimer $M = 0.51 \text{ an}^{-1}$. Cette valeur est plus élevée que celles obtenues par plusieurs auteurs, mais reste cohérente avec les données existantes, notamment avec la valeur de 0.38 an^{-1} rapportée par Froese et Pauly, (1996) dans la base FishBase, une référence largement utilisée pour la sardine méditerranéenne.

L'analyse comparative présentée dans le tableau 8 illustre clairement la variabilité des paramètres de mortalité selon les zones d'étude et les auteurs. Bekiashev et Serebriakow, (1981) ont enregistré des valeurs de M comprises entre 0.4 et 0.5 an^{-1} pour les populations situées à Castellon, Alicante et au Maroc. Ces chiffres sont relativement proches de l'estimation obtenue par la méthode de *et al.*, (1994) dans la présente étude, ce qui renforce la pertinence de cette dernière. En revanche, Badreldin *et al.*, (2025) ont rapporté une valeur plus élevée de M , soit 0.80 an^{-1} , marquant une différence notable qui pourrait s'expliquer par des variations régionales, environnementales ou méthodologiques.

Dans le cadre spécifique de la côte d'El Tarf, le présent travail propose une valeur intermédiaire de 0.51 an^{-1} selon Djabali *et al.*, (1994) qui se situe entre la valeur plus élevée de 0.76 an^{-1} estimée par Rikhtet et Efanov, (1976) et celle de 0.85 an^{-1} avancée par Pauly, (1980). Ces écarts illustrent bien l'importance de considérer les particularités locales lors de l'estimation des paramètres démographiques.

Tableau. 8 : Différentes mortalités de *S. pilchardus* selon la littérature.

Auteurs	Zone d'étude	Z (an^{-1})	M (an^{-1})	F (an^{-1})
Bekiashev et Serebriakov, (1981)	Castellon	1.39	0.5	0.89
	Alicante	1.8	0.43	1.37
	Maroc	0.7	0.4	0.3
Badreldin et al., (2025)	Egypt	2.56	0.80	1.77
Présent travail, (2026)	Côte d'El Tarf	2.50	0.85 (Pauly, 1980)	1.65
			0.51 (Djabali <i>et al.</i> , 1994)	1.99
			0.76 Rikhter et Efanov, (1976)	1.74

III. 5. 3. Mortalité par pêche (F) :

Le coefficient instantané de mortalité par pêche (F) est déterminé à partir de la relation fondamentale $Z = M + F$, où Z représente la mortalité totale, M la mortalité naturelle et F la mortalité due à la pêche. Cette équation est essentielle pour comprendre la dynamique des populations halieutiques et pour évaluer l'impact de la pêche sur les stocks de poissons. Dans le cas de *S. pilchardus*, les valeurs de Z , M et F varient significativement selon les auteurs et les zones d'étude, comme le montre le tableau 8. Cette variation des estimations de F selon la méthode utilisée pour M illustre l'importance cruciale de choisir une méthode appropriée pour estimer la mortalité naturelle. Une estimation plus faible de M , comme celle de Djabali *et al.*, (1994) conduit à une estimation plus élevée de F , indiquant une pression de pêche plus forte sur la population.

III. 6. Le taux d'exploitation (E) :

Le taux d'exploitation de *S. pilchardus* sur la côte d'El Tarf, estimé à 79.6 % en se basant sur la valeur de M (0.51 an^{-1}) obtenue selon la méthode de Djabali *et al.*, (1994), indique une situation préoccupante concernant la pression exercée par la pêche sur ce stock. Ce taux, bien supérieur à la valeur optimale généralement admise autour de 50 %, indique clairement une surexploitation significative. En effet, un taux d'exploitation proche de 80 % signifie que la quasi-totalité de la mortalité totale est imputable à la pêche, laissant peu de place à la régénération naturelle du stock. Cette situation peut entraîner une diminution rapide de la biomasse disponible, compromettant la durabilité de la ressource et menaçant à terme la viabilité économique des pêcheries locales. Une surexploitation prolongée peut également impacter l'écosystème marin, en perturbant les équilibres trophiques et en affectant d'autres espèces dépendantes de la sardine comme source alimentaire.

III. 7. Exploitation de *S. pilchardus* :

III. 7. 1. Le recrutement :

Les schémas de recrutement de *S. pilchardus* sur la côte d'El Tarf ont été analysés à l'aide du logiciel FiSAT II, qui permet de reconstituer les impulsions de recrutement à partir d'une série chronologique de données de fréquences de tailles. Les résultats des valeurs relatives de recrutement montrent une forte variation saisonnière du recrutement (Figures. 19, 20). Le premier mois de l'année ne présente aucun recrutement, tandis que le recrutement commence à croître dès le deuxième mois (Février) (3.23 %), puis augmente progressivement jusqu'à

atteindre un pic maximal au septième mois (Juillet) avec une valeur de 15.84 %. Par la suite, le recrutement diminue lentement, passant par 9.39 % au huitième mois (Août), puis chutant à moins de 5 % aux mois 10 à 12.

Relative Time	Percent Recruitment
Month 1	0.00
Month 2	3.23
Month 3	11.37
Month 4	10.50
Month 5	12.32
Month 6	14.53
Month 7	15.84
Month 8	9.39
Month 9	10.75
Month 10	4.86
Month 11	3.13
Month 12	4.08

Figure. 19 : Estimation des valeurs relatives de recrutement de *S. pilchardus* FISAT II.

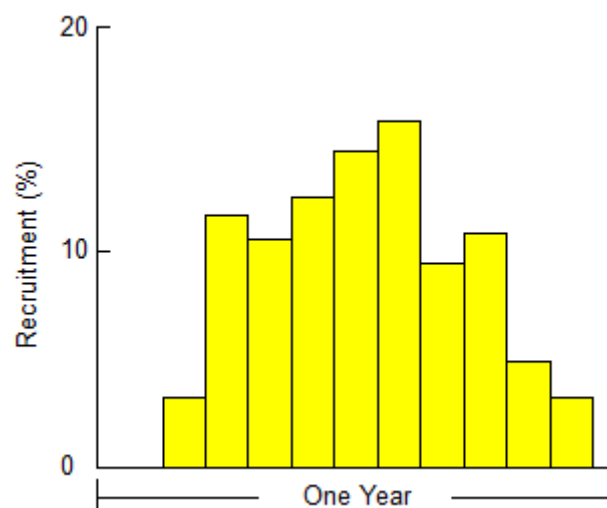


Figure. 20 : Répartition du taux de recrutement de *S. pilchardus* FISAT II.

III. 7. 2. Analyse de population virtuelle (VPA) :

III. 7. 2. 1. Analyse de population virtuelle structurée par la longueur :

L'analyse des résultats de la VPA (Virtual Population Analysis) structurée par la taille, appliquée à la population de *S. pilchardus* de la côte d'El Tarf à l'aide du logiciel FISAT II, fournit des informations précieuses sur la dynamique du stock et l'impact de la pêche en fonction des classes de taille. Le graphique présenté illustre la répartition des effectifs par groupes de taille, ainsi que les différentes composantes de la mortalité et des pertes naturelles (Figure. 21). Premièrement, on observe une forte population de survivants (zone verte) dans les classes de taille les plus petites, allant de 7.5 à environ 11.5 cm.

Les pertes naturelles (partie violette) restent relativement constantes et faibles à travers les différents groupes de taille, ce qui est conforme à l'idée que la mortalité naturelle est généralement stable et ne varie pas drastiquement avec la taille. En revanche, les captures (zone jaune) commencent à augmenter nettement à partir des classes de taille intermédiaires, notamment autour de 11.5 à 15.5 cm. Cela indique que la pêche cible principalement les individus de taille moyenne à grande, ce qui est typique dans la plupart des pêcheries commerciales cherchant à maximiser le rendement. La courbe rouge représentant la mortalité par pêche (fishing mortality) montre une augmentation progressive à partir des petites tailles, culminant brutalement dans les classes de taille autour de 13.5 cm. Ce pic suggère une pression de pêche très élevée sur ces groupes, ce qui peut avoir des conséquences néfastes pour la structure du stock.

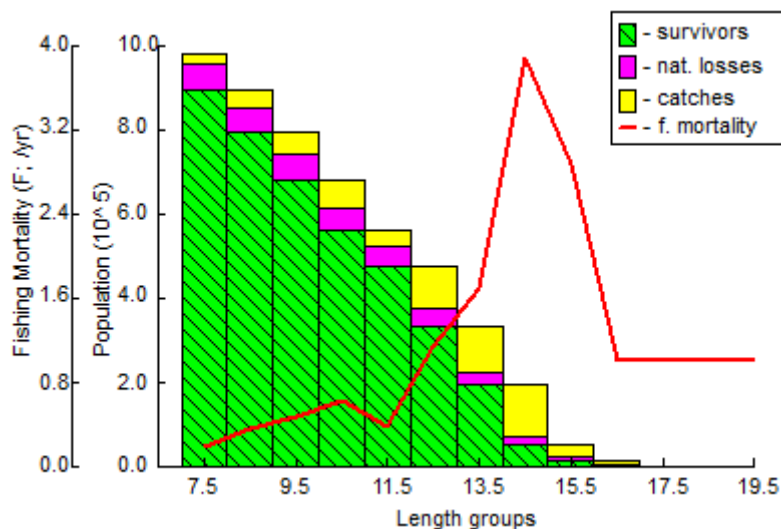


Figure. 21 : Analyse de population virtuelle (VPA) de *S. pilchardus* structurée par la longueur.

Le tableau 9 montre des données détaillées par classe de taille médiane, notamment le nombre de captures, la population totale estimée, la mortalité par pêche (F) et la biomasse à l'état stable. Dans les classes de taille les plus petites (7.5 à 10.5 cm), on observe une population relativement importante, allant de près de 1 million à environ 680 000 individus, avec des captures modérées (entre 23 000 et 67 000 poissons). La mortalité par pêche dans ces classes est faible à modérée (de 0.19 à 0.64), ce qui suggère qu'une part importante des individus survit à cette phase juvénile.

Tableau. 9 : Répartition des captures, population, mortalité par pêche et biomasse stable de *S. pilchardus* par classes de taille.

Centre de classe (cm)	Captures (en nombre)	Population (N)	Mortalité par pêche (F) (an^{-1})	Biomasse à l'équilibre (tonnes)
7.5	23000	981230	0.1897	0.01
8.5	43000	896387	0.3632	0.01
9.5	53000	793013	0.469	0.01
10.5	67000	682383	0.638	0.01
11.5	38000	561828	0.3894	0.01
12.5	98000	474060	1.1501	0.02
13.5	107000	332602	1.6974	0.02
14.5	123000	193452	3.8874	0.01
15.5	32000	54315	2.8651	0
16.5	11006	16619	1	0.03
17.5	0	0	1	0
18.5	0	0	1	0
19.5	0	0	1	0

Cependant, à partir de la classe de taille de 11.5 cm, la mortalité par pêche devient plus marquée, avec des valeurs oscillant entre 0.39 et 3.88. Ce constat est particulièrement frappant dans les classes de 13.5 cm et 14.5 cm où la mortalité par pêche atteint respectivement 1,70 et 3,89, indiquant une pression de pêche très intense sur ces tailles. Cette pression élevée est corroborée par une baisse importante de la population, qui chute de 561 828 individus à seulement 193 452 dans la classe de 14.5 cm, malgré des captures élevées. Cela indique que la pêche cible majoritairement ces classes de taille intermédiaires à grandes, probablement parce qu'elles correspondent à des individus commercialement plus attractifs. La biomasse à l'état stable (à l'équilibre), quant à elle, reste globalement faible sur l'ensemble des classes, avec des valeurs proches de 0.01 à 0.03 tonnes, et tend même vers zéro pour les classes supérieures à 15.5 cm. Cette faible biomasse dans les grandes classes suggère que peu d'individus

atteignent ces tailles en raison de la forte pression exercée, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur la reproduction puisque ces tailles correspondent souvent aux poissons matures.

III. 7. 2. 2. Rendement relatif par recrue (Y/R) et biomasse relative par recrue (B/R) :

L'analyse du graphique illustrant le rendement relatif par recrue (Y/R) et la biomasse relative par recrue (B/R) en fonction du taux d'exploitation (E) offre un aperçu essentiel de la dynamique de la pêche et des impacts sur la population de *S. pilchardus* (Figure.22). Ces deux indicateurs sont cruciaux pour évaluer la durabilité de l'exploitation et guider la gestion halieutique.

Le rendement relatif par recrue (Y/R), représenté par la courbe en forme de cloche, illustre la quantité de poisson capturé par unité de recrues introduites dans la population. Cette courbe montre une augmentation initiale du rendement avec la croissance du taux d'exploitation, atteignant un maximum puis déclinant lorsque la surpêche devient excessive. Le pic du rendement relatif correspond donc à un équilibre optimal entre exploitation et renouvellement de la population. En parallèle, la biomasse relative par recrue (B/R) décroît de manière continue avec l'augmentation du taux d'exploitation, illustrée par la courbe décroissante. Cette tendance signifie que plus le taux d'exploitation est élevé, plus la biomasse disponible par recrue diminue, ce qui reflète une pression de pêche accrue entraînant une réduction significative de la population.

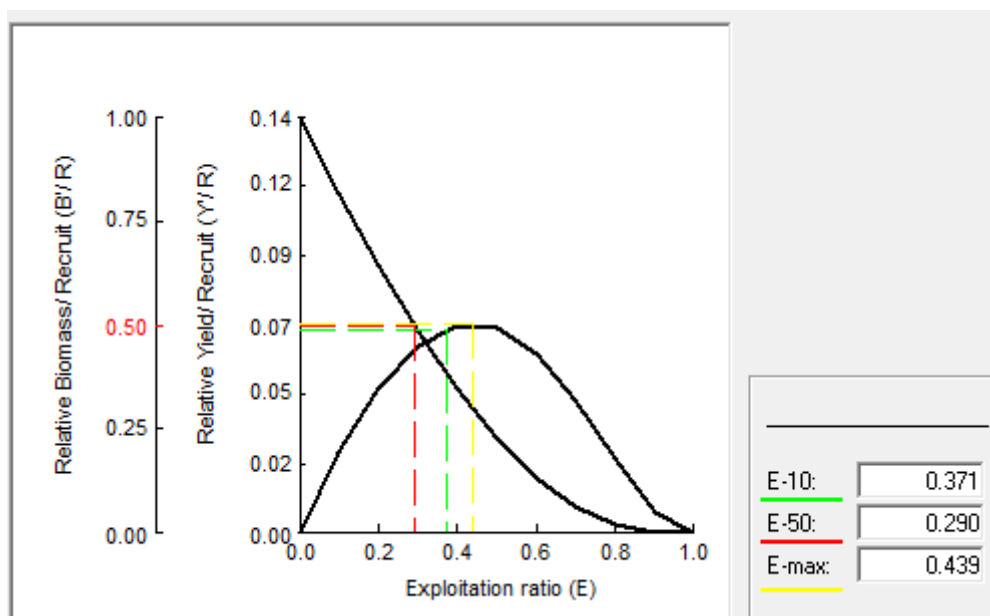


Figure. 22 : Rendement et biomasse par recrue en fonction du taux d'exploitation de *S. pilchardus* FISAT II.

Sur ce graphique, plusieurs seuils d'exploitation sont indiqués :

- $E_{10} = 0.371$ (ligne verte) représente le taux d'exploitation où la biomasse relative par recrue est réduite de 10 %, ce qui est souvent considéré comme un seuil tolérable de réduction de la biomasse.
- $E_{50} = 0.290$ (ligne rouge) est le taux d'exploitation correspondant à une réduction de 50 % de la biomasse relative par recrue, signalant une exploitation plus sévère pouvant compromettre le renouvellement du stock.
- $E_{\max} = 0.439$ (ligne jaune) représente le taux d'exploitation qui maximise le rendement relatif par recrue, soit le point où la pêche produit le rendement maximal possible avant que la surexploitation ne réduise les captures.

L'interprétation conjointe de ces courbes indique que le taux d'exploitation optimal pour *S. pilchardus* se situe autour de ($E_{\max} = 0.439$). À ce niveau, le rendement par recrue est maximal, ce qui signifie que la pêche exploite efficacement le stock sans compromettre immédiatement sa durabilité. Cependant, il est important de noter que ce point correspond à une biomasse relative réduite, ce qui suggère une certaine fragilité du stock. En revanche, pour garantir une exploitation durable à long terme, il est souvent recommandé de maintenir le taux d'exploitation à ou en dessous de ($E_{10} = 0.371$). À ce seuil, la biomasse est préservée à un niveau proche de 90 % de sa capacité naturelle, ce qui favorise la résilience du stock et réduit les risques de déclin rapide. Le seuil ($E_{50} = 0.290$), bien que plus conservateur, offre une marge de sécurité encore plus grande en limitant significativement la pression de pêche.

Le graphique (Figure. 22) souligne ainsi le compromis classique en gestion halieutique entre maximisation du rendement à court terme et préservation du stock à long terme. Une exploitation trop agressive, même si elle augmente temporairement les captures, entraîne une diminution rapide de la biomasse, ce qui peut causer un effondrement des populations et des pertes économiques durables. Les gestionnaires peuvent s'appuyer sur ces résultats pour fixer des quotas, définir des tailles minimales de capture ou instaurer des périodes de fermeture temporaires afin de maintenir le taux d'exploitation à un niveau durable. Cette approche basée sur des données robustes garantit que les décisions prises favoriseront la pérennité du stock et la viabilité économique des pêcheries.

Conclusion générale :

La présente étude apporte des éléments essentiels pour mieux comprendre la dynamique de croissance et les pressions exercées sur le stock de *S. pilchardus* de la côte d'El Tarf. En premier lieu, l'utilisation de la méthode de Bhattacharya a permis de distinguer trois (3) groupes d'âges au sein de la population, ce qui a facilité l'estimation des paramètres de croissance selon l'équation de von Bertalanffy, (1938). Deux approches complémentaires, via les logiciels FISAT II et VONBIT, ont été employées pour déterminer ces paramètres, avec des résultats convergents : ($L_{\infty} = 20.07$ cm, $K = 0.62$ an⁻¹ et $t_0 = 0$ an⁻¹ obtenues par FISAT II) ; ($L_{\infty} = 20.19$ cm, $K = 0.61$ an⁻¹ et $t_0 = -0.004$ an⁻¹ par le VONBIT). Ces valeurs, légèrement inférieures à celles rapportées dans la littérature, peuvent s'expliquer par la présence d'individus de grande taille dans les échantillons, mais aussi par la nature même des petits pélagiques qui atteignent rapidement leur longueur maximale, d'où un K élevé.

L'évaluation de la mortalité totale (Z), calculée selon la méthode de Pauly, (1990), révèle une valeur relativement élevée de 2.50 an⁻¹, ce qui traduit une forte pression de pêche. Cette pression est d'autant plus inquiétante que la mortalité naturelle (M), estimée entre 0.44 et 0.76 an⁻¹ selon différentes méthodes, reste modérée. Ces chiffres indiquent que la mortalité due à la pêche est un facteur dominant dans la dynamique du stock. Cette observation est renforcée par la comparaison avec des populations en eaux tempérées où la mortalité naturelle peut être plus importante en raison de la prédation accrue. Par ailleurs, la relation taille-poids ($W_T = 0.0034 L_T^{3.02}$) met en évidence une allométrie majorante, signifiant que la croissance en poids (W_T) ne suit pas strictement la croissance en longueur (L_T), ce qui peut avoir des implications sur l'évaluation du stock et la gestion des captures.

Une donnée particulièrement préoccupante est le taux d'exploitation estimé à 79.6 %, qui témoigne d'une pression de pêche élevée sur ce stock. Cette situation est d'autant plus alarmante que l'analyse de la population virtuelle (VPA) montre une forte concentration d'individus dans les classes de taille les plus petites (7.5 à 11.5 cm), avec des effectifs allant de près d'un million à environ 680 000 individus. Les captures restent modérées dans ces classes juvéniles, entre 23 000 et 67 000 poissons, mais augmentent nettement dans les classes de taille intermédiaires (11.5 à 15.5 cm), soulignant une exploitation qui cible préférentiellement des individus en phase de croissance active.

Cette dynamique met en lumière un équilibre fragile entre recrutement naturel et exploitation. La présence d'une population juvénile importante est un signe encourageant quant à la

capacité de renouvellement du stock. Néanmoins, la pression de pêche élevée, notamment sur les classes intermédiaires, risque de compromettre ce renouvellement à moyen terme en réduisant le potentiel reproducteur. Il est donc crucial de mettre en place une gestion prudente et adaptée, tenant compte non seulement des paramètres biologiques estimés mais aussi de la structure d'âge et de taille des captures.

Pour garantir la durabilité du stock de *S. pilchardus* dans la côte d'El Tarf, il serait pertinent d'envisager des mesures de gestion intégrée, telles que la limitation des captures sur les classes intermédiaires, la protection des zones de frai, ainsi que la surveillance continue des paramètres biologiques et de mortalité. Une meilleure connaissance des interactions entre mortalité naturelle et mortalité liée à la pêche permettrait également d'optimiser les stratégies de gestion afin de réduire la surpression sur le stock.

La présente étude fournit une base solide de données et d'analyses qui mettent en évidence la nécessité d'une gestion rigoureuse du stock de *S. pilchardus* de la côte d'El Tarf. La combinaison d'un fort taux d'exploitation, de paramètres de croissance spécifiques et d'une structure de population caractérisée par une forte proportion de juvéniles souligne les défis à relever pour concilier exploitation économique et conservation de la ressource. L'adoption de mesures adaptées et la mise en œuvre d'un programme suivi régulier sont indispensables pour assurer la pérennité de cette espèce et la viabilité des pêcheries qui en dépendent.

Références bibliographiques

1. **Akyol, O., Tokaç, A., & Ünsal, S. (1996).** Izmir körfezi'nde (Ege Denizi) dagilim gösteren sardalya baligi (*Sardine pilchardus* Walbaum, 1792)'nin büyüme ve üremesi üzerine bir arastirma. An investigation on the growth and reproduction characteristics of the sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) in the bay of Izmir (Aegean Sea). Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, (3-4).
2. **Almeida, C., Vaz, S., Cabral, H., & Ziegler, F. (2014).** Environmental assessment of sardine (*Sardina pilchardus*) purse seine fishery in Portugal with LCA methodology including biological impact categories. The International Journal of Life Cycle Assessment, 19(2), 297-306.
3. **Andreu, B. J., Rodriguez-Roda., Larraneta, M. G. (1950).** Contribution al estudio de la talla, edad y crecimiento de la sardina, de las costas espanolas de Levante. Publ.Inst.Biol.Aplic., 7:159-189.
4. **Andrews, A. C. (1949).** The " Sardinian Fish" of the Greeks and Romans. The American Journal of Philology, 70(2), 171-185.
5. **Badreldin, M., Fahim, R. M., Al Solami, L., & Mahmoud, H. H. (2025).** Biological aspects and population dynamics of the European pilchard *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the southeastern Mediterranean waters. Journal of Fish Biology.
6. **Baibai, T., Oukhattar, L., Quinteiro, J. V., Mesfioui, A., Rey-Mendez, M., & Soukri, A. (2012).** First global approach: morphological and biological variability in a genetically homogeneous population of the European pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the North Atlantic coast. Reviews in fish biology and fisheries, 22(1), 63-80.
7. **Baibai, T., Oukhattar, L., Quinteiro, J. V., Mesfioui, A., Rey-Mendez, M., & Soukri, A. (2012).** First global approach: morphological and biological variability in a genetically homogeneous population of the European pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the North Atlantic coast. Reviews in fish biology and fisheries, 22(1), 63-80.
8. **Baibai, T., Oukhattar, L., Quinteiro, J. V., Mesfioui, A., Rey-Mendez, M., & Soukri, A. (2012).** First global approach: morphological and biological variability in a genetically homogeneous population of the European pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the North Atlantic coast. Reviews in fish biology and fisheries, 22(1), 63-80.

9. **Bandarra, N. M., Batista, I., Nunes, M. L., Empis, J. M., & Christie, W. W. (1997).** Seasonal changes in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). Journal of food science, 62(1), 40-42.
10. **Bauchot, M. L. (1987).** Poissons osseux. Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche.(rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche, 37(2), 891-1421.
11. **Bedairia, A., & Djebbar, A. B. (2009).** A preliminary analysis of the state of exploitation of the sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the gulf of Annaba, East Algerian. Animal biodiversity and conservation, 32(2), 89-99.
12. **Bekiashev, K. A., & Serebriakov, V. V. (1981).** General Fisheries Council for the Mediterranean (GFCM). In International Marine Organizations: Essays on Structure and Activities (pp. 233-251). Dordrecht: Springer Netherlands.
13. **Benoît, H. P., Hurlbut, T., Chassé, J., & Jonsen, I. D. (2012).** Estimating fishery-scale rates of discard mortality using conditional reasoning. Fisheries Research, 125, 318-330.
14. **Bhattacharya, C. G. (1967).** A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics, 115-135.
15. **Blaxter, J. H. S. (1969).** Experimental rearing of pilchard larvae, *Sardina pilchardus*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 49(3), 557-575.
16. **Bouchereau, J. L. (1981).** Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de (*Sardina pilchardus*, Walbaum 1792) dans la baie d'Oran (Algérie).Thèse Doctorat 3ème cycle. Université d'Aix-Marseille II.Ph.D.dissection. 1-168 p.
17. **Bouderoua, K., Mourot, J., Benmehdi-Tabet-Aoull, F., & Selselet-Attou, G. (2011).** The effects of season and site of catch on morphometric characteristics, mineral content, and fatty acids of sardines (*Sardina pilchardus*) caught on the Algerian coast. Journal of Aquatic Food Product Technology, 20(4), 412-420.
18. **Boukedjouta, R., et Zeghloul, T. (2009).** Estimation du niveau d'exploitation de la sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) du golfe d'Annaba. Mémoire d'ingénieur ESSMAL. Alger : 20-28 p.
19. **Braga, H. D. O., Pardal, M. Â., & Azeiteiro, U. M. (2017).** Sharing fishers ethnoecological knowledge of the European pilchard (*Sardina pilchardus*) in the westernmost fishing community in Europe. Journal of ethnobiology and ethnomedicine, 13(1), 52.

20. Brosa-Planella, A., Yousef-Pouran, K., Wouters, W., Marlasca Martín, R., Saña Seguí, M., Riera Mora, S., & Morales Muñiz, A. (2026). Estimating European Pilchard (*Sardina pilchardus*) Total Length: New Equations for the Ichthyoarchaeological Record. *International Journal of Osteoarchaeology*.
21. Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of fish biology*, 59(2), 197-242.
22. Chopin, F., Inoue, Y., & Arimoto, T. (1996). Development of a catch mortality model. *Fisheries research*, 25(3-4), 377-382.
23. Cort, J. L., Estruch, V. D., Neves Dos Santos, M., Di Natale, A., Abid, N., & de la Serna, J. M. (2015). On the variability of the length–weight relationship for atlantic Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus* (L.). *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 23-38.
24. Costalago, D., & Palomera, I. (2014). Feeding of European pilchard (*Sardina pilchardus*) in the northwestern Mediterranean: from late larvae to adults. *Scientia Marina*, 78(1), 41-54.
25. Cubillos, L. A., Bucarey, D. A., & Canales, M. (2002). Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-southern area off Chile (34–40 S). *Fisheries Research*, 57(2), 117-130.
26. Dalzell, P. J. (1993). Small pelagic fishes. A. Wright, & L. Hill, *Nearshore marine resources of the South Pacific*, 97-133.
27. Di Marco, M., & Santini, L. (2015). Human pressures predict species' geographic range size better than biological traits. *Global Change Biology*, 21(6), 2169-2178.
28. Djabali, F. (1991). Travaux realises sur les stocks pelagiques et demersaux de la region de Beni-saf. FAO, (447.).
29. Djabali, F., Mechailia, A., Koudil, M., & Brahmi, B. (1994). A reassessment of equations for predicting natural mortality in Mediterranean teleosts. *The World Fish Center*, 17, 33–34.
30. Dulčić, J. (1995). Estimation of age and growth of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), larvae by reading daily otolith increments. *Fisheries research*, 22(3-4), 265-277.
31. Dulčić, J. (1995). Estimation of age and growth of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), larvae by reading daily otolith increments. *Fisheries research*, 22(3-4), 265-277.

32. **Essington, T. E., Kitchell, J. F., & Walters, C. J. (2001).** The von Bertalanffy growth function, bioenergetics, and the consumption rates of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(11), 2129-2138.
33. **Fage, L. (1920).** Engraulidae, Clupeidae. Report on the Danish Oceanographical Expeditons 1908-1919 to the Mediterranean and adjacent seas, vol 2, no. 6. 140 Pp.
34. **Fernández-Corredor, E., Albo-Puigserver, M., Pennino, M. G., Bellido, J. M., & Coll, M. (2021).** Influence of environmental factors on different life stages of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and European sardine (*Sardina pilchardus*) from the Mediterranean Sea: A literature review. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101606.
35. **Francis, R. C., & Campana, S. E. (2004).** Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(7), 1269-1284.
36. **Gamito, S. (1998).** Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. *Ecological modelling*, 113(1-3), 83-94.
37. **Gamulin, T., Hure, J. (1955).** Contribution a la connaissance de l'ecologie de la ponte de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) dans l'Adriatique. *Acta Adriat.*, 7: 1-23.
38. **Ganias, K., Somarakis, S., Machias, A., & Theodorou, A. J. (2003).** Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus* sardina). *Marine Biology*, 142(6), 1169-1179.
39. **Ganias, K., Somarakis, S., Machias, A., & Theodorou, A. J. (2003).** Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus* sardina). *Marine Biology*, 142(6), 1169-1179.
40. **Garrido, S., Ben-Hamadou, R., Oliveira, P. B., Cunha, M. E., Chícharo, M. A., & van der Lingen, C. D. (2008).** Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Marine Ecology Progress Series*, 354, 245-256.
41. **Garrido, S., Ferreira, S., Soares, C., Meneses, I., Baylina, N., Batista, H., ... & Ré, P. (2021).** Effect of food availability on the growth and age determination of European sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) larvae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(3), 609-619.

42. **Garrido, S., Marçalo, A., Zwolinski, J., & Van der Lingen, C. D. (2007).** Laboratory investigations on the effect of prey size and concentration on the feeding behaviour of *Sardina pilchardus*. Marine Ecology Progress Series, 330, 189-199.
43. **Gayanilo, F. C. Jr., Sparre, P., & Pauly, D. (2002).** The FAO-ICLARM Fish Stock Assessment Tools (FISAT II, user's guide) 2000-2004 FAO, Rome, Italie. Version 1.1.2. 173 p.
44. **Gayanilo, F.C. Jr., Sparre, P., et Pauly, D. (1996).** FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT). User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. (8), Rome, FAO. Pp, 126.
45. **General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM). (2001).** SAC4/2001/Inf.5 Working Group on Small Pelagic Species, Kavala, Greece, 27p.
46. **GFCM. (1981).** Working party on resource appraisal and fishery statistics report of technical consultation on stock assesement in the Balearic and Gulf of Lion statistical division, Palma de Mallorca, Spain. FAO Fisheries Report 227-151 Pp.
47. **Gheno, Y. & Le Guen, J. C. (1968).** Determination de l'age et croissance de *Sardinella eba* (Val.) dans la region de Pointe Noire. Cahiers de l 'Office de la Recherche Scientifique et Technique Qutre-Mer, Serie Oceanographie 6(2), 69-82.
48. **Giannoulaki, M., Pyrounaki, M. M., Liorzou, B., Leonori, I., Valavanis, V. D., Tsagarakis, K., ... & Machias, A. (2011).** Habitat suitability modelling for sardine juveniles (*Sardina pilchardus*) in the Mediterranean Sea. Fisheries Oceanography, 20(5), 367-382.
49. **Gislason, H., Daan, N., Rice, J. C., & Pope, J. G. (2010).** Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish. Fish and Fisheries, 11(2), 149-158.
50. **Gonzalez, E. G., & Zardoya, R. (2007).** Relative role of life-history traits and historical factors in shaping genetic population structure of sardines (*Sardina pilchardus*). BMC Evolutionary Biology, 7(1), 197.
51. **González-Ortegón, E., Drake, P., Quigley, D. T., & Cuesta, J. A. (2020).** Leucism in the European sardine *Sardina pilchardus* (Clupeidae). Ecological Indicators, 117, 106544.
52. **Gordó-Vilaseca, C., Pennino, M. G., Albo-Puigserver, M., Wolff, M., & Coll, M. (2021).** Modelling the spatial distribution of *Sardina pilchardus* and *Engraulis encrasicolus* spawning habitat in the NW Mediterranean Sea. Marine Environmental Research, 169, 105381.

53. **Gulland, J. A. (1969).** Manual 4. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1. Fish Population Analysis.
54. **Guyanilo, F. C., & Pauly, D. (1997).** FAO ICLARM stock assessment tools (FISAT): Reference manual. FAO computerised Information System (Fisheries)(8). Pp, 262.
55. **Harding, J. P. (1949).** The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 28(1), 141-153.
56. **İlkyaz, A. T., Metin, G., Soykan, O. Z. A. N., & Kinacigil, H. T. (2008).** Length–weight relationship of 62 fish species from the Central Aegean Sea, Turkey. Journal of Applied Ichthyology, 24(6), 699-702.
57. **Jennings, S., Kaiser, M., & Reynolds, J. D. (2009).** Marine fisheries ecology. John Wiley & Sons.
58. **Jones, R. E., Petrell, R. J., & Pauly, D. (1999).** Using modified length–weight relationships to assess the condition of fish. Aquacultural engineering, 20(4), 261-276.
59. **Kenchington, T. J. (2014).** Natural mortality estimators for information-limited fisheries. Fish and Fisheries, 15(4), 533-562.
60. **Kerstan, M. (2000).** Estimation of precise ages from the marginal increment widths of differently growing sardine (*Sardinops sagax*) otoliths. Fisheries Research, 46(1-3), 207-225.
61. **Kim, H., Lim, R., Seo, Y. I., & Sheen, D. (2017).** A modified von Bertalanffy growth model dependent on temperature and body size. Mathematical biosciences, 294, 57-61.
62. **Kindong, R., Sarr, O., Pandong, N. A., Wu, F., Zhu, J., & Dai, X. (2024).** Towards sustainable exploitation of European pilchard (*Sardina pilchardus*) stocks off West African waters. Environmental and Sustainability Indicators, 23, 100-460.
63. **King, M. (2007).** Fisheries biology, assessment and management. John Wiley & Sons.
64. **Laraneta, M. (1976).** Size and age of first maturation, and relative fecundity in *Sardina pilchardus* (Walb.) off Castellon (Spanish mediterranean coast). ICES.
65. **Lee, H. H., Maunder, M. N., Piner, K. R., & Methot, R. D. (2011).** Estimating natural mortality within a fisheries stock assessment model: an evaluation using simulation analysis based on twelve stock assessments. Fisheries Research, 109(1), 89-94.

66. **Maynou, F. (2020).** Evolution of fishing capacity in a Mediterranean fishery in the first two decades of the 21st c. *Ocean & Coastal Management*, 192, 105-190.
67. **Miloud abid, A. E., et Hidaoui, A. E. (2009).** Estimation de niveau de l'exploitation de la sardine *Sardina pilchardus* de la région de Béni-Saf. Mémoire d'ingénieur d'état ESSMAL: 8-19 p.
68. **Morales-Nin, B., & Pertierra, J. P. (1990).** Growth rates of the anchovy *Engraulis encrasicolus* and the sardine *Sardina pilchardus* in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 107(2), 349-356.
69. **Mouhoub, R. (1986).** Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792). Des cotes algéroises ; Thèse de magistère. USTHB : 163 p.
70. **MPPH. (2020).** Les principaux indicateurs du secteur de la pêche, N°970, 20pp. <https://www.ons.dz/IMG/pdf/Pêche2020.pdf>.
71. **MPRH. (2014).** Secteur de la Pêche et de l'Aquaculture: Bilan (2012-2014), Prospective 2030 & Projet «PLAN AQUAPECHE 2020», 72pp. <https://www.fao.org/fi/static-media/MeetingDocuments/BlueHope/secondmeeting/Investment/bilan%20aquapeche.pdf>.
72. **Neves, J., Silva, A. A., Moreno, A., Verissimo, A., Santos, A. M., & Garrido, S. (2021).** Population structure of the European sardine *Sardina pilchardus* from Atlantic and Mediterranean waters based on otolith shape analysis. *Fisheries Research*, 243, 106050.
73. **Nikolioudakis, N., Isari, S., Pitta, P., & Somarakis, S. (2012).** Diet of sardine *Sardina pilchardus*: an 'end-to-end' field study. *Marine Ecology Progress Series*, 453, 173-188.
74. **Palomera, I., Olivar, M. P., Salat, J., Sabatés, A., Coll, M., García, A., & Morales-Nin, B. (2007).** Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: an ecological review. *Progress in Oceanography*, 74(2-3), 377-396.
75. **Patterson, K. (1992).** Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets. *Reviews in fish biology and fisheries*, 2(4), 321-338.
76. **Pauly, D. (1983).** Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks (Vol. 234). Food & Agriculture Org.
77. **Pauly, D. (1985).** Quelques méthodes simples pour l'estimation des stocks de poissons tropicaux. FAO Document technique sur le pêches. No.234. Rome. FAO. 56 p.

78. **Pauly, D. (1990).** Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes. *Fishbyte*, 8(3), 33-38.
79. **Pauly, D., & Soriano, M. L. (1986).** Some practical extensions to Beverton and Holt's relative yield-per-recruit model. In *The first Asian fisheries forum* (Pp. 491-496). Manila, Philippines: Asian Fisheries Society.
80. **Petersen, W. (1892).** Über die Ungleichzeitigkeit in der Erscheinung der Geschlechter bei Schmetterlingen. *Zoologische Jahrbücher Abteilung für Systematik*. 6, 671-679.
81. **Planque, B., Bellier, E., & Lazure, P. (2007).** Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fisheries Oceanography*, 16(1), 16-30.
82. **Quintanilla, J. M., Laiz-Carrión, R., García, A., Quintanilla, L. F., Cortés, D., Gómez-Jakobsen, F., ... & Mercado, J. M. (2020).** Early life trophodynamic influence on daily growth patterns of the Alboran Sea sardine (*Sardina pilchardus*) from two distinct nursery habitats (bays of Málaga and Almería) in the western Mediterranean Sea. *Marine environmental research*, 162, 105-195.
83. **Regner, S., Regner, D., Marasović, I., & Kršinić, F. (1987).** Spawning of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Adriatic under upwelling conditions. *Acta Adriatica*, 28(1/2), 161-198.
84. **Rikhter, V.A., Efanov, V.N. (1976).** On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. *ICNAF Res.Doc.*, 79/VI/8, 12 p.
85. **Rüdeberg, C. (1967).** Structure of the pineal organ of the sardine, *Sardina pilchardus* sardina (Risso), and some further remarks on the pineal organ of *Mugil* spp. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, 84(2), 219-237.
86. **Sampson, D. B. (2014).** Fishery selection and its relevance to stock assessment and fishery management. *Fisheries Research*, 158, 5-14.
87. **Saraux, C., Van Beveren, E., Brosset, P., Queiros, Q., Bourdeix, J. H., Dutto, G., ... & Fromentin, J. M. (2019).** Small pelagic fish dynamics: A review of mechanisms in the Gulf of Lions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 159, 52-61.
88. **Scarponi, P., Coro, G., & Pagano, P. (2018).** A collection of Aquamaps native layers in NetCDF format. *Data in brief*, 17, 292-296.
89. **Silva, A. (2003).** Morphometric variation among sardine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 60(6), 1352-1360.

90. Silva, A., Carrera, P., Massé, J., Uriarte, A., Santos, M. B., Oliveira, P. B., ... & Stratoudakis, Y. (2008). Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 90(1-3), 56-69.
91. Sinovčić, G. (1986). Estimation of growth, mortality, production and stock size of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.) from the Middle Adriatic. *Acta Adriatica*, 27(1/2), 67-74.
92. Sinovčić, G., Keč, V. Č., & Zorica, B. (2008). Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(4), 739-744.
93. Somarakis, S., Ganas, K., Siapatis, A., Koutsikopoulos, C., Machias, A., & Papaconstantinou, C. (2006). Spawning habitat and daily egg production of sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern Mediterranean. *Fisheries Oceanography*, 15(4), 281-292.
94. Stamatopoulos, C. (2005). VONB Iterative Method for estimating growth parameters. Including non-asymptotic approaches, Version B/2005. Fisheries Department, FAO.
95. Stratoudakis, Y., Coombs, S., de Lanzós, A. L., Halliday, N., Costas, G., Caneco, B., ... & Bernal, M. (2007). Sardine (*Sardina pilchardus*) spawning seasonality in European waters of the northeast Atlantic. *Marine Biology*, 152(1), 201-212.
96. Tanaka, S. (1956). A method for analyzing the polymodal frequency distribution and its application to the length distribution of porgy, *Taius tumifrons* (T. & S.). *Bull. Tokai Reg. Res. Lab.*, 14, 1-12.
97. Tarkan, A. S., Gaygusuz, Ö., Acipinar, H., Gürsoy, Ç., & Özuluğ, M. (2006). Length–weight relationship of fishes from the Marmara region (NW-Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 271-273.
98. Thorarensen, H., Kubiriza, G. K., & Imsland, A. K. (2015). Experimental design and statistical analyses of fish growth studies. *Aquaculture*, 448, 483-490.
99. Tsagarakis, K., Pyrounaki, M. M., Giannoulaki, M., Somarakis, S., & Machias, A. (2012). Ontogenetic shift in the schooling behaviour of sardines, *Sardina pilchardus*. *Animal Behaviour*, 84(2), 437-443.
100. Tserpes, G., & Tsimenides, N. (2001). Age, growth and mortality of *Serranus cabrilla* (Linnaeus, 1758) on the Cretan shelf. *Fisheries research*, 51(1), 27-34.

101. **Visciano, P., Campana, G., Annunziata, L., Vergara, A., & Ianieri, A. (2007).** Effect of storage temperature on histamine formation in *Sardina pilchardus* and *Engraulis encrasicolus* after catch. *Journal of Food Biochemistry*, 31(5), 577-588.
102. **Von Bertalanffy, L. (1938).** A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human biology*, 10(2), 181-213.
103. **Voulgaridou, P., & Stergiou, K. I. (2003).** Trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Eastern Mediterranean Sea. *Scientia marina*, 67(S1), 269-280.
104. **Walters, C. J., & Martell, S. J. (2004).** *Fisheries ecology and management*. Princeton University Press.
105. **Wang, Y., & Liu, Q. (2006).** Estimation of natural mortality using statistical analysis of fisheries catch-at-age data. *Fisheries Research*, 78(2-3), 342-351.