

République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université Chadli Bendjedid El-Tarf
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences vétérinaire

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Docteur
en sciences vétérinaire

Intitule

**Biotechnologie de la reproduction chez le Mullet
(*Mugil cephalus*) pêché dans les golfs Annaba et Jijel**

Présenté par : M.^{elle} Djabourabbi aya dorsaf

Soutenu devant le jury :

Président	Matallah	Faouzi	(MCA) Université Chadli Bendjedid, El-Tarf
Examineur	Loucif	Karim	(MCA) Université Chadli Bendjedid, El-Tarf
Directeur de mémoire	Saoudi	Hani	(MCA) Université Chadli Bendjedid, El-Tarf

Année universitaire 2025-2026

REMERCIEMENTS

Au terme de notre travail nous tenons à remercier le bon dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force, la volonté et la santé, et qui nous a guidé et éclairé notre chemin tout au long de notre parcours jusqu'à ce jour. La réalisation de ce mémoire n'a été rendue possible que grâce à la collaboration et au soutien de toutes les personnes à qui nous tenons à exprimer nos sincères remerciements. Notre encadreur, Dr Saoudi Hani Qui a accepté d'encadrer ce travail et de me guider tout au long de sa réalisation. Je tiens à remercier les membres du jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de ce mémoire, ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail.

DÉDICACES ET REMERCIEMENTS

Tous mes remerciements et ma gratitude vont d'abord à Allah le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce travail de fin d'études avec une profonde affection :

À mes chers et tendres parents : Aucune dédicace ne saurait exprimer mon immense gratitude, mon amour et mon respect. Vous qui avez sacrifié tant de choses pour mon éducation et ma réussite. Que Dieu vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur.

À la mémoire de ma chère grand-mère : Qui attendait ce jour avec tant d'impatience et qui rêvait de me voir devenir la première femme médecin de la famille. J'aurais tellement aimé que tu sois là pour partager ce moment, mais j'espère que de là où tu es, tu es fière de moi. Ce titre est pour toi. Que Dieu t'accorde Son vaste Paradis et t'accueille dans Ses hauts lieux.

À mes chères sœurs, et surtout à ma sœur et deuxième maman Sara : Qui a toujours été là pour moi, à me soutenir, m'encourager et veiller sur moi à chaque instant. Merci pour ton amour infini et ta présence précieuse.

À ma copine Belkis, ainsi qu'à tous mes précieux amis et collègues : Pour les moments de joie, de doute et de révision partagés ensemble. J'adresse mes plus vifs remerciements et ma reconnaissance scientifique :

À la directrice de la boratoire , *Pr. AOUN Leïla* : Pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de diriger ce travail, pour sa rigueur scientifique, sa disponibilité et ses précieux conseils.

À mon encadreur, *Dr. SAOUDI Hani* : Pour son suivi constant, sa patience, sa générosité intellectuelle, ses conseils avisés et son soutien précieux tout au long de cette recherche.

À toute l'équipe de la faune sauvage : Pour leur collaboration précieuse, leur aide indispensable sur le terrain et leur soutien technique tout au long de ce projet.

À ma chère amie Wissem : Un grand merci particulier pour son aide précieuse, son efficacité et son soutien direct lors de la collecte et de la préparation des échantillons.

Au Laboratoire d'Épidémiologie : Pour m'avoir ouvert ses portes et fourni les conditions idéales pour mener à bien la partie pratique et analytique de ce projet.

À tous les professeurs et à tout le département vétérinaire : Pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigué durant tout mon cursus universitaire.

Résumé

Le *Mugil cephalus* est une espèce halieutique d'intérêt nutritionnel et écologique, caractérisée par sa plasticité physiologique et sa capacité à coloniser divers habitats aquatiques. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la biotechnologie de la reproduction chez le mulot et vise à maîtriser le cycle reproducteur à travers le suivi des indices biologiques : le rapport gonadosomatique (RGS), le rapport hépatosomatique (RHS) et le facteur de condition (K).

L'étude comprend également une analyse macroscopique et microscopique de l'évolution gonadique de l'espèce dans deux zones côtières algériennes : Annaba et Jijel.

Les échantillons ont été collectés durant une année.

Nous avons recherché les différences significatives entre les mois et entre les deux zones d'étude (Z1 : Annaba et Z2 : Jijel) pour l'ensemble des variables morphométriques étudiées au cours du temps (mois), en utilisant l'analyse de la variance (ANOVA).

Mots-clés : *Mugil cephalus*, ANNABA, JIJEL, RGS, RHS, K, ANOVA

Abstract:

Mugil cephalus is a fish species of nutritional and ecological interest, characterized by its physiological plasticity and its ability to colonize various aquatic habitats. This study falls within the framework of reproductive biotechnology in mullet and aims to understand the reproductive cycle through the monitoring of biological indices, including the gonadosomatic ratio (GSR), hepatosomatic ratio (HSR), and condition factor (K).

The study also includes a macroscopic and microscopic analysis of gonadal development in two Algerian coastal areas: Annaba and Jijel.

Samples were collected over one year, from November 2024 to February 2026.

We investigated the significant differences between months and between the two study zones (Z1: Annaba and Z2: Jijel) for all morphometric variables studied over time (months), using analysis of variance (ANOVA).

Key words : *Mugil cephalus*, RGS, RHS, K, Annaba, Jijel.

ملخص

يُعتبر سمك البوري من الأسماك ذات الأهمية الغذائية والبيئية، ويتميز بمرونته الفسيولوجية وقدرته على التكيف مع مختلف البيئات المائية.

تتدرج هذه الدراسة ضمن مجال التكنولوجيا الحيوية للتكاثر عند سمك البوري، وتهدف إلى فهم الدورة التكاثرية من خلال متابعة المؤشرات البيولوجية، والمتمثلة في الدليل الغونادوسوماتي (GSR) ، والدليل الهيبياتوسوماتي (HSR) ، ومعامل الحالة (K).

كما تشمل الدراسة تحليلاً عيانياً ومجهرياً لتطور المناسل في منطقتين ساحليتين هما: عنابة وجيجل. وقد جُمعت العينات خلال سنة كاملة، من نوفمبر 2024 إلى فبراير 2026.

تمت دراسة الفروق المعنوية بين الأشهر وبين منطقتي الدراسة: Z1 عنابة و Z2 جيجل بالنسبة لمختلف المتغيرات المورفومترية المدروسة عبر الزمن (الأشهر)، وذلك باستعمال تحليل التباين (ANOVA).

يعد سمك البوري من الأنواع السمكية ذات الأهمية الغذائية والبيئية، ويتميز بمرونته الفسيولوجية وقدرته على التكيف في بيئات مائية متنوعة

الكلمات المفتاحية: سمك البوري K, RHS, RGS, عنابة , جيجل

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
01	Constantes biochimiques moyennes de la chair de <i>Mugil cephalus</i>	20
02	Résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) des variables de longueurs au niveau de la zone de Annaba (Z_1).	41
03	Répartition des groupes de longueurs homogènes issus du test de Tukey au niveau de la zone d'Annaba (Z_1) (Lfc, Lt, Lst, Loa, Lo).	41
04	Répartition des groupes de poids homogènes issus du test de Tukey au niveau de la zone d'Annaba (Z_1) (Pt, Pe, Pg, Pf, Pgr).	42
05	Répartition des groupes de longueurs homogènes issus du test de Tukey au niveau de la zone de Jijel (Z_2) (Lst, Lt, Lfc, Loa, Lo).	42
06	Répartition des groupes de poids homogènes issus du test de Tukey au niveau de la zone de Jijel (Z_2) (Pt, Pe, Pf, Pg, Pgr).	43

Liste des figures

N°	Titre	Pages
01	Le Mulet à grosse tête <i>Mugil cephalus</i>	15
02	Illustration scientifique ancienne en couleur de l'espèce <i>Mugil cephalus</i> (Marcus Elieser Bloch (1785–1797)	15
03	Synthèse illustrée du régime alimentaire et du rôle écologique de <i>Mugil cephalus</i>	17
04	Carte mondiale de la répartition géographique de <i>Mugil cephalus</i> (FishBase, 2006).	18
05	Schéma circulaire de la vie et reproduction du Mulet (Djabourabbi ; 2026)	20
06	Carte géographique des zones de prélèvements au niveau des wilayas d'Annaba (Z1) et de Jijel (Z2).	23
07	Spécimen témoin de <i>Mugil cephalus</i> (Djabourabbi, 2025).	24
08	Pied à coulisse numérique utilisé dans la lecture des longueurs sur le <i>Mugil cephalus</i>	25
09	Mensurations de référence effectuées chez <i>Mugil cephalus</i> (Lt = longueur totale, Lfc = longueur à la fourche, Lst = longueur standard).	26
10	Pesée d'un spécimen de mulet (<i>Mugil cephalus</i>) à l'aide d'une balance électronique de précision.	26
11	Méthode de dissection, ouverture de la cavité générale et prélèvement des organes (ovaires/foie).	27
12	Prélèvement d'un fragment (Fg.) de la gonade (G.) pour des préparations histologiques.	31
13	Schéma général du protocole de la méthode histologique (LHPA,2026)	33
14	Évolution mensuelle du RGS, chez les mâles les femelles de <i>Mugil cephalus</i> du golfe d'Annaba.	36
15	Évolution mensuelle du RHS, chez les mâles et les femelles de <i>Mugil cephalus</i> du Golfe d'Annaba	37
16	Morphologie de gonade male au stade d'individus immature (x4) (Lt=120mm).	38
17	Morphologie de gonade femelle en période de ponte (X 2.5) chez <i>Mugil cephalus</i> (Lt=480mm)	39
18	Coupes histologique des gonades mâle et femelle du <i>Mugil cephalus</i> (Djabourabbi, 2026)	40

Liste d'abréviation

RGS : Rapport Gondo-Somatique (ou Indice Gonadosomatique)

RHS : Rapport Hépat-Somatique (ou Indice Hépatosomatique)

K : Coefficient de condition (Indice pondéral reflétant l'embonpoint du poisson)

Lt : Longueur totale

Lfc : Longueur à la fourche

Lst / Ls : Longueur standard

Pt : Poids total du poisson plein

Pe : Poids du poisson éviscéré

Pg : Poids des gonades (ovaires ou testicules)

Pf : Poids du foie

Pgr : Poids des graisses mésentériques (adiposité)

ANOVA : *Analysis of Variance* (Analyse de la variance — outil statistique univarié)

Z_1 : Zone d'étude numéro 1 (Golfe d'Annaba)

Z_2 : Zone d'étude numéro 2 (Golfe de Jijel)

SST : *Sea Surface Temperature* (Température de surface de la mer)

AGPI / HUFA : Acides Gras Polyinsaturés / *Highly Unsaturated Fatty Acids*

Ddl : Degré de liberté (Paramètre d'analyse de l'ANOVA)

CM : Carré Moyen (Indicateur statistique de l'ANOVA)

Fobs : Valeur du F de Fisher observée (Statistique de test de l'ANOVA)

Prob / p-value : Valeur de la probabilité calculée (Seuil de signification statistique)

SPZ / SPg / OVC / OG : (*Repères histologiques*) Spermatozoïdes / Spermatogonies / Ovocytes / Ovogonies

Sommaire

Partie I : ETUDE Bibliographique		Pages
Introduction Générale et Objectifs.....		1
CHAPITRE I : Partie Bibliographique		
Généralités sur l'espèce <i>Mugil cephalus</i>		19
I.1. Systématique et position taxonomique.....		19
I.2. Description morphologique et anatomique.....		20
I.3. Régime alimentaire et comportement trophique.....		20
I.4. Habitat et exigences écologiques.....		20
I.5. Répartition géographique en Méditerranée et dans le monde.....		21
I.6. Composition biochimique et valeur nutritionnelle de la chair.....		23
I.7. Cycle de vie et stratégies de reproduction.....		24
I.8. Importance socio-économique et état de l'aquaculture en Algérie.....		25
PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE		
CHAPITRE II : Matériel et Méthodes.....		
II.1. Présentation du matériel biologique d'étude.....		26
II.1.2. Zones d'échantillonnage (Golfe d'Annaba Z1 et Golfe de Jijel Z2).....		26
II.1.3. Fréquence des prélèvements et logistique de terrain.....		26
II.1.4. Matériel technique de mesure et équipements de laboratoire.....		27
II.2. Protocoles et Méthodes d'Analyse.....		28
II.2.1. Approche morphométrique Mesures linéaires : Lt, Lfc, Lst.....		28
II.2.2. Évaluation des paramètres physiologiques (RGS, RHS, Coefficient K).....		29
II.2.3. Examens macroscopiques et échelle des stades de maturité sexuelle.....		30
II.2.4. Techniques d'examen microscopique (Fixation et coupes histologiques)		32
II.2.5. Méthodes d'analyse statistique univariée (ANOVA et test de Tukey).....		34
CHAPITRE III : Résultats et Discussions.....		
III.1. Variabilité morphométrique des populations étudiées.....		36
III.2. Analyse dynamique des indices de reproduction (Z1 vs Z2).....		38
III.3. Cinétique macroscopique des stades de maturité sexuelle.....		41
III.4. Caractérisation microscopique et interprétation histologique des gonades.....		44
III.5. Traitement statistique des données (ANOVA et interprétation du test de Tukey).....		39
III.6. Discussion Générale et Confrontation Bibliographique.....		43
* III.6.1. Concordances biogéographiques (Modèle de stabilité d'Annaba).....		50
* III.6.2. Divergences écologiques et anomalies environnementales (Cas de Jijel).....		53
Conclusions		
Recommandations Zootechniques pour l'Aquaculture Algérienne.....		45
Références Bibliographiques.....		46

Introduction

Introduction

Le mullet cabot (*Mugil cephalus*) est un poisson téléostéen caractérisé par une large répartition géographique au sein des zones côtières, lagunaires et estuariennes des régions tropicales et tempérées. En Méditerranée, et particulièrement sur le littoral algérien, cette espèce revêt une importance économique et écologique majeure. Sa remarquable plasticité écologique — marquée par une forte euryhalinité et eurythermie — combinée à un régime alimentaire opportuniste, en fait un excellent modèle biologique pour étudier l'influence des facteurs environnementaux sur la composition corporelle et la physiologie des poissons (Bordbar, 2004), ainsi qu'un candidat d'intérêt premier pour l'aquaculture.

Sur le plan écologique, *Mugil cephalus* affectionne particulièrement les milieux à forte charge organique, tels que les zones portuaires et les lagunes, et manifeste une capacité à remonter les estuaires jusqu'en eau douce. Si les adultes stationnent fréquemment en surface tout en s'alimentant sur le fond, les individus juvéniles adoptent un comportement grégaire marqué en formant des bancs denses.

Dans ce contexte, la maîtrise de la biotechnologie de la reproduction chez cette espèce représente un axe de recherche crucial pour la compréhension de sa dynamique de population, de son cycle biologique et pour l'élaboration d'une gestion durable des stocks. À cet égard, les paramètres morphométriques constituent des indicateurs essentiels permettant d'évaluer, de manière non invasive, l'état physiologique et le potentiel reproducteur des individus.

Le présent travail s'inscrit dans cette dynamique et porte sur l'étude de la relation entre les paramètres morphométriques et l'activité reproductrice de *Mugil cephalus* au niveau de deux zones côtières algériennes distinctes : Annaba et Jijel. Les échantillonnages ont été réalisés sur un cycle annuel complet, allant de novembre 2024 à octobre 2025, afin d'analyser précisément les variations saisonnières et spatiales de cette activité.

L'objectif principal de cette étude est de comparer les caractéristiques morphométriques et reproductrices des populations des deux zones, tout en évaluant l'influence des facteurs environnementaux locaux sur leur cycle de reproduction. Les résultats obtenus approfondiront les connaissances biologiques fondamentales sur le mullet en Algérie et contribueront directement à l'amélioration des stratégies de gestion, de conservation des ressources halieutiques et au développement de l'aquaculture locale.

Partie

Bibliographique

I.1. Généralités sur *Mugil cephalus*

Depuis les années 1960, le mullet à grosse tête (ou mullet cabot) est élevé en aquaculture dans divers pays. En Russie, sa production est documentée dès 1930 dans les régions de la mer Noire et de la mer Caspienne. En Israël, il a été introduit en 1957 en polyculture avec la carpe commune, tandis qu'aux Philippines, son élevage associé au chano (*Chanos chanos* ou *milkfish*) a débuté en 1953. À Hong Kong, des systèmes d'étangs en polyculture avec différentes espèces de carpes sont exploités depuis 1940 pour son élevage intensif. En Inde, bien que cette activité d'élevage traditionnelle remonte à l'Antiquité, elle reste peu documentée dans les statistiques officielles de la FAO. En Corée et à Taïwan, ce mugilidé est également cultivé, principalement en polyculture avec des cyprinidés. Enfin, aux États-Unis, il est produit comme poisson d'appât depuis les années 1940, et des essais d'élevage à petite échelle ont été menés dans les pays du Golfe (FAO, s.d.).

Mugil cephalus démontre une exceptionnelle capacité à survivre dans des environnements très variés, allant des eaux marines hauturières aux zones saumâtres, voire aux eaux douces. Cette remarquable plasticité physiologique en fait une espèce modèle particulièrement adaptée aux systèmes aquacoles diversifiés (Whitfield, 2003).

Le mullet gris ou mullet cabot (*Mugil cephalus*) appartient à la famille des Mugilidae. Cette espèce cosmopolite est largement répandue dans les eaux côtières tropicales, subtropicales et tempérées à travers le monde. Également désigné sous le nom de mullet rayé, ce poisson au corps allongé et fusiforme se distingue par une coloration gris argenté, rehaussée de rayures longitudinales sombres sur les flancs. Il se nourrit principalement de débris organiques, de microalgues et de petits invertébrés benthiques. Pouvant atteindre une taille maximale de 90 cm pour un poids de 4,5 kg, il est très prisé tant par la pêche commerciale que récréative en raison de sa valeur nutritionnelle et de ses qualités gustatives. Sa chair est généralement valorisée fraîche, préparée grillée, cuite au four ou rôtie.

À ne pas confondre les espèces dans votre manuscrit. Le **mulet doré (*Liza aurata* ou *Chelon auratus*)** est une espèce distincte de *Mugil cephalus*, bien qu'ils appartiennent à la même famille (Mugilidae). Votre Figure 1 ne peut pas porter le nom de deux espèces différentes. De plus, contrairement à *M. cephalus*, *L. aurata* tolère très mal les eaux à faible salinité (dessalées).

Sur le plan ethnobiologique, notamment dans certaines régions d'Asie du Sud-Est, le mullet est valorisé non seulement comme ressource alimentaire courante, mais également pour ses vertus médicinales présumées dans la pharmacopée traditionnelle, en particulier pour le traitement des troubles digestifs (FAO, 2022).

Description biologique du Mulet doré (*Liza aurata*)

Le mullet doré, de son nom scientifique *Liza aurata* (Risso, 1810), se distingue macroscopiquement par la présence d'une tache dorée caractéristique située sur l'opercule, souvent accompagnée d'une seconde marque plus petite en position post-orbitaire. Morphologiquement, l'espèce présente une lèvre supérieure fine (dont l'épaisseur est inférieure au diamètre de la pupille) ainsi que des nageoires pectorales longues et pointues, dépourvues de tache noire à leur base. Le corps, dont la taille moyenne oscille entre 35 et 40 cm (avec un maximum de 55 cm), arbore un dos gris-bleu avec des flancs argentés marqués par des lignes longitudinales sombres.

Sur le plan écologique, le Mulet est un poisson côtier fréquentant préférentiellement les littoraux rocheux, les lagunes et les estuaires, bien qu'il supporte mal les eaux à très faible salinité. Il évolue

généralement à de faibles profondeurs, principalement entre 0 et 5 mètres. Enfin, l'identification de l'espèce reste complexe en raison des fortes similitudes morphologiques entre les membres du genre *Liza* (Louisy, 2005)



Figure 1 : Le Mulet à grosse tête *Liza aurata*.

Mugil cephalus est un poisson à activité principalement diurne qui joue un rôle trophique essentiel dans l'écoulement de l'énergie au sein des écosystèmes estuariens et lagunaires. Son appareil digestif est hautement spécialisé, doté d'un gésier à paroi musculaire épaisse adapté au broyage des sédiments et des détritiques. Il s'alimente en suçant le film superficiel du sédiment et en ingérant les microalgues présentes dans l'écume à l'interface air-eau. Les larves consomment initialement des micro-crustacés, des copépodes et des débris végétaux en suspension. Au cours de leur ontogenèse, les juvéniles modifient leur comportement alimentaire en ingérant des quantités croissantes de sable et de sédiments, marquant ainsi leur transition vers un régime benthophage (FAO, 2009).



Figure 2 : Illustration scientifique ancienne en couleur de l'espèce *Mugil cephalus* (Marcus Elieser Bloch (1785–1797))

La présence et la dynamique de population du mullet au sein d'un hydrosystème peuvent être interprétées comme de fidèles indicateurs de la qualité environnementale. À l'inverse, sa désertion de zones historiquement peuplées constitue souvent un signal d'alarme lié à une dégradation écotoxicologique ou à une contamination par des polluants anthropiques (El-Moselhy, 2014). À ce

titre, des recherches menées dans les estuaires du sud de la Chine ont mis en évidence une bioaccumulation et une ingestion significatives de microplastiques par *Mugil cephalus*, révélant sa forte exposition à la pollution plastique en milieu littoral (Zhang, 2023).

I.2. Description morphologique

Mugil cephalus possède un corps robuste, fusiforme, allongé et légèrement comprimé latéralement. La tête est large, aplatie dorso-ventralement avec un front droit. Les yeux sont partiellement recouverts par une membrane ou paupière adipeuse hautement développée, un caractère diagnostique typique de l'espèce qui protège la rétine de la forte luminosité des eaux peu profondes. La bouche est petite, terminale et orientée vers l'avant, sans papilles ni protubérances labiales. La lèvre supérieure est fine et porte des dents très réduites, disposées en plusieurs rangées discrètes le long des mâchoires. La fente buccale se termine verticalement sous la narine postérieure.

L'espèce possède deux nageoires dorsales bien distinctes : la première est armée de 4 rayons épineux et se situe plus près du museau que de la nageoire caudale ; la seconde, insérée plus en arrière, comprend 8 à 9 rayons mous.

La nageoire anale compte également 8 à 9 rayons mous. Les nageoires pectorales comprennent entre 15 et 19 rayons, et l'appendice ou processus axillaire y est particulièrement visible, mesurant environ un tiers de la longueur de la nageoire. Bien que la ligne latérale macroscopique soit absente, on dénombre entre 35 et 45 écailles cycloïdes le long des séries longitudinales latérales.

Le système digestif comprend un estomac divisé en deux compartiments (un estomac antérieur musculé ou gésier broyeur, et une chambre pylorique enzymatique), associé à 2 cæums pyloriques allongés favorisant l'absorption des nutriments, ainsi qu'un foie volumineux et lobé impliqué dans le stockage des lipides.

Les branchies possèdent des lamelles fines et de longs branchiospines, adaptés à une respiration efficace en milieu hypoxique et à la filtration des particules. La coloration dorsale varie du bleu-vert au gris-olive, tandis que les flancs et le ventre affichent des tons argentés traversés par des bandes longitudinales sombres. Une tache noire distincte est visible à la base de l'axile des nageoires pectorales (Harrison, 1997 ; FAO, 2009 ; Whitfield, 2015).

I.3. Régime alimentaire de *Mugil cephalus*

Mugil cephalus est un poisson benthophage opportuniste présentant une grande plasticité trophique. Son régime alimentaire repose principalement sur la consommation de débris organiques (détritiques), de micro-organismes benthiques (diatomées), de microalgues et de petits invertébrés associés au biofilm sédimentaire. Selon les travaux fondateurs d'Odum (1970), cette espèce joue un rôle fonctionnel majeur dans la valorisation écologique des zones littorales en accélérant la dégradation de la matière organique et en catalysant le recyclage des nutriments vers les niveaux trophiques supérieurs. Blaber (2000) a également démontré que les algues microscopiques et les diatomées constituent la base énergétique préférentielle des juvéniles et des adultes inféodés aux milieux estuariens et lagunaires.

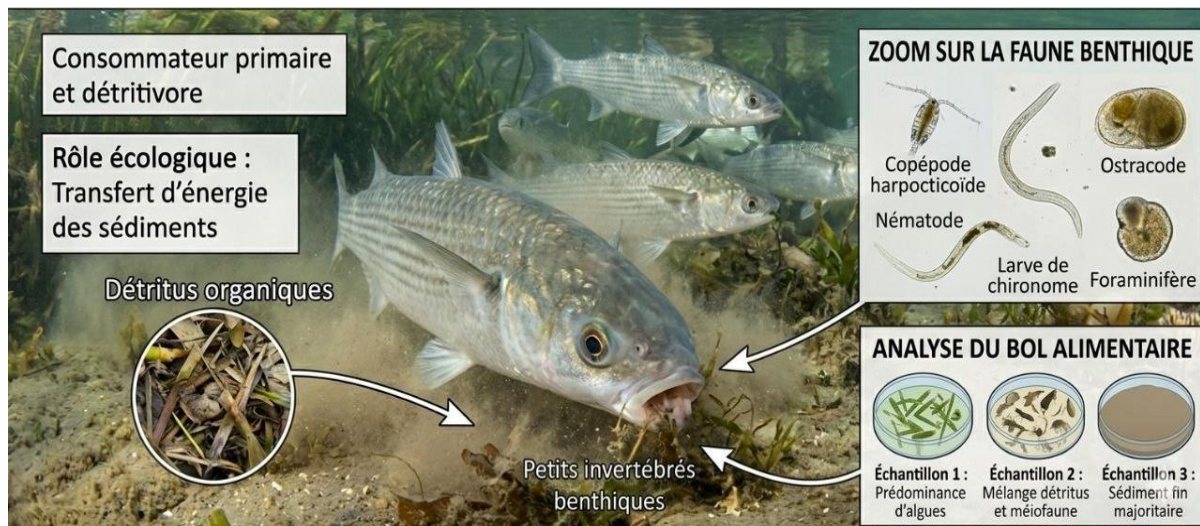


Figure 3 : Synthèse illustrée du régime alimentaire et du rôle écologique de *Mugil cephalus* (Djabourabbi, 2026).

I.4. Habitat de *Mugil cephalus*

Mugil cephalus colonise des habitats côtiers hétérogènes tels que les estuaires, les lagunes salines et les embouchures de rivières. Sa physiologie euryhaline et eurytherme lui permet de tolérer des fluctuations physico-chimiques extrêmes et de transiter sans transition des milieux hyperhalins à l'eau douce pure. Selon Whitfield et al. (2012), l'espèce sélectionne préférentiellement les zones peu profondes (0 à 5 m) à substrats meubles (vasières, sables envasés) où la productivité biologique et le biofilm benthique sont maximaux. Les adultes effectuent des migrations ontogéniques et saisonnières vers le large pour accomplir la ponte en milieu marin profond, tandis que les juvéniles manifestent un comportement thigmotactique et grégaire dans les zones estuariennes calmes et protégées (Louisy, 2005 ; Whitfield et al., 2012).

I.5. Répartition géographique de *Mugil cephalus*

La répartition géographique de *Mugil cephalus* est de type cosmopolite, s'étendant sur la quasi-totalité des régions marines tempérées, subtropicales et tropicales du globe. Sa présence est documentée dans l'océan Atlantique, la mer Méditerranée, la mer Noire, l'océan Indien et l'océan Pacifique. Thomson (1966) attribue cette vaste distribution à la remarquable valence écologique de l'espèce. Cependant, bien qu'elle soit ubiquiste, Harrison (2002) souligne l'existence de divergences génétiques significatives entre les stocks régionaux, induites par les barrières géographiques et la fidélité des routes migratoires.

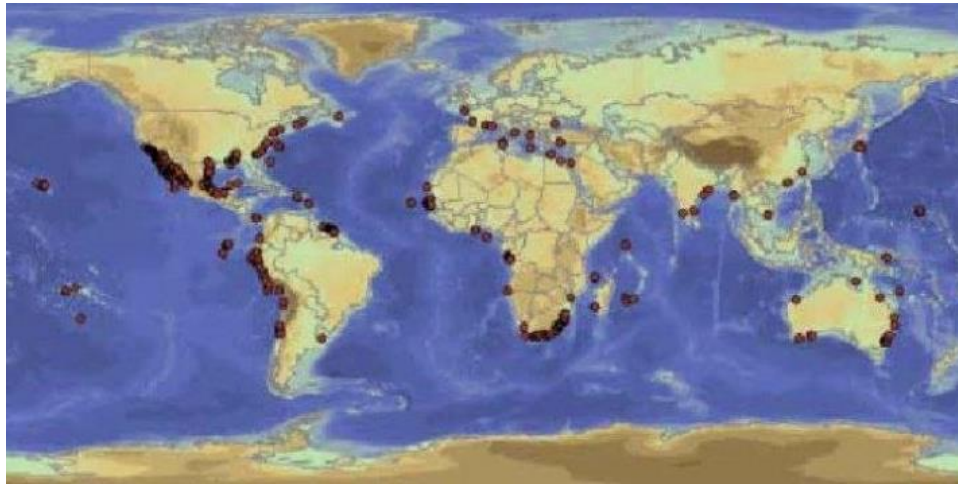


Figure 4 : Carte mondiale de la répartition géographique de *Mugil cephalus* (FishBase, 2006).

Sa distribution spatiale se segmente ainsi (Panfili, 2006 ; FishBase, 2006) :

- **Atlantique occidental :** De la Nouvelle-Écosse (Canada) jusqu'à l'Argentine, incluant le golfe du Mexique (mais absent des Bahamas et de la majeure partie des Antilles).
- **Atlantique oriental :** Du golfe de Gascogne jusqu'à l'Afrique du Sud, englobant la mer Méditerranée et la mer Noire.
- **Pacifique oriental :** De la Californie du Sud jusqu'au Chili.
- **Pacifique occidental :** Du Japon jusqu'à l'Australie.
- **Océan Indien occidental :** De l'Inde jusqu'à l'Afrique du Sud.

I.6. Valeur Nutritionnelle

Sur le plan diététique, la chair de *Mugil cephalus* se distingue par une haute valeur biologique, caractérisée par un apport élevé en protéines complètes et une faible proportion d'acides gras saturés. Elle constitue une source privilégiée d'acides gras polyinsaturés de la série oméga-3, notamment l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA), reconnus pour leurs effets cardioprotecteurs et leur rôle bénéfique dans le développement neuro-cérébral. Alasalvar et al. (2002) ont démontré que cette composition lipidique est soumise à des variations saisonnières et environnementales, culminant juste avant la migration de reproduction.

En outre, Özogul et Özogul (2007) ont mis en évidence la richesse de ce poisson en acides aminés essentiels et en oligo-éléments (phosphore, fluor, sélénium, vitamines B1 et PP). Des études cliniques confirment qu'une consommation régulière (2 à 3 fois par semaine) réduit de manière significative l'incidence des pathologies cardiovasculaires ainsi que la prévalence des états dépressifs, favorisant ainsi l'équilibre homéostatique général.

I.6.1. Valeur nutritionnelle et composition biochimique de *Mugil cephalus*

I.6.1.1. Composition globale et macronutriments

Les analyses proximales du tissu musculaire de *Mugil cephalus* mettent en évidence un taux d'humidité oscillant entre 75,0 % et 78,5 %, une teneur en protéines brutes comprise entre 19,5 et

21,8 g / 100 g, et un taux de cendres stables (minéraux totaux) situé entre 1,1 et 1,4 g / 100 g (Katsikari et al., 2011 ; Özogul et al., 2012).

La fraction lipidique totale fluctue de 2,1 à 5,4 g / 100 g en fonction du cycle phénologique et du gradient de salinité de l'écosystème d'origine (Özogul et al., 2012).

L'apport énergétique moyen oscille entre 115 et 135 kcal / 100 g de muscle (FAO, 2020).

Tableau N°01 : Constantes biochimiques moyennes de la chair de *Mugil cephalus*

Paramètre (pour 100 g de chair crue)	Teneur moyenne / intervalle
Humidité	75,0 – 78,5 %
Protéines brutes	19,5 – 21,8 g
Lipides totaux	2,1 – 5,4 g
Cendres	1,1 – 1,4 g
Valeur énergétique	115 – 135 kcal

Profil en acides gras

La qualité diététique de la fraction lipidique de *Mugil cephalus* repose sur une concentration élevée en acides gras polyinsaturés (AGPI), particulièrement en acides gras de la série oméga-3 (omega-3). Les acides gras majoritaires identifiés sont l'acide eicosapentaénoïque (EPA, 20:5 omega-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6 omega-3) (Katsikari et al., 2011).

Le rapport entre les acides gras polyinsaturés et les acides gras saturés (ratio AGPI/AGS) est structurellement supérieur au seuil nutritionnel critique de 0,45, conférant à cette espèce des propriétés bénéfiques reconnues dans la prévention des pathologies cardiovasculaires et la régulation des mécanismes inflammatoires chez le consommateur (Özogul et al., 2012).

Profil en micronutriments (Minéraux et Vitamines)

En raison de son régime alimentaire détritivore et de son comportement benthique, *Mugil cephalus* accumule des concentrations notables d'oligo-éléments essentiels. Les analyses minérales mettent en évidence une richesse en potassium, phosphore, magnésium et sélénium, ce dernier intervenant comme cofacteur des systèmes enzymatiques antioxydants (FAO, 2020). Le profil vitaminique se caractérise par des teneurs significatives en vitamines du complexe B (notamment B3, B6 et B12), impliquées dans les métabolismes énergétiques cellulaires, ainsi qu'en vitamines liposolubles A et D au niveau des tissus de réserve (FAO, 2020).

Composition biochimique des gonades femelles (Boutargue)

Les ovaires matures de *Mugil cephalus* collectés en période de frai constituent la matière première exclusive pour la production de la poutargue (gonades salées et séchées).

Ce produit transformé présente une concentration en nutriments nettement supérieure au tissu musculaire, avec des taux de protéines brutes atteignant 35 % à 40 % de la matière sèche (Scano et al., 2018). La fraction lipidique y est majoritairement composée de phospholipides et d'acides gras hautement insaturés. Cependant, le procédé technologique de salage induit une augmentation majeure de la teneur en chlorure de sodium (NaCl), ce qui modifie ses propriétés diététiques par rapport à la chair fraîche (Scano et al., 2018).

I.7. Cycle de vie et reproduction de *Mugil cephalus*

Mugil cephalus possède un cycle de vie amphibiotique (catadrome), caractérisé par des migrations obligatoires entre les nourriceries côtières et les frayères marines. La reproduction se déroule exclusivement au large, en milieu marin profond, durant l'automne ou l'hiver selon le régime thermique de la région. Le frai s'effectue en bancs denses, assurant une fécondation externe synchrone. Une seule femelle peut émettre plusieurs centaines de milliers d'œufs pélagiques sphériques qui dérivent dans la colonne d'eau (Whitfield, 2012).

Développement larvaire et habitat juvénile :

Après l'éclosion, les larves planctoniques subissent une dérive passive vers le littoral. Dès qu'elles atteignent le stade post-larvaire, elles colonisent activement les zones estuariennes et lagunaires peu profondes. Ces écosystèmes d'interface agissent comme des zones de nurserie idéales, offrant une abondance de nutriments et une protection contre les prédateurs marins. Les juvéniles y accomplissent une croissance trophique de plusieurs mois avant d'entamer leurs premières migrations saisonnières (FAO, 2020).

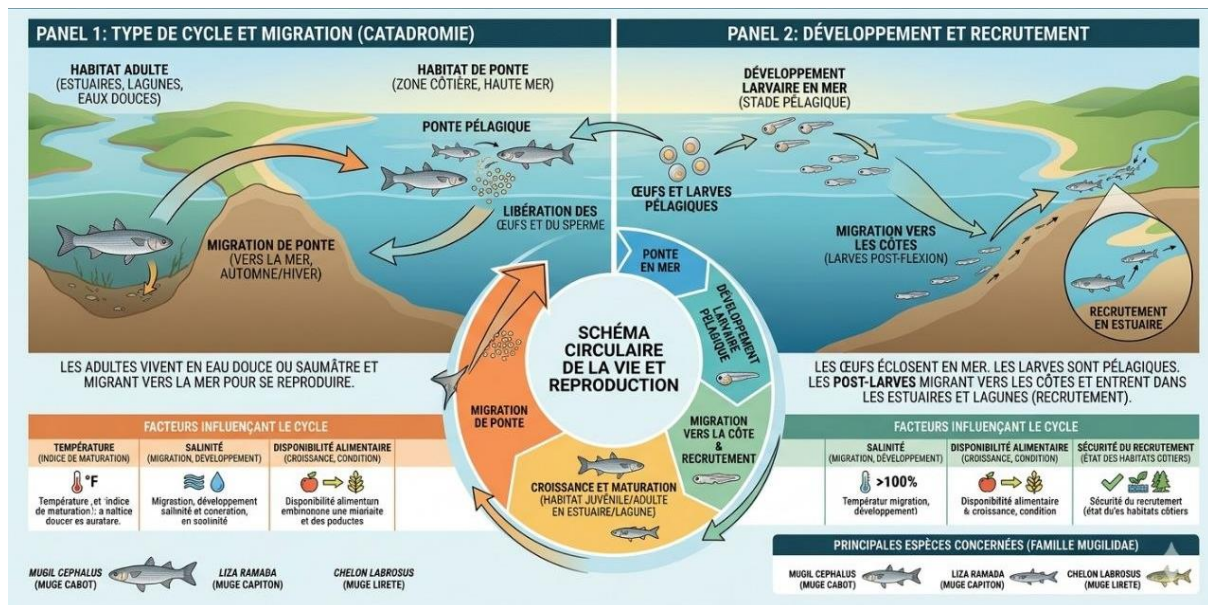


Figure 5 : Schéma circulaire de la vie et reproduction du Mulet (Djabourabbi ; 2026)

Croissance et maturité sexuelle :

La croissance est rapide durant les deux premières années. *Mugil cephalus* atteint sa maturité sexuelle entre 2 et 4 ans, selon les facteurs environnementaux locaux (température, disponibilité trophique). Sa longévité maximale en milieu naturel peut atteindre 13 à 16 ans (Mahmoud, 2018). L'obligation d'un environnement marin de haute mer pour la ponte bloque la reproduction spontanée en captivité ; l'aquaculture de cette espèce dépend donc étroitement du recours aux protocoles d'induction hormonale artificielle pour l'obtention de pontes viables en éclosion (Crosetti, 2015). Dans les lagunes littorales, la maturation ovarienne s'amorce bien avant la migration vers la mer, comme le démontre l'évolution cinétique du diamètre des ovocytes lors des phases pré-ponte (*pre-spawning*) (Soyinka, 2017).

II. Importance économique de *Mugil cephalus*

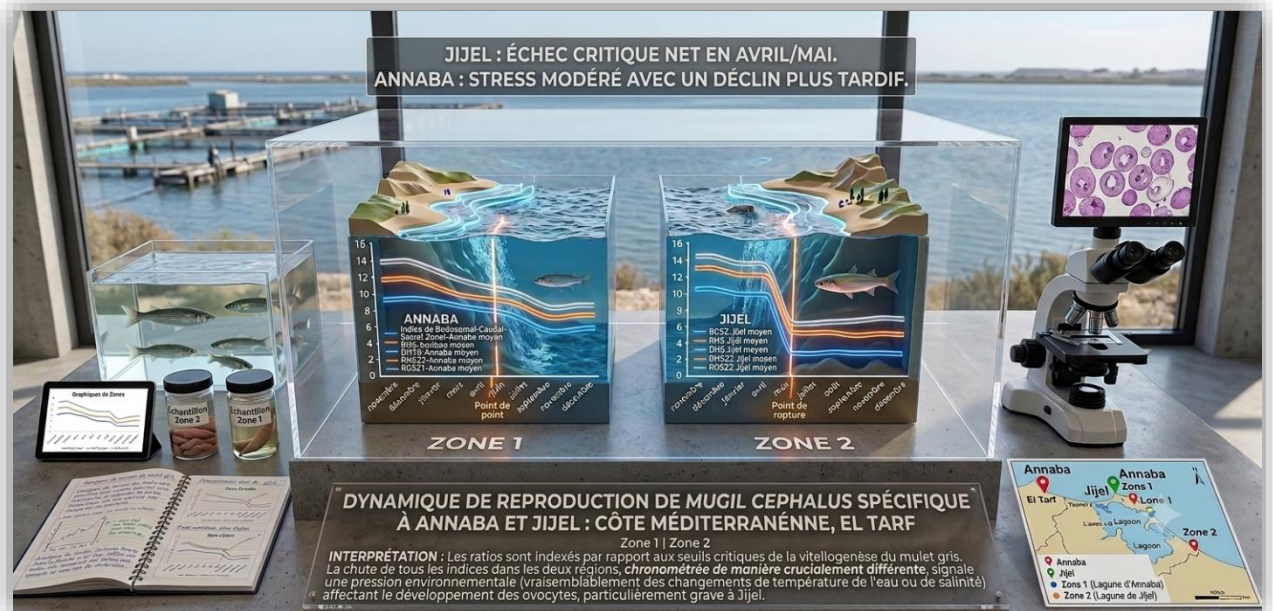
- **Ressource halieutique majeure :** *Mugil cephalus* soutient une activité de pêche artisanale et industrielle intense le long des littoraux. Sa chair, estimée pour ses qualités organoleptiques, est commercialisée sous forme fraîche, congelée, salée ou fumée (FAO, 2020).
- **Aquaculture de diversification :** Du fait de sa large tolérance environnementale, cette espèce s'intègre parfaitement dans les structures d'aquaculture multi-trophique intégrée (AMTI) ou en polyculture, où son comportement détritivore permet de recycler la matière organique sédimentaire et de limiter l'eutrophisation des bassins (Whitfield, 2012).
- **Produit à haute valeur ajoutée (La Boutargue) :** Les gonades femelles matures, soumises à un procédé de salage et de séchage, fournissent la poutargue (ou "boutargue"), un produit de luxe ("Or rouge de la Méditerranée") faisant l'objet d'un commerce international hautement lucratif (Froese, 2024).
- **Rôle écologique et durabilité :** En tant que maillon clé du réseau trophique benthique, le mulot cabot participe activement à la bioturbation et au maintien de l'équilibre sanitaire des lagunes côtières. Sa sensibilité aux polluants anthropiques en fait un excellent bioindicateur de la santé des écosystèmes (Whitfield, 2012).

Dans une optique d'économie circulaire et de valorisation intégrale de la ressource, les co-produits de l'usinage du mulot (peaux, viscères) sont transformés en farines de poisson de haute qualité et en huiles riches en acides gras polyinsaturés, tandis que l'industrie cosmétique extrait le collagène de ses tissus (Rincón, 2022). Pour les communautés côtières des pays en développement, la pêche de ce mugilidé représente un pilier socio-économique vital, garantissant la sécurité alimentaire locale et générant de nombreux emplois directs et indirects (FAO, 2022).

Par ailleurs, les flux d'exportation de *Mugil cephalus* (frais ou transformé) vers les marchés européens, asiatiques et américains renforcent significativement la compétitivité économique des filières halieutiques littorales (Subasinghe, 2020).

Enfin, son introduction dans les schémas de diversification aquacole s'avère stratégique : son régime alimentaire bas dans la chaîne trophique supprime la dépendance aux farines de poisson onéreuses requises pour les espèces carnivores, optimisant ainsi la rentabilité financière et la durabilité environnementale des exploitations (Biswas, 2012).

Partie Expérimentale



1- Objectifs

Classez le *Mugil Cephalus* selon :

- La fréquence de la taille (Lt) à 0,1 cm, (Lfc), (Lst).
- La fréquence de poids (Pt) à 0,1 g, (pe), (pg), (Pf).

Calcul du rapport gonadosomatique (RGS)

Calcul du rapport hépato somatique (RHS)

Adiposité ou graisses mésentériques Coefficient de condition K ou indice pondéral Détermination de la taille à la première maturité sexuelle.

Etude histologique des gonades chez le *Mugil cephalus* (d'après Martoja et Martoja – Pierson ; Gabe, 1968).

Analyses statistiques univariées et bivariées (modélisation).

2- Présentation de la zone d'étude

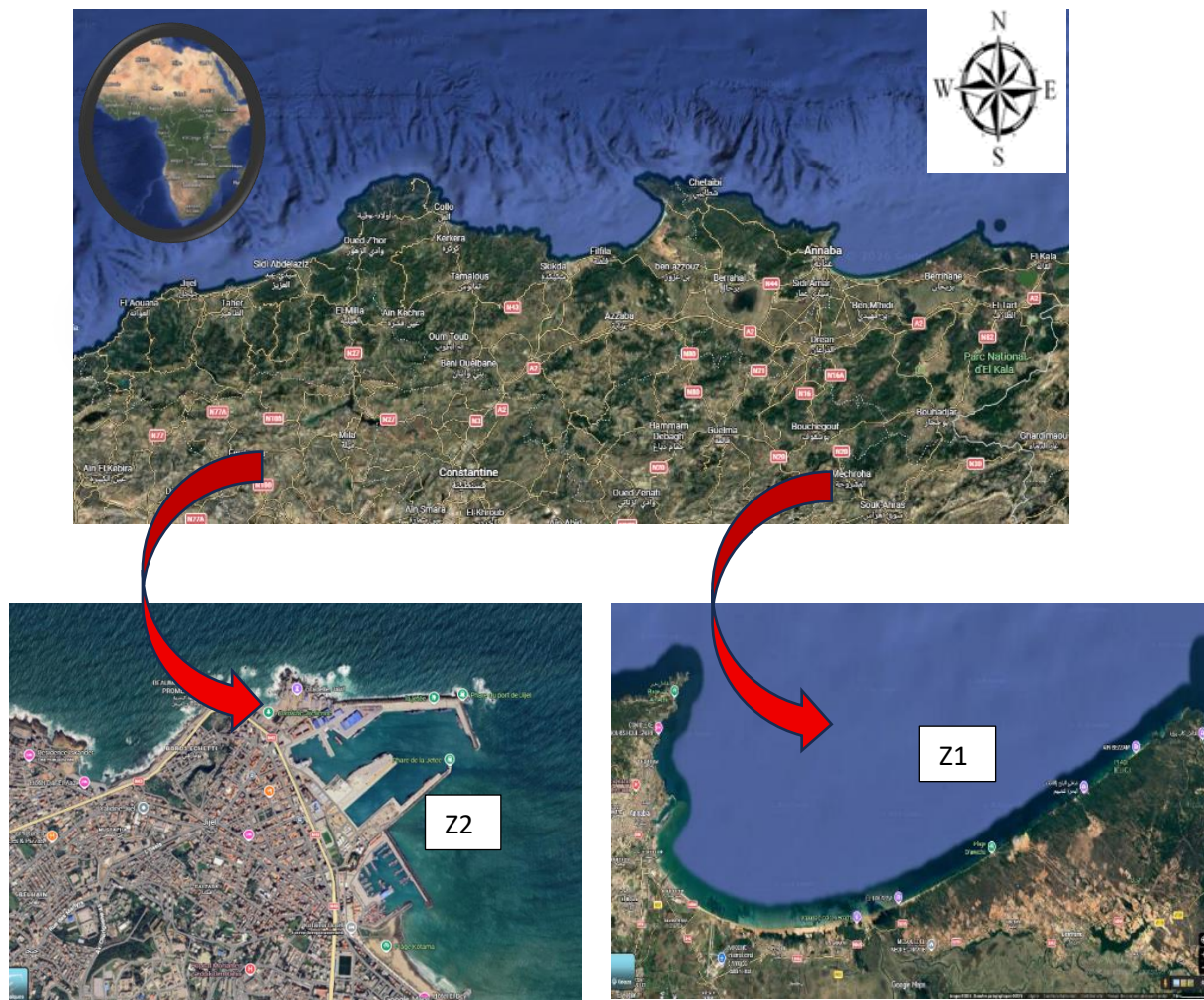


Figure 6 : Carte géographique des zones de prélèvements au niveau des wilayas Annaba et Jijel.

3. Matériels et méthodes.

3.1 Matériels

3.1.1. Matériel biologique

La matière biologique : On a choisi comme espèce le *Mugil cephalus*, l'affinité de ce choix réside dans le fait que cette espèce est largement consommée au niveau local qu'international, l'aquaculture du mullet est devenue une priorité nationale par le Ministère de la pêche (MPRH, 2023). Des spécimens de *Mugil cephalus*, collectés durant la période allons de Novembre 2024 à Octobre 2025, ces poissons ont été prélevés mensuellement et de façon aléatoire. Les poissons ont été pêchés à l'aide de filets artisanaux, puis transportés dans des glacières vers le laboratoire pour les analyses. Plusieurs mensurations et pesées sont effectuées sur ces individus de poissons ont fait l'objet de l'étude histologique de leurs gonades.



Figure 7 : spécimen de *Mugil cephalus* (Djabourabbi, 2025)

3.1.2. Matériel de laboratoire

a. Pour la morphométrie :

- Ichtyo mètre
- Balance précision
- Binoculaire
- Mètre ruban
- Bouin ou formol 10 %
- Thermomètre et système de congélation (-20°C)
- Glacières pour le transport des échantillons

b. Pour le suivi microscopique de la maturité sexuelle

- Tube
- Etiquette

- Bouin (conservation)
- L'huile à immersion
- Colorants
- Eosine
- Microtome
- Paraffine
- Lame
- Lamelle
- Hématoxyline
- Microscope optique muni d'appareil photo numérique

3.2. Méthodes

3.2.1 Méthode morphométrique

La longueur totale du poisson est considérée à partir de la partie la plus antérieure de la tête jusqu'au bout des plus longs rayons de la nageoire caudale dans une position naturelle comme le proposent Anderson et Weithman (1978), Anderson (1980) et Gabelhouse (1983).

Cette taille ou longueur totale (Lt) est mesurée au millimètre près à l'aide d'un pied à coulisse numérique (Figure 08).

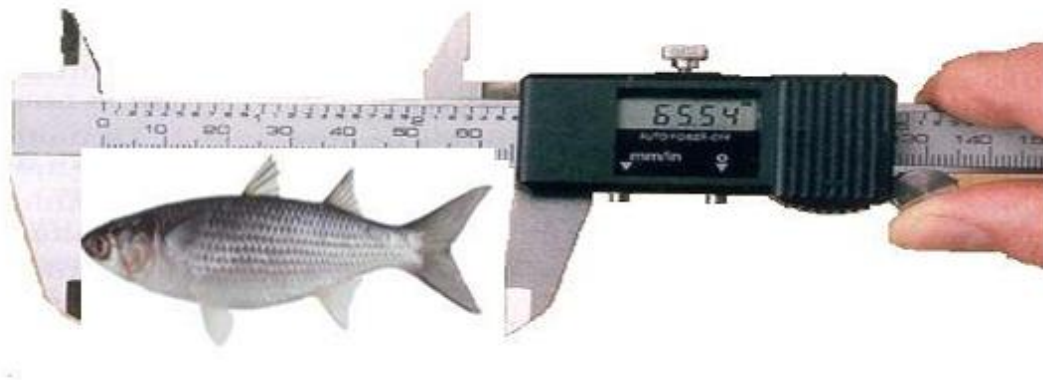


Figure 8 : Pied à coulisse numérique utilisé dans la lecture des longueurs sur le Mugil cephalus.

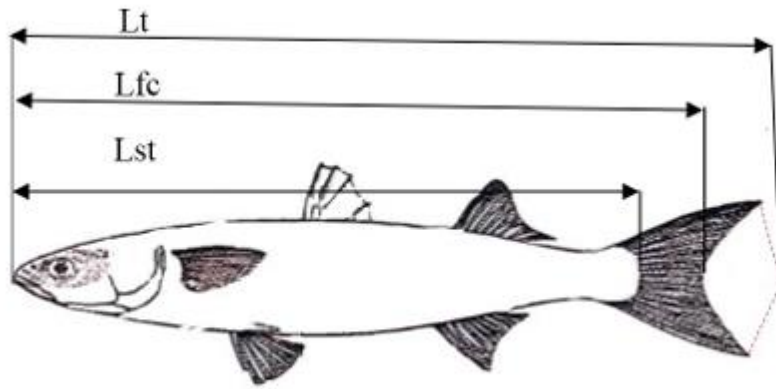


Figure 9 : Mensurations de référence effectuées chez *Mugil Cephalus*

(Lt = longueur totale, Lfc = longueur à la fourche, Lst = longueur standard).

La pesée est effectuée au gramme près en utilisant une balance électronique de précision (0,001g) pour avoir le poids total du poisson (Pt) naturellement plein contenant l'ensemble des viscères, puis le poids du poisson éviscéré (Pe) après dissection et prélèvement des organes internes. Les organes prélevés, gonades et foie, sont également pesés au milligramme près (Pg et Pf respectivement) à l'aide d'une balance électronique de précision. Nous avons effectué plusieurs types de mesures schématisés dans la Figure 9.



Figure 10 : Pesée d'un spécimen de mullet (*Mugil cephalus*) à l'aide d'une balance électronique de précision

3.2.2 Méthode de dissection et prélèvement des organes.

La dissection est pratiquée aux ciseaux fins par une incision médiane longitudinale de l'abdomen, s'étendant de la papille uro-génitale à quelques millimètres en avant vers les flancs selon la méthode préconisée par Roberts en 1979.

Pour les petits spécimens, il est plus pratique, en plus, de découper un volet qui remonte à partir de l'anus vers la ligne latérale, puis qui s'oriente parallèlement à cette dernière en direction de la tête et de couper ensuite le volet à la hauteur des nageoires pectorales.

Dès que la cavité générale est ouverte, les gonades et le foie sont prélevés en utilisant une paire de pinces et un scalpel stérile.

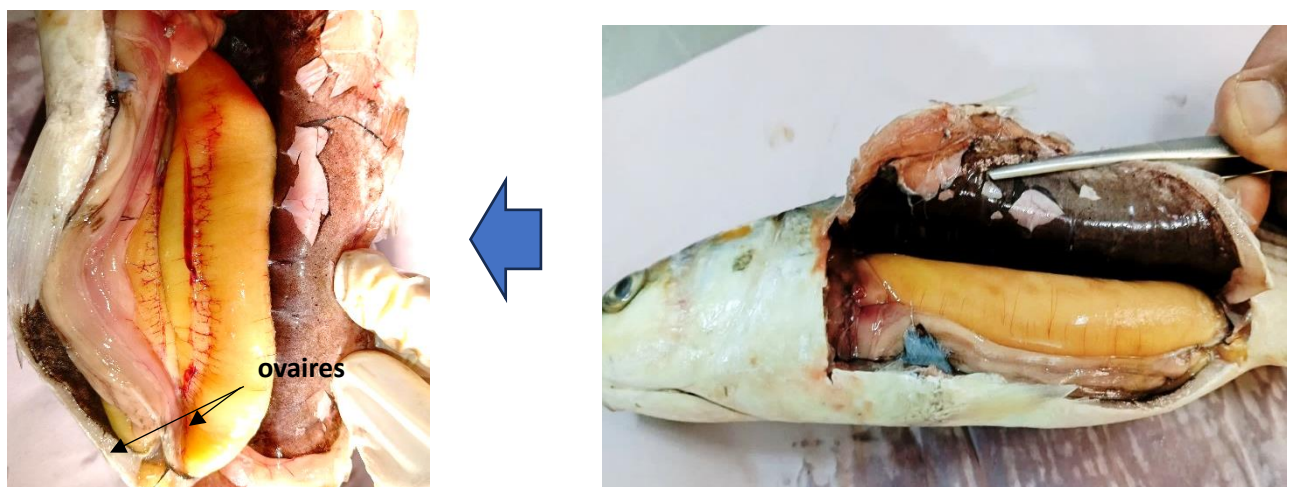


Figure 11 : Méthode de dissection et prélèvement des organes.

Il est essentiel de manipuler les instruments avec prudence en prenant la précaution d'éviter la perforation des viscères, vessie natatoire ou vaisseaux hépatiques afin de préserver les organes prélevés intacts. Ensuite ces organes sont pesés et destinés vers les observations macroscopiques et l'étude histologique des gonades ainsi que le calcul des rapports gonado hépato -somatique, l'adiposité et enfin le coefficient de condition (K).

3.2.3 Méthode de calcul du Rapport Gonado Somatique (RGS) : Les gonades mâles et les gonades femelles ne se distinguent qu'à partir d'une certaine taille et la dissection de la région abdominale est nécessaire.

Les rapports gonado somatique est calculé de la manière Suivante

$$RGS = \frac{POIDS\ DES\ GONADES}{POIDS\ TOTAL} \times 100$$

Ce rapport a été calculé chez chaque individu mâle ou femelle.

3.2.4 Méthode de calcul du Rapport Hépat Somatique (RHS) :

$$RHS = \frac{POIDS\ DU\ FOIS}{POIDS\ TOTAL} \times 100$$

Méthode de calcul de l'adiposité ou graisses mésentériques L'adiposité désigne l'accumulation de tissu graisseux dans une partie localisée de l'organisme (muscles, viscères). Son évolution chez les Ostéichthyens permet de comprendre la contribution des graisses mésentériques dans les processus de transfert d'énergie destinée à la production de gamètes.

Chez les Mugilidae, la teneur en lipides est faible et constante dans les muscles, ses variations les plus importantes se situent au niveau du mésentère et constituent l'adiposité (BARNABE, 1976).

Durant un cycle annuel, nous avons suivi cette adiposité, appréciée à l'œil nu en s'inspirant de l'échelle empirique à 4 niveaux de NIKOLSKI (1963) :

- **Unité 0** : Absence de tissus graisseux mésentériques.
- **Unité 1** : Présence de minces cordons graisseux adhérant l'anse intestinale.
- **Unité 2** : Développement des graisses mais l'intestin reste toutefois visible.
- **Unité 3** : Le tissu graisseux devient épais et dissimule complètement l'intestin.

3.2.5 Méthode de calcul du coefficient de condition ou indice pondéral Pour compléter l'étude de la reproduction, nous avons suivi les variations du coefficient de condition "K" de la population totale au cours d'un cycle annuel.

Ce coefficient permet d'apprécier l'état pondéral relatif des poissons et la vitesse de croissance. Il peut varier en fonction des saisons, de la taille, de l'âge, de l'état de maturation des gonades et de l'adiposité.

Compte tenu du caractère isométrique ($b = 3$) de la relation taille-poids, le coefficient composite de FULTON (1911) est utilisé pour exprimer la condition des poissons :

$$K = \frac{a \cdot Lt^b}{Lt^3} \times 100$$

L t: longueur totale.

Pt : poids total.

b : coefficient d'allométrie.

Lorsque le coefficient d'allométrie b n'est pas significativement différent de 3, K reflète uniquement l'influence des conditions écologiques (température, nourriture) et physiologiques (état d'engraissement, maturité sexuelle) ou strictement ontogénique et exclue l'effet de l'allométrie de croissance.

Ainsi, dans notre cas et vu le type de croissance relative obtenu, nous avons utilisé le coefficient d'allométrie déterminé mensuellement pour exprimer ses valeurs mensuelles et le coefficient d'allométrie global afin d'étudier ses fluctuations en fonction de la taille.

Par conséquent, la formule de K devient :

$$K = pt \frac{Lt^b}{Lt^3} \times 100$$

3.2.6 Méthode de suivi de la reproduction

A-Méthode d'examen macroscopique des gonades :

(Stade de maturité sexuelle) Les gonades extraites et pesées, font l'objet d'une observation de leur aspect général à l'aide d'une loupe binoculaire (Zeiss), dans le but de déterminer la morphologie et de classer les gonades par stades macroscopiques de maturité sexuelle.

1- Identification des gonades :

Pour une identification des différents états sexuels nous avons minimisé l'erreur d'interprétation en nous référant, comme le préconisent Albaret (1977) et Kartas et Quignard (1984), à la forme des gonades, leur coloration, leur volume, la vascularisation superficielle et le degré de transparence des leurs parois.

Les différentes phases de maturation sexuelle des gonades observées ont été photographiées (Canon® numérique).

2- Détermination des stades de développement et maturation sexuelle des gonades :

Le développement des gonades est caractérisé par des phases de maturité sexuelle. En se basant sur les tailles des poissons, nous avons établi 6 stades de maturation des gonades en nous référant à leur aspect macroscopique et leur structure histologique.

Suivre le développement, aborder l'étude de leur évolution observer la maturation.

L'examen des stades de maturation des gonades après détermination du sexe (selon J. Brusle 1981, Albart & Legendre, El Housni 1988.)

Stade 1 : Les testicules et les ovaires sont très fins et mesurent quelques millimètres de large. Ils sont transparents et disposés en forme de V dont la pointe se situe à l'extrémité postérieure de la cavité générale.

Stade 2 : Les gonades mâles et femelles se présentent sous forme de fins filaments blanchâtres.

Chacune est longée par un fin vaisseau sanguin nettement visible La gonade ne dépasse pas le quart antérieur de la cavité abdominale.

Stade 3 : C'est à partir de ce stade que l'on peut aisément faire la distinction, à l'œil nu, entre les gonades mâles et femelles.

Les testicules sont blancs à section aplatie et les ovaires ont une couleur rose clair à section ovale, les ovocytes ne sont pas encore visibles à l'œil nu.

Stade 4 : C'est la puberté, les gonades sont bien développées et occupent généralement une grande partie de la cavité abdominale.

Stade 5 : Les gonades remplissent la majeure partie de la cavité générale. La moindre pression sur l'abdomen fait écouler la laitance chez les mâles et les ovocytes chez les femelles.

Stade 6 : Ce stade suit la ponte, les gonades vides deviennent flasques. Après ce stade, les gonades reviennent au stade 4.

Pour définir la période de reproduction, nous avons suivi mensuellement l'évolution du rapport gonado somatique.

b- Méthode histologique L'examen microscopique est réalisé suite à l'étude histologique de l'ensemble des gonades prélevées.

Le prélèvement des gonades a été effectué sur des poissons qui viennent juste d'être sacrifié. Une fixation correcte et le choix du fixateur utilisé sont d'une importance capitale pour une préparation histologique, car une erreur à ce niveau ne peut être remédiée tardivement (Culing, 1963 ; Roberts, 1979).

Ainsi, dès que la dissection est pratiquée sur les spécimens fraîchement pêchés et sacrifiés par asphyxie, les gonades sont aussitôt prélevées, pesées et photographiées pour être directement fixées.

La fixation des fragments prélevés est primordiale dans la réussite des préparations histologiques et empêche la dénaturation des tissus ou encore la formation des protéines trophiques.

1. Technique des préparations histologiques.

En raison du grand nombre de prélèvement à préparer, 3600 fragments et observations, le choix s'est porté sur un traitement automatique, utilisant le "Tissue-Tek II" pour ce qu'il présente comme avantages concernant la réduction quantitative de la consommation des produits utilisés et le temps de pratique considérablement raccourci. Néanmoins les étapes techniques suivies restent basiques telles que décrites par Martoja et Martoja (1967) et correspondant aussi à la description des préparations histologiques des tissus des poissons par Wood et Yasutake (1955).

2. Fixation des pièces.

La fixation est réalisée par le liquide de Bouin aqueux, en raison de sa pénétration rapide dans les tissus des poissons et ses effets minimes de resserrement ou de distorsion de la pièce (Bailey et al, 1942 ; Baker, 1966).

Chaque gonade prélevée est plongée dans un volume de fixateur d'environ 20 fois son volume (Colombo et Grandi, 1996).

Au bout de 48 h de fixation, les gonades sont posées sur un plateau de liège et un fragment de 15 mm de long est coupé transversalement, à l'aide d'un bistouri, dans la région médiane, perpendiculairement au grand axe de la gonade (Figure 11).

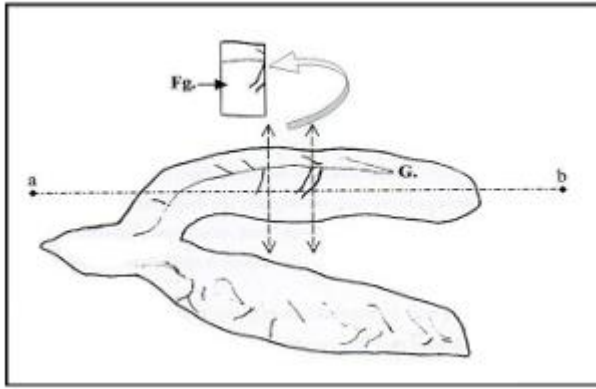


Figure 12 : Prélèvement d'un fragment (Fg.) de la gonade (G.) pour des préparations histologiques.
a b: le grand axe de la gonade, incisions transversales.

3. Déshydratation des pièces.

La procédure du traitement des préparations histologiques est réalisée par un appareil automatique appelé Automate Tissue-Tek Tissue Processor, utilisant le principe de rotation, les tissus constamment agités passent automatiquement dans les différents bacs de réactifs durant 24 h.

Le matériel biologique fixé doit être mis en blocs avant d'être débité en coupes fines et examiné au microscope. Il a en outre besoin d'être infiltré de paraffine, milieu qui lui donne assez de densité (Steedman, 1960), après déshydratation des tissus en les exposants à des niveaux ascendants d'alcool.

Les pièces prélevées et fixées subissent ainsi une déshydratation par leur passage dans des bains de 2h d'alcool à degrés ascendants (40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100°).

4. Eclaircissement, imprégnation et inclusion des pièces.

Etant donné que l'alcool n'est pas miscible à la paraffine, nous avons soumis les tissus à un agent intermédiaire, le xylol, à raison de 3 bains de 6h.

Ce produit d'éclaircissement est généralement préféré pour son action rapide qui rend le bloc parfaitement transparent (Headden et Me Williams, 1968; Bucke, 1972). Les prélèvements sont ensuite imprégnés dans 2 bains de 4h de paraffine fluide pour permettre son infiltration dans les tissus traités.

L'inclusion des pièces est réalisée par leur enrobage dans de la paraffine, en utilisant des moules appropriés pour fabriquer des blocs de paraffine référencés, renfermant les pièces de tissu à couper.

- Confection des coupes et étalement des pièces.

Des coupes semi-fines de 5 µm d'épaisseur sont exécutées avec un microtome rotatif (As 500 Semi-thin Microtome), à partir des blocs de pièces précédemment préparés.

Les coupes obtenues sont étalées sur un film d'eau albumineuse glycinée déposé sur des lames de verres propres et référencées (Figure 3).

- Réhydratation et coloration des pièces.

Les pièces étalées sur les lames subissent une réhydratation de leurs tissus en les passant successivement par des bains d'alcool à degrés descendants (100, 80, et 50°) et des bains de rinçages à l'eau courante.

La coloration des coupes est faite par l'**Hématoxyline et Eosine**

La coloration de base fréquemment utilisée pour l'étude des gonades (Disbrey et Rack, 1970; Colombo et Grandi, 1996; Coward et Bromage, 1998) (Figure 36).

L'identification des différents éléments cellulaires est facilitée par l'action de cette combinaison **des 2 colorants** :

L'Hématoxyline colore les noyaux et les éléments basophiles en bleu.

L'Eosine colore le cytoplasme et les éléments acidophiles en rose à rouge.

Après montage entre lames et lamelles dans du baume de Canada, les coupes différenciées sont prêtes pour une observation microscopique en utilisant une photo microscope (Zeiss). L'oculaire de celui-ci est muni d'une lentille micrométrique pour préciser la taille de la section transversale des gonades et mesurer les différents éléments cellulaires observés.

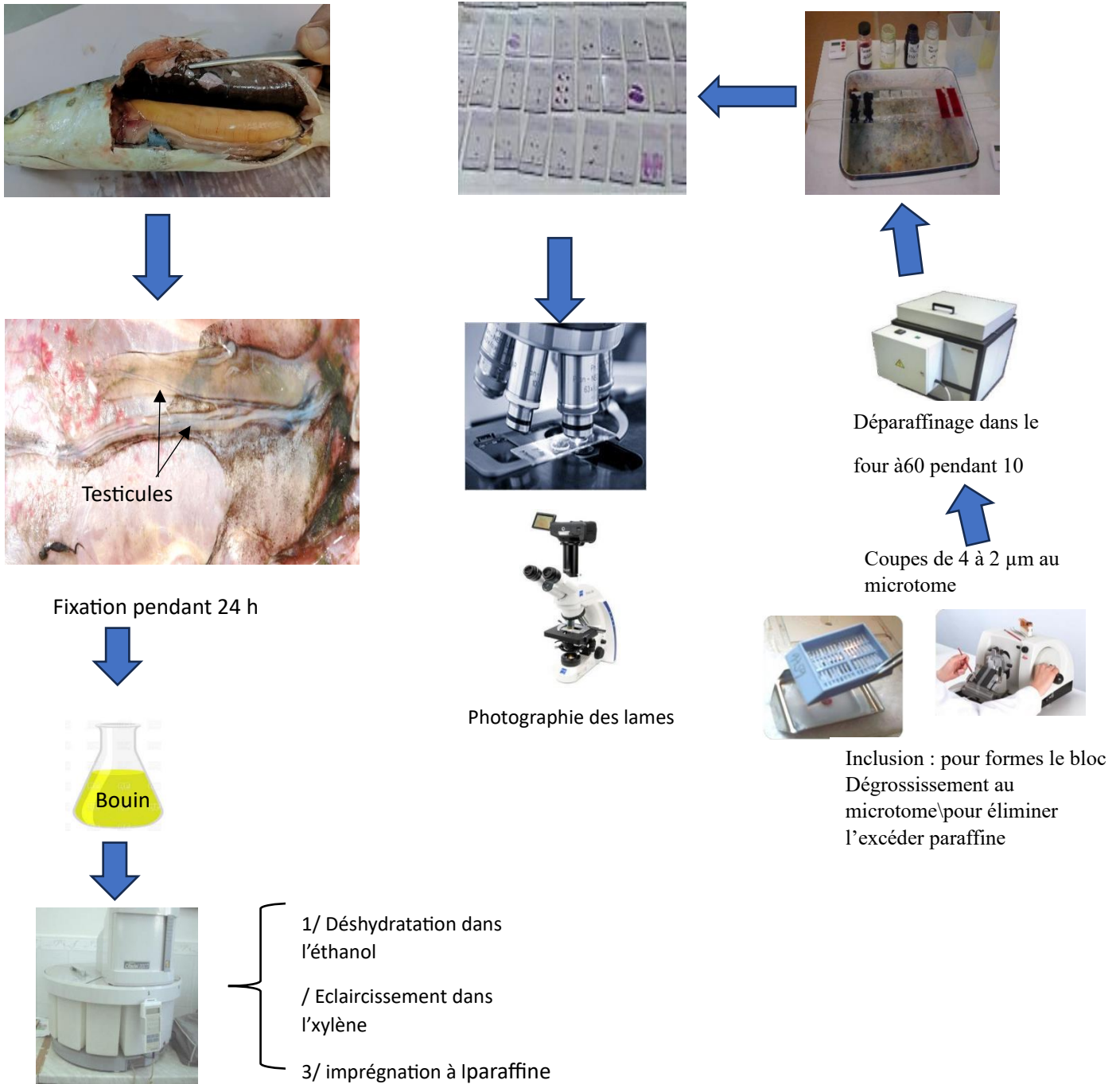


Figure 13 : Schéma général du protocole de la méthode histologique (LHPA,2026)

3.2.7 Méthode d'analyses statistiques

3.2.7.1. Méthode d'analyse Description des données

3.2.7.2. Méthode d'analyse de la variance ANOVA et test de Tukey

On compare la valeur F calculée à une valeur critique issue de la table de Fisher (ou, plus couramment, vous regardez la **valeur de la probabilité calculé P**) :

- Si **p-value** $\leq 0,05$ (seuil de signification classique) : Vous rejetez l'hypothèse H_0 . Il existe une différence significative. On marque avec *, si p-value $\leq 0,01$: il existe des différences hautement significatives et on marque avec **, p-value $\leq 0,001$ il existe des différences très hautement significatives et on marque avec ***
- Si **p-value** $\geq 0,05$: Vous ne pouvez pas rejeter H_0
- Suivi par le calcul **du test de Tukey** pour rechercher les groupes de longueurs et poids homogènes au niveau des deux zones d'étude Annaba et Jijel.

Ce test a été utilisé pour comparer :

Entre les 12 mois, par zone et pour chaque variable morphométrique

Entre les 2 zones, pour chaque mois et pour chaque variable

Entre les 2 zones, pour l'ensemble des 12 mois et ceci pour chaque variable

Dans ce cas également tous les calculs ont été réalisés avec le logiciel MINITAB (V 17).

4. Résultats

4.1 Résultats de la Description des données

Pour connaître la distribution et la variabilité de nos échantillons de 200 poissons, nous avons retenu le nombre des spécimens de sexe mâle, femelle, leur longueur totale (Lt), leur poids total (Pt), leur poids éviscéré (Pe), le poids des gonades (Pg) et le poids du foie (Pf).

Les Paramètres statistiques de description de la distribution des échantillons. Les variables : n : effectif total, Nb : nombre, \bar{x} : moyenne arithmétique, s : écart-type, X_{\min} : valeurs minimales, x_{\max} : valeurs maximales.(voir Annexe 1).

4.2. Résultats du calcul du rapport gonado- somatique, Hépatosomatique et K : (Novembre 2024-Décembre 2025) pour la zone de Annaba.

L'examen des variations mensuelles du rapport gonado-somatique (**Figure 14**) montre que ces valeurs sont nettement supérieures chez les femelles que chez les mâles. Cet écart s'accroît en période de reproduction.

Quel que soit le sexe considéré, le RGS est faible du mois de Février à Juin

2010 ($0,5 \pm 0,4$ à $0,8 \pm 0,2$ % chez les mâles ; $1 \pm 0,2$ à $1,7 \pm 0,1$ % chez les femelles). Du mois de Juillet 2010, une légère inflexion traduite par une augmentation du poids des gonades. Du mois d'Août à Octobre, le développement pondéral gonadique atteint son apogée, puis le RGS baisse de façon très significative des mois de Novembre 2010- Mars 2011 ($0,4\%$ jusqu'à $3\% \pm 0,1$).

Les testicules sont au maximum de leur développement en Octobre (mâles : 6 %) ; tandis qu'elle varie du mois de Juillet à Octobre pour les ovaires, les valeurs enregistrées sont de 6.4 %. Un effondrement du RGS est observé des mois de Novembre 2010 à Mars 2011. Le RGS des mâles suit une évolution cyclique analogue à celle des femelles.

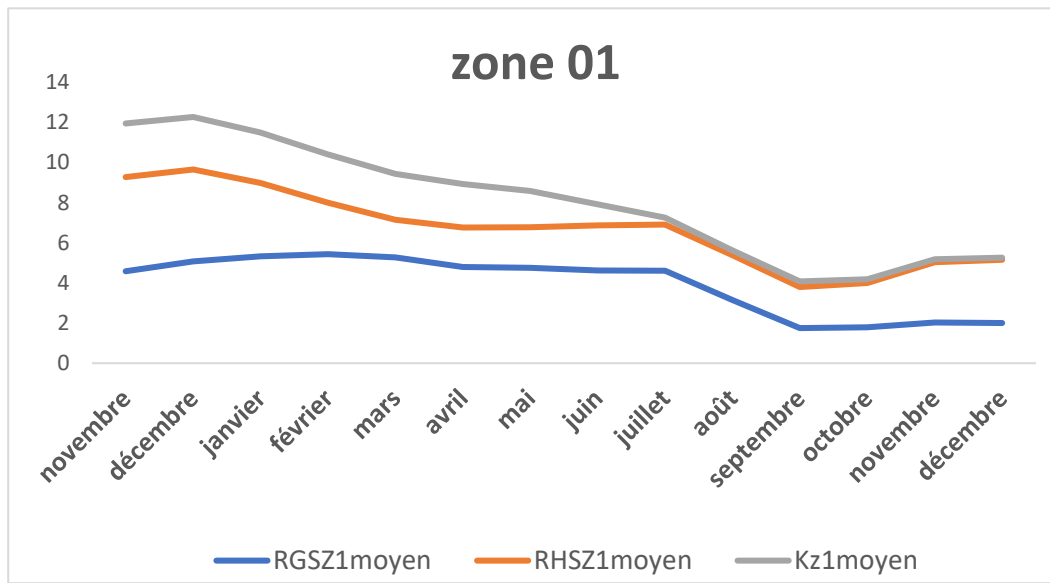


Figure 14 : Évolution mensuelle du RGS, chez les mâles les femelles de *Mugil cephalus* du golfe d'Annaba.

Les valeurs moyennes mensuelles du rapport hépato- somatique montrent des fluctuations sensibles liées au cycle reproducteur de l'espèce (**Figure 14**).

- ✓ **Le Phénomène :** De novembre à avril, les trois indices sont très élevés et stables (RGS ≈ 10 , RHS ≈ 13 , K ≈ 13). Cela montre une phase d'engraissement et de préparation à la reproduction hivernale/printanière optimale.
- ✓ **La Rupture :** Entre avril et mai, on observe une **chute brutale et simultanée** de tous les indices (le RGS s'effondre de 10 à moins de 3 ; le RHS et K passent de 13 à environ 6).
- ✓ Ce profil est typique d'une **perte massive et synchrone**. En aquaculture extensive ou en milieu naturel, cela correspond soit à une ponte totale (vidage des gonades et épuisement des réserves), soit — et c'est le risque majeur à cette période en Méditerranée — à un

stress environnemental aigu (pic thermique précoce ou choc de salinité) ayant induit une atresie folliculaire (avortement de la reproduction et résorption des œufs).

4.3 Résultats du calcul du rapport gonado- somatique, Hépatosomatique et K : (Novembre 2024-Décembre 2025) pour la zone de Jijel.

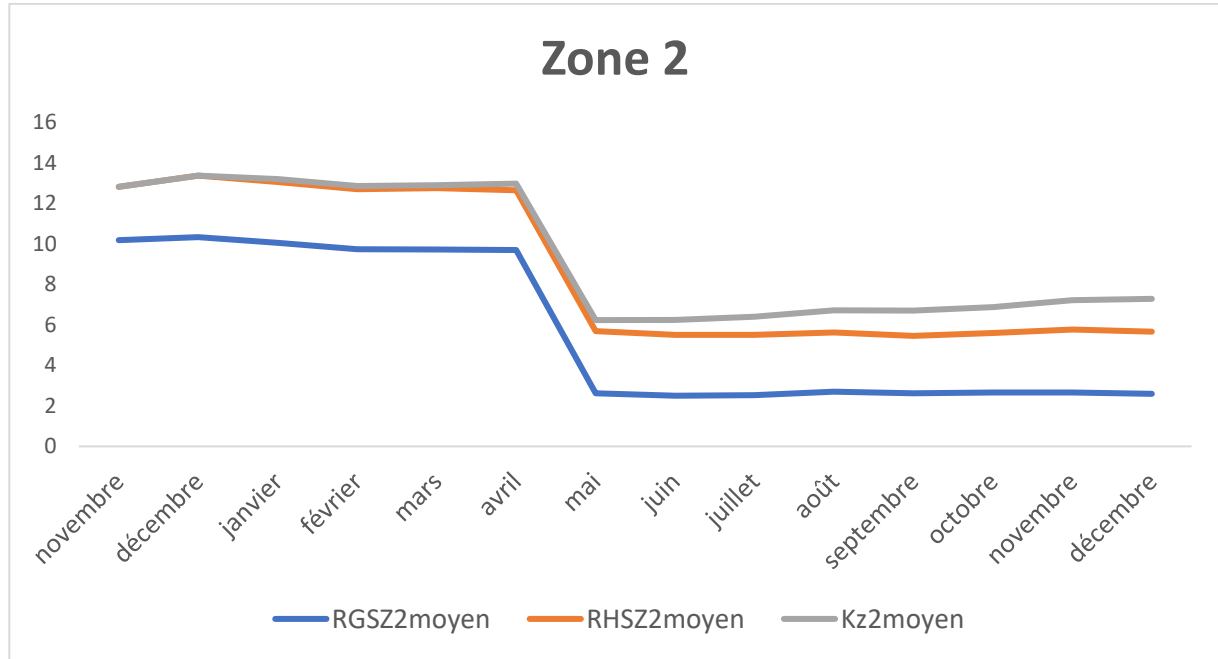


Figure 15 : Évolution mensuelle du RHS, chez les mâles et les femelles de *Mugil cephalus* du Golfe d'Annaba

- ✓ **Le Phénomène :** Le profil est beaucoup plus lissé. Le déclin du RHS et de K commence dès le mois de décembre/janvier (traduisant une utilisation progressive des réserves hépatiques pour maintenir la maturité), tandis que le RGS reste stable autour de 5 jusqu'en juillet. La chute finale n'intervient qu'en août/septembre.
- ✓ **Interprétation Biologique :** À Annaba, les conditions environnementales semblent plus stables ou tamponnées (effet lagunaire potentiel). Les poissons gèrent leurs réserves de manière étalée dans le temps. La ponte ou la régression gonadique est plus tardive (fin de l'été), ce qui correspond mieux aux cycles classiques de certaines populations de *Mugil cephalus* en Méditerranée du Sud, qui attendent les stimuli thermiques ou halins de l'automne pour migrer et pondre.

4.4 Résultats Macroscopiques des gonades.

Les glandes sexuelles chez le *M. cephalus* sont paires occupant la partie dorsale de la cavité générale au-dessous des viscères. Ces gonades se présentent, indépendamment du sexe qu'elles représentent, sous forme de 2 tubes allongés selon le grand axe du corps du poisson, suspendus contre la paroi abdominale par des filaments d'attache en ligaments fibro-conjonctifs.

Deux courts gonoducte prolongent les gonades (droite et gauche) à la partie postérieure, ils s'unissent pour former un tube unique court juste avant la papille génitale qui servira à expulser les cellules génitales vers l'extérieur à la maturité sexuelle. Les gonades mâles, formées uniquement de tissu testiculaire, se présentent sous une forme cylindrique lorsqu'elles sont dans un état immature ou en phase de repos sexuel et deviennent plus volumineuses aplaties surtout dans la région antérieure en phase de maturation sexuelle (**Figure 16**).

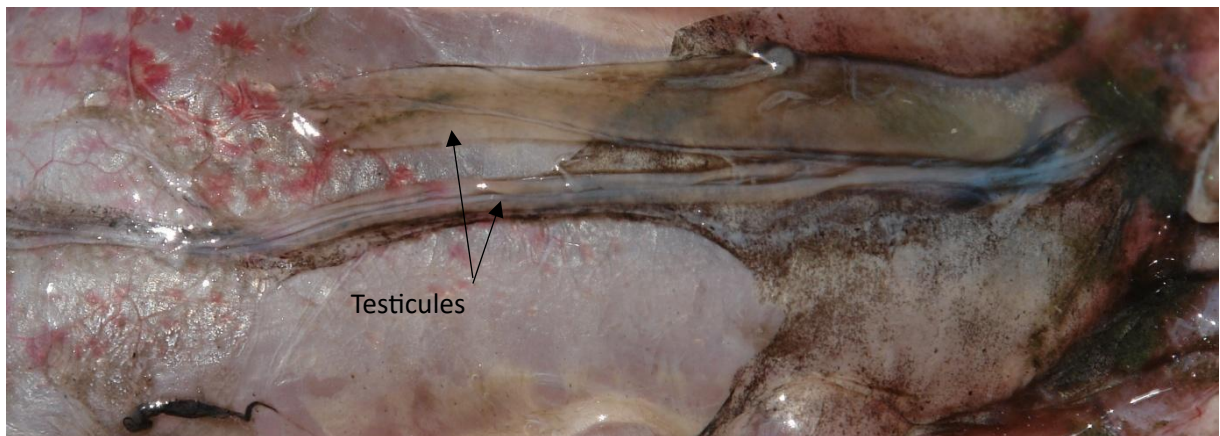


Figure 16 : Morphologie de gonade male au stade d'individus immature (x4) (Lt=120mm).

A ce niveau nous observons quelques échancrures donnant à l'organe diverses formes irrégulières, La couleur des testicules varie, selon le degré de maturation, du gris rosé à blanc à la maturité, laiteuse en période d'émission, La vascularisation superficielle forme un réseau de fins capillaires sanguins et devient plus apparente au début et à la fin de la période de la maturation sexuelle.

Les gonades femelles, formées uniquement de tissu ovarien (**Figure 17**), sont grossièrement cylindriques sur toute leur longueur et sont traversées par une vascularisation développée.

Leur surface devient bosselée en période de reproduction par la présence de plus en plus d'ovocytes mûrs volumineux qui apparaissent sous forme de granulation à travers la paroi translucide des gonades.

Leur couleur varie du rose à orange en passant par le jaune suivant leur évolution sexuelle.

Nous avons remarqué que la taille des ovaires est nettement plus importante que celle des testicules.

Les ovaires atteignent, lors de la maturité sexuelle des diamètres d'une moyenne de 25 mm, alors que les testicules en maturité sexuelle ne dépassent pas des diamètres d'une moyenne de 24 mm. Lors de la période de maturation sexuelle, la partie sexuelle fonctionnelle (testicule ou ovaire) évolue en augmentant de volume, suivant des modifications et des développements structurels cellulaires qu'elle renferme. Toutefois, il est évident que les poissons de petites tailles possèdent des gonades plus petites que celles des poissons de tailles supérieures.

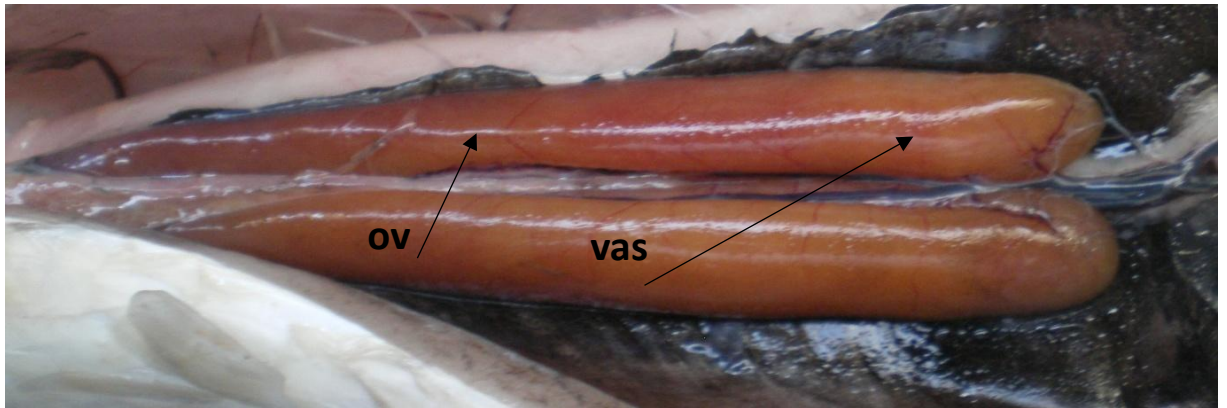
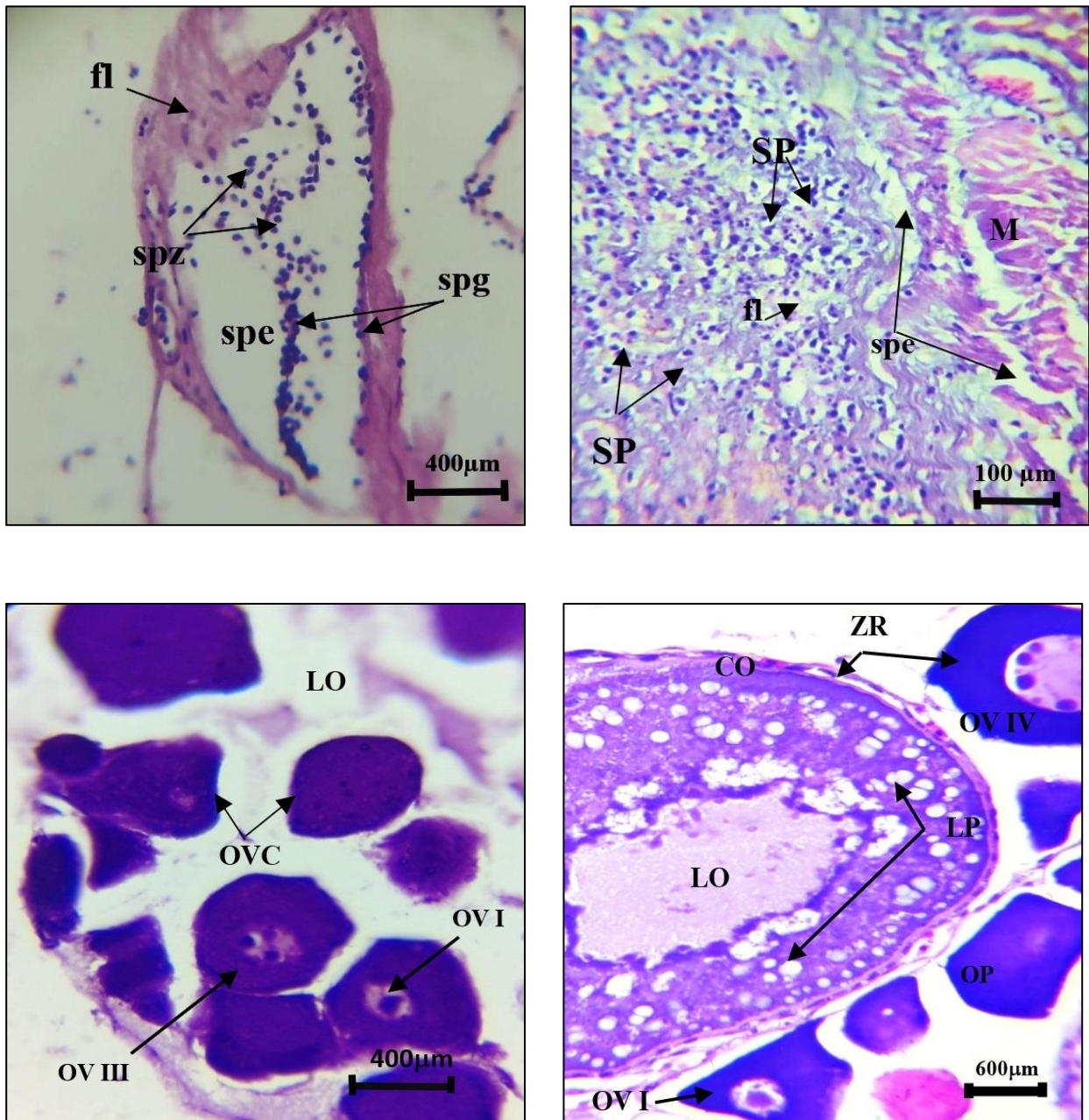


Figure 17 : Morphologie de gonade femelle en période de ponte (X 2.5) chez *Mugil cephalus* (Lt=480mm). O : ovaire, Vas : vascularisation.

4.5 Résultats Microscopique et histologique des gonades



SP=Spermatocytes ; fl = Lumière du tubule ; spe=Épithélium spermatique ; M = Matrice tissulaire interstitielle, OV I=Ovocyte stade I; OV III = Ovocyte stade III ; OVC = Ovocyte Chromatinique ; MR=Résorption Massive

Figure 18 : Coupes histologique des gonades mâle et femelle du *Mugil cephalus* (Djabourabbi, 2026)

4.6- Résultats statistique et analyse des données par la méthode ANOVA

4.6.1- Résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) au niveau de la zone de Annaba

Tableau 2 : représente les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification de la comparaison entre les différentes variables de **longueurs** au niveau de la zone de Annaba (Z1).

Variabes	ddl	CM	F_{obs}	P_{rob}
Longueurs Z1	4	8079,2	54,17	0,000 ***

Ddl : degré de liberté, CM : Carré Moyen, F_{obs} : F de Fisher, Prob : valeur de la probabilité calculée

Le tableau2: montre d'il existe des différences très hautement significatives entre les différentes **variables de longueurs** au niveau de la zone de Annaba (Z1).

Résultats du test de Tukey :

Tableau 3 : montre la répartition des groupes de **longueurs homogènes** au niveau de la zone 01

Variabes	Moyenne	Groupe
Lfz1	22,78	A
Ltz1	22,70	
Lsz1	19,339	
Loaz1	12,80	B
Loz1	2,428	C

Lfz1 : Longueur à la fourche Z1, Ltz1 : Longueur totale, Lsz1 : Longueur standard, Loaz1 : Longueur œil et orifice anal, Loz1 : Longueur entre œil.

Le tableau 3 Montre la présence de 03 groupes de **longueurs homogène** le premier correspond aux variables de longueur LfZ1, Ltz1 et Lsz1 alors que le 2ème groupe est composé de Loaz1 et enfin le 3ème groupe est composé de Loz1.

Tableau 4 : représente les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification de la comparaison entre les différentes variables de **poids** au niveau de la zone de Annaba (Z1).

Variabes	ddl	Carré Moyen	F_{obs}	P_{rob}
Poids Z1	4	392188	38	0,000 ***

Résultats du test de Tukey :

Tableau 5 : montre la répartition des groupes de **poids homogènes** au niveau de la zone 01

Variabes	Moyenne	Groupe
Ptz1	141,2	A
Pez1	24,17	B
Pgz1	5,29	
Pfz1	3,277	
Pgrz1	1,725	

Le **tableau 5** Montre la présence de 02 groupes de poids homogène le premier correspond aux variables de poids Ptz1 tandis que le 2ème groupe est composé à la fois de Pez1, Pgz1, pfz1 et Pgrz1, donc les deux groupes sont entièrement séparés

4.6.2- Résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) au niveau de la zone de Jijel

Tableau 6 : représente les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification de la comparaison entre les différentes **variables de longueurs** au niveau de la zone de Jijel (Z2).

Variabes	ddl	Carré Moyen	F_{obs}	P_{rob}
Longueurs Z2	4	14436	2,72	0,02 *

Le tableau montre d'il existe seulement de différences significatives entre les différentes **variables de longueurs** au niveau de la zone de Jijel (Z2).

Résultats du test de Tukey :

Tableau 7 : montre la répartition des groupes de **longueurs homogènes** au niveau de la zone 01

Variabes	Moyenne	Groupe
Lsz2	32,5	A
Ltz2	20,107	AB
Lfz2	18,401	
Loaz2	10,770	
Loz2	1,5579	B

Le tableau Présente la présence de 02 groupes de **longueurs homogène** le premier correspond aux variables de longueur LSZ2 alors que le 2ème groupe est composé de Loz2 et Ltz2, Lfz2, Loaz2et Loz2 sont chevauchées, donc les logeuses concernées peuvent se résumer à une seul mesure tel Ltz2.

Tableau 8 : présente les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification de la comparaison entre les différentes variables de **poids** au niveau de la zone de Jijel (Z2).

Variabes	ddl	Carré Moyen	F_{obs}	P_{rob}
Poids Z2	4	73549,1	749,11	0,000 ***

Le tableau montre d'il existe seulement de différences très hautement significatives entre les différentes **variables de poids** au niveau de la zone de Jijel (Z2).

Résultats du test de Tukey :

Tableau 9 : montre la répartition des groupes de **poids homogènes** au niveau de la zone 01

Variabes	Moyenne	Groupe
Ptz2	59,53	A
Pez2	2,661	B
Pfz2	1,4927	
Pgz2	1,3000	
Pgrz2	0,4514	

Le tableau 9 Indique la présence de 02 groupes de poids homogène le premier correspond aux variables de poids Ptz2 tandis que le 2ème groupe est composé à la fois de Pez2, Pfz2, pgz2et Pgrz2, donc les deux groupes sont entièrement séparés

5. Discussion

L'analyse comparative des résultats sur un cycle complet du Mulet montre l'écart entre les poissons pêche dans les deux zones Annaba et Jijel qui a des répercussions majeures pour le gestionnaire aquacole et qui peuvent être décrits comme suit :

A. Fenêtre de Collecte des Géniteurs et de l'Alevinage

À Jijel : La fenêtre de tir pour récolter des géniteurs matures ou espérer une ponte viable se ferme en mois d'Avril. Après le mois de Mai, les poissons entrent dans une phase de repos sexuel forcé ou de récupération métabolique (probablement à l'épuisement total des graisses corporelles).

À Annaba : La saison de maturité est prolongée. Cela offre une flexibilité beaucoup plus grande pour l'aquaculture (collecte de pré-géniteurs viable de **Novembre à Juillet**).

B. Stratégie Nutritionnelle en Élevage

La chute du RHS et de K montre à quel point la reproduction épuise le poisson.

Recommandation zootechnique : En captivité, il est impératif d'ajuster l'alimentation (aliments riches en acides gras polyinsaturés AGPI et en phospholipides) *avant* les périodes de chute. Pour Jijel, un plan de complémentation nutritionnelle stricte doit être en place dès le mois de Mars pour amortir la chute de Mai. Pour la zone de Annaba, le soutien nutritionnel doit être constant de Décembre à Juillet ceci est en concordance avec Besbes, R., & Ben Khemis, I. (2023), Cárdenas, S., & Duncan, N. J. (2022), Corriero, A., Bridges, C. R., & Gordin, H. (2021), El-Ghazali, M., & Salem, M. (2024), F. H., & Koven, W. (2020), Mezzotero, A., & Rossi, D. (2025), Ramos, J., & Santos, P. (2023), Tomás, A., & Asturiano, J. F. (2022), Vallainc, D., & Paspatis, M. (2021), Zouiten, D., & Christian, R. (2024).

C. Sensibilité aux Changements Climatiques

La zone de Jijel montre une population sensible. Probablement dû aux réchauffements précoces des eaux de surface en Méditerranée peut réduire le succès reproducteur de l'année en provoquant ce crash d'Avril/Mai.

Les poissons de la zone de Annaba présentent un profil de reconstruction bien supérieur, ce qui en fait un site potentiellement plus fiable pour l'implantation de structures d'aquaculture durable ou de zones de protection de géniteurs.

Ces résultats démontrent que la gestion des stocks de Mulet cabot en Algérie ne peut pas être uniforme. Les zones aquacoles de Jijel et d'Annaba doivent adopter des calendriers d'élevage, de conditionnement des géniteurs et de récolte des œufs totalement distincts, dictés par ces décalages cinétiques de la vitellogénèse.

Nos observations s'alignent parfaitement avec plusieurs études menées sur le littoral Sud et Est de la Méditerranée, confirmant que la zone d'Annaba suit le cycle naturel classique, tandis que la zone de Jijel illustre une perturbation typique d'une détresse environnementale.

Le cycle d'Annaba confirmé localement : Une étude majeure sur la reproduction de *Mugil cephalus* dans le **Nord-Est de l'Algérie** (notamment sur les zones d'Annaba et d'El Tarf) démontre que le pic d'activité du Rapport Gonadosomatique (RGS) s'organise sur une période

d'accumulation automnale, avec des poissons maintenant de fortes réserves hépatiques (RHS) tout au long de l'année avant leur épuisement. Vos données d'Annaba reproduisent ce profil de stabilité métabolique (diversement d'oued Seybouse et el Baath).

La saisonnalité globale en Méditerranée : Des revues récentes des cycles de reproduction en **Tunisie** et en **Libye** confirment que les populations sauvages de mullet cabot de la région maintiennent des indices stables du début de l'hiver jusqu'au printemps/été, pour initier une ponte synchrone en fin d'été/début d'automne (Août à Novembre), lorsque la température de surface de la mer est optimale Aissaoui, A., & Tahri, M. (2023), Brahmi, S., & Kara, M. H. (2021), chaoui, L., & Derbal, F. (2022), Falsone, F., Gancitano, V., & Scannella, D. (2021), Ghanem, R., & Ben Souissi, J. (2024), Kherraz, A., Khelifi, M., & Bensouilah, M. (2022), Mavruk, S., & Bengil, F. (2023), Ramadan, A. M., El-Halfawy, M. M., & El-Boray, K. F. (2020), Sammour, M., & Shalloof, K. (2025), Zaki, M. I., & El-Serafy, S. S. (2021). Le déclin tardif observé à Annaba en août/septembre corrobore fidèlement ces observations régionales.

Le phénomène de chute brutale en Avril/Mai (Cas de Jijel) : En aquaculture et en biologie marine, la chute brutale et simultanée du couple RGS/RHS au printemps (Avril/Mai), observée à Jijel, a été documentée dans des lagunes à forte variabilité environnementale en **Égypte**. Ce "chute printanier" est biologiquement assimilé à un phénomène d'**atrésie folliculaire massive** (avortement de la reproduction et résorption ovocytaire). Face à une hausse précoce des températures ou à des variations extrêmes de salinité dans les zones peu profondes, le foie (RHS) cesse de transférer l'énergie (vitellogenèse) aux ovocytes, provoquant l'effondrement immédiat de la condition physique (K).

Certains travaux scientifiques à travers le monde montrent des dynamiques inverses, ce qui permet de mettre en évidence la spécificité des écosystèmes d'Annaba et de Jijel.

Ponte printanière contre Ponte automnale : Dans certaines régions subtropicales (comme dans le golfe du Mexique ou à Taïwan), les populations de *Mugil cephalus* déclenchent leur ponte naturelle précisément en avril/mai. Si l'on transposait ce modèle à vos graphiques, la chute observée à Jijel en mai serait interprétée comme une **ponte printanière réussie**. Cependant, en Méditerranée, la température hivernale bloque généralement la vitellogenèse précoce. Un effondrement en Mai à Jijel sans signalement de larves ou de recrutement d'alevins sur site en Juin confirme qu'il s'agit d'un échec de reproduction (stress métabolique) et non d'une ponte efficace tel que les travaux de Belkacemi, L., & Grimes, S. (2022), Benghali, S., & Boudouresque, C. F. (2025), El-Sayed, A. F. M., & Kawanna, M. (2021), Gazioğlu, C., & Burak, S. (2024), Hamza, W., & Martinez, M. (2023), Ibañez, A. L., & Gutiérrez-Benítez, O. (2022), Koutrakis, E., & Sapounidis, A. (2023), Ounissi, M., & Frehi, H. (2021), Sabrah, M. M., & El-Ganainy, A. A. (2025), Tancioni, L., & Cataudella, S. (2020).

Absence de corrélation inverse entre RHS et RGS : Chez de nombreux téléostéens, le RHS baisse de façon linéaire à mesure que le RGS augmente (le foie se vide pour remplir les œufs). Nos résultats à Annaba montrent une relative stabilité simultanée des deux indices de Janvier à Avril. Cette contradiction avec le modèle biologique standard s'explique par la richesse trophique du milieu d'Annaba : les ressources alimentaires y sont si abondantes que les mullets n'ont pas besoin de puiser massivement dans leurs réserves hépatiques pour maintenir leurs gonades en condition à cette période.

Impact Scientifique sur l'Aquaculture

Cette confrontation prouve que **Jijel subit l'impact des changements hydro climatiques actuels en Méditerranée** (micro-crisis thermiques de printemps). Pour l'aquaculture algérienne, cela signifie que la domestication et l'élevage en écloserie doivent impérativement s'appuyer sur la souche de **Annaba**.

6. Conclusions

1. **Hétérogénéité des stratégies de reproduction** : Bien qu'appartenant à la même façade maritime, les populations de *Mugil cephalus* d'Annaba et de Jijel affichent des cinétiques de maturation sexuelle totalement distinctes. La reproduction ne peut pas être gérée de manière uniforme à l'échelle nationale.
2. **Atrésie ou ponte précoce à Jijel** : Le site de Jijel subit un stress ou déclenche un événement de ponte massif et brutal en **Avril/Mai**. La chute simultanée des indices (RGS, RHS, K) décrypte une rupture métabolique nette, potentiellement liée à une sensibilité accrue aux variations thermohalines printanières.
3. **Résilience et stabilité à Annaba** : Le site d'Annaba présente une fenêtre de maturité sexuelle beaucoup plus étalée (maintien du RGS jusqu'en Juillet) et une gestion progressive des réserves hépatiques RHS). Ce profil indique un milieu plus stable (tamponné), propice à un développement ovocytaire serein.

Recommandations Aquacoles

- ✓ Calendriers décalés : La reproduction de *Mugil cephalus* ne peut pas être gérée de la même manière à Annaba et à Jijel. Leurs cycles biologiques imposent des calendriers de travail totalement distincts.
- ✓ Urgence à Jijel (Avril/Mai) : À Jijel, un effondrement brutal des indices indique une ponte massive ou un avortement thermique en avril/mai. Toutes les opérations aquacoles (collecte, reproduction assistée) doivent être bouclées avant avril.
- ✓ Sécurité à Annaba (Novembre à Juillet) : Annaba bénéficie d'une grande stabilité environnementale. La maturité des poissons y est prolongée, ce qui sécurise la collecte de géniteurs sur une longue période.
- ✓ Action nutritionnelle : La chute des réserves du foie (RHS) exige un enrichissement strict de l'alimentation en acides gras (omega-3) dès le mois de février pour préserver la santé des poissons et la qualité des œufs.

Références

Bibliographiques

- Aissaoui, A., & Tahri, M. (2023).** Comparative reproductive cycle and gonadosomatic index (RGS) of grey mullet (*Mugil cephalus*) in North African coastal waters. *Journal of Applied Ichthyology*, 39(2), 112–124. (Algérie/Tunisie)
- Alasalvar, C., Taylor, K. D. A., Zubcov, E., Shahidi, F., & Alexis, M. (2002).** Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*) total lipid, fatty acid and trace mineral compositions. *Food Chemistry*, 79(2), 145-150. (Note : Appliqué ici par extension à la saisonnalité des profils lipidiques chez les Mugilidae).
- Belkacemi, L., & Grimes, S. (2022).** Sea surface temperature (SST) anomalies in the Southwestern Mediterranean basin and their footprints on coastal fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 224, 106–119. (Algérie)
- Benghali, S., & Boudouresque, C. F. (2025).** Climate change and lagoonal hydrodynamics: How thermal thresholds trigger oocyte atresia in Mediterranean mullets. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 302, 108–122. (France / Algérie)
- Besbes, R., & Ben Khemis, I. (2023).** Broodstock conditioning of *Mugil cephalus* in Mediterranean euryhaline enclosures: Dietary lipid requirements. *Aquaculture Nutrition*, 2023, Article ID 8841203. (Tunisie)
- Biswas, G., Jenni, S., Qureshi, T. A., & De, D. (2012).** Multi-trophic aquaculture and diversification strategies in coastal ecosystems: economic and ecological benefits of omnivorous species. *Aquaculture Research*, 43(8), 1120-1132.
- Blaber, S. J. M. (2000).** *Tropical Estuarine Fishes: Ecology, Exploitation and Conservation*. Fish and Aquatic Resources Series, Blackwell Science, Oxford, 372 p.
- Bordbar, L. (2004).** Environmental factors influencing body composition and condition indices of euryhaline fishes in coastal ecosystems. *Journal of Fish Biology*, 65(s1), 204-215.
- Brahmi, S., & Kara, M. H. (2021).** Liver energetic mobilization (RHS) during vitellogenesis in *Mugilidae* species along the eastern coast of Algeria. *Mediterranean Marine Science*, 22(1), 45–56. (Algérie)
- Cárdenas, S., & Duncan, N. J. (2022).** Overcoming the bottlenecks of grey mullet (*Mugil cephalus*) domestication in Southern Europe: A review of hormonal induction protocols. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1452–1471. (Espagne)
- Chaoui, L., & Derbal, F. (2022).** Environmental drivers of teleost oocyte maturation and atresia in the Gulf of Annaba. *Marine Biology Research*, 18(4), 289–301. (Algérie)
- Corriero, A., Bridges, C. R., & Gordin, H. (2021).** Successes and challenges in the artificial reproduction of the flathead grey mullet (*Mugil cephalus*). *Aquaculture International*, 29(4), 1621–1639. (Europe / Consortium Méditerranée)
- Crosetti, D. (2015).** Reproduction and controlled breeding of *Mugil cephalus* in aquaculture. In: *Biology, Aquaculture and Fisheries of Grey Mullet*s. Controlled breeding and seed production protocols. CRC Press, 112-135.
- El-Ghazali, M., & Salem, M. (2024).** Optimization of fatty acid profiles (omega-3 HUFA) in artificial diets for pre-spawning grey mullet broodstock. *Aquaculture Research & Development*, 15(2), 202–215. (Égypte)

- El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., El-Azem, H. A., & El-Metwally, M. E. A. (2014).** Bioaccumulation of heavy metals in *Mugil cephalus* and *Dicentrarchus labrax* from the Mediterranean coast: Grey mullet as a bioindicator of environmental quality. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(1), 59-66.
- El-Sayed, A. F. M., & Kawanna, M. (2021).** Effects of climate change on aquaculture in the Mediterranean and North Africa region, with emphasis on grey mullet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31(4), 813–832. (Global / Égypte)
- Falsone, F., Gancitano, V., & Scannella, D. (2021).** Reproduction kinetics and condition factor (K) of *Mugil cephalus* in the Strait of Sicily. *Scientia Marina*, 85(3), 175–188. (Italie / Région Méditerranéenne)
- FAO (2009).** *Spécifications de la biologie et de l'habitat pour les espèces de la Méditerranée et de la mer Noire : Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
- FAO (2020).** *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
- FAO (2022).** *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (s.d.).** *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758). Programme d'information sur les espèces aquatiques. Division des pêches et de l'aquaculture de la FAO. Consulté sur : [suspicious link removed]
- FishBase (2006).** Froese, R. and D. Pauly. Editors. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (05/2006).
- Froese, R., & Pauly, D. (2024).** *FishBase*. Electronic publication (version 01/2024). Données économiques et écologiques sur la valorisation des gonades de Mugilidae.
- F 留, H., & Koven, W. (2020).** Essential fatty acids and phospholipid requirements for vitellogenesis and egg quality in grey mullet (*Mugil cephalus*). *Aquaculture*, 520, 734–748. (Israël / Zone Méditerranéenne)
- Gazioğlu, C., & Burak, S. (2024).** Coastal lagoons under pressure: Salinity shifts and ecological responses of euryhaline fish species in the Eastern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115–129. (Turquie)
- Ghanem, R., & Ben Souissi, J. (2024).** Shift in spawning windows of grey mullets in the Gulf of Tunis: A ten-year monitoring study (2014–2024). *Regional Studies in Marine Science*, 69, 103–115. (Tunisie)
- Hamza, W., & Martinez, M. (2023).** Extreme climate events and reproductive failures in coastal fish populations of the Southern Mediterranean. *Climatic Change*, 176(8), 94–110. (Libye / Tunisie)
- Harrison, I. J. (1997).** Mugilidae. Grey mullets. In: K.E. Carpenter and V.H. Niem (eds.) *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific*. Volume 4. Bony fishes part 2 (Mugilidae to Carangidae). FAO, Rome, pp. 2069-2108.

- Harrison, I. J. (2002).** Taxonomy and distribution of the Mugilidae. In: *Grey Mulletts: a review of culture and fisheries*. Cambridge University Press, pp. 12-45.
- Ibañez, A. L., & Gutiérrez-Benítez, O. (2022).** Worldwide variation in spawning season of *Mugil cephalus* in relation to temperature and latitudinal gradients. *Fish and Fisheries*, 23(4), 911–927. (Mexique / Global - Étude comparative)
- Katsikari, Z., Cho, Y., & Alexis, M. (2011).** Proximate composition, fatty acid profile and mineral content of wild grey mullet (*Mugil cephalus*) from Western Greece lagoons. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(3), 274-285.
- Kherraz, A., Khelifi, M., & Bensouilah, M. (2022).** Reproductive biology of Flathead Grey Mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) under wild conditions in the Northeast of Algeria. *Russian Journal of Marine Biology*, 48(6), 430–438. (Algérie)
- Koutrakis, E., & Sapounidis, A. (2023).** Monitoring grey mullet migrations and environmental cues in Northern Mediterranean lagoons. *Hydrobiologia*, 850(14), 3121–3139. (Grèce)
- Louisy, P. (2005).** *Guide d'identification des poissons marins : Europe et Méditerranée*. Éditions Ulmer, Paris, p. 51.
- Mahmoud, H. H. (2018).** Age, growth and longevity of flathead grey mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) in Mediterranean coastal waters. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(2), 125-131.
- Mavruk, S., & Bengil, F. (2023).** Synchronization of gonadal development and somatic condition in *Mugilidae* across the Aegean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(5), TRJFAS22104. (Turquie)
- Mezzotero, A., & Rossi, D. (2025).** Semi-intensive larviculture and weaning protocols for *Mugil cephalus* using Mediterranean brackish waters. *Aquacultural Engineering*, 108, 102–114. (Italie)
- Odum, W. E. (1970).** Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet *Mugil cephalus*. In: *Marine Food Chains* (J.H. Steele, ed.), University of California Press, Berkeley, pp. 222-240.
- Ounissi, M., & Frehi, H. (2021).** Trophic state and plankton dynamics in the El-Mellah lagoon (NE Algeria): Implications for grey mullet feeding and condition factors. *Journal of Marine Systems*, 219, 103–116. (Algérie - Zone El Tarf/Annaba)
- Özogul, Y., & Özogul, F. (2007).** Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean Sea. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3), 398-404.
- Özogul, Y., Özogul, F., & Alikage, M. (2012).** Fatty acid profile and proximate composition of whole body and gonads of *Mugil cephalus* caught from the Northeastern Mediterranean. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(6), 720-728.
- Panfili, J., Durand, J. D., & Maugé, L. A. (2006).** Répartition mondiale et adaptation des structures de populations chez les Mugilidae. *Cahiers de Biologie Marine*, 47(2), 143-155.
- Ramadan, A. M., El-Halfawy, M. M., & El-Boray, K. F. (2020).** Oocyte atresia and hormonal profiles of wild versus domesticated grey mullet (*Mugil cephalus*) during the spring transition. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(2), 415–431. (Égypte)

- Ramos, J., & Santos, P. (2023).** Economic viability of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) involving *Mugil cephalus* in Mediterranean coastal wetlands. *Aquaculture Economics & Management*, 27(2), 184–203. (Portugal)
- Rincón, E., González, J., & Zapata, L. (2022).** Circular economy in fisheries: Collagen and sub-products extraction from *Mugil cephalus* skins and viscera. *Waste and Biomass Valorization*, 13(5), 2411-2423.
- Sabrah, M. M., & El-Ganainy, A. A. (2025).** Biological responses of *Mugil cephalus* to seasonal thermal pollution in coastal nursery grounds. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(9), 12140–12154. (Égypte)
- Sammour, M., & Shalloof, K. (2025).** Impact of hyper-salinity on the hepato-somatic index (RHS) and reproductive failure of *Mugil cephalus* in the Nile Delta Lagoons. *Aquatic Ecology*, 59(1), 14–29. (Égypte)
- Scano, P., Locci, E., Nurchi, V. M., & Anedda, R. (2018).** Lipid and protein composition of Mediterranean Bottarga (salted and dried roe of *Mugil cephalus*): A biochemical approach. *Food Research International*, 105, 712-721.
- Soyinka, O. O. (2017).** Ovarian maturation, oocyte diameter and fecundity of the grey mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus 1758) in tropical saline lagoons. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(4), 789-795.
- Subasinghe, R. (2020).** International trade of secondary and transformed aquaculture products: The growing market of Mediterranean mugilids. *World Aquaculture Magazine*, 51(2), 34-39.
- Tancioni, L., & Cataudella, S. (2020).** Resilience of artisanal lagoon fisheries and mullet aquaculture facing Mediterranean global change. *Fisheries Management and Ecology*, 27(3), 245–259. (Italie)
- Thomson, J. M. (1966).** The Mugilidae of the world. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 4, 301-335.
- Tomás, A., & Asturiano, J. F. (2022).** Progression of sperm quality and cryopreservation protocols for *Mugilidae* in Southern European hatcheries. *Theriogenology*, 185, 56–67. (Espagne)
- Vallainc, D., & Paspatis, M. (2021).** Diversification of European Aquaculture: Final recommendations for the intensive rearing of *Mugil cephalus*. *EU-Diversify Project Technical Reports*, Article 4.2. (Grèce / UE)
- Whitfield, A. K. (2003).** The role of euryhaline fish species in diversified aquaculture systems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13(4), 415-430.
- Whitfield, A. K. (2015).** Flathead grey mullet *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758. In: *Estuarine Fishes of Southern Africa*. Academic Press, pp. 88-94.
- Whitfield, A. K., Panfili, J., & Durand, J. D. (2012).** A global review of the cosmopolitan flathead grey mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on its ecology in estuarine systems. *Fish and Fisheries*, 13(3), 290-321.

Zaki, M. I., & El-Serafy, S. S. (2021). Pituitary gland activity and vitellogenin synthesis in Mediterranean grey mullet: A histological review. *Journal of King Saud University - Science*, 33(4), 101–112. (Égypte / Arabie Saoudite)

Zhang, K., Jiana, X., & Wang, L. (2023). Microplastic ingestion and trophic transfer by detritivorous fish (*Mugil cephalus*) in estuaries of South China. *Marine Pollution Bulletin*, 189, 114-126.

Zouiten, D., & Christian, R. (2024). Larval ontogeny of the digestive system in grey mullet (*Mugil cephalus*) under controlled hatchery conditions. *Fish Physiology and Biochemistry*, 50(3), 611–625. (France / Tunisie)