



BADJI MOKHTAR - ANNABA  
UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار  
- عنابة -

Faculté des Sciences

Année : 2023

Département des Sciences de la mer

# THÈSE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat

***PERFORMANCES HABITAT-DEPENDANTES DES  
MUGILIDES DES COTES DE L'EST ALGERIEN :  
EMBONPOINT ET CROISSANCE DIFFERENTIELS  
DES JUVENILES 0<sup>+</sup>***

**Option**

Biologie et écologie marine et continentale

**Par**

**BECHEKER ALI**

**DIRECTEUR DE THÈSE : CHAOUI LAMYA**

Prof. U.B.M. ANNABA

Devant le jury

|                      |                    |      |                          |
|----------------------|--------------------|------|--------------------------|
| <b>PRESIDENT :</b>   | SOLTANI NOUREDDINE | Prof | U.B.M., ANNABA           |
| <b>EXAMINATEUR :</b> | DERBAL FARID       | Prof | U.B.M., ANNABA           |
| <b>EXAMINATEUR :</b> | SEMROUD RACHID     | Prof | ENSSMAL., Alger          |
| <b>EXAMINATEUR :</b> | HEMIDA FARID       | Prof | ENSSMAL., Alger          |
| <b>EXAMINATEUR :</b> | LENFANT Philipe    | Prof | EPHE., Perpignan, France |

## Remerciements

Je ne pensais pas que cette partie de la thèse me prendra autant de temps de réflexion, tant de souvenirs ont refait surface en ce moment même où je rédige ce texte, car ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la contribution de plusieurs personnes.

Merci à ma directrice de thèse, Professeur Chaoui Lamy pour tout ce que vous m'avez appris à la fois sur le plan humain que scientifique, d'avoir été là quand j'en avais besoin, merci pour les formations et l'encadrement qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au professeur Noureddine Soltani d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance, ainsi que les professeurs Farid Derbal, Farid Hemida, Philippe Lenfant et Rachid Semroud qui ont accepté d'évaluer ce travail et de m'avoir fait l'honneur d'être membres de mon jury, eux qui sont les doyens de notre domaine des sciences de la mer et resteront à tout jamais des lumières à suivre pour nous.

Merci au Professeur Kara, directeur du Laboratoire Bioressources Marines à l'université d'Annaba, pour ne pas m'étaler sur les classiques des remerciements vous êtes juste mon exemple dans le domaine de la science, et je tendrai à suivre votre chemin pour tout ce que vous faites pour la science et le pays.

Merci au Docteur Kelig Mahé de m'avoir accueilli au sein du pôle de sclérochronologie de Boulogne-Sur-Mer et de m'avoir permis d'élargir mes connaissances dans la lecture de l'âge journalier des poissons, ainsi qu'à Celina Chantre, Geoffrey Debled et Romain Ellebood qui m'ont aidé dans mes manip.

Un grand merci à monsieur Chadli Rais de m'avoir initié aux systèmes d'information géographiques, et aux bases de données (SQL, HTML), un merci à R. Embarek, M. Bouzid et M. Hassani, ce dernier pour m'avoir appris les bases du langage R.

Je ne remercierai jamais assez mes parents, et quoique je dise ou que je fasse je ne rembourserai jamais ma dette envers vous, merci à mes deux chers sœurs docteurs qui font ma fierté, et c'est d'ailleurs à vous que je dédie ce travail.

Merci à mes amis qui m'ont accompagné dans mes sorties sur terrain et pour leur soutien moral, Abdelmalek, Haythem, Mohammed, Ahmadou, Nouh, Timou, Houssein, Bacha, Amine, Oussama, Sami et enfin Mehdi, je m'excuse auprès de ceux qui j'ai omis de mentionner.

Dieu, merci de m'avoir donnée la force, le courage et l'envie d'aller jusqu'au bout de ce chemin, merci de m'avoir donné une famille qui m'a épaulée, maman, papa je ne vous remercierai jamais assez, merci mes chères sœurs Wejden (Imène) et Manel, j'ai tellement de chance de vous avoir mes docteurs, sans oublier ma tante Nafissa et mes cousins.

## Résumé

Ce travail est destiné à l'étude de l'habitat-dépendante, il comporte trois parties distinctes, dont la première consiste en un assemblage sur la zone d'étude (écologie), la deuxième et la troisième partie portent sur les juvéniles 0<sup>+</sup> des espèces de mugilidae, où nous traitons respectivement les indices de conditions, et la croissance journalière différentielle.

Dans la première partie, la diversité de l'ichtyofaune et les variations saisonnières de ses assemblages ont été étudiées dans quatre habitats différents sur une échelle géographique limitée de la côte Est de l'Algérie : un site franchement marin (La plage de la Caroube) et trois eaux de transition, deux estuaires (Boukhmira et Mafragh) et une lagune (Mellah).

A partir des échantillons mensuels prélevés, un total de 13240 poissons a été capturé : 4148 individus (43 espèces, 13 familles) à la plage de La Caroube, 1452 (20 espèces, 11 familles) dans l'oued Boukhmira, 1218 (15 espèces, 10 familles) dans l'estuaire de Mafragh et 6422 (14 espèces, 8 familles) dans la lagune de Mellah. L'indice de Shannon (H') a montré une diversité spécifique relativement élevée à la plage de Caroube au printemps (H' = 3,87) avec un indice d'équitabilité de Pielou J' = 0,77, tandis que la plus faible diversité a été notée au printemps à la lagune de Mellah (H' = 0,49) avec J' = 0,15. Toutes les localités ont montré une variation saisonnière dans l'abondance des poissons et dans la diversité spécifique, ainsi que dans la distribution des guildes écologiques et trophiques. L'analyse canonique des correspondances (ACC) a révélé que la nature du fond est le facteur le plus important affectant la distribution et l'abondance des poissons.

La deuxième partie de cette étude porte sur la présence, la distribution et la condition des juvéniles de cinq espèces de Mugilidae (*Liza saliens*, *Liza aurata*, *Liza ramada*, *Chelon labrosus* et *Mugil cephalus*), la fitness de chaque espèce est comparée entre les saisons pour chaque site et entre les sites à l'aide de trois indices : L'indice de condition de Fulton (K), l'indice de condition relative (Kn), le poids relatif (W<sub>rm</sub>).

Un total de 2118 individus de Mugilidae a été collecté. *Liza saliens* est l'espèce la plus présente avec 47,12 % du nombre total d'individus capturés, toutes espèces confondues, suivie de *L. aurata* (23,82 %).

Pour chaque espèce, les meilleures valeurs de K sont enregistrées à différentes saisons selon le site considéré. La grande majorité des valeurs de Kn sont supérieures à 1, ce qui indique une bonne condition pour les cinq espèces dans tous les habitats. Pour chaque espèce, il existe une corrélation très significative ( $0,95 \leq r \leq 0,99$ ) entre les valeurs de Kn et de W<sub>rm</sub> enregistrées dans chaque site. En revanche, à l'exception de *L. ramada*, les valeurs de b et Kn n'évaluent pas de la même manière l'embonpoint des poissons.

La troisième partie de ce travail est consacrée à l'étude de l'abondance, de la répartition et des performances de croissance de 5 espèces de Mugilidae dans les quatre écosystèmes considérés. Les 5 espèces entrent dans les environnements paraliques à des tailles très petites (2-3 cm TL). Quel que soit le site, *Liza saliens* est la plus abondante (46,92%), suivie de *Liza aurata* (23,72%), *Chelon labrosus* (13,96%), *Liza ramada* (11,80%) et *Mugil cephalus* (3,50%). Chaque espèce présente un profil d'occupation différent pour chaque site (date de recrutement, abondance, structure démographique). Il en est de même pour la croissance journalière, qui est meilleure à Mafragh pour *L. saliens* (0,70 mm/jour), à Boukhmira et Mafragh pour *L. aurata* avec 0,53 et 0,48 mm/jour respectivement, à Caroube pour *L. ramada* (0,58 mm/jour) et à Mellah pour *C. labrosus* (0,59 mm/jour) et *M. cephalus* (0,68 mm/jour).

**Mots-clés :** Mugilidae, Ecologie, Condition, Croissance journalière, Méditerranée, eaux de transition.



## Abstract

This work is intended for the study of habitat-dependence, it consists of three distinct parts, the first of which consists of an assemblage on the study area (ecology), the second and third parts focus on 0<sup>+</sup> juveniles of mugilidae species, where we deal with condition indices, and differential daily growth respectively.

In the first part, the diversity of the ichthyofauna and the seasonal variations of its assemblages were studied in four different habitats on a limited geographical scale of the east coast of Algeria: a frankly marine site (La Caroube beach) and three transitional waters, two estuaries (Boukhmira and Mafragh) and a lagoon (Mellah).

From the monthly samples taken, 13240 fish were caught: 4,148 individuals (43 species, 13 families) in La Caroube beach, 1,452 (20 species, 11 families) in the Boukhmira wadi, 1,218 (15 species, 10 families) in the Mafragh estuary and 6,422 (14 species, 8 families) in the Mellah lagoon. The Shannon index ( $H'$ ) showed a relatively high specific diversity at La Caroube beach in spring ( $H' = 3.87$ ) with a Pielou equitability index  $J' = 0.77$ , while the lowest diversity was noted in spring at Mellah lagoon ( $H' = 0.49$ ) with  $J' = 0.15$ . All localities showed seasonal variation in fish abundance and species diversity, as well as in the distribution of ecological and trophic guilds. Canonical correspondence analysis (CCA) revealed that the nature of the bottom was the most important factor affecting fish distribution and abundance.

The second part of this study focuses on the presence, distribution and condition of juveniles of five species of Mugilidae (*Liza saliens*, *Liza aurata*, *Liza ramada*, *Chelon labrosus* and *Mugil cephalus*), the fitness of each species is compared between seasons for each site and between sites using three indices: Fulton's condition index ( $K$ ), relative condition index ( $K_n$ ), relative weight ( $W_{rm}$ ).

A total of 2118 individuals of Mugilidae were collected. *Liza saliens* is the most present species with 47.12% of the total number of individuals caught, all species combined, followed by *L. aurata* (23.82%).

For each species, the best  $K$  values are recorded at different seasons depending on the site considered. The vast majority of  $K_n$  values are above 1, indicating good condition for all five species in all habitats. For each species, there is a highly significant correlation ( $0.95 \leq r \leq 0.99$ ) between  $K_n$  and  $W_{rm}$  values recorded at each site. In contrast, with the exception of *L. ramada*, the values of  $b$  and  $K_n$  do not assess fish overweight in the same way.

The third part of this work is devoted to the study of the abundance, distribution and growth performance of 5 Mugilidae species in 3 types of coastal habitats (coastal sea, estuaries, lagoon), The 5 species enter the considered paralic environments at very small sizes (2-3 cm

TL). Regardless of site, *Liza saliens* is the most abundant (46.92%), followed by *Liza aurata* (23.72%), *Chelon labrosus* (13.96%), *Liza ramada* (11.80%) and *Mugil cephalus* (3.50%). Each species has a different occupation profile for each site (date of recruitment, abundance, demographic structure). The same is true for daily growth which is better at Mafragh for *L. saliens* (0.70 mm/day), at Boukhmira and Mafragh for *L. aurata* with 0.53 and 0.48 mm/day respectively, at Caroube for *L. ramada* (0.58 mm/day) and at Mellah for *C. labrosus* (0.59 mm/day) and *M. cephalus* (0.68 mm/day).

**Keywords:** Mugilidae, Ecology, Condition, Daily growth, Mediterranean, transitional waters.

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة الأنواع المعتمدة على الموائل ، ويتكون من ثلاثة أجزاء متميزة ، يتكون الأول منها من تجميع في منطقة الدراسة (البيئة) ، ويتعلق الجزء الثاني والثالث بالأحداث  $^{+0}$  أنواع Mugilidae ، حيث نتعامل مع مؤشرات الحالة والنمو اليومي التفاضلي ، على التوالي . في الجزء الأول، تمت دراسة تنوع أسماك الأسماك والتغيرات الموسمية لتجمعاتها في أربعة موائل مختلفة على نطاق جغرافي محدود من الساحل الشرقي للجزائر: موقع بحري صريح (التمثل في شاطئ الخروبة)، وثلاثة مياه انتقالية ومصبات الأنهار (بوخميرة ومفرق) وبحيرة واحدة (الملاح). من العينات الشهرية المأخوذة، تم التقاط ما مجموعه 13240 سمكة: 4148 فردًا (43 نوعًا، 13 عائلة) على شاطئ لا كاروب، 1452 (20 نوعًا، 11 عائلة) في وادي بوخميرة، 1218 (15 نوعًا، 10 عائلات) في مصب Mafragh و 6422 (14 نوعًا، 8 عائلات) في بحيرة الملاح. أظهر مؤشر Shannon (H') تنوعًا مرتفعًا نسبيًا في الأنواع على شاطئ Caroube في الربيع ( $H' = 3.87$ ) مع مؤشر Pielou المتساوي  $J' = 0.77$  ، بينما لوحظ أدنى تنوع في الربيع في بحيرة Mellah ( $H' = 0.49$ ) مع  $J' = 0.15$ . أظهرت جميع المحليات تباينًا موسميًا في وفرة الأسماك وتنوع الأنواع، وكذلك في توزيع النقابات البيئية والغذائية. أظهر التحليل المطابق المتعارف عليه (CCA) أن طبيعة القاع هي العامل الأكثر أهمية الذي يؤثر على توزيع الأسماك ووفرته .

يركز الجزء الثاني من هذه الدراسة على وجود وتوزيع وحالة الأحداث من خمسة أنواع من البوري *Liza saliens* و *Liza aurata* و *Liza ramada* و *Chelon labrosus* و *Mugil cephalus* ، وتتم مقارنة لياقة كل نوع بين المواسم. الموقع وبين المواقع باستخدام ثلاثة مؤشرات: مؤشر حالة فولتون (K) ، مؤشر الحالة النسبية (Kn) ، الوزن النسبي (Wrm). تم جمع ما مجموعه 2118 من أفراد *Mugilidae*. *L. saliens* هي أكثر الأنواع حضوراً حيث سجلت 47.12٪ من إجمالي عدد الأفراد المأسورين ، جميع الأنواع مجتمعة ، تليها *L. aurata* (23.8٪) لكل نوع ، يتم تسجيل أفضل قيم K في مواسم مختلفة اعتماداً على الموقع المعين. الغالبية العظمى من قيم Kn أكبر من 1 ، مما يشير إلى حالة جيدة لجميع الأنواع الخمسة في جميع الموائل. لكل نوع ، هناك ارتباط مهم للغاية ( $r \leq 0.99$ ) 0.95 بين قيم Kn و Wrm المسجلة في كل موقع. من ناحية أخرى ، باستثناء *L. ramada* ، فإن قيم b و Kn لا تقيم الوزن الزائد للأسماك بنفس الطريقة. الجزء الثالث من هذا العمل مخصص لدراسة وفرة وتوزيع وأداء النمو لخمس أنواع من عائلة البوريات (Mugilidae) في ثلاثة أنواع من الموائل الساحلية (البحر الساحلي والمجاري والبحيرة). تدخل الخمسة أنواع في البيئات الساحلية المدروسة بأحجام صغيرة جداً (2-3 سم) . بغض النظر عن الموقع ، تعتبر *Liza saliens* الأكثر وفرة (46.92٪) ، تليها *Liza aurata* (23.72٪) ، *Chelon labrosus* (13.96٪) ، *Liza ramada* (11.80٪) و *Mugil cephalus* (3.50٪). تظهر كل نوع من هذه الأنواع ملف احتلال مختلف لكل موقع (تاريخ التجنيد والوفرة والهيكل الديموغرافي). والأمر نفسه بالنسبة للنمو اليومي ، حيث يكون النمو اليومي أفضل في مفرق *Liza saliens* (0.70 ملم / يوم) ، وفي بوخميرة ومفرق *Liza aurata* بـ 0.53 و 0.48 ملم / يوم على التوالي، وفي كاروب *Liza ramada* (0.58 ملم / يوم) ، وفي ملاح *Chelon labrosus* (0.59 ملم / يوم) و *Mugil cephalus* (0.68 ملم / يوم).

**الكلمات المفتاحية:** Mugilidae، البيئة ، الحالة ، النمو اليومي ، البحر الأبيض المتوسط ، المياه الانتقالية.

## Sommaire

### Résumés

### Liste des tableaux

### Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction générale</b>                                                                                                                                                                                                           | <b>1</b>  |
| <b>1. Chapitre 1 : Contexte environnemental et sites étudiés</b>                                                                                                                                                                       | <b>7</b>  |
| 1.1. Situation géographique et environnement                                                                                                                                                                                           | 7         |
| 1.1.1. Plage la caroube                                                                                                                                                                                                                | 9         |
| 1.1.2. L'estuaire de l'Oued Boukhmira                                                                                                                                                                                                  | 10        |
| 1.1.3. Estuaire de la Mafragh                                                                                                                                                                                                          | 11        |
| 1.1.4. Lagune Mellah                                                                                                                                                                                                                   | 12        |
| 1.2. Paramètres abiotiques                                                                                                                                                                                                             | 13        |
| 1.2.1. Variations globales annuelles entre sites                                                                                                                                                                                       | 13        |
| 1.2.2. Variation mensuelle des paramètres abiotiques                                                                                                                                                                                   | 14        |
| 1.2.3. Variations saisonnières des paramètres abiotiques                                                                                                                                                                               | 14        |
| 1.2.4. Analyse en composante principale (ACP) appliquée aux données abiotiques mensuelles                                                                                                                                              | 16        |
| <b>2. Chapitre 2 : Profils d'occupation par la faune ichthyologique de quatre habitats côtiers à une échelle régionale limitée dans le sud-ouest de la Méditerranée (Plage Caroube, estuaires Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)</b> | <b>19</b> |
| 2.1. Matériels et méthodes                                                                                                                                                                                                             | 21        |
| 2.1.1. Zones d'étude                                                                                                                                                                                                                   | 21        |
| 2.1.2. Protocole d'échantillonnage                                                                                                                                                                                                     | 21        |
| 2.1.3. Analyse des données                                                                                                                                                                                                             | 22        |
| 2.2. Résultats                                                                                                                                                                                                                         | 24        |
| 2.2.1. Composition spécifique                                                                                                                                                                                                          | 24        |
| 2.2.2. Variations temporelles et inter-habitats des assemblages ichthyologiques                                                                                                                                                        | 34        |
| 2.3. Discussion                                                                                                                                                                                                                        | 37        |
| <b>3. Chapitre 3 : Occurrence et embonpoint des juvéniles de cinq espèces de Mugilidés dans quatre habitats côtiers voisins dans l'extrême Est algérien (Plage Caroube, estuaires Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)</b>             | <b>42</b> |
| 3.1. Matériel et méthodes                                                                                                                                                                                                              | 43        |
| 3.1.1. Zone d'étude et protocole d'échantillonnage                                                                                                                                                                                     | 43        |
| 3.1.2. Relation entre l'occurrence des poissons et les paramètres physico-chimiques                                                                                                                                                    | 44        |
| 3.1.3. Détermination de la fitness des poissons                                                                                                                                                                                        | 44        |
| 3.1.4. Analyse statistique                                                                                                                                                                                                             | 45        |
| 3.2. Résultats                                                                                                                                                                                                                         | 45        |
| 3.2.1. Abondance et distribution des espèces                                                                                                                                                                                           | 45        |
| 3.2.2. Variations saisonnières de la distribution des espèces                                                                                                                                                                          | 47        |
| 3.2.3. Variations saisonnières de la condition des espèces                                                                                                                                                                             | 50        |
| 3.2.4. Variations de la condition des espèces                                                                                                                                                                                          | 50        |
| 3.3. Discussion                                                                                                                                                                                                                        | 55        |

|                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. Chapitre 4 : Structure et croissance des juvéniles de de cinq espèces de Mugilidés en fonction de l'habitat dans le Sud-Ouest de la Méditerranée</b> | <b>60</b> |
| 4.1. Matériel et méthodes                                                                                                                                  | 61        |
| 4.1.1. Structure des populations                                                                                                                           | 61        |
| 4.1.2. Préparation et lecture des otolithes                                                                                                                | 62        |
| 4.1.3. Estimation de la croissance des poissons                                                                                                            | 62        |
| 4.2. Résultats                                                                                                                                             | 63        |
| 4.2.1 Paramètres abiotiques                                                                                                                                | 63        |
| 4.2.2. Abondance et distribution des poissons                                                                                                              | 63        |
| 4.2.3. Variations temporelles de la taille des poissons                                                                                                    | 65        |
| 4.2.4. Croissance journalière des poissons                                                                                                                 | 66        |
| 4.3. Discussion                                                                                                                                            | 71        |
| <b>Conclusion générale</b>                                                                                                                                 | <b>75</b> |
| <b>Références bibliographiques</b>                                                                                                                         | <b>78</b> |
| <b>Matériel supplémentaire</b>                                                                                                                             |           |

## Liste des tableaux

| N°        | Titre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Page      |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | Liste des poissons capturés dans l'estuaire Boukhmira avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophique.                                                                                                                                                                                                                                        | <b>25</b> |
| <b>2</b>  | Liste des poissons capturés à la plage Caroube avec leur densité saisonnière moyenne (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>26</b> |
| <b>3</b>  | Liste des poissons capturés dans l'estuaire de Mafragh avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.                                                                                                                                                                                                                                      | <b>28</b> |
| <b>4</b>  | Liste des poissons capturés dans la lagune Mellah avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.                                                                                                                                                                                                                                           | <b>29</b> |
| <b>5</b>  | L'analyse SIMPER montrant les pourcentages moyens de similitude au sein des groupes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>35</b> |
| <b>6</b>  | Les Statistiques associées aux deux premiers axes canoniques de l'Analyse Canonique des Correspondances.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>37</b> |
| <b>7</b>  | Intercepte (a') et pente (b') relatifs de la relation longueur-poids et facteur de condition relatif (Kn) dans chaque site pour chaque espèce. Intercept (a), pente (b) et coefficient de détermination (r <sup>2</sup> ) de chaque espèce dans tous les sites. B: estuaire de Boukhmira, C: plage La Caroube, MF: estuaire de La Mafragh, M: lagune Mellah. Les valeurs en gras correspondent aux allométries. | <b>51</b> |
| <b>8</b>  | Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton selon les sites pour <i>Liza saliens</i>                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>52</b> |
| <b>9</b>  | Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton selon les sites pour <i>Liza aurata</i> .                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>52</b> |
| <b>10</b> | Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour <i>Liza ramada</i> .                                                                                                                                                                                                                                             | <b>53</b> |
| <b>11</b> | Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour <i>Chelon labrosus</i> .                                                                                                                                                                                                                                         | <b>53</b> |
| <b>12</b> | Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour <i>Mugil cephalus</i> .                                                                                                                                                                                                                                          | <b>54</b> |
| <b>13</b> | Valeurs moyennes de l'indice de poids relatif (W <sub>rm</sub> ) calculé pour chaque espèce dans chaque site.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>55</b> |
| <b>14</b> | Taux de croissance journalier (mm/jour) calculé pour les cinq espèces de Mugilidae en fonction des différents sites.                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>69</b> |

## Liste des figures

| N° | Titre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Page |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1  | Situation géographique des quatre habitats étudiés et positions des points d'échantillonnage dans chaque site.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 8    |
| 2  | Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de la plage La Caroube.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9    |
| 3  | Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de l'estuaire Boukhmira.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10   |
| 4  | Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de l'estuaire de La Mafragh.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 11   |
| 5  | Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de l'estuaire de La lagune d'El Mellah.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 12   |
| 6  | Boîte à moustache représentant le profil annuel des trois paramètres abiotiques mesurés dans les quatre sites étudiés.                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 13   |
| 7  | Variations mensuelles de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous dans les quatre habitats étudiés (a : plage la caroube, b : estuaire de Boukhmira, c : estuaire de Mafragh, d : lagune Mellah).                                                                                                                                                                                                    | 15   |
| 8  | Variations saisonnières des paramètres abiotiques (température, oxygène dissous (DO), salinité), à Boukhmira (B), Caroube (C), Mafragh (MF) et Mellah (M). Winter : Hiver, Spring : Printemps, Summer : Été, Autumn : Automne)                                                                                                                                                                                     | 16   |
| 9  | Pourcentage de variance expliquée par les trois axes de l'Analyse en composante principales (ACP).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 17   |
| 10 | Visualisation du résultat de l'Analyse en composante principale appliquée aux variables abiotiques (Température : Tem ; Salinité : Sal ; Oxygène dissous :Oxy).                                                                                                                                                                                                                                                    | 17   |
| 11 | Visualisation du résultat de l'approche HCPC (Classification hiérarchique sur composantes principales).                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18   |
| 12 | Variations saisonnières de la richesse et de la densité des espèces de poissons dans la plage la Caroube (a), les estuaires Boukhmira (b), et Mafragh (c), lagune Mellah (d).                                                                                                                                                                                                                                      | 30   |
| 13 | Abondance des différentes guildes écologiques selon les saisons dans les quatre sites étudiés, exprimée en pourcentage. Plage La Caroube (a), estuaire de Boukhmira (b), l'estuaire de la Mafragh (c), lagune Mellah (d). Estuariens (ES), migrants marins (MM), espèces d'eau douce (F), résidents (R), herbiers marins (SR), jeunes migrants (JM), visiteurs occasionnels (Ov) Migrants marins saisonniers (MS). | 32   |
| 14 | Abondance des différentes guildes trophiques selon les saisons dans les quatre habitats étudiés. Plage La Caroube (a), Boukhmira (b), Mafragh (c), Mellah (d). H : Herbivores, hyperbenthivores/zooplanktivorous (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV), hyperbenthivores/piscivores (HP), planktivores (P).                                                      | 33   |
| 15 | Classification ascendante hiérarchique saisonnière entre tous les sites. Saisons : hiver (Win), printemps (Spr), été (Sum), automne (Aut). Sites : Caroube (C), Boukhmira (B), Mafragh (Mf), Mellah (M).                                                                                                                                                                                                           | 34   |
| 16 | Analyse canonique des correspondances basée sur les densités des espèces de poissons en fonction des variables abiotiques. Les échantillonnages saisonniers                                                                                                                                                                                                                                                        | 36   |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|           | sont représentés en noir : hiver (W), printemps (Sp), été (Su), automne (Au), plage de La Caroube (C), estuaire de Boukhmira (B), estuaire de La Mafragh (Mf), lagune Mellah (M). Les densités d'espèces sont représentées par des abréviations d'espèces. Les variables explicatives quantitatives (variables environnementales : Tem : température, Sal : salinité, DO : oxygène dissous) sont représentées par des flèches, Les variables explicatives qualitatives variable explicative qualitative (nature du fond ; Bot Mix : Fond mixte, Bot S-M : Fond sablonneux-vaseux, Bot Mud : Fond vaseux).                                                                                                                                                                                                                                                                        |           |
| <b>17</b> | Distribution de chacune des 5 espèces entre les 4 sites.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>46</b> |
| <b>18</b> | Fréquence de chacune des 5 espèces dans chaque site.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>47</b> |
| <b>19</b> | Fréquence des espèces de mugilidae dans les 4 sites en fonction des saisons. Le nombre par site (N) correspond au nombre d'individus, toutes espèces confondues.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>48</b> |
| <b>20</b> | Triplot de l'analyse canonique des correspondances reliant le score du site, les densités de Mugilidae et les variables abiotiques corrélées avec les axes. Le mois d'échantillonnage du site est représenté en vert avec : Janvier (Jan), Février (Feb), Mars (Mar), Avril (Apr), Mai (May), Juin (Jui), Juillet (Jul), Août (Aou), Sep (Sep), Octobre (Oct), Novembre (Nov), Décembre (Dec). Plage Caroube (C), Estuaire de Boukhmira (B), Estuaire de La Mafragh (MF), Lagune Mellah (M). Les densités des espèces sont représentées par les noms des espèces : <i>L. saliens</i> (L. sal), <i>L. aurata</i> (L. aur), <i>L. ramada</i> (L. ram), <i>C. labrosus</i> (C. lab) <i>M.cephalus</i> (M. cep). Les variables explicatives quantitatives (variables environnementales): température (Tem), salinité (Sal), oxygène dissous (Oxy) sont représentées par des flèches. | <b>49</b> |
| <b>21</b> | Distribution des fréquences de taille (LT en cm) des cinq espèces de mugilidés dans les quatre environnements.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>64</b> |
| <b>22</b> | Evolution saisonnière de la taille (LT en cm) des 5 espèces de Mugilidae dans les 4 sites étudiés de janvier à décembre 2016 (a : <i>L. saliens</i> , b : <i>L. aurata</i> , c : <i>L. ramada</i> , d : <i>C. labrosus</i> , e : <i>M. cephalus</i> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>66</b> |
| <b>23</b> | Microstructure des stries de croissance journalières dans des lapillis polis d'une longueur de 1,9 mm appartenant à un <i>C.labrosus</i> âgé de 121 jours et d'une LT de 4,9 cm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>67</b> |
| <b>24</b> | Relations âge-longueur estimées pour les juvéniles des 5 espèces de Mugilidés capturés dans chaque zone (a : <i>L. saliens</i> , b : <i>L. aurata</i> , c : <i>L. ramada</i> , d : <i>C. labrosus</i> , e : <i>M. cephalus</i> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>68</b> |
| <b>25</b> | Résultats du test Post Hoc Tukey HSD de l'Anova à un facteur. Les sites qui ne partagent pas la même lettre présentent des taux de croissance significativement différents. (a: <i>L. saliens</i> , b: <i>L. aurata</i> , c: <i>L. ramada</i> , d: <i>C. labrosus</i> , e: <i>M. cephalus</i> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>70</b> |



# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Les zones côtières présentent une mosaïque d'écosystèmes et d'habitats qui assurent un grand nombre de services écosystémiques précieux, comme par exemple la défense maritime, le stockage du carbone, les services de loisirs et de plaisance, qui sont très bénéfiques en termes de bien-être pour la société, mais aussi au maintien en équilibre des cycles biologiques de nombreuses populations de poissons. Elles constituent aussi des "abris" et des sites d'alimentation temporaires pour les adultes, et servent de nurseries pour les jeunes stades de certaines espèces qui se reproduisent en mer. D'un point de vue socio-économique, elles fournissent une grande part de la richesse économique de la planète (38 %) (**Costanza et al., 1997**).

Les milieux paraliques (lagune, estuaire, écotone...) constituent des zones littorales spéciales, caractérisées par une communication étroite avec le milieu marin, et reçoivent des apports nutritifs très riches en matière organique par les dépôts sédimentaires continentaux. Ces milieux génèrent environ 26% des ressources alimentaires de la biosphère (**Costanza et al., 1997**).

Depuis longtemps, les civilisations ont cherché à exploiter au mieux les zones littorales afin d'étendre leur pouvoir, leur commerce et leur culture. Depuis la seconde moitié du XXème siècle, le littoral voit sa démographie augmenter. Aujourd'hui, selon l'Union internationale pour la conservation de la Nature (**UICN, 2008**), plus de 60% de la population mondiale habite dans les zones côtières (qui représente 12% de la surface terrestre) soit environ 4 milliards d'habitants et on prévoit que dans 25 ans, ce sera plus de 75%. Avec ce développement économique et cette croissance démographique en expansion, de fortes répercussions sont observées sur les écosystèmes, notamment la destruction des habitats naturels (aménagements et activités portuaires, chenalisation, activités industrielles, aquaculture, pollutions, dragage, extraction de granulats, activités agricoles, marées noires, développement intensif du tourisme...) et la surexploitation des ressources (surexploitation des mers et des mangroves) ainsi que le blanchissement corallien ayant des causes diverses, dont notamment le changement climatique.

En Algérie, l'intérêt porté à la gestion des milieux littoraux est récent. La loi 90-29 du 1<sup>er</sup> décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme est le premier texte ayant défini en «dispositions particulières à certaines parties du territoire» l'espace littoral. Les dispositions de ce texte s'appliquent à toutes les îles, îlots ainsi qu'une bande de terre d'une largeur minimale de 800 mètres longeant la mer et incluant l'intégralité des zones humides et leurs rivages sur 300 mètres de largeur, dès qu'une partie de ces zones est en littoral tel que défini. En outre, toute construction sur une bande de terre de 100 mètres de largeur à partir du rivage est frappée

de servitude de non aedificandi. Toutefois, sont autorisées sur cette bande les constructions nécessitant la proximité immédiate de l'eau (**art. 45 de la loi 90-29**).

Les dispositions de cette loi n'ont pas empêché l'urbanisation de s'étendre dans Les zones proches du rivage. Ces espaces connaissent également une dégradation importante due à l'extraction non autorisée du sable et à la fréquentation anarchique des plages. Ce n'est qu'en février 2002 qu'une loi spécifique au «littoral» a été promulguée. Il s'agit de la **loi 02-02 du 05 février 2002** relative à la protection et à la valorisation du littoral. Cette loi délimite trois bandes dans le littoral tel que défini à **l'article (07)**, dans lesquelles sont édictées des restrictions relatives à l'urbanisation.

Ce travail est une contribution à la connaissance des espaces paraliques méditerranéens et de leurs peuplements. En plus d'établir un état de la diversité ichthyologique de ce type de milieux dans l'Est de l'Algérie et de sa structure spatiale et temporelle, il s'agira en particulier de tenter de comprendre l'influence du type d'habitat côtier sur la condition et le développement d'une famille de poissons particulièrement impliquée dans le contexte aquacole national, voire international. Il s'agit de la famille des mugilidés. Deux approches sont appliquées, la première est basée sur la condition des poissons, la seconde tient compte de leurs performances de croissance durant leur première année de vie. Cette dernière approche fait appel à la microstructure des otolithes pour déterminer l'âge journalier des poissons.

Les mulets gris (Mugilidae) sont bien connus et très appréciés depuis l'Antiquité. Ces poissons sont bien présentés dans différents ouvrages historiques et archéologiques, y compris la littérature et les frises sculptées des anciennes civilisations de la région méditerranéenne (**Nash et Shehadeh, 1980**). Aujourd'hui, leur importance commerciale dépend des pays, en Tunisie, en Égypte et au Taïwan par exemple, c'est une source de nourriture hautement appréciée, tandis qu'ils ont peu de valeur dans certaines régions d'Espagne, de France et d'Australie (**Whitfield et al., 2012**). Aux Etats Unis, en Caroline du Nord, en Alabama et en Louisiane, il existe peu de demande pour la consommation humaine en raison du caractère gras de ces poissons. La plupart des exploitations commerciales dans ces États visent les femelles porteuses d'œufs (pour la transformation et l'exportation d'œufs) et les poissons destinés à la pêche aux appâts du mulot (**Simon, 2016**). Cependant, dans la plupart des pays producteurs, y compris ceux où les mulets sont peu appréciés, on constate un intérêt croissant pour ces poissons pendant les périodes de frai.

En effet, à travers le monde, les produits à base d'œufs de poisson sont extrêmement précieux, et la demande est en augmentation sur les marchés internationaux et nationaux (**Bledsoe et al., 2003**).

La présence répandue de *M. cephalus* et son statut trophique situé à la base de la chaîne alimentaire lui permettent d'être abondante et d'atteindre une biomasse élevée dans de nombreuses parties de son aire de répartition (**Whitfield et al., 2012**). Il a été rapporté que *M. cephalus* représente 29% de la production mondiale de la pêche de capture de mulets en 2013, bien que cela semble être une sous-estimation car une grande partie de la production déclarée de mulets NEI inclut également cette espèce. Ainsi, à l'échelle mondiale, *M. cephalus* constitue probablement près de 50% de la production de mullet, tant pour la pêche de capture que pour l'aquaculture (**Crosetti, 2016**). Pour les principaux pays producteurs, des données statistiques plus détaillées peuvent être obtenues. Selon **Saleh (2008)**, la production de mulets en Égypte a atteint 186 000 tonnes en 2005, dont environ 156 000 tonnes pour l'aquaculture et environ 30 000 tonnes pour la récolte, avec une forte contribution des lacs et des lagunes côtières (81,6 %). Il a également indiqué que *Liza ramada* constituait en moyenne 58% des prises tandis que *M. cephalus* était de 23%. En Tunisie, le ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques publie chaque année les statistiques concernant spécifiquement la production de mulets en eau douce. Les débarquements des captures effectuées dans les zones marines (lagunes maritimes et côtières) se situaient auparavant autour de 2100-2400 tonnes/an, tandis que ceux des captures d'eau douce variaient entre 260 et 360 tonnes/an. La production nationale de poissons d'eau douce, toutes espèces confondues, a atteint environ 1200 tonnes en 2015; les mulets représentant ainsi environ 30%. Cependant, malgré la contribution socio-économique de la pêche continentale en termes de sécurité alimentaire, d'emplois et de revenus, ce secteur est souvent mis à l'écart dans la compétition pour les ressources d'eau douce par les autres secteurs mieux organisés comme l'agriculture (**FAO, 2016**). Dans l'ensemble, à quelques exceptions près, concernant les mulets produits en eau douce, il y a un manque de données et de statistiques comparables au niveau mondial.

Depuis longtemps, il existe un grand intérêt pour les études concernant les mugilidés. Ces derniers ont trait à la biologie (**De Silva, 1980 ; Crosetti et Cataudella, 1995 ; Whitfield et al., 2012 ; Cardona, 2016 ; González-Castro et Minos, 2016 ; Ibáñez, 2016**), l'acclimatation à des salinités faibles (**Chervinski, 1977 ; Nordlie et al., 1982 ; El Cafsi et al., 2003 ; Khérifi et al., 2003 ; Rabeh et al., 2010, 2015 ; Nordlie, 2016**) le développement des premiers stades larvaires (**Zouiten et al., 2008 ; Ben Khemis et al., 2013 ; Koutrakis et al., 2016**), la pollution et la biosurveillance (**Waltham et al., 2013**), la mise en valeur des stocks et la pêche (**Losse et al., 1991 ; Vidy et Franc, 1992 ; Crosetti, 2016 ; Leber et al., 2016**) et l'aquaculture (**Nash et Shehadeh, 1980 ; El-Sayed, 1991 ; Ben Khemis et al., 2006 ; Besbes et al., 2010 ; Crosetti, 2016 ; Gisbert et al., 2016 ; Altunok et Özden, 2017**). Des analyses sur différents sujets liés

à la taxonomie, la biologie, l'écologie et l'élevage des mugilidés ont été compilées récemment dans un ouvrage édité par **Crosetti et Blaber (2016)**. La qualité des produits de la pêche de Mugilidae (chair et œufs) a également fait l'objet d'une certaine attention (**Beddih et al., 2004 ; Rosa et al., 2009 ; Baptista et al., 2013 ; Mostafa et Salem, 2015**), y compris les poissons d'eau douce (**Huang et al., 2008 ; Yilmaz, 2009 ; Bouzgarrou et al., 2016 ; Bouzgarrou et Sadok, 2017 ; Ben Khemis et al., 2017**).

Parmi les structures dures chez les poissons téléostéens, en plus des écailles et des épines, les otolithes sont des plus particulières, car ces derniers sont généralement protégés contre toute atteinte ou modification extérieure une fois formés. Les otolithes sont un ensemble de trois paires de structures calcifiées encapsulées dans les vésicules otiques, une série de cavités de chaque côté de la base du crâne, et font partie des organes sensoriels de l'oreille interne (**Lecomte-Finiger, 1999**).

Une paire d'otolithes est formée de chaque côté de la tête et collectivement, ils contribuent à l'équilibre, à l'orientation (chacun des trois otolithes de chaque côté du crâne est aligné dans l'une des trois dimensions spatiales) et à la réception auditive (**Popper et Platt, 1993**). Il est important de noter que les otolithes ne sont pas formés par une activité cellulaire mais qu'ils sont précipités dans l'endolymph, un fluide organique retenu dans la vésicule otique. Les otolithes grandissent tout au long de la vie de l'individu mais, étant isolés des autres tissus, ils ne subissent pas les effets de remplacement ou de résorption cellulaire qui peuvent se produire dans d'autres parties osseuses. Les trois paires d'otolithes varient considérablement en taille et sont nommées sagittae (singulier sagitta), lapilli (singulier lapillus) et asterisci (singulier asteriscus), du plus grand au plus petit. Les sagittae et les lapilli se forment généralement plus tôt dans le développement que les asterisci, qui, chez certaines espèces, ne se forment que bien après l'éclosion. Les sagittae sont le plus souvent utilisés pour le calcul de l'âge et d'autres analyses parce qu'ils sont les plus grands, les plus précocement formés et les plus faciles à extraire des trois paires. (**Campana, 1999**)

Les otolithes sont constitués principalement d'aragonite, un polymorphe du carbonate de calcium. Tous les précurseurs de la minéralisation des otolithes sont contenus dans le fluide endolymphatique dont les protéines interviennent dans la taille, la forme et l'orientation de la formation des cristaux (**Payan et al., 1999**). La croissance d'un otolithe tout au long de la vie d'un poisson est le résultat d'une précipitation continue mais irrégulière d'aragonite (**Green et al., 2009**). La médiation biologique par des protéines associées à l'endolymph entraîne une accréation progressive de l'otolithe par la formation de bandes concentriques alternées de zones pauvres en minéraux (moins denses) et de zones riches en minéraux (plus denses) au fur et à

mesure du développement d'une structure solide. Les origines biologiques de la formation des incréments reflètent les influences environnementales et développementales que subit le poisson en croissance. Ces influences peuvent être aussi simples que les rythmes environnementaux quotidiens et saisonniers ou les événements ontogénétiques importants pour le développement tels que la première alimentation et la reproduction (**Green et al., 2009**).

La description de l'état passé et actuel des activités de pêche et des stocks de poissons dont elles dépendent est primordial pour garantir une exploitation durable de la ressources. Dans ce but, les pièces calcifiées des poissons fournissent des données précieuses car elles permettent d'estimer l'âge des poissons, une variable clé pour presque toutes les procédures formelles ou informelles d'évaluation des pêches (**Hilborn et Walters, 1992**). Des informations importantes pour la recherche écologique et la gestion des pêches sont obtenues à partir du prélèvement et du traitement de diverses structures calcifiées de nombreuses espèces marines et d'eau douce, notamment les otolithes, les statolithes, les épines, les rayons des nageoires, les vertèbres et autres os (**Campana, 2001**)

Une grande quantité d'informations physiologiques et historiques est enregistrée dans la composition chimique et physique de ces structures calcaires, y compris des informations environnementales sur les lieux où les individus ont vécu, les caractéristiques quotidiennes, saisonnières ou annuelles de la croissance, les schémas de migration, le domaine vital, la distribution spatiale, la structure des stocks et, bien sûr, l'âge. La richesse des informations biologiques, biochimiques ou génétiques que l'on peut extraire de ces structures en a fait un élément central de nombreuses procédures modernes d'évaluation et de gestion des pêches (**Hilborn et Walters, 1992**).

La combinaison des informations fournies par les otolithes avec des données telles que la taille, le poids et la condition de reproduction des poissons permet de déduire une série de paramètres utiles pour la gestion de la pêche d'un stock de poissons. L'information la plus fondamentale fournie par un otolithe est le nombre d'incrémentes de croissance formés avant l'échantillonnage du poisson, ce qui permet d'estimer l'âge du poisson au moment de la capture (à condition que la périodicité de la formation des incréments soit connue). Ces informations deviennent plus utiles dans un cadre de gestion avec l'ajout de détails supplémentaires sur la biologie du poisson et avec l'application de quelques mathématiques de base pour décrire la structure et la dynamique de la population considérée comme constituant le stock exploité.

La combinaison des données relatives à la taille et à l'âge des poissons peut être utilisée pour décrire une trajectoire générale de croissance tout au long de la vie des individus moyens de la population et calculer les taux de croissance.

Un autre aspect de travail sur les otolithes serait l'utilisation de leur forme qui va varier en fonction de l'ontogénie (Hüssy, 2008), des conditions environnementales (Morat *et al.*, 2012 ; Cardinale *et al.*, 2004; Gonzales-Salas et Lenfant, 2007), ou en réponse à des différences de taux de croissance qui sont généralement elles-mêmes dues à des différences environnementales (Smith, 1992 ; Campana et Casselman, 1993 ; Friedland et Reddin, 1994 ; Hüssy, 2008).

La plupart des applications de l'analyse chimique des otolithes concernent soit (1) la discrimination des stocks (Campana, 2005), soit (2) les mouvements et la provenance (Brazner *et al.*, 2004 ; Walther et Limburg, 2012). Cependant, d'autres applications sont possibles. En particulier, la chimie des otolithes semble prometteuse pour le suivi rétrospectif de l'interaction des poissons avec les "zones mortes" hypoxiques/anoxiques grâce à l'analyse du manganèse.

Ce travail vise à mieux connaître la faune ichthyologique de l'Est de l'Algérie, notamment celle qui habite les milieux paraliques (eaux côtières, estuaires, lagune). Il est structuré en 4 chapitres. Le premier chapitre décrit l'environnement local des quatre sites considérés (mer côtière, lagune, estuaires) en utilisant notamment des descripteurs chimiques et physiques.

Dans le second chapitre, nous avons cherché à comprendre la structuration de l'ichtyofaune en fonction des habitats côtiers, lagunaires et estuariens. La diversité de cette ichthyofaune et les variations saisonnières de ses assemblages ont été étudiées dans quatre habitats différents sur une échelle géographique limitée de la côte Est de l'Algérie : un site franchement marin (La plage de La Caroube) et trois eaux de transition, deux estuaires (Boukhmira et Mafragh) et une lagune (Mellah).

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié la présence, la distribution et la condition des juvéniles de cinq espèces de Mugilidae (*Liza saliens*, *Liza aurata*, *Liza ramada*, *Chelon labrosus* et *Mugil cephalus*). La fitness de chaque espèce est comparée entre les saisons pour chaque site et entre les sites à l'aide de trois indices : L'indice de condition de Fulton (K), l'indice de condition relative (Kn), le poids relatif (W<sub>rm</sub>).

Dans le dernier chapitre, nous avons déterminé la structure en taille et l'abondance des différentes espèces de muges capturés et leurs variations saisonnières, et nous avons également utilisé la lecture des pièces calcifiées (otolithes) pour la lecture de l'âge journalier. La lecture de la première paire sagittae étant illisible, nous nous sommes orientés vers la deuxième paire «lapillis». L'établissement des relations taille-âge nous a permis de déterminer les allures de croissance pour chaque espèce.

## **Chapitre 1.**

### **Contexte environnemental et sites étudiés**



## Chapitre 1

### Contexte environnemental et sites étudiés

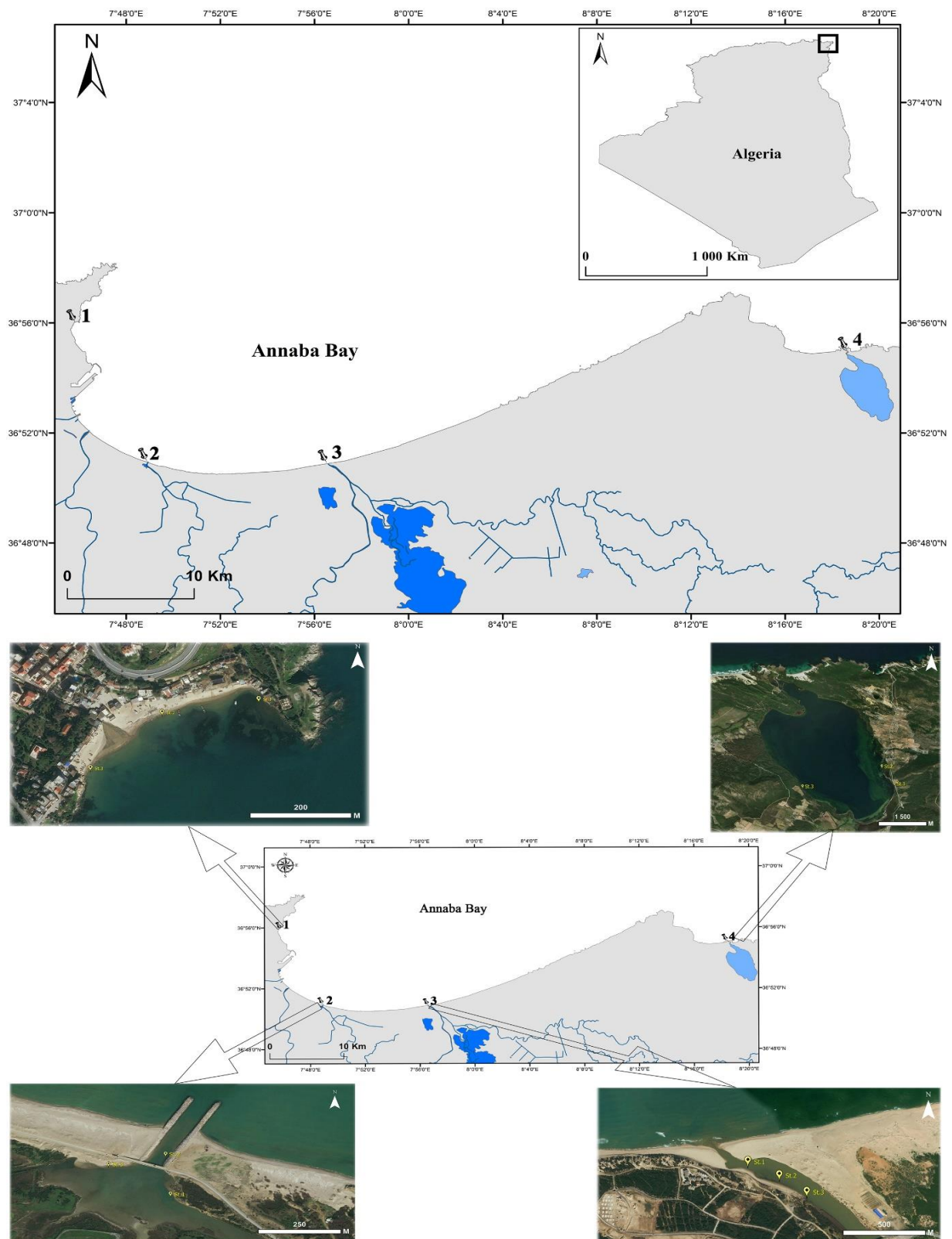
#### 1.1. Situation géographique et environnement

Située à l'extrême Est Algérien (bassin méditerranéen occidental, rive sud), la zone d'étude s'étend sur une distance de 51 km à vol d'oiseau entre les deux wilayas côtières de Annaba et El Tarf. Annaba est la 4<sup>ème</sup> grande ville du pays, elle est connue pour être une ville à vocation industrielle (diverses activités anthropiques), sa baie est caractériser par une mosaïque de plage rocheuses et sableuses. La région d'Annaba a un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. La région est également connue pour ses belles plages et son littoral rocheux. Les eaux environnantes abritent une grande variété de poissons et de fruits de mer, ce qui en fait une zone importante pour la pêche commerciale.

En outre, la région d'Annaba possède également une riche histoire et culture. Elle a été occupée par les Romains, les Arabes et les Ottomans, et possède de nombreux sites historiques et touristiques, tels que les ruines de l'ancienne ville romaine de Hippone et la basilique Saint-Augustin.

La ville d'El Tarf est à vocation plutôt agricole, qui abrite le parc national d'El Kala, et plus précisément la lagune Mellah qui fait partie de la zone intégrale du parc (**Figure 1**).

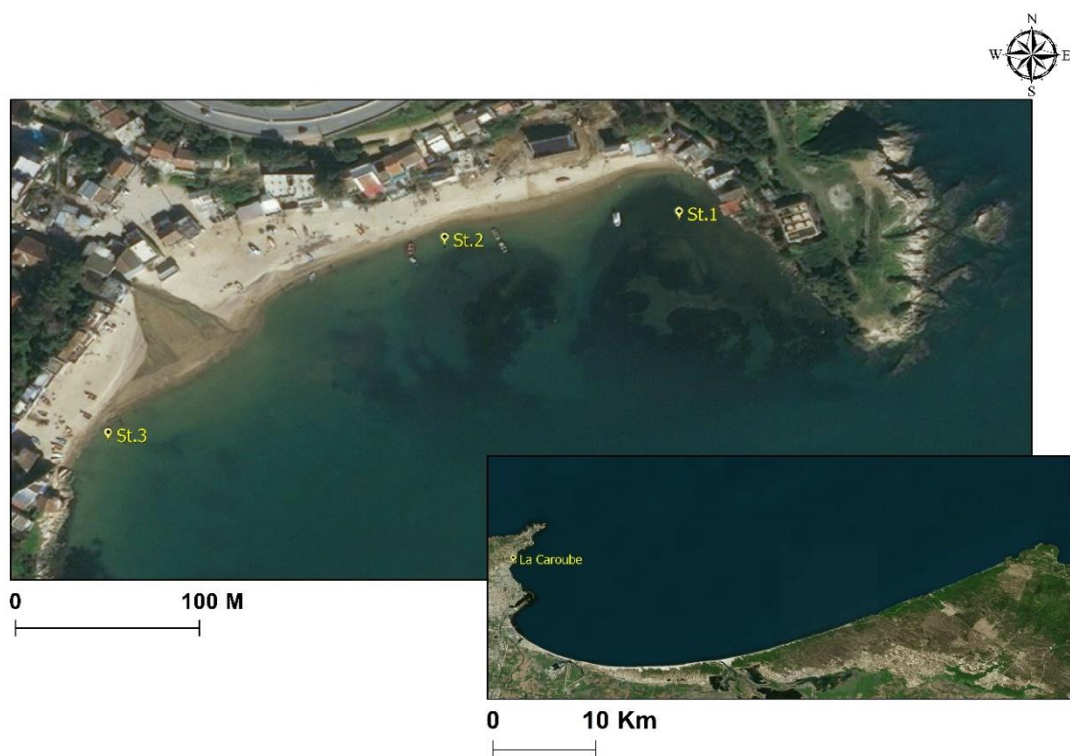
La région est connue pour son patrimoine naturel, notamment le parc national d'El Kala, qui abrite une grande variété d'espèces végétales et animales, ainsi que des lacs, des marécages et des forêts de pins. La région d'El Taref est également connue pour ses plages de sable fin et ses eaux cristallines, qui en font une destination touristique populaire. L'étude a été menée sur quatre sites différents par leurs caractéristiques typologiques et physico-chimiques.



**Figure 1.** Situation géographique des quatre habitats étudiés et positions des points d'échantillonnage dans chaque site.

### 1.1.1. Plage Caroube

La plage Fabre, communément appelée "La caroube"(Kharrouba en arabe) par la population bônoise (36°55' N - 7°48' E) (**Figure 2**), est située juste après la plage Rizi Amor (ex. Chapuis). Les observations *in situ* montrent que son substrat est généralement sableux avec un herbier entrecoupé à posidonie *Posidonia oceanica*. Cet herbier est légèrement plus dense à l'extrémité ouest de la plage et remonte jusqu'à la surface à certains endroits pour constituer une véritable barrière. La longueur de la plage est approximativement de 275 m. Elle est protégée des vents dominants Nord-Ouest, mais exposée à ceux de l'Est. Le site est soumis à une pollution urbaine directe, sauf en été lorsque les rejets domestiques sont détournés pour permettre l'exploitation touristique de la plage. La partie Est du site est utilisée comme quai pour les petits bateaux plaisanciers. La plage est convoitée par les estivants et tout au long de l'année il s'y exerce une activité de pêche récréative et artisanale (**Derbal et Kara, 2010**).



**Figure 2.** Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de la plage Caroube.

### 1.1.2. L'estuaire Boukhmira

Deux systèmes estuariens sont étudiés ici, le premier est l'embouchure et le marais de l'oued Boukhmira (N36 ° 50, E7 ° 48 ') (**Figure 3**). La largeur de ce canal est d'environ 46 mètres avec un fond argileux et hydromorphe, caractérisé par sa pauvreté en algues et par sa richesse ornithologique, La zone humide de Boukhmira est une dépression de 2 m d'altitude, caractérisée par des formations argileuses noires et hydromorphes, résultant de la disparition à l'Est et à l'Ouest de la basse terrasse sableuse de l'Oued Seybouse (**Boudjemaa, 2010**). Comme elle fait partie de la plaine d'Annaba, cette dernière est influencée par les caractéristiques géomorphologiques et le réseau hydrographique local et régional.

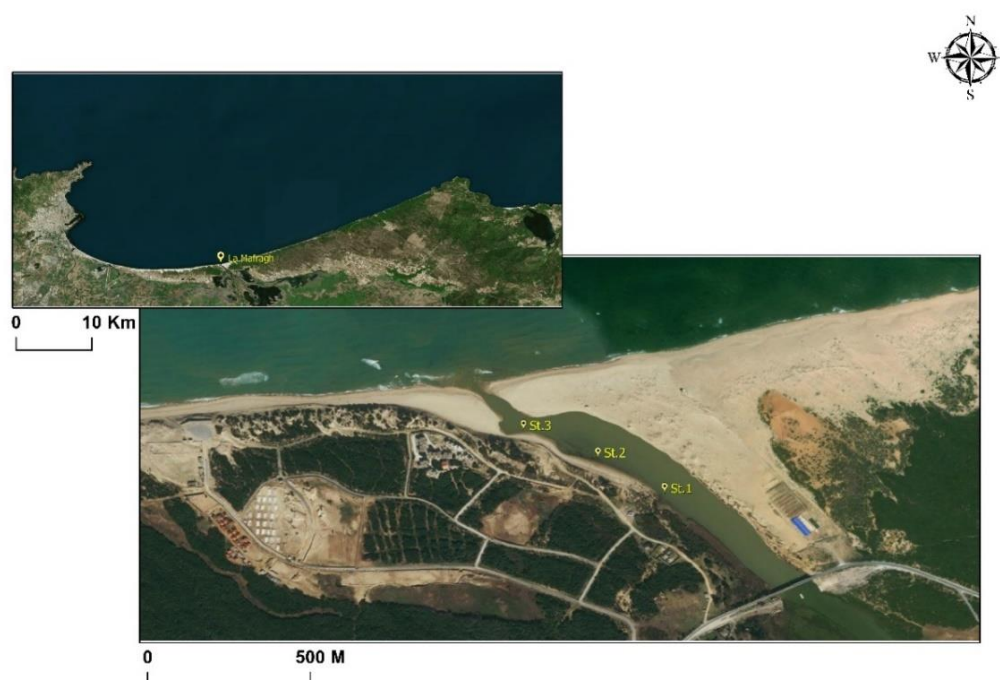


**Figure 3.** Emplacements des stations d'échantillonnage au niveau de l'estuaire Boukhmira.

### 1.1.3. Estuaire Mafragh

Le deuxième site estuarien est l'embouchure de Mafragh (N36 ° 50 ', E7 ° 56') (**Figure 4**). Ce dernier se distingue par un seul cycle estuarien où l'on note la présence de trois phases dans l'année dont la durée varie en fonction des précipitations et de l'apport fluvial (phase fluviale, phase estuarienne et phase lagunaire) (**Khélifi-Touhami et al., 2006**). Une période prolongée d'années sèches peut entraîner la fermeture de l'embouchure de l'estuaire depuis sa connexion à la zone des marées. Il est caractérisée par un substrat sablo-vaseux,

Le complexe estuarien du Mafragh est un écosystème microtidal, formé par deux rivières permanentes (Bounamoussa et Kébir) et de leurs marécages environnants (600 km<sup>2</sup>). Le bassin versant du Mafragh s'étend sur 3200 km<sup>2</sup>, incluant deux barrages (Cheffia et Mexa), construits respectivement sur les oueds Bounamoussa et Kébir (**Figure 1**). Le bassin versant (350 000 habitants) est exploité pour l'agriculture et l'élevage. L'irrigation des terres agricoles est assurée en grande partie par les rivières tributaires de l'estuaire. L'agriculture y est essentiellement intensive et l'industrie se limite à de petites usines agro-alimentaires. La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 800 mm et l'évaporation atteint 508 mm. Le cycle hydrologique du Mafragh dépend de la régulation des barrages et du taux de remplissage des marécages avoisinants. En saison humide, le coin salé peut être chassé à l'embouchure et l'estuaire fonctionne comme un fleuve ouvert, alors qu'en période sèche son recule ou son avancement est dû essentiellement au débit des deux tributaires.



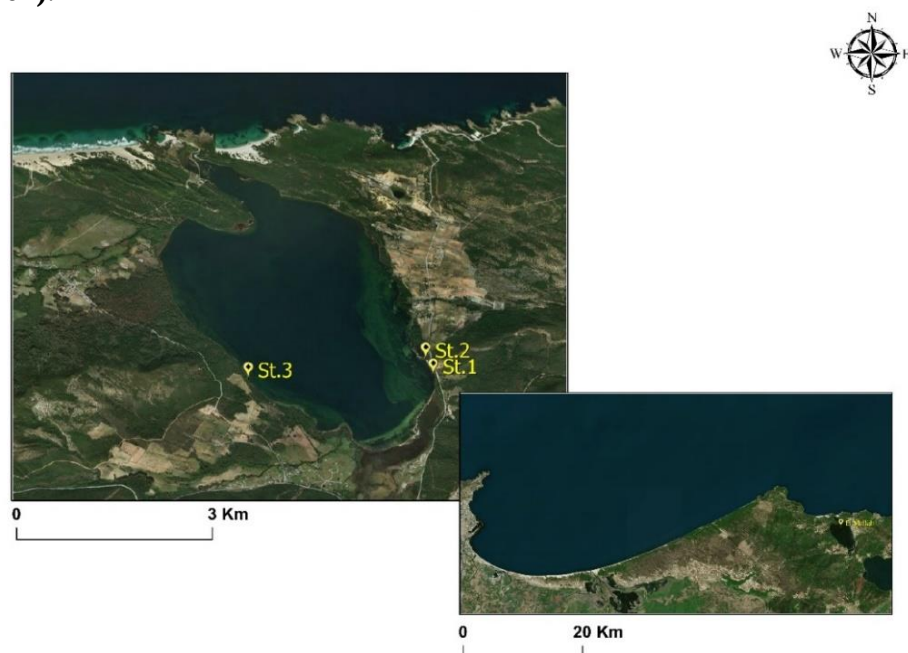
**Figure 4.** Emplacements des stations d'échantillonnage dans l'estuaire de Mafragh.



#### 1.1.4. Lagune Mellah

Mellah est le seul écosystème lagunaire en Algérie. Située au nord-est de l'Algérie (N36 ° 53 ', E8 ° 20') (**Figure 5**), il est peu profond (3,5m de profondeur en moyenne) (Messerer, 1999; Draredja, 2007) et sa superficie est d'environ 865 ha (**Thomas et al., 1973**). Il est alimenté par trois sources d'eau douce qui sont les oueds Mellah, Belaroug et Rgibet à l'Ouest. Sa connexion avec la mer est assurée par un chenal d'environ 870 m de long et 15 m de large. Mellah appartient au complexe des zones humides du Parc National d'El Kala (PNEK), avec les lacs Oubéïra et Tonga. Les vents du Nord et du Nord-ouest dominant généralement la lagune de novembre jusqu'à mai et les vents d'Est de juin jusqu'à octobre (**Draredja, 2007**).

L'hydrologie de la lagune est fortement influencée par les précipitations, l'évaporation et les apports en eau douce en raison des faibles échanges mer-lagune (**Guélorget et al., 1989 ; Ounissi et al., 2002**). Les précipitations annuelles s'élèvent à environ 910 mm concentrées généralement en automne et en hiver. Le taux d'évaporation principal est d'environ 889 mm·an<sup>-1</sup> (**Cataudella et al., 2015**). Le Mellah fait partie d'un ensemble de dépressions, dont certaines sont endoréiques, situées au coeur des terrains gréseux et argilo-gréseux oligocènes de la nappe numidienne. Il correspond vraisemblablement à une dépression endoréique lacustre würmienne, envahie par la mer lors de la remontée eustatique flandrienne (**Guélorget et al., 1989**). Les variations spatio-temporelles de la physico-chimie des eaux de la lagune ont été étudiées par **Semroud (1983)**, **De Casabianca-Chassany et al., (1991)**, **Draredja et Kara (2004a)** et **Draredja (2007)**.



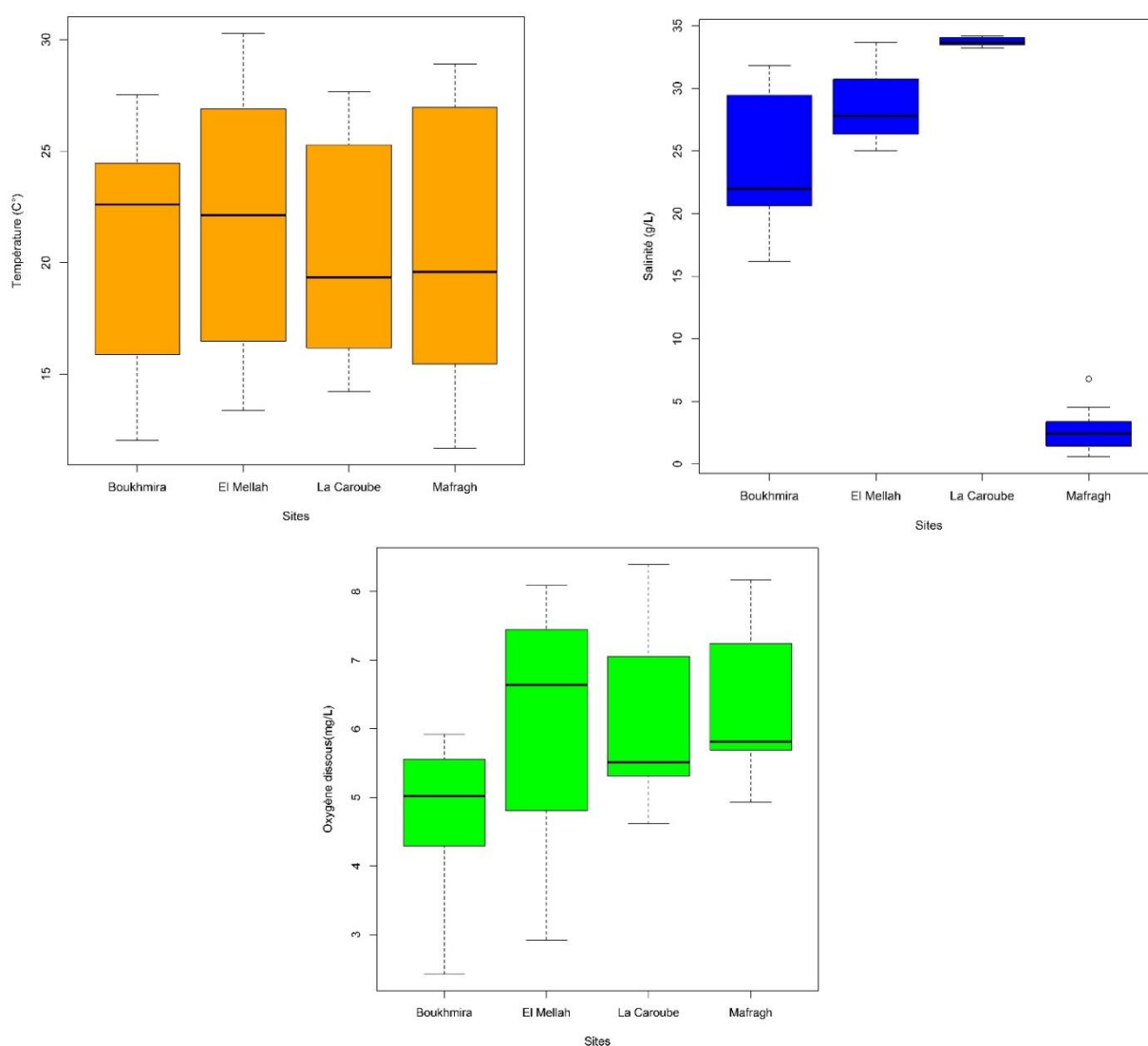
**Figure 5.** Emplacements des stations d'échantillonnage dans la lagune Mellah.

## 1.2. Paramètres abiotiques

A chaque opération de pêche/échantillonnage, 3 paramètres abiotiques (température, salinité, oxygène dissous) ont été mesurés à l'aide d'un multiparamètres (HANNA HI9828). La sonde de l'appareil est immergée à une profondeur de 0.5m. La nature du fond est notée à chaque occasion.

### 1.2.1. Variations globales annuelles entre sites

La **figure 6** montre les intervalles de variations des paramètres mesurés entre les 4 sites. L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) n'a pas montré de différence significative de la température entre sites ( $p = 0,961$ ), cependant la salinité et le taux d'oxygène dissous diffèrent significativement, avec des p-value de  $p = 2 \cdot 10^{-16}$  et  $p = 0,0282$  respectivement.



**Figure 6.** Boite à moustache représentant le profil annuel des trois paramètres abiotiques mesurés dans les quatre sites étudiés.

### 1.2.2. Variation mensuelle des paramètres abiotiques

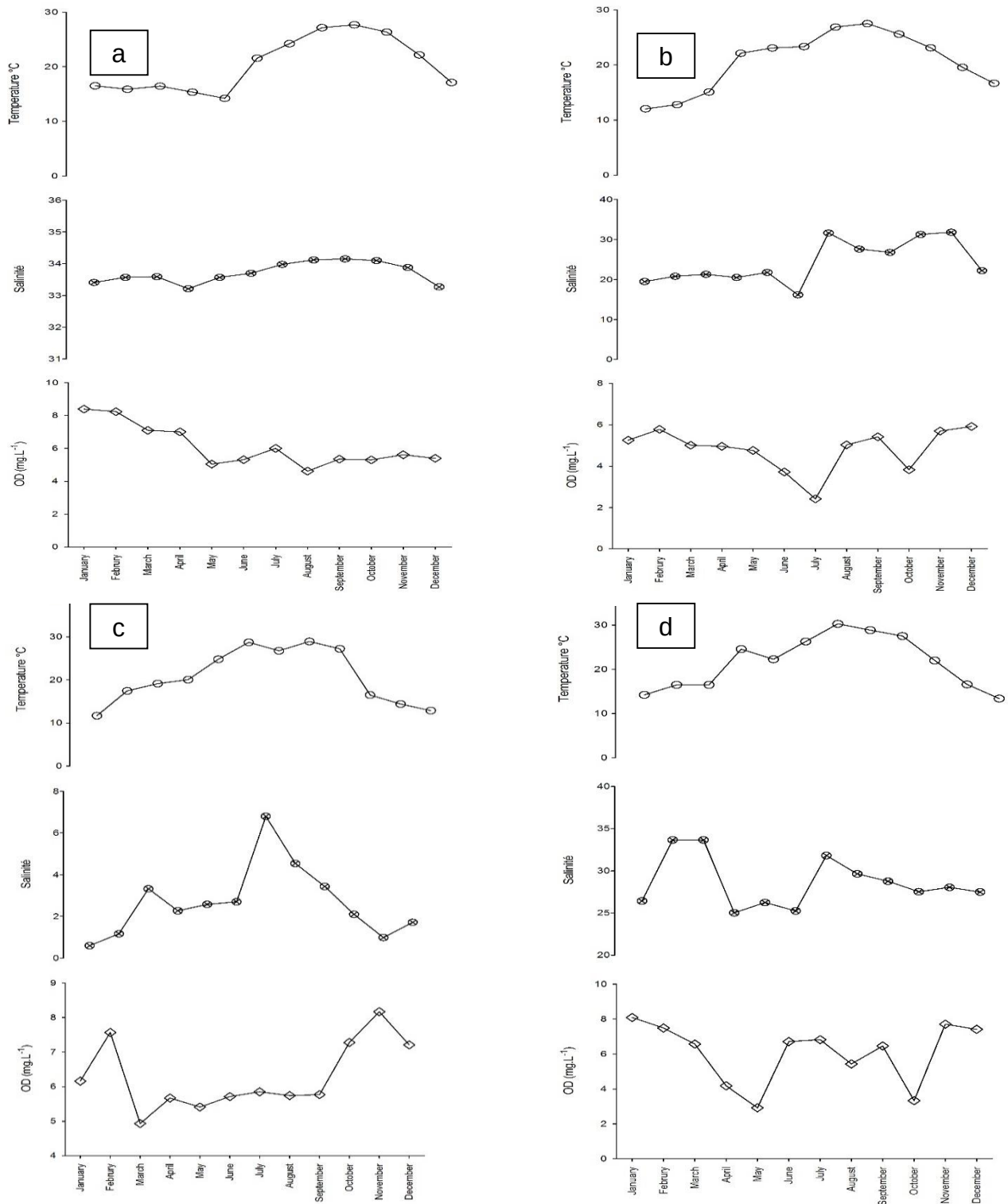
Les variations mensuelles des paramètres abiotiques dans chacun des quatre habitats sont illustrées dans la **figure 7**. La température la plus basse a été enregistrée en janvier à Boukhmira, Mafragh et Mellah. (12,3 °C, 11,6 °C et 10,4 °C respectivement), tandis qu'à la plage de La Caroube, la valeur la plus faible a été enregistrée en mai (14,2 °C). La salinité variait de 33,2‰ en mai à 34,1‰ en octobre dans la plage La Caroube (écart-type moyen =  $33,71 \pm 0,33$ ‰), de 16,1‰ en juin à 31,8‰ en novembre à Boukhmira ( $24,26 \pm 5,32$ ‰), de 0,6‰ en janvier à 6,8‰ en juin à Mafragh ( $2,68 \pm 1,71$ ‰), et de 25‰ en avril à 33,6‰ en août à la lagune El Mellah ( $28,63 \pm 3,00$ ‰). À la Caroube, les concentrations d'oxygène dissous varient de 4,62 mg.L<sup>-1</sup> en août à 8,4 mg.L<sup>-1</sup> en janvier ( $6,11 \pm 1,26$  mg.L<sup>-1</sup>), à Boukhmira de 2,42 mg.L<sup>-1</sup> en juillet à 5,92 mg.L<sup>-1</sup> en décembre ( $4,81 \pm 1,02$  mg.L<sup>-1</sup>), de 4,93 mg.L<sup>-1</sup> en mars à 8,17 mg.L<sup>-1</sup> en novembre à Mafragh ( $6,28 \pm 1$  mg.L<sup>-1</sup>), tandis qu'à El Mellah, il variait de 2,92 mg.L<sup>-1</sup> en mai à 8,09 mg.L<sup>-1</sup> en janvier ( $6,09$  à  $1,74$  mg.L<sup>-1</sup>).

La température moyenne de l'eau a montré des variations significatives entre les saisons ( $P = 0,00016$ ), mais elle ne varie pas entre les sites ( $P = 0,991$ ). Aucune variation de la salinité n'a été observée entre les saisons ( $P = 0,986$ ), mais elle varie selon les sites ( $P = 5,67 \times 10^{-9}$ ). La concentration d'oxygène dissous ne varie pas selon les saisons ou les sites avec respectivement ( $P = 0,134$  et  $P = 0,204$ ).

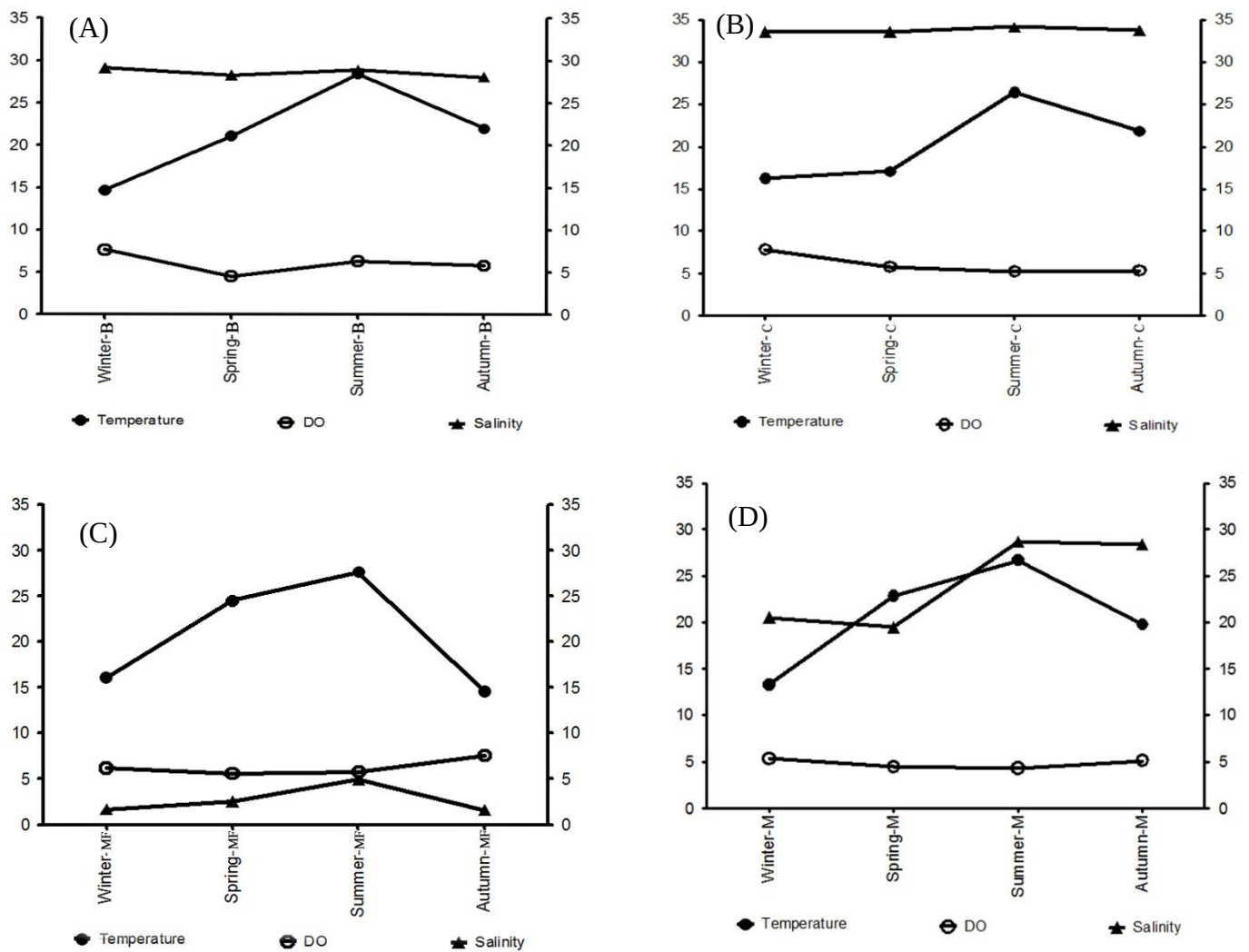
### 1.2.3. Variations saisonnières des paramètres abiotiques

Les variations saisonnières de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous dans chaque site sont présentées dans la **figure 8**. La température varie entre les saisons ( $P < 0,001$ ) et présente le même profil de variation dans les 4 sites. La salinité ne varie pas entre les saisons, mais son amplitude de variation est significativement différente d'un site à l'autre : de 16,15 à 31,8 à Boukhmira, de 33,21 à 34,15 à Caroube, de 0,6 à 6,8 à Mafragh, et de 25,03 à 33,66 à Mellah ( $P < 0,001$ ). La concentration en oxygène dissous fluctue autour d'une moyenne de  $5,81 \pm 1,38$  mg/l et ne présente pas de variations saisonnières ( $P > 0,05$ ).





**Figure 7.** Variations mensuelles de la température, de la salinité et de l'oxygène dissous dans les quatre habitats étudiés (a : plage la caroubé, b : estuaire de Boukhmira, c : estuaire de Mafragh, d : lagune Mellah).

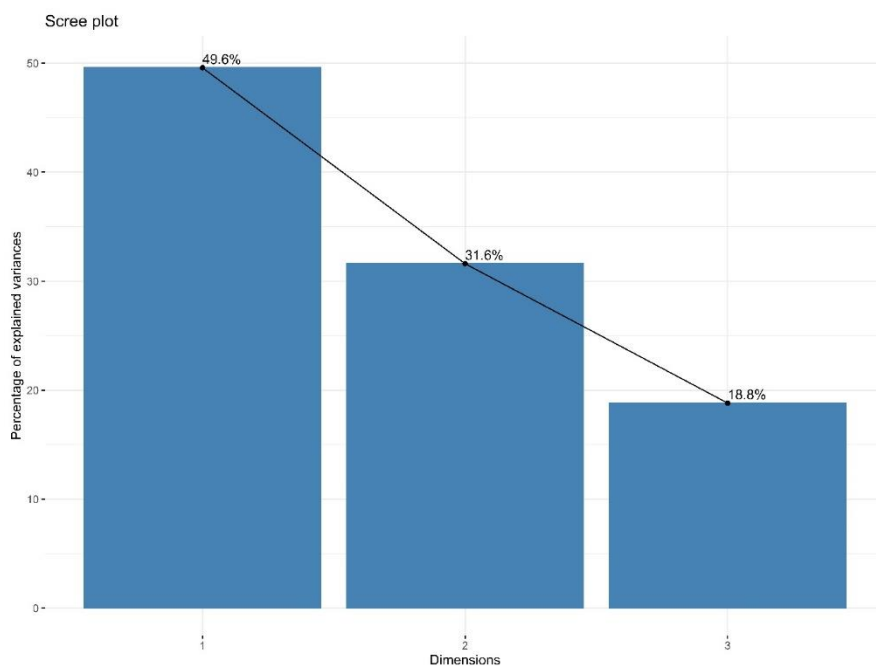


**Figure 8.** Variations saisonnières des paramètres abiotiques (température, oxygène dissous (DO), salinité), à Boukhmira (B), Caroube (C), Mafragh (MF) et Mellah (M). Winter : Hiver, Spring : Printemps, Summer : Eté, Autumn : Automne).

#### 1.2.4. Analyse en composantes principales (ACP) appliquée aux données abiotiques mensuelles

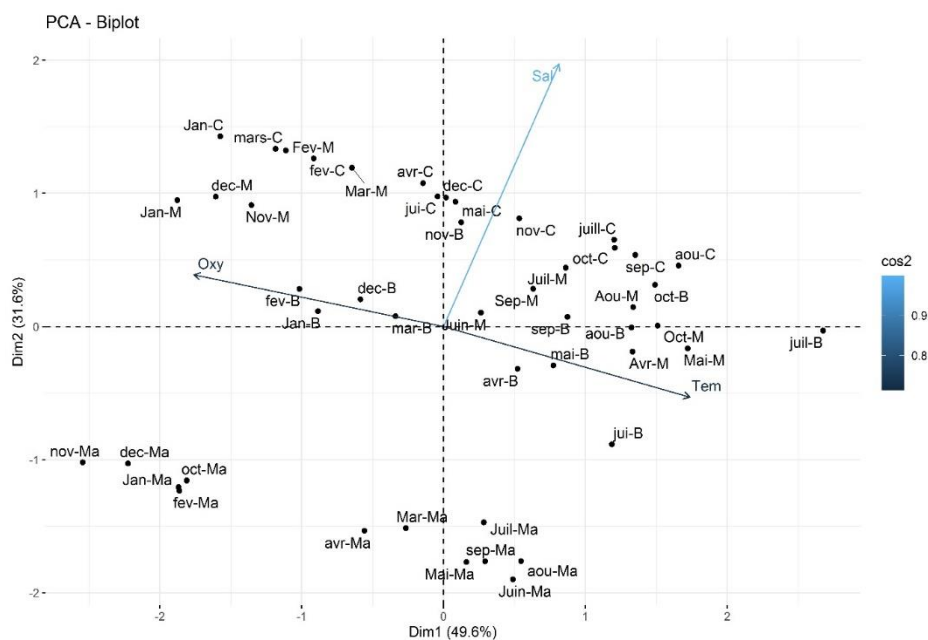
Afin de résumer dans un espace à deux dimensions l'information contenue dans les données mensuelles des paramètres abiotiques de chaque site, nous avons effectué une ACP suivi d'une classification ascendante hiérarchique. Cette approche, appelée Classification hiérarchique sur composantes principales (HCPC), nous permet de classer dans des clusters les différents couples Mois-Site sur la base des trois variables considérées (température, salinité, oxygène dissous).

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 81.2% de l'inertie totale, où l'axe ACP1 explique 49.6% de l'inertie totale et l'axe ACP2 explique 31.6% (Figures 9 et 10).



**Figure 9.** Pourcentage de variance expliquée par les trois axes de l'Analyse en composantes principales (ACP).

La figure (10) montre le résultat de l'ACP appliquée aux variables abiotiques étudiées. La figure montre la projection des variables sur les deux premières composantes principales.



**Figure 10.** Visualisation du résultat de l'Analyse en composante principale appliquée aux variables abiotiques (Température : Tem ; Salinité : Sal ; Oxygène dissous :Oxy).



## **Chapitre 2.**

**Profils d'occupation par la faune ichtyologique de quatre habitats  
côtiers à une échelle régionale limitée dans le sud-ouest de la  
Méditerranée  
(Plage Caroube, estuaires de Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)**

## Chapitre 2

### Profils d'occupation par la faune ichtyologique de quatre habitats côtiers à une échelle régionale limitée dans le sud-ouest de la Méditerranée (Plage Caroube, estuaires Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)

#### Introduction

Les zones côtières fournissent la plus grande part de la richesse économique actuelle de la planète, avec 38% de leur valeur (**Costanza et al., 1997**). Couvrant 13% de ces zones (**Knoppers 1994**), les écosystèmes paraliques génèrent à eux seuls 26% des ressources alimentaires de la biosphère, soit une valeur de 366 milliards de dollars par an (**Costanza et al., 1997**). Ils revêtent donc une importance socio-économique majeure pour les populations humaines qui en dépendent, grâce aux diverses activités qui y sont pratiquées, telles que la pêche, l'aquaculture et le tourisme.

Les zones marines côtières, notamment la frange côtière, contiennent une mosaïque d'habitats naturels qui contribue au maintien en équilibre des cycles biologiques de nombreuses populations de poissons (**Carpentieri et al., 2005 ; Guidetti, 2009**). Ils offrent des habitats adaptés à de nombreuses espèces qui y accomplissent l'ensemble de leur cycle de vie. Ils servent surtout de nurseries pour les jeunes stades de certaines espèces qui se reproduisent en mer (**Elliott et al., 2007**), et sont également des " abris " et des sites d'alimentation temporaires pour les adultes. Cependant, sous l'influence croissante des facteurs naturels (réchauffement climatique) et anthropiques (pollution, urbanisation, développement côtier, surpêche), l'équilibre de ces écosystèmes et la vulnérabilité de leur biodiversité continuent d'être affectés.

Contrairement aux systèmes d'eau douce et d'eau de mer, les conditions abiotiques des estuaires et des lagunes sont très variables, ce qui place les poissons dans un environnement stressant et les oblige à s'acclimater à une large gamme de température et de salinité ; quelques espèces ont une physiologie adéquate qui leur confère la capacité de résister à ces changements (**Haedrich, 1983**). De plus, les assemblages de poissons dans ces environnements subissent des altérations temporelles et spatiales rapides, influencées par des paramètres environnementaux, tels que des facteurs physiochimiques comme la température, la salinité et la turbidité (**Battaglia, 1959 ; Koutrakis et al., 2005 ; Maci et Basset, 2009**), et sont plus stables en fonction de certains paramètres liés à la structure de l'habitat, comme la profondeur, les conditions hydrologiques, le type de substrat et la

couverture végétale (**Guelorget et Perthuisot, 1983 ; Mariani, 2001; Franco et al., 2006; Verdiell-Cubedo et al., 2013**).

Les estuaires et les lagunes méditerranéens sont fréquentés par 249 espèces de poissons, réparties entre sédentaires, migrateurs et nomades (**Kara et Quignard, 2019**). Cette diversité varie d'un site à un autre et, au sein d'un même type d'habitat, elle dépend de la richesse spécifique des affluents qui y coulent et de celle des eaux marines côtières auxquelles ils sont reliés. À l'intérieur d'un seul secteur géographique, cette diversité dépend de la superficie, de la profondeur et de la diversité des habitats marins et de leur structuration, ainsi que de la taille des chenaux de raccordement (chenal, dans le cas des lagunes) qui, par un « effet de seuil », assurent un « tri » très sélectif des espèces entrantes dans la lagune. La force des courants entre la mer et les estuaires/lagunes, ainsi que leur extension et leur direction dans la mer, sont des facteurs déterminants dans le succès des migrations actives des adultes et des juvéniles et de l'entrée passive des larves planctoniques et des post-larves. Lorsque les « passages intermittents » sont présents, la période et la durée de l'ouverture jouent également un rôle déterminant dans le potentiel de migration, par rapport à l'hydroclimat et aux périodes de frai en mer (**Quignard et Zaouali, 1980 ; Wilke, 1998, 2002**). Il est clair que le succès d'une occupation permanente (sédentarisation) ou temporaire (migration) est fonction des capacités écophysiologiques d'une espèce (capacité de nager, flottabilité, et plus généralement de l'euryvalance des individus) en relation avec les caractéristiques biotiques du milieu hôte (richesse de l'habitat, disponibilité trophique) et les relations intra-lagunaires et interspécifiques (compétition, prédation).

En Méditerranée, la connaissance de la diversité et de la structure des poissons côtiers est inégale entre les différentes régions. Les côtes nord-ouest, caractérisées par un nombre relativement important d'eaux de transition (**Kara et Quignard, 2019**), ont reçu plus d'intérêt. Plusieurs études ont porté sur la faune ichthyologique des eaux côtières peu profondes en mer (**Arechavala-Lopez et al., 2008; Bodilis et al., 2011; Seytre et Francour, 2014; Deudero et al., 2008; Bussotti et Guidetti, 2009**), dans les estuaires (**Matic-Skoko et al., 2005, 2007**) et dans les lagunes (**Dumay et al., 2004 ; Malavasi et al., 2004 ; Franco et al., 2006, 2008 ; Maci et Basset, 2009 ; Pérez-Ruzafa et al., 2006 ; Verdiell-Cubedo et al., 2013; Poizat et al., 2004; Mouillot et al., 2005**). En Afrique du Nord, ce sujet est resté peu traité. Si aucun travail n'a été consacré aux poissons dans les estuaires, certains travaux ont porté sur des assemblages ichthyologiques dans des habitats marins peu profonds, en particulier en Algérie (**Derbal et Kara 2010 ; Hannachi et al., 2014 ;**

**Boubekeur et al., 2018**). En ce qui concerne les lagunes, on peut citer **Bouchereau et al., (2000), Jaafour et al., (2015), Selfati et al., (2019)** au Maroc, **Chaoui et al., (2006) et Embarek et al., (2019) en Algérie et Sellami et al., (2010), Kraïem et al., (2009) et Embarek et al., (2019)** en Tunisie. Cependant, peu de ces travaux se sont intéressés aux variations des assemblages ichtyologiques en fonction des variations des caractéristiques du milieu abiotique.

Dans ce travail, notre objectif principal est de savoir comment différents types d'habitats côtiers (plage côtière, lagune, estuaire) situés dans une zone géographique relativement limitée peuvent façonner la composition et l'organisation des communautés ichtyologiques. Ensuite, nous cherchons à comprendre comment les facteurs environnementaux (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond) peuvent façonner les assemblages ichtyologiques à l'échelle de chacun des habitats considérés.

## **2.1. Matériels et méthodes**

### **2.1.1. Zones d'étude**

Cette étude a été menée dans quatre habitats différents situés sur la côte Est de l'Algérie : la plage de Caroube (C), l'estuaire de Boukhmira (B), l'estuaire de Mafragh (Mf), la lagune de Mellah (M) (Fig. 1). Ces écosystèmes se distinguent par leurs caractéristiques typologiques et physico-chimiques qui sont détaillées dans le **chapitre 1**.

### **2.1.2. Protocole d'échantillonnage**

Cette étude a été réalisée conformément à la réglementation algérienne en matière d'échantillonnage et de conservation des poissons (**Loi n° 01-11 de 2001 relative à la pêche et à l'aquaculture, et ses règlements**). La faune piscicole a été capturée mensuellement dans les eaux peu profondes (< 1,5 m) pendant la journée entre janvier et décembre 2016 à l'aide d'une senne de plage (longueur = 14 m, hauteur = 2 m, maille = 3 mm). La senne est considérée comme appropriée pour capturer les petits poissons (< 100 mm de longueur totale), qui abondent dans les eaux de transition peu profondes (**Pierce et al., 1990; Franco et al., 2012**). Dans chaque site, 3 stations sont échantillonnées (**Figure 1**). Les captures sont mélangées et considérées comme un seul échantillon représentatif du site. A la plage de la Caroube, nous avons échantillonné le long de la plage sur 3 substrats différents (herbier de posidonies, rochers et sable). Dans les estuaires de Boukhmira et de Mafragh, la première station est située à environ 240 m et 260 m en amont



respectivement. Sur ces deux sites, plus on se rapproche de l'embouchure, plus le substrat passe de la boue au sable. Au Mellah, les stations d'échantillonnage sont situées au sud de la lagune où le substrat est vaseux. Dans tous les cas et à chaque station, la senne a été tirée perpendiculairement au rivage sur une distance de 50 m, ce qui correspond à une surface balayée d'environ 700 m<sup>2</sup>. Pour chaque espèce, les captures ont été standardisées en nombre d'individus par 100 m<sup>2</sup>.

Après chaque pêche, les poissons ont été conservés dans des sacs en plastique et transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire. Chaque poisson capturé a été identifié au niveau de l'espèce, à l'exception du genre *Pomatoschistus*. Les juvéniles de mugilidés (< 60 mm) ont été identifiés selon **Cambrony, (1984)**.

La température (°C), la salinité (‰) et l'oxygène dissous (mg.L<sup>-1</sup>) ont été enregistrés in situ immédiatement avant la pêche à l'aide d'un multiparamètre HANNA HI9828 immergé à une profondeur d'environ 30 cm. La nature du fond est notée à chaque fois.

### 2.1.3. Analyse des données

Plusieurs indices sont utilisés pour déterminer la diversité et l'abondance de chaque espèce :

- Richesse spécifique (S) : C'est le nombre total d'espèces capturées dans chaque habitat ou au cours de chaque saison, cet indice dépend de la surface échantillonnée.
- Indice de Shannon (H') : C'est un moyen de mesurer la diversité spécifique dans un échantillon représentatif d'une communauté, Plus la valeur de H' est élevée, plus la diversité des espèces dans une communauté donnée est grande. Plus la valeur de H' est faible, plus la diversité est faible. Une valeur de H' = 0 indique une communauté qui ne compte qu'une seule espèce. L'indice de diversité est exprimé par la formule suivante :

$$H' = - \sum [(pi) \times \text{Log } 2(pi)]$$

Où **pi** : proportion des espèces i dans l'échantillon total.

- Indice d'équitabilité (J') : cet indice exprime le degré d'équi-répartition des taxons dans le peuplement, plus l'indice d'équitabilité est élevé (entre 0 et 1), plus le peuplement est équilibré, une valeur de J' =1 veut dire une équi-répartition parfaite des taxons, l'indice d'équitabilité est exprimé par la formule suivante (**Pielou, 1966**) :

$$J' = H' / H_{\max}$$

Où :  $H_{max} = \log_2 S$

S est le nombre total d'espèces dans l'habitat.

- Fréquence saisonnière d'occurrence (% Occ) définie comme la proportion de mois pendant lesquels l'espèce a été capturée au cours d'une saison donnée.

- La densité moyenne d'une espèce  $i$ ,  $D_i = (Q_i * 100)/A$  exprimée en individus/100 m<sup>2</sup>, où le  $Q_i$  est le nombre d'individus des espèces  $i$  par saison et  $A$  la zone échantillonnée (m<sup>2</sup>).

Les espèces de poissons ont été assignées à des groupes fonctionnels selon leurs guildes écologiques et trophiques. Pour la plage La Caroube, nous avons utilisé les données de Fishbase (**Froese et Pauly 2020**). Dans le cas des eaux de transition (Boukhmira, Mafragh et El Mellah), nous avons suivi **Franco et al., (2012)**. Les groupes fonctionnels ont été assignés comme suit pour les estuaires et les lagunes : résidents (R), migrateurs marins (MM), estuariens (ES), catadromes (CA), diadromes (D), migrateurs saisonniers marins (MS), espèces d'eau douce (F) et pour le site marin : marins résidents d'herbiers (SR), juvéniles migrateurs (JM), visiteur occasionnel (Ov). Selon les guildes trophiques, les espèces ont été classées comme suit : herbivores (H), hyperbenthivores/zooplanktivores (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV), hyperbenthivores/piscivores (HP), planctivores (P). Pour analyser les variations temporelles des assemblages de poissons dans les quatre habitats, les saisons ont été regroupées en groupes de trois mois : hiver (décembre, janvier, février), printemps (mars, avril, mai), été (juin, juillet, août), automne (septembre, octobre, novembre). Une analyse multivariée a été réalisée avec le logiciel PRIMER (version 6.1.16) à l'aide de la classification ascendante hiérarchique (CAH) afin de mettre en évidence la structure des assemblages de poissons.

La matrice des abondances des espèces pour chaque site a été transformée en racine carrée pour réduire l'effet des abondances importantes et prendre en compte les plus faibles. Cette analyse a été utilisée pour étudier la similitude entre les saisons dans tous les sites. L'analyse SIMPER a été utilisée pour calculer la contribution de chaque espèce à la similitude et à la dissemblance entre chaque groupe deux à deux. Il est calculé à partir de la matrice de similitude Bray-Curtis. Une analyse de correspondance canonique (ACC) a été effectuée à l'aide du logiciel R (**Venables et al., 2005**) afin d'étudier l'influence des variables abiotiques (température, salinité et oxygène dissous) sur la distribution spatiotemporelle des poissons.

## 2.2. Résultats

### 2.2.1. Composition spécifique

Un total de 13240 poissons a été échantillonné dans les quatre sites, répartis en 19 familles et 53 espèces (**Tableaux 1 à 4**). Dans la plage La Caroube (**Tableau 1**), 4148 poissons ont été capturés, soit 43 espèces appartenant à 13 familles ; les plus abondants sont les Atherinidae (35,68 %), les Sparidae (29,45 %) et les Mugilidae (15,41 %). Dans l'estuaire de Boukhmira (tableau 2), 1452 poissons appartenant à 11 familles représentées par 20 espèces ont été capturés ; la famille la plus représentée est celle des Mugilidés (71,96 %). Dans l'estuaire de La Mafragh (tableau 3), nous avons échantillonné 1218 individus représentant 15 espèces appartenant à 9 familles, dont les Gobiidae (52,76 %), les Atherinidae (23,77 %) et les Mugilidae (21,04 %) sont les plus présents. Dans la lagune Mellah (tableau 4), 6422 poissons ont été capturés, dont 14 espèces appartenant à 8 familles ; *Atherina boyeri* est l'espèce dominante (89,93%).

**Tableau 1.** Liste des espèces capturées dans l'estuaire de Boukhmira avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m<sup>-2</sup>), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.

| Famille                | Espèces                        | Code | Gilde<br>écologique | Gilde<br>trophique | Hiver |        | Printemps |       | Eté   |        | Automne |        |
|------------------------|--------------------------------|------|---------------------|--------------------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|---------|--------|
|                        |                                |      |                     |                    | D.    | Occ.   | D.        | Occ.  | D.    | Occ.   | D.      | Occ.   |
| <b>Atherinidae</b>     | <i>Atherina boyeri</i>         | Aboy | ES                  | HZ                 | 0.81  | 33.33  | 1.62      | 66.67 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Anguillidae</b>     | <i>Anguilla anguilla</i>       | Aang | CA                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00  | 0.24  | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Clupeidae</b>       | <i>Clupeidae n.i</i>           | Clu  | MM                  | P                  | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00  | 0.05  | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Cyprinidae</b>      | <i>Carassius carassius</i>     | Cara | F                   | OV                 | 0.05  | 33.33  | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Cyprinodontidae</b> | <i>Aphanius fasciatus</i>      | Afas | ES                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 0.90      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Gobiidae</b>        | <i>Gobius niger</i>            | Gnig | ES                  | Bmi, HP            | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00  | 0.05  | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>pomatoschistus sp</i>       | Psp  | ES                  | Bmi                | 8.10  | 66.67  | 0.05      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Moronidae</b>       | <i>Dicentrarchus labrax</i>    | Dlab | MM                  | HZ, HP             | 0.00  | 0.00   | 3.14      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Liza saliens</i>            | Lsal | MM                  | H, DV              | 1.86  | 100.00 | 0.29      | 33.33 | 10.95 | 100.00 | 15.48   | 100.00 |
|                        | <i>Liza aurata</i>             | Laur | MM                  | DV,Bmi             | 8.05  | 100.00 | 1.48      | 33.33 | 0.29  | 66.67  | 0.48    | 66.67  |
| <b>Mugilidae</b>       | <i>Liza ramada</i>             | Lram | D                   | DV,Bmi             | 2.62  | 66.67  | 1.62      | 33.33 | 0.24  | 66.67  | 1.52    | 100.00 |
|                        | <i>Chelon labrosus</i>         | Clab | MM                  | HZ                 | 1.43  | 33.33  | 0.05      | 33.33 | 0.52  | 100.00 | 0.86    | 66.67  |
|                        | <i>Mugil cephalus</i>          | Mcep | D                   | DV,Bmi             | 0.14  | 66.67  | 0.00      | 0.00  | 0.19  | 66.67  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Poeciliidae</b>     | <i>Gombusia affinis</i>        | Gaff | ES                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 0.10      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Soleidae</b>        | <i>Solea solea</i>             | Sol  | MM                  | Bmi,Bma            | 0.24  | 66.67  | 0.95      | 66.67 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Diplodus puntazzo</i>       | Dpun | MS                  | OV                 | 0.29  | 33.33  | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Pagellus bogaraveo</i>      | Pbog | MS                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 0.38      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Sparidae</b>        | <i>Sarpa salpa</i>             | Ssal | MS                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 0.33      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Diplodus sargus sargus</i>  | Dsar | MS                  | OV                 | 0.00  | 0.00   | 1.24      | 33.33 | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Spondyllosoma cantharus</i> | Scan | MS                  | OV                 | 0.19  | 33.33  | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |

Migrateurs marins (MM), estuariens (ES), catadromes (CA), diadromes (D), migrateurs marins saisonniers (MS), espèces d'eau douce (F), hyperbenthivores/zooplanktivores (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV), hyperbenthivores/piscivores (HP).

**Tableau 2.** Liste des poissons capturés à la plage Caroube avec leur densité saisonnière moyenne (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.

| Famille            | Espèces                        | Code   | Guilde<br>écologique | Guilde<br>trophique | Hiver |       | Printemps |       | Eté  |       | Automne |        |
|--------------------|--------------------------------|--------|----------------------|---------------------|-------|-------|-----------|-------|------|-------|---------|--------|
|                    |                                |        |                      |                     | D.    | Occ.  | D.        | Occ.  | D.   | Occ.  | D.      | Occ.   |
| <b>Atherinidae</b> | <i>Atherina boyeri</i>         | Aboy   | Ov                   | HZ                  | 0.76  | 33.33 | 3.20      | 66.67 | 0.00 | 0.00  | 12.29   | 33.33  |
|                    | <i>Atherina punctate</i>       | Apun   | Ov                   | HZ                  | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 43.76   | 66.67  |
| <b>Blennidae</b>   | <i>Parablennius pilicornis</i> | Ppil   | Ov                   | OV                  | 0.00  | 0.00  | 0.54      | 33.33 | 0.20 | 33.33 | 0.00    | 0.00   |
| <b>Carangidae</b>  | <i>Trachinotus ovatus</i>      | Tova   | SR                   | Bma                 | 2.33  | 0.00  | 3.51      | 0.00  | 2.46 | 33.33 | 0.10    | 33.33  |
| <b>Clupeidae</b>   | <i>sardinella pilchardus</i>   | Spil   | JM                   | P                   | 0.00  | 0.00  | 0.57      | 0.00  | 1.60 | 33.33 | 0.33    | 0.00   |
|                    | <i>Sardinella aurita</i>       | Saur   | JM                   | P                   | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 33.33 | 0.14 | 66.67 | 3.43    | 0.00   |
| <b>Gobiidae</b>    | <i>Gobius niger</i>            | Gnig   | Ov                   | Bmi                 | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.06 | 33.33 | 0.10    | 33.33  |
|                    | <i>Gobius bucchichi</i>        | Gbuc   | Ov                   | Bmi                 | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 1.2  | 33.33 | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Gobius geniporus</i>        | Ggen   | Ov                   | Bma                 | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.03 | 33.33 | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Gobius sp</i>               | Gobsp  |                      |                     | 1.00  | 66.67 | 0.06      | 33.33 | 0.06 | 33.33 | 0.05    | 33.33  |
|                    | <i>Pomatoschistus sp</i>       | Psp    |                      |                     | 0.00  | 0.00  | 0.03      | 33.33 | 0.00 | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Labridae</b>    | <i>Symphodus tinca</i>         | Stin   | SR                   | Bma                 | 0.24  | 66.67 | 0.17      | 33.33 | 1.31 | 66.67 | 6.10    | 66.67  |
|                    | <i>Symphodus cinereus</i>      | Scin   | SR                   | Bma                 | 0.00  | 0.00  | 0.03      | 33.33 | 0.03 | 33.33 | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Symphodus melops</i>        | Smel   | SR                   | Bma                 | 0.76  | 33.33 | 0.00      | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Symphodus ocellatus</i>     | Socell | SR                   | Bma                 | 1.24  | 33.33 | 0.17      | 33.33 | 0.31 | 33.33 | 1.52    | 66.67  |
|                    | <i>Symphodus rostratus</i>     | Sros   | SR                   | Bma                 | 0.05  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Symphodus roissali</i>      | Sroi   | Ov                   | Bma                 | 0.00  | 0.00  | 0.06      | 33.33 | 0.31 | 33.33 | 0.24    | 66.67  |
|                    | <i>Coris julis</i>             | Cjul   | SR                   | Bma                 | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.03 | 33.33 | 0.00    | 0.00   |
| <b>Moronidae</b>   | <i>Dicentrarchus labrax</i>    | Dlab   | Ov                   | HZ, HP              | 0.00  | 0.00  | 0.11      | 33.33 | 0.00 | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
|                    | <i>Liza saliens</i>            | Lsal   | JM                   | H, DV               | 0.00  | 0.00  | 0.74      | 66.67 | 0.29 | 33.33 | 3.43    | 66.67  |
| <b>Mugilidae</b>   | <i>Liza aurata</i>             | Laur   | JM                   | DV, Bmi             | 2.33  | 33.33 | 3.51      | 66.67 | 2.46 | 66.67 | 0.10    | 33.33  |
|                    | <i>Liza ramada</i>             | Lram   | JM                   | DV,Bmi              | 0.00  | 0.00  | 0.57      | 33.33 | 1.60 | 66.67 | 0.33    | 66.67  |
|                    | <i>Oedalechilus labeo</i>      | Clabe  | Ov                   | DV                  | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00  | 0.14 | 33.33 | 3.43    | 33.33  |
|                    | <i>Chelon labrosus</i>         | Clab   | Ov                   | HZ                  | 0.00  | 0.00  | 0.46      | 33.33 | 0.14 | 33.33 | 3.86    | 100.00 |

|                     |                                    |       |    |          |       |       |       |        |      |       |      |       |
|---------------------|------------------------------------|-------|----|----------|-------|-------|-------|--------|------|-------|------|-------|
|                     | <i>Mugil cephalus</i>              | Mcep  | Ov | DV, Bmi  | 0.00  | 0.00  | 0.03  | 33.33  | 2.51 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |
| <b>Mullidae</b>     | <i>Mullus surmuletus</i>           | Msur  | JM | Bma      | 0.00  | 0.00  | 0.09  | 33.33  | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 0.00  |
|                     | <i>Mullus barbatus</i>             | Mbar  | JM | Bma      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.23 | 66.67 | 0.00 | 0.00  |
| <b>Scorpaenidae</b> | <i>Scorpaena porcus</i>            | Spor  | Ov | Bma, HZ  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.26 | 66.67 | 0.00 | 0.00  |
| <b>Serranidae</b>   | <i>Serranus scriba</i>             | Sscr  | SR | Bma      | 0.05  | 33.33 | 0.03  | 33.33  | 0.26 | 33.33 | 0.10 | 66.67 |
|                     | <i>Diplodus sargus sargus</i>      | Dsar  | JM | OV       | 0.00  | 0.00  | 0.11  | 33.33  | 0.03 | 33.33 | 0.24 | 33.33 |
|                     | <i>Spondyliosoma cantharus</i>     | Scan  | JM | OV       | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.17 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |
|                     | <i>Sparus aurata</i>               | Saur  | Ov | Bmi, Bma | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.03 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |
|                     | <i>Diplodus vulgaris</i>           | Dvul  | JM | Bma      | 0.00  | 0.00  | 0.26  | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.05 | 33.33 |
|                     | <i>Diplodus cervinus</i>           | Dcer  | Ov | Bmi, HZ  | 0.19  | 33.33 | 0.43  | 33.33  | 0.09 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |
| <b>Sparidae</b>     | <i>Diplodus puntazzo</i>           | Dpun  | Ov | OV       | 0.00  | 0.00  | 0.31  | 33.33  | 0.00 | 0.00  | 0.05 | 33.33 |
|                     | <i>Diplodus annularis</i>          | Dann  | SR | OV       | 0.00  | 0.00  | 0.17  | 33.33  | 0.11 | 33.33 | 0.90 | 33.33 |
|                     | <i>Sarpa salpa</i>                 | Ssal  | Ov | H        | 0.00  | 0.00  | 0.86  | 66.67  | 0.00 | 0.00  | 0.05 | 33.33 |
|                     | <i>Lithognathus mormyrus</i>       | Lmor  | Ov | Bmi, Bma | 0.00  | 0.00  | 0.03  | 33.33  | 0.17 | 33.33 | 0.10 | 33.33 |
|                     | <i>Oblada melanura</i>             | Omel  | SR | OV       | 0.00  | 0.00  | 0.29  | 33.33  | 0.00 | 0.00  | 0.10 | 33.33 |
|                     | <i>Boops boops</i>                 | Bboo  | SR | OV       | 21.00 | 33.33 | 23.63 | 100.00 | 0.17 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |
|                     | <i>Syngnathus abaster</i>          | Saba  | Ov | Bmi      | 0.00  | 0.00  | 0.03  | 33.33  | 0.20 | 66.67 | 0.00 | 0.00  |
| <b>Syngnathidae</b> | <i>Syngnathus typhle rondeleti</i> | Stron | SR | HZ       | 0.05  | 33.33 | 0.31  | 100.00 | 0.20 | 66.67 | 0.05 | 33.33 |
|                     | <i>Nerophis ophidion</i>           | Nophi | SR | Bmi, HZ  | 0.10  | 33.33 | 0.11  | 33.33  | 0.14 | 33.33 | 0.00 | 0.00  |

Résidents de l'herbiers (HR), jeunes migrants (JM), visiteurs occasionnels (Ov), herbivores (H), hyperbenthivores/zooplanctivores (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV), hyperbenthivores/piscivores (HP), planctivores (P).

**Tableau 3.** Liste des poissons capturés dans l'estuaire de Mafragh avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.

| Famille                | Espèces                    | Code         | Guilde<br>écologique | Guilde<br>trophique | Hiver |        | Printemps |        | Eté  |        | Automne |        |
|------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|---------------------|-------|--------|-----------|--------|------|--------|---------|--------|
|                        |                            |              |                      |                     | D.    | Occ.   | D.        | Occ.   | D.   | Occ.   | D.      | Occ.   |
| <b>Atherinidae</b>     | <i>Atherina boyeri</i>     | <i>Aboy</i>  | ES                   | HZ                  | 6.52  | 33.33  | 3.21      | 66.67  | 3.43 | 33.33  | 20.57   | 100.00 |
| <b>Anguillidae</b>     | <i>Anguilla anguilla</i>   | <i>Aang</i>  | CA                   | OV                  | 0.67  | 66.67  | 0.00      | 0.00   | 0.00 | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Cyprinidae</b>      | <i>Cyprinus carpio</i>     | <i>Ccar</i>  | F                    | HZ                  | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.10 | 33.33  | 0.05    | 33.33  |
|                        | <i>Carassius carassius</i> | <i>Carsp</i> | F                    | OV                  | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 1.81 | 66.67  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Cyprinodontidae</b> | <i>Aphanius fasciatus</i>  | <i>Afas</i>  | ES                   | OV                  | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.00 | 0.00   | 0.19    | 33.33  |
| <b>Gobiidae</b>        | <i>Pomatoschistus sp</i>   | <i>Psp</i>   | ES                   | Bmi                 | 61.57 | 66.67  | 11.29     | 100.00 | 0.00 | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Gobius sp</i>           | <i>Gobsp</i> | ES                   | Bmi                 | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.05 | 33.33  | 1.95    | 33.33  |
|                        | <i>Liza saliens</i>        | <i>Lsal</i>  | MM                   | H, DV               | 1.43  | 100.00 | 0.50      | 66.67  | 3.24 | 100.00 | 0.52    | 66.67  |
|                        | <i>Liza aurata</i>         | <i>Laur</i>  | MM                   | DV, Bmi             | 13.00 | 66.67  | 0.43      | 66.67  | 0.10 | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Mugilidae</b>       | <i>Liza ramada</i>         | <i>Lram</i>  | D                    | DV, Bmi             | 8.67  | 33.33  | 0.00      | 0.00   | 0.00 | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Chelon labrosus</i>     | <i>Clab</i>  | MM                   | HZ                  | 0.52  | 66.67  | 0.00      | 0.00   | 0.90 | 100.00 | 0.05    | 33.33  |
|                        | <i>Mugil cephalus</i>      | <i>Mcep</i>  | D                    | DV, Bmi             | 0.43  | 66.67  | 0.07      | 33.33  | 0.00 | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Poecilidae</b>      | <i>Gombusia affinis</i>    | <i>Gaff</i>  | F                    | OV                  | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.04 | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Sparidae</b>        | <i>Sparus aurata</i>       | <i>Saur</i>  | MS                   | Bmi, Bma            | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.00 | 0.00   | 0.05    | 33.33  |
| <b>Syngnathidae</b>    | <i>Syngnathus abaster</i>  | <i>Saba</i>  | ES                   | Bmi                 | 0.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00   | 0.52 | 33.33  | 0.00    | 0.00   |

Migrateurs marins (MM), estuariens (ES), catadromes (CA), diadromes (D), migrateurs marins saisonniers (MS), espèces d'eau douce (F), hyperbenthivores/zooplantivores (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV).

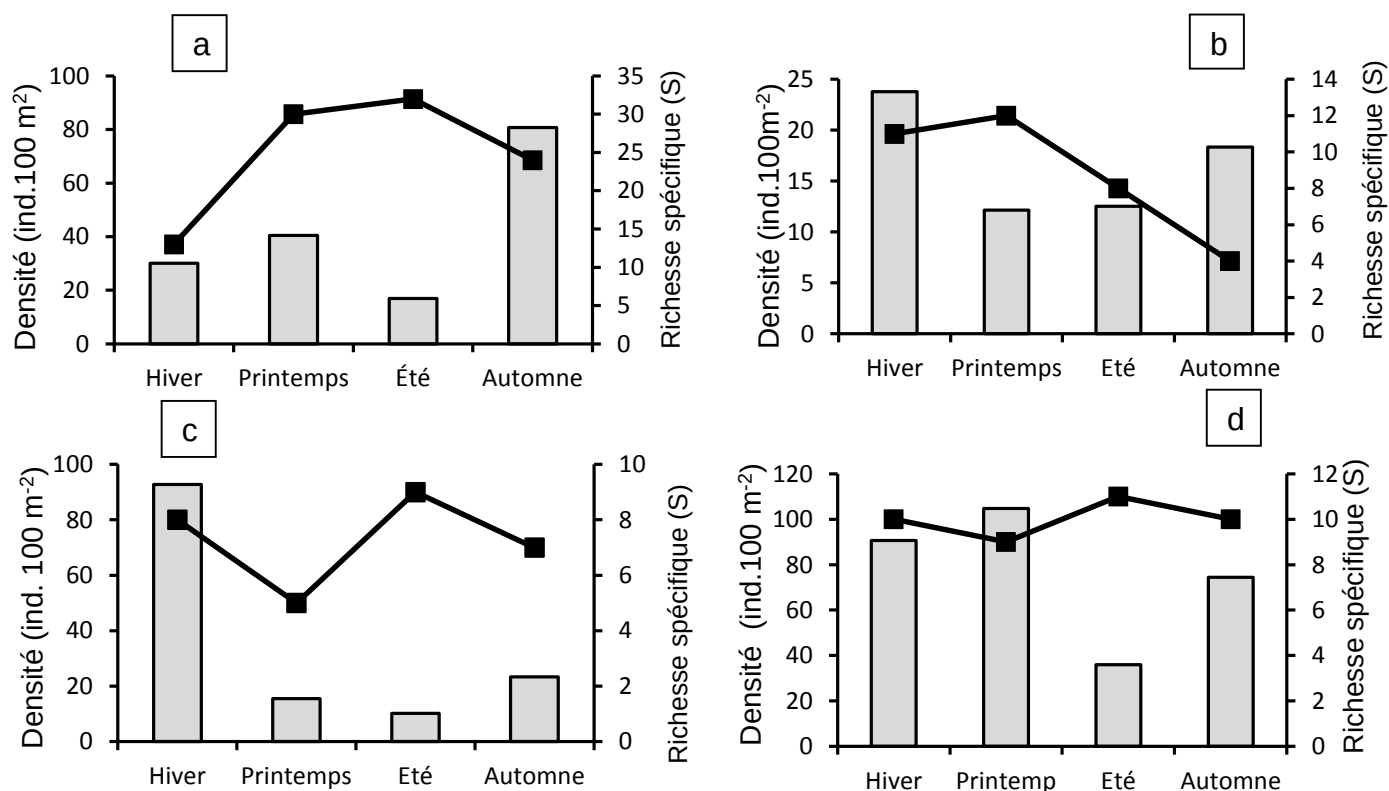
**Tableau 4.** Liste des poissons capturés dans la lagune Mellah avec leurs densités saisonnières moyennes (D : ind.100 m-2), occurrences (%Occ), guildes écologiques et trophiques.

| Famille                | Espèces                       | Code | Gilde<br>écologique | Gilde<br>trophique | Hiver |       | Printemps |        | Eté   |        | Automne |        |
|------------------------|-------------------------------|------|---------------------|--------------------|-------|-------|-----------|--------|-------|--------|---------|--------|
|                        |                               |      |                     |                    | D.    | Occ.  | D.        | Occ.   | D.    | Occ.   | D.      | Occ.   |
| <b>Atherinidae</b>     | <i>Atherina boyeri</i>        | Aboy | R                   | HZ                 | 81.48 | 66.67 | 97.90     | 100.00 | 27.00 | 100.00 | 68.62   | 100.00 |
| <b>Blennidae</b>       | <i>Salaria pavo</i>           | Lpav | MM                  | OV                 | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00   | 0.27  | 33.33  | 0.00    | 0.00   |
| <b>Cyprinodontidae</b> | <i>Aphanius fasciatus</i>     | Afas | R                   | OV                 | 0.90  | 66.67 | 1.81      | 100.00 | 5.71  | 66.67  | 1.33    | 100.00 |
| <b>Gobiidae</b>        | <i>Pomatoschistus sp</i>      | Psp  | R                   | Bmi                | 0.10  | 33.33 | 0.00      | 0.00   | 0.10  | 0.33   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Gobius niger</i>           | Gnig | R                   | Bmi                | 0.30  | 33.33 | 0.33      | 33.33  | 0.14  | 33.33  | 0.71    | 100.00 |
| <b>Hemiramphidae</b>   | <i>Hyporhamphus picarti</i>   | Hpic | MM                  | H                  | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.05    | 33.33  |
| <b>Mugilidae</b>       | <i>Liza saliens</i>           | Lsal | MM                  | H, DV              | 5.00  | 66.67 | 0.38      | 33.33  | 0.43  | 33.33  | 2.14    | 100.00 |
|                        | <i>Liza aurata</i>            | Laur | MM                  | DV, Bmi            | 0.19  | 66.67 | 0.33      | 66.67  | 0.05  | 33.33  | 0.05    | 33.33  |
|                        | <i>Liza ramada</i>            | Lram | D                   | DV, Bmi            | 0.00  | 0.00  | 0.00      | 0.00   | 0.10  | 33.33  | 0.10    | 33.33  |
|                        | <i>Chelon labrosus</i>        | Clab | MM                  | HZ                 | 0.10  | 66.67 | 0.00      | 0.00   | 0.62  | 66.67  | 0.33    | 33.33  |
|                        | <i>Mugil cephalus</i>         | Mcep | D                   | DV, Bmi            | 1.43  | 66.67 | 0.10      | 66.67  | 0.62  | 66.67  | 0.57    | 33.33  |
| <b>Sparidae</b>        | <i>Diplodus puntazzo</i>      | Dpun | MS                  | OV                 | 0.05  | 33.33 | 0.19      | 33.33  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
|                        | <i>Diplodus sargus sargus</i> | Dsar | MS                  | OV                 | 0.00  | 0.00  | 0.76      | 33.33  | 0.00  | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| <b>Syngnathidae</b>    | <i>Syngnathus abaster</i>     | Saba | R                   | Bmi                | 1.10  | 66.67 | 3.00      | 66.67  | 0.86  | 66.67  | 0.52    | 100.00 |

Résidents (R), migrants marins (MM), estuariens (ES), diadromes (D), migrants marins saisonniers (MS), hyperbenthivores/zooplantivores (HZ), détritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV).



**La figure 12** montre les variations saisonnières de la richesse spécifique et de la densité des espèces. À la plage Caroube, le pic de la richesse spécifique est noté en été (32 espèces;  $H' = 3,87$ ,  $J' = 0,77$ ) et au printemps (30;  $H' = 2,44$ ,  $J' = 0,49$ ) comparativement à l'automne (24;  $H' = 2,36$ ,  $J' = 0,51$ ) et à l'hiver (13;  $H' = 1,72$ ,  $J' = 0,46$ ). Dans l'estuaire Boukhmira, 12 espèces ont été capturées au printemps ( $H' = 3,09$ ,  $J' = 0,86$ ), 11 en hiver ( $H' = 2,22$ ,  $J' = 0,64$ ), 8 en été ( $H' = 0,86$ ,  $J' = 0,28$ ) et 4 en automne ( $H' = 0,84$ ,  $J' = 0,42$ ). Dans l'estuaire Mafragh, 9 espèces ont été capturées en été ( $H' = 2,22$ ,  $J' = 0,70$ ) et 8 espèces en hiver ( $H' = 1,60$ ,  $J' = 0,53$ ), 7 en automne ( $H' = 0,69$ ,  $J' = 0,24$ ) et 5 au printemps ( $H' = 1,14$ ,  $J' = 0,49$ ). Dans la lagune Mellah, 11 espèces ont été enregistrées en été ( $H' = 1,28$ ,  $J' = 0,37$ ), 10 en hiver ( $H' = 0,68$ ,  $J' = 0,20$ ), 10 en automne ( $H' = 0,58$ ,  $J' = 0,17$ ) et 9 au printemps ( $H' = 0,49$ ,  $J' = 0,15$ ). En ce qui concerne la densité des poissons (**Figure 12**), elle passe de 16,94 individus/100m<sup>2</sup> en été à 80,71 individus/100m<sup>2</sup> en automne à la plage Caroube. A Boukhmira, elle augmente du printemps à l'hiver (12.15, 12.53, 18.34, 23.78 individus/100 m<sup>2</sup> respectivement). À l'estuaire Mafragh, la densité la plus faible est l'été (10,19 individus/100 m<sup>2</sup>), suivi du printemps (15,50 individus/100 m<sup>2</sup>), de l'automne (23,38 individus/100 m<sup>2</sup>) et de l'hiver (92,81 individus/100 m<sup>2</sup>). A Mellah, la densité la plus faible est également en été (35,9 individuels/100 m<sup>2</sup>) et la plus élevée au printemps (104,8 individus/100m<sup>2</sup>).

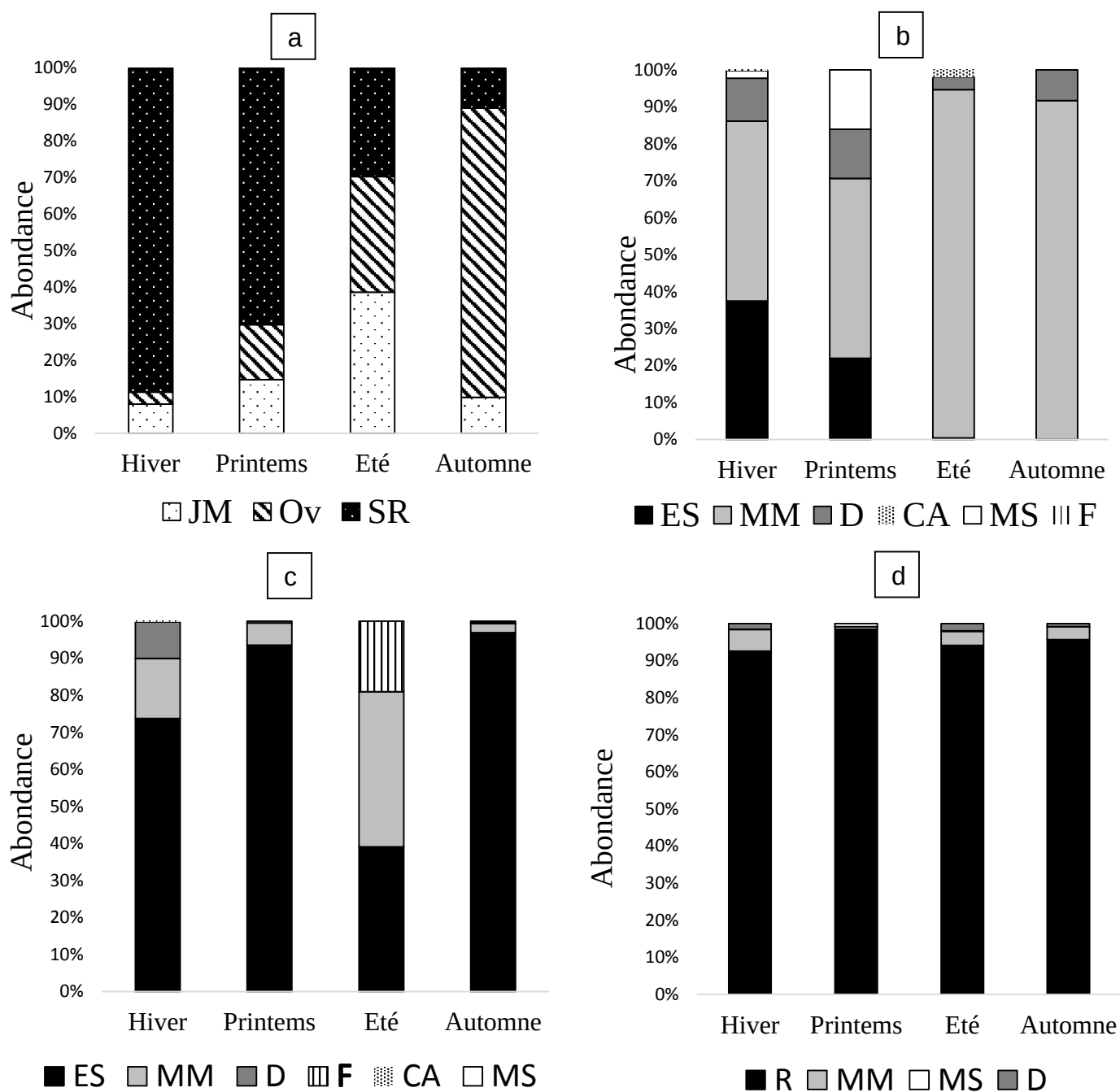


**Figure 12.** Variations saisonnières de la richesse et de la densité des espèces de poissons dans la plage la Caroube (a), les estuaires Boukhmira (b), et Mafragh (c), lagune Mellah (d).

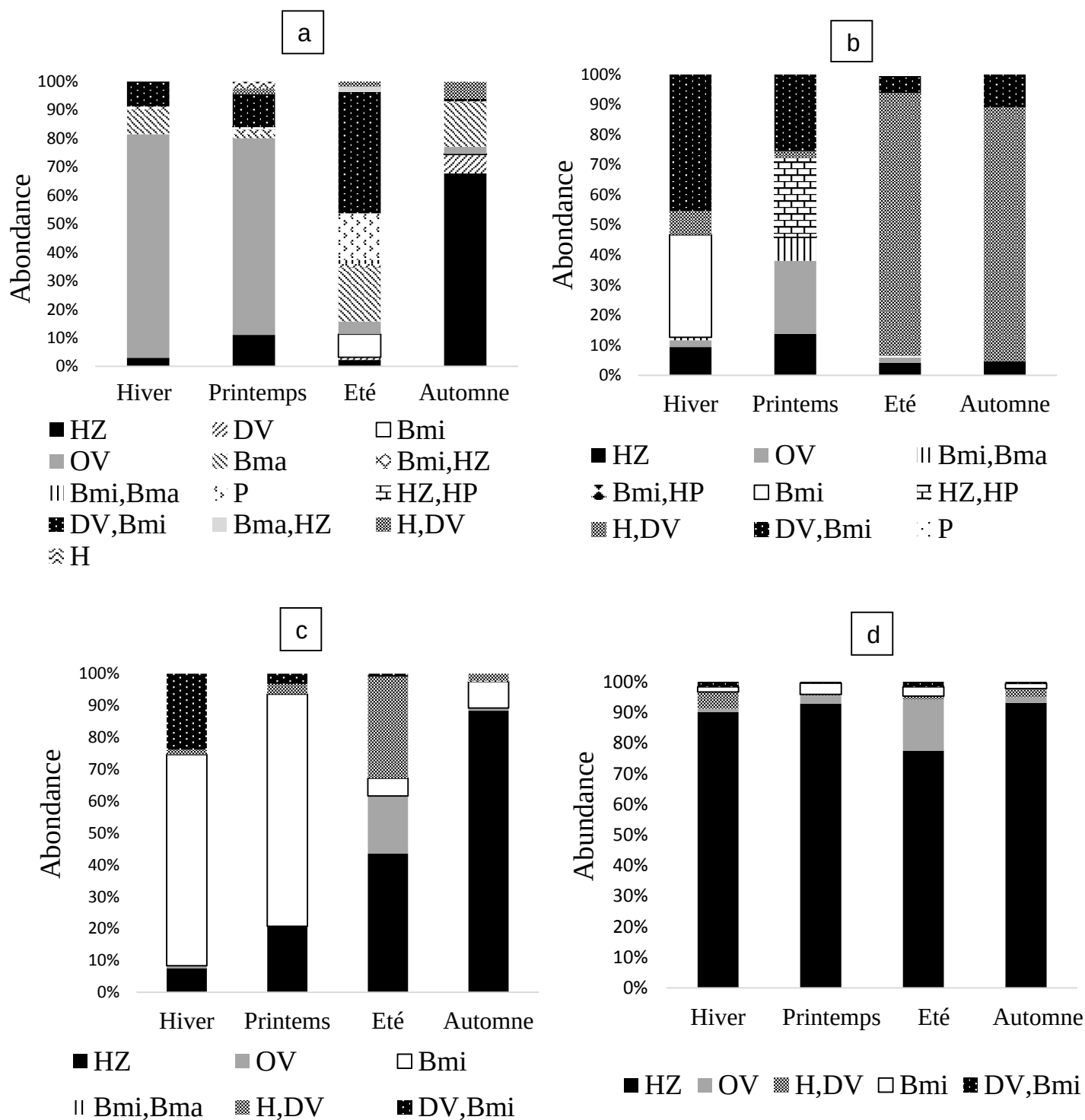
Selon la guildes écologique (**Figure 13**), la plage Caroube est principalement occupée par des résidents marins qui y sont présents en hiver et au printemps, avec 88,72 % et 70,31 % respectivement. Au cours de l'automne, le site est occupé par des visiteurs occasionnels avec 79,19%. Cette prédominance diminue en été (31,63%) où nous notons la présence de jeunes migrants (38,62%) et de résidents marins (29,73%). L'estuaire Boukhmira est largement peuplé de migrants marins (48,64%), d'espèces estuariennes (37,46%) et d'espèces diadromes en hiver (11,60%). Au printemps, il est inégalement réparti entre les espèces migratrices marines (48,62 %), les espèces estuariennes (21,97 %), les espèces migratrices saisonnières marines (16,04 %) et les espèces diadromes (13,33 %).

Les migrants marins dominent à nouveau en été et en automne (94,25% et 91,71% respectivement). L'estuaire Mafragh est principalement peuplé de poissons estuariens (73,36 % en hiver, 93,54 % au printemps, 39,19 % en été et 97,13 % en automne). En été, des espèces migratrices marines (42,04 %) et d'eau douce (19,15 %) arrivent. Dans la lagune Mellah, les espèces résidentes sont presque exclusives en toutes saisons (entre 92,53 % en hiver et 98,32 % au printemps).

Selon les guildes trophiques (**Figure 14**), l'hiver et le printemps sont caractérisés à la Caroube par la dominance d'espèces omnivores (72,16% et 62,11% respectivement), tandis que les détritivores/microbenthivores dominent en été (38,92%) et les hyperbenthivores/zooplanctivores en automne (74,33 %). A Boukhmira, en hiver, les détritivores/microbenthivores et les microbenthivores dominent avec respectivement 45,45% et 34,06%. Au printemps, l'assemblage est composé d'hyperbenthivores/zooplanctivores et d'hyperbenthivores/piscivores (25,84 %), de détritivores et de microbenthivores (25,51 %), d'omnivores (24,28 %) et d'hyperbenthivores/zooplanctivores (13,74 %). En été et en automne, le groupe herbivore/détritivore domine l'assemblage avec 87,39% et 84,40% respectivement. A Mafragh, nous avons trouvé principalement des espèces microbenthivores en hiver et au printemps (66,33% et 72,83% respectivement). Les hyperbenthivores/zooplanctivores (43,51 %) et les herbivores/détritivores (31,82 %) sont les plus présents en été, tandis que le groupe hyperbenthivores/zooplanctivores domine en automne (88,40 %). La lagune Mellah est principalement occupée par des espèces hyperbenthivores/zooplanctivores tout au long de l'année (entre 76,94 % en été et 93,42 % au printemps).



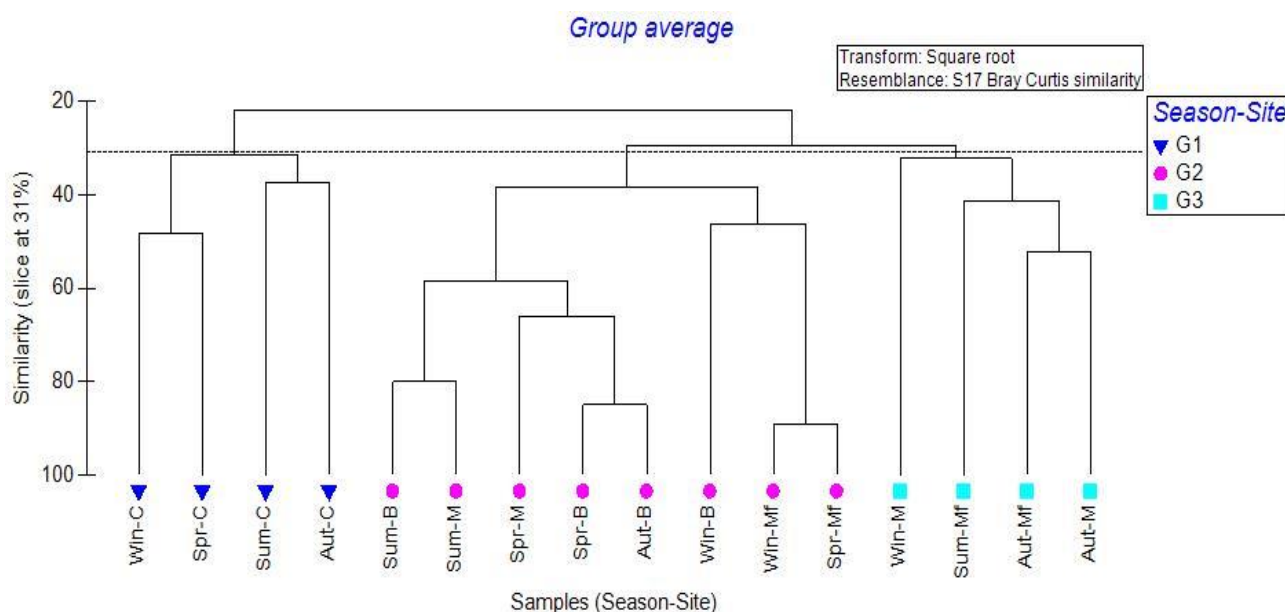
**Figure 13.** Abondance des différentes guildes écologiques selon les saisons dans les quatre sites étudiés, exprimée en pourcentage. Plage La Caroube (a), estuaire de Boukhmira (b), l'estuaire Mafragh (c), lagune Mellah (d). Estuariens (ES), migrants marins (MM), espèces d'eau douce (F), résidents (R), herbiers marins (SR), jeunes migrants (JM), visiteurs occasionnels (Ov) Migrants marins saisonniers (MS).



**Figure 14.** Abondance des différentes guildes trophiques selon les saisons dans les quatre habitats étudiés. Plage La Caroube (a), Boukhmira (b), Mafragh (c), Mellah (d). H : Herbivores, hyperbenthivores/zooplanktivorous (HZ), detritivores (DV), macrobenthivores (Bma), microbenthivores (Bmi), omnivores (OV), hyperbenthivores/piscivores (HP), planktivores (P).

## 2.2.2. Variations temporelles et inter-habitats des assemblages ichthyologiques

La classification ascendante hiérarchique entre les saisons dans les quatre localités a montré, à 31 % de similitude, trois groupes principaux (**Figure 15**). Le premier groupe (G1) est représenté par les 4 saisons dans le site marin. Le second (G2) comprend toutes les saisons de l'estuaire de Boukhmira, le printemps de la lagune de Mellah et l'estuaire de Mafragh, l'été de Mellah et l'hiver de Mafragh. Le troisième groupe (G3) comprend l'automne et l'été de l'estuaire de Mafragh et l'automne et l'hiver de la lagune de Mellah.



**Figure 15.** Classification ascendante hiérarchique saisonnière entre tous les sites. Saisons : hiver (Win), printemps (Spr), été (Sum), automne (Aut). Sites : Caroube (C), Boukhmira (B), Mafragh (Mf), Mellah (M).

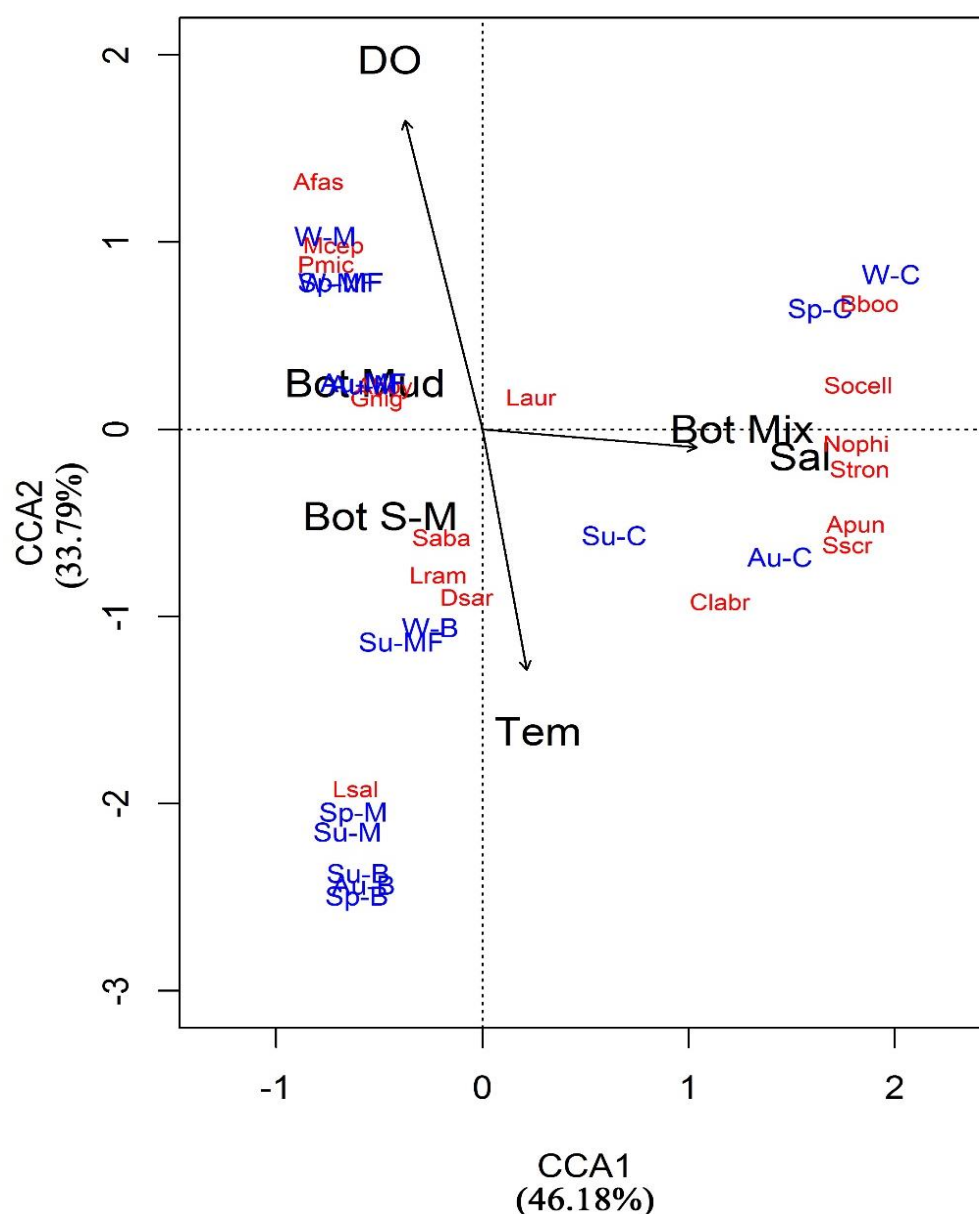
Selon l'analyse SIMPER, la similitude dans le premier groupe est de 35,39%, avec une contribution importante de *L. aurata* et *B. boops* avec 13,26% et 13,15 respectivement. Le deuxième groupe montre une similitude de 50,39% avec une forte contribution de *L. saliens* (39,31%), *L. ramada* (21,34%) et *L. aurata* (16,99%). Dans le troisième groupe, la similitude est de 38,84 %, avec deux principaux contributeurs : *A. boyeri* (54,28 %) et *L. saliens* (20,01 %) (**Tableau 5**).

**Tableau 5.** Analyse SIMPER montrant les pourcentages moyens de similitude au sein des groupes.

| Groupes   | Similitude moyenne | Espèce                     | >5% contribution des espèces |                                |
|-----------|--------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|           |                    |                            | Abondance moyenne            | contribution à la similitude % |
| <b>G1</b> | 35.39%             | <i>Liza aurata</i>         | 7.19                         | 13.26                          |
|           |                    | <i>Boops boops</i>         | 13.05                        | 13.15                          |
|           |                    | <i>Symphodus ocellatus</i> | 4.13                         | 9.32                           |
|           |                    | <i>Symphodus tinca</i>     | 5.7                          | 8.47                           |
|           |                    | <i>Atherina boyeri</i>     | 7.66                         | 8.37                           |
|           |                    | <i>Chelon labrosus</i>     | 5.55                         | 6.97                           |
| <b>G2</b> | 50.39%             | <i>Liza saliens</i>        | 11.57                        | 39.31                          |
|           |                    | <i>Liza ramada</i>         | 5.07                         | 21.34                          |
|           |                    | <i>Liza aurata</i>         | 4.57                         | 16.99                          |
|           |                    | <i>Pomatoschistus sp</i>   | 5.4                          | 5.7                            |
|           |                    | <i>Chelon labrosus</i>     | 2.06                         | 5.13                           |
| <b>G3</b> | 38.84%             | <i>Atherina boyeri</i>     | 21.62                        | 54.28                          |
|           |                    | <i>Liza saliens</i>        | 7.17                         | 20.01                          |
|           |                    | <i>Chelon labrosus</i>     | 4.19                         | 7.63                           |

L'analyse canonique des correspondances (ACC) (**Figure 16**) montre que les paramètres environnementaux (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond) influencent la distribution saisonnière de la communauté de poissons à un taux significatif de 48,26%. Les deux premiers axes canoniques (CCA1 et CCA2) expliquent ensemble 79,98% de la variance (46,18% et 33,79% respectivement) (**Tableau 6**). Le tracé de l'ACC indique une séparation spatiale, où les saisons de chaque site sont proches les unes des autres. L'hiver de Boukhmira se détache des autres saisons du site pour rejoindre l'été de l'estuaire Mafragh. Le printemps et l'été de Mellah rejoignent les trois autres saisons de Boukhmira. L'hiver de Mellah rejoint l'hiver et le printemps de Mafragh qui sont presque superposés. Il en est de même pour l'automne de Mellah et l'automne de Mafragh. Les paramètres température, salinité et oxygène dissous sont représentés chacun par un vecteur dont la longueur montre son influence. Les espèces résidentes dans les herbiers marins (SR : *syngnathus typhle rondeleti*, *Serranus scriba*, *Boops boops*) sont situées près du vecteur salinité, ce qui montre une grande relation entre ces espèces marines exclusives et la salinité. Les espèces situées près de l'origine ne sont influencées par aucune des variables environnementales ou sont trouvées à la valeur moyenne de celles-ci (cas de *Liza aurata*). Deux facteurs ont une influence significative sur la variation de l'assemblage de

poissons, le premier est la nature du fond (ANOVA,  $P = 0.007$ ) suivi par la température (ANOVA,  $P = 0.047$ ).



**Figure 16.** Analyse canonique des correspondances basée sur les densités des espèces de poissons en fonction des variables abiotiques. Les échantillonnages saisonniers sont représentés en noir : hiver (W), printemps (Sp), été (Su), automne (Au), plage de La Caroube (C), estuaire de Boukhmira (B), estuaire de La Mafragh (Mf), lagune Mellah (M). Les densités d'espèces sont représentées par des abréviations d'espèces. Les variables explicatives quantitatives (variables environnementales : Tem : température, Sal : salinité, DO : oxygène dissous) sont représentées par des flèches, Les variables explicatives qualitatives variable explicative qualitative (nature du fond ; Bot Mix : Fond mixte, Bot S-M : Fond sablonneux-vaseux, Bot Mud : Fond vaseux).

**Tableau 6.** Statistiques associées aux deux premiers axes canoniques de l'analyse canonique.  
des correspondances.

|                                                            | <b>CCA1</b> | <b>CCA2</b> |
|------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| Correlation canonique                                      | 0.68        | 0.5         |
| Pourcentage de variance expliquée                          | 46.18%      | 33.79%      |
| <b>Corrélation standardisée avec l'axe environnemental</b> |             |             |
| Temperature                                                | 0.09872     | -0.69286    |
| Salinité                                                   | 0.47911     | -0.05203    |
| Oxygen dissout                                             | -0.17292    | 0.88879     |
| Fond argileux                                              | -0.62529    | 0.32043     |
| Fond sabloneux-argileux                                    | -0.34023    | -0.37324    |
| <b>Centroïdes pour les facteurs</b>                        |             |             |
| Fond mixte                                                 | 1.5214      | 0.004393    |
| Fond argileux                                              | -0.6875     | 0.352306    |
| Fond sabloneux-argileux                                    | -0.5951     | -0.652842   |

### 2.3. Discussion

Ce travail est une mise à jour des recherches effectuées sur la plage de la Caroube (**Hannachi et al., 2014 ; Boubekour et al., 2018**) et dans la lagune de Mellah (**Chaoui et al., 2006; Embarek et al., 2017**). Il constitue un  $t_0$  pour les estuaires de Boukhmira et de Mafragh. Habituellement, les travaux sur les assemblages de poissons concernent un milieu spécifique (ex : milieu marin côtier, lagune, estuaire), mais la comparaison de la structuration spatio-temporelle des populations de poissons des 3 types d'écosystèmes côtiers à une échelle régionale limitée n'a pas été étudiée. L'exception est le travail d'**Andrade-Tubino et al., (2019)** sur la côte de Rio de Janeiro (Brésil) qui a fait cette comparaison mais n'a pris en compte que deux saisons (été et hiver).

En raison de certaines différences dans les méthodes d'échantillonnage, destructives (filets maillants, chaluts, senne de plage) et non destructives (comptage visuel, télémétrie acoustique, vidéo sous-marine), des efforts d'échantillonnage et des spécificités environnementales locales, il était difficile de comparer la richesse spécifique ou familiale, les abondances et les biomasses des espèces capturées. L'action, parfois combinée, de ces facteurs pourrait fortement fausser les résultats. Cette question a été soulevée par de nombreux auteurs dans les eaux côtières (**Harmelin-Vivien et al., 1985 ; Harmelin-Vivien et Francour, 1992 ; Stobart et al., 2007 ; Hannachi et al., 2014 ; Boubekour et al., 2018**) et les eaux de transition (**Selleslagh et Amara,**



**2008 ; Selleslagh et al., 2009 ; Franco et al., 2012 ; Embarek et al., 2017, 2019 ; Selfati et al., 2019).**

A la plage La Caroube, 43 espèces ont été identifiées. C'est plus que ce qui a été obtenu par Hannachi et al. 2014 (S = 38) dans plusieurs localités de l'est de l'Algérie, et sur le même site par Boubekour et al. 2018 (27 espèces), tous utilisant une senne de plage. À l'aide de différents engins de pêche, le nombre d'espèces recensées dans les eaux côtières peu profondes de la Méditerranée varie selon les auteurs entre 19 dans l'herbier du Parc National de Port-Cros (comptage visuel plongée; Francour et Harmelin 1988) 88 sur les herbiers de posidonie de la côte de Rhodes (**Kalogirou et al., 2010**). L'assemblage de poissons sur la plage la Caroube est dominé par *B. boops* (26,63% des captures totales) et *Atherina punctata* (26,02%), confirmant les résultats de Boubekour et al. 2018 dans la même zone. *B. boops* était également la deuxième espèce dominante (28%) à Rhodes, en Grèce (Kalogirou et al. 2010). L'indice de diversité et d'équitabilité variaient d'une saison à l'autre ( $1,72 < H' < 3,87$ ,  $0,46 < J' < 0,77$ ) et montrent des valeurs supérieures à celles obtenues antérieurement dans le golfe d'Annaba :  $0,1 < H' < 3,7$ ,  $0,1 < J' < 0,7$  (**Hannachi et al., 2014**),  $0,38 < H' < 3,05$ ,  $0,1 < J' < 0,78$  (**Boubekour et al., 2018**). Les valeurs les plus faibles en automne s'expliquent par la grande abondance d'*A. boyeri* et d'*A. punctata*. La dominance des groupes résidents marins en hiver et au printemps (88,72 % et 70,31 % respectivement) est attribuable à l'abondance de *B. boops* qui fraie entre février et juin en Algérie (**Tsikliras et al., 2010**). Cette espèce est également responsable de la dominance de la guildes trophique omnivore pendant la même saison. L'ichthyofaune des estuaires de Boukhmira et de Mafragh a été étudiée pour la première fois. À Boukhmira, 20 espèces ont été recensées, principalement des Mugilidés avec une dominance de *L. saliens* (83,77 %). Quinze espèces ont été recensées à Mafragh avec une dominance de *Pomatoschistus* sp (51,35%) et *A. boyeri* (23,77%).

En utilisant des filets maillants, **Innal et al., (2016)** ont capturé 27 espèces dans le ruisseau Aksu en Turquie. Avec un filet trémail, 42 espèces ont été recensées dans le lac Koycegiz, en Turquie (**Akin et al., 2005**) et 47 dans la rivière Kastic Zrmanja en Croatie (**Matic-Skoko et al., 2007**). À Boukhmira, l'indice de diversité a montré un pic en printemps ( $H' = 3,09$ ), ce qui reflète son rôle de nurserie pour plusieurs espèces. La plus faible valeur enregistrée en automne s'explique par la prédominance des mugilidés, en particulier de *Liza saliens*. Différentes guildes écologiques ont été rencontrées au printemps (estuariens, migrants marins, diadromes, migrants marins saisonniers). Cependant, en été et en automne, *L. saliens* domine, tandis qu'en hiver, l'estuaire est colonisé par *L. aurata* et des espèces estuariennes, en particulier *Pomatoschistus* sp.

Les guildes trophiques microbenthivores (principalement *Pomatoschistus* sp) et détritivores/microbenthivores (surtout *L. aurata*) dominent en hiver. L'abondance des juvéniles de *L. aurata* au cours de cette saison fait suite au frai de cette espèce enregistré en octobre-novembre sur les côtes algériennes. Au printemps, plusieurs groupes trophiques partagent le site, mais principalement les hyperbenthivores/zooplanctivores et lehyperbenthivores/piscivores/zooplanctivore *D. labrax* dont la ponte a lieu de décembre à mars (**Kara, 1997**). En été et en automne, la prédominance du groupe herbivores/détritivores est due à la forte abondance de *L. saliens* (87,46 % et 84,4 % respectivement). À La Mafragh, l'indice de diversité atteint son maximum en été ( $H' = 2,22$ ) lorsque l'intrusion en eau de mer augmente (**Khelifi-Touhami et al., 2006**) permettant à de nombreuses espèces de poissons marins d'entrer dans l'estuaire. Cette zone est principalement occupée par des groupes estuariens, sauf en été lorsque des migrants marins arrivent. Cette saison est également caractérisée par la présence de groupes d'eau douce, en particulier *C. carassius* qui descend le long de la rivière probablement à la recherche de ressources alimentaires. Exclusivement représenté par le genre *Pomatoschistus*, le groupe microbenthivore est la guildes trophique la plus abondante en printemps et en hiver. Cela ne serait pas le résultat de variations des conditions environnementales qui ne changent pas beaucoup dans ce site, mais plutôt de la disponibilité de proies préférentielles (polychètes, mysidacés, isopodes) ou de recrutement comme c'est le cas dans l'estuaire de Mondego au Portugal (**Leitão et al., 2007**). La lagune Mellah montre une diversité de poissons relativement faible (14 espèces,  $0,49 < H' < 1,28$ ,  $0,15 < J' < 0,37$ ), mais plus que ce que Embarek et al. (2017) ont trouvé (11 espèces) utilisant le même engin de pêche dans le même site. **Chaoui et al., 2006a** a identifié 38 espèces en explorant les produits de la pêche commerciale (bordigue, filets trémail et monomaille) et la pêche scientifique à la senne de plage. **Pérez-Ruzafa et al., (2007)** signalent une moyenne de 23,4 espèces (6-48) dans 40 lagunes atlanto-méditerranéennes. À partir de 97 relevés menés dans 45 lagunes méditerranéennes, **Kara et Quignard, (2019)** ont identifié 25 espèces sédentaires et 22 espèces migratrices. L'engorgement du chenal qui relie la lagune Mellah à la mer, a conduit à réduire les échanges d'eau (**Ounissi et al., 2002**) et à limiter les mouvements, passifs et actifs, des espèces. Dans cette lagune, la guildes écologique estuarienne et la guildes trophique hyperbenthivore/zooplanctivore dominant l'assemblage en toutes saisons avec une forte représentation de *A. boyeri*.

Les variations saisonnières de la composition et de la structure des communautés ichthyologiques que nous avons mises en évidence dans les différents types d'habitats sont déjà connues, tant dans les espaces marins côtiers (**Hannachi et al., 2014; Boubekour et al., 2018**) que dans les

eaux de transition (**Jaafour et al., 2015 ; Embarek et al., 2017**). Elles résultent de la saisonnalité de reproduction des différentes espèces (**Verdiell-Cubedo et al., 2008**), de la chronologie des migrations anadromes des larves ou des juvéniles (recrutement) (**Rountree et Able, 2007**) et de l'importance de la communication avec la mer dans le cas des estuaires et des lagunes. Cela signifie que les profils de distribution des poissons, ainsi que les sources de ces variabilités, doivent être pris en considération, surtout lors de la conception de stratégies d'échantillonnage pour évaluer l'impact anthropique. La classification ascendante hiérarchique (CAH) sépare les eaux de transition (lagunes et estuaires) des eaux marines côtières. La présence d'espèces exclusivement marines à la Caroube tout au long de l'année, et l'occupation des 3 autres milieux (Boukhmira, Mafragh, Mellah) par des poissons euryhalins, marins et d'eau douce, explique cette structure qui plaide en faveur du caractère unique de la communauté de poissons des environnements paraliques considérés ici. **Andrade-Tubino et al., (2019)** ont comparé des assemblages de poissons dans 4 plages océaniques, 2 baies et 3 lagunes à une échelle régionale limitée sur la côte de Rio de Janeiro, au Brésil. Leurs résultats corroborent les nôtres et soulignent que les sites marins côtiers sont les plus riches en espèces et que parmi les eaux de transition, la plus grande abondance se trouve dans les lagunes. La diversité relativement faible dans les trois types d'eaux de transition étudiées ici (moyenne de  $H' = 1,32$ ) reflète également leurs faibles liaisons avec la mer. En effet, la diversité et la structure des assemblages dans ce type d'environnement dépendent de leur degré de confinement ou d'isolement (**Day et Yáñez-Arancibia, 1985 ; Sheaves, 2009 ; Elliott et Whitfield, 2011**). À l'instar de plusieurs autres eaux de transition dans le monde, elles sont dominées par relativement peu d'espèces (**Akin et al., 2003 ; Ecoutin et al., 2005**).

Par rapport aux saisons, la CAH réunit d'une part l'été et l'automne dans l'estuaire de La Mafragh avec deux saisons dans la lagune Mellah (hiver et automne), et d'autre part le printemps de Mafragh avec les autres saisons de Boukhmira. Ces regroupements trouvent leur explication dans le fonctionnement hydrologique particulier de L'estuaire Mafragh, caractérisé par 3 phases : une phase fluviale (période humide) de la fin de l'automne à l'hiver, une phase intermédiaire estuarienne du printemps au début de l'été et une phase lagunaire (période sèche) de la fin de l'été au début de l'automne (**Khélifi-Touhami et al., 2006**).

L'analyse canonique des correspondances a montré que la dynamique d'occupation des 4 habitats et les changements saisonniers de la structure des assemblages ichthyologiques dans chacun d'eux sont sous l'influence de facteurs environnementaux (température, salinité, oxygène, nature du fond). La nature du fond est le facteur qui influence le plus cette structuration, suivi par la température en deuxième position. En milieu marin côtier, **Tunesi et**

**al., (2006)** ont trouvé une différence entre les assemblages de poissons associés aux galets, aux herbiers de *P. oceanica* et aux fonds rocheux, et ont confirmé la différence entre l'ichtyofaune du sable et celle des autres types de substrat. L'analyse canonique met également en évidence les exigences de chaque espèce par rapport à ces paramètres. Les espèces qui colonisent le site marin de La Caroube se rapprochent de la pointe du vecteur salinité (ex. *S. scriba*, *S. typhle rondoletti*, *N. ophidion*, *S. ocellatus*) montrant leur forte affinité à ce facteur. *A. fasciatus*, hautement euryhaline et eurytherme (**Triantafyllidis et al., 2007**), montre une affinité pour l'oxygène dissous. Près d'*Atherina boyeri* dans le graphique, *Gobius niger* qui vit indifféremment dans les eaux marines et saumâtres (**Ahnelt et Dorda, 2004**) est plus ou moins au centre mais sur le côté négatif du vecteur salinité ce qui confirme son affinité pour les eaux saumâtres, tandis que *D. sargus* est plus attiré par les températures élevées comme c'est le cas des mugilidés (*Liza saliens*, *Liza ramada*, *Chelon labrosus*), à l'exception de *L. aurata* qui se trouve près de l'origine (du zéro) du graphique de l'ACC et qui n'est influencé par aucun des paramètres considérés ici, ou que ces paramètres affectent sa distribution au même degré d'influence, et du *Mugil cephalus* qui semble plus attiré par les basses températures et les eaux oxygénées.

Ce travail décrit la diversité de la faune piscicole dans différents habitats côtiers peu profonds de la côte Est de l'Algérie et fournit les premières données sur les estuaires de Boukhmira et de Mafragh. Ces informations serviront d'outil d'aide à la décision pour la bonne gestion de ces écosystèmes, sachant que d'autres paramètres abiotiques pourraient façonner l'organisation des communautés ichtyologiques dans ces milieux.

### **Chapitre 3.**

**Occurrence et embonpoint des juvéniles de cinq espèces de Mugilidés  
dans quatre habitats côtiers voisins dans l'extrême Est algérien  
(plage la Caroube, estuaires de Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)**

### Chapitre 3

#### Occurrence et embonpoint des juvéniles de cinq espèces de Mugilidés dans quatre habitats côtiers voisins dans l'extrême Est algérien (Plage Caroube, estuaires Boukhmira et Mafragh, lagune Mellah)

##### Introduction

Les mullets sont des poissons de la famille des mugilidés. Cette famille compte 17 genres comprenant entre 72 et 80 espèces (**Kara et Quignard, 2019**), avec une très large répartition géographique colonisant les côtes subtropicales, tropicales et les régions tempérées (**Nelson 1994 ; Whitfield et al. 2012**). Ses représentants sont euryhalins colonisant les zones côtières, les lagunes et les estuaires.

En Méditerranée, les espèces de Mugilidae sont parmi les poissons les plus fréquents dans les lagunes et les estuaires où ils constituent des biomasses importantes. Ils sont exploités depuis longtemps et constituent une source importante de nourriture en Europe méditerranéenne depuis l'époque romaine. De nos jours, leur importance économique varie selon les pays. Ils sont considérés comme des poissons gastronomiques en Tunisie et en Égypte ou comme des poissons de faible valeur au Maroc, en France et dans certaines régions d'Espagne (**Whitfield et al., 2012**). Ils sont bien appréciés en Algérie où ils font partie des espèces les plus présentes sur les marchés.

Malgré leur rôle écologique et leur importance pour la pêche et l'aquaculture, les stades juvéniles des mugilidés méditerranéens ont été peu étudiés. Pourtant, ce stade de développement est très ciblé par la pêche et constitue la base des programmes de développement de la pisciculture dans plusieurs pays, comme en Égypte où l'engraissement des juvéniles sauvages de *Mugil cephalus* et *Liza ramada* produit environ 12,8 % (**Kara et al., 2016**) des poissons élevés dans ce pays estimés à 114 000 tonnes en 2016 (**Sadek, 2018**). La maîtrise totale de la reproduction et de l'élevage des larves de ces espèces n'étant toujours pas acquise. La relation taille-poids (LWR) fournit des données biologiques très importantes pour la gestion des pêches (**Froese, 2006**). Elle permet de déduire le poids d'un individu à partir de sa longueur (**Ricker, 1975**), d'estimer la biomasse (**Kimmerer, 2005**), de comparer l'histoire de vie des populations (**Petrakis et Stergiou, 1995**) et de calculer des facteurs de condition pour comparer les relations longueur-poids observées et attendues (**Le Cren, 1951 ; Froese, 2006**). Les indices de condition peuvent également être d'une grande importance dans la gestion des pêches (**Gubiani et al., 2020**). Ils sont utilisés pour comprendre la réponse d'une espèce colonisant différents écosystèmes aux conditions environnementales de son habitat (par exemple,

conditions abiotiques, disponibilité alimentaire,...) (Shulman et al., 2005 ; Harmelin-Vivien et al., 2012). Cependant, si des données sont disponibles sur la croissance et la condition relative des Mugilidae adultes, il existe beaucoup moins de données sur ces paramètres concernant les jeunes de l'année (0<sup>+</sup>).

Dans ce travail, nous étudions les variations temporelles de la fréquentation de 4 habitats côtiers différents (mer côtière, estuaires, lagune) de l'Est algérien par les juvéniles (0<sup>+</sup>) de 5 espèces de mugilidés (*Liza aurata*, *L. ramada*, *L. saliens*, *Chelon labrosus*, *Mugil cephalus*) en relation avec les principaux paramètres physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond). Les performances de développement somatique de chaque espèce sont comparées entre les saisons pour chaque site et entre les sites en utilisant trois indices : l'indice de condition de Fulton (**K ; Fulton, 1904**), l'indice de condition relative (**Kn ; Le Cren, 1951**), le poids relatif (**W<sub>rm</sub>, Froese, 2006**). La conformité des résultats obtenus par ces deux derniers paramètres est analysée.

Le but ultime de cette étude est d'identifier les sites appropriés et les gisements potentiels de mugilidés juvéniles. Elle guidera les décideurs dans la mise en œuvre des programmes de repeuplement des zones humides et d'utilisation des bassins d'irrigation agricole dans le cadre de l'intégration de l'élevage des mulets gris dans l'agriculture saharienne en Algérie.

### **3.1. Matériel et méthodes**

#### **3.1.1. Zone d'étude et protocole d'échantillonnage**

Située à l'Est de l'Algérie (Sud-Ouest de la Méditerranée), la zone d'étude s'étend sur une distance de 51 km entre les villes d'Annaba et d'El Tarf (figure 1). Les habitats échantillonnés sont d'ouest : (1) La plage Caroube (36°55' N - 7°48' E), (2) l'embouchure de l'estuaire Boukhmira (36°50'N, 7°48'E), (3) l'embouchure de l'estuaire de Mafragh (36°50' N, 7°56' E), (4) la lagune Mellah. Les caractéristiques de ces milieux sont détaillées dans le chapitre 2.

L'échantillonnage des poissons est réalisé mensuellement de janvier à décembre 2016, à l'aide d'une senne de plage (longueur = 14 m, maille = 3 mm, longueur de poche = 2 m), tirée perpendiculairement à la berge sur une distance de 50 m, ce qui donne une surface chalutée d'environ 700 m<sup>2</sup>. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés sur le terrain à l'aide d'un multiparamètre HANNA HI9828 immergé à une profondeur d'environ 30 à 50 cm. Un premier tri est effectué sur place afin de séparer les espèces de mugilidés des autres poissons. Au laboratoire, l'identification des espèces de mugilidés est basée sur le nombre de caecums pyloriques selon **Farrugio, (1977)** et **Cambrony, (1984)**. Chaque individu est mesuré (TL) au millimètre près et pesé (TW) au 0,01 g près.

### 3.1.2. Relation entre l'occurrence des poissons et les paramètres physico-chimiques

L'occurrence mensuelle des différentes espèces dans chaque site échantillonné est exprimée par le nombre d'individus capturés par unité de surface pêchée. L'analyse de la relation entre l'abondance de chaque espèce et les 4 paramètres abiotiques (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond) est évaluée par une analyse canonique des correspondances (ACC), suivie d'un test des modèles de régression linéaire sur Rstudio. Cette analyse permet de déterminer l'influence de ces paramètres sur chaque espèce indépendamment.

### 3.1.3. Détermination de la fitness des poissons

Le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids et trois indices de condition différents : le facteur de condition de Fulton (1904) (K), le facteur de condition relative de Le Cren (1951) (Kn) et le poids relatif proposé par **Froese, (2006)** (W<sub>rm</sub>) ont été utilisés pour évaluer la condition physique des poissons. L'influence des paramètres abiotiques sur ces indices est étudiée.

Les paramètres a et b de la relation taille-poids (LWR)  $W = aL^b$  ont été calculés avec le programme FISHPARM (version 3.0) en utilisant l'expression logarithmique transformée,  $\log W = \log a + b \log L$ , où W est le poids corporel total humide (g), L est la longueur corporelle (mm), a est une constante (intercept) et b est le coefficient d'allométrie (pente).

L'indice de condition (K) de **Fulton, (1904)** est un classique pour les scientifiques de la pêche et les biologistes marins, et le contexte de son utilisation a été débattu au fil du temps (**voir Froese, 2006**). Il est utilisé pour comparer l'état nutritionnel d'une espèce en fonction des saisons (**Heincke, 1908**). Il est calculé selon la formule suivante où TW est le poids total en gramme et TL la longueur totale en centimètre :  $K = 100 (TW/TL^3)$ .

Le facteur de condition relative (**Kn; Le Cren, 1951**) permet de comparer le poids d'un individu avec un poids moyen de la population à cette longueur dérivé de la relation longueur-poids. Cela permet de comparer la condition de différents spécimens provenant du même échantillon, indépendamment de la longueur. Cependant, il ne permet pas de comparer différentes populations, à moins qu'elles n'aient la même relation poids-longueur sous-jacente. Ce facteur a été utilisé pour comparer les populations de la même espèce et de la même saison entre les quatre sites, en supposant qu'elles suivent toutes une relation longueur-poids homogène. Les valeurs de "a" et de "b" de cette relation sont utilisées pour le calcul de Kn comme suit :  $Kn = TW/(aTL^b)$ , où TW est le poids total des poissons (g), TL la longueur totale (cm), a (intercept) et b (pente) les constantes de l'équation de régression.



Le poids relatif par rapport au poids moyen recommandé par **Froese, (2006)** est dérivé de l'équation du poids relatif de **Wege et Anderson, (1978)**. Il est utilisé pour comparer la condition entre différentes populations ou espèces. Cette méthode propose la comparaison en dérivant un poids moyen (TWm) à partir de la relation taille-poids impliquant toutes les populations ou espèces à comparer et l'utilisation d'une moyenne géométrique des paramètres a et b appelés respectivement am et bm. L'équation de calcul est la suivante :

$$TW_{rm} = 100TW/amTL^{bm},$$

Où TW<sub>rm</sub> : poids relatif, TW : poids du spécimen, TL : longueur du spécimen, am : moyenne géométrique du paramètre a, bm : moyenne du paramètre b.

### 3.1.4. Analyse statistique

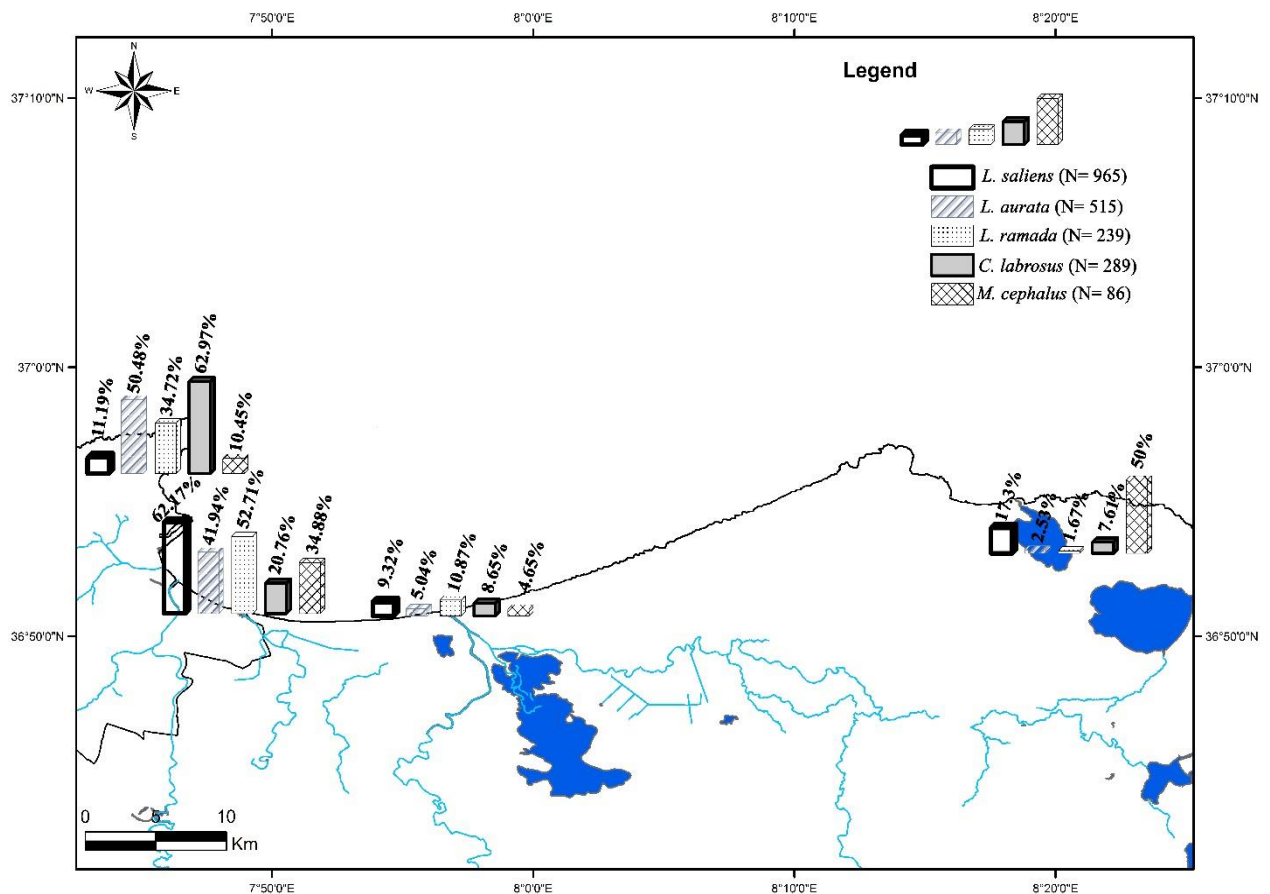
Un test Anova à un facteur a été effectué pour chaque espèce afin de voir si l'indice de condition de Fulton (K) varie entre les saisons pour chaque site. Pour chaque espèce, l'influence des paramètres abiotiques (température, salinité, oxygène dissous) sur le facteur de condition de Fulton (K) et le coefficient "b" de la relation longueur-poids est analysée à l'aide d'un modèle linéaire multiple sur Rstudio.

## 3.2. Résultats

### 3.2.1. Abondance et distribution des espèces

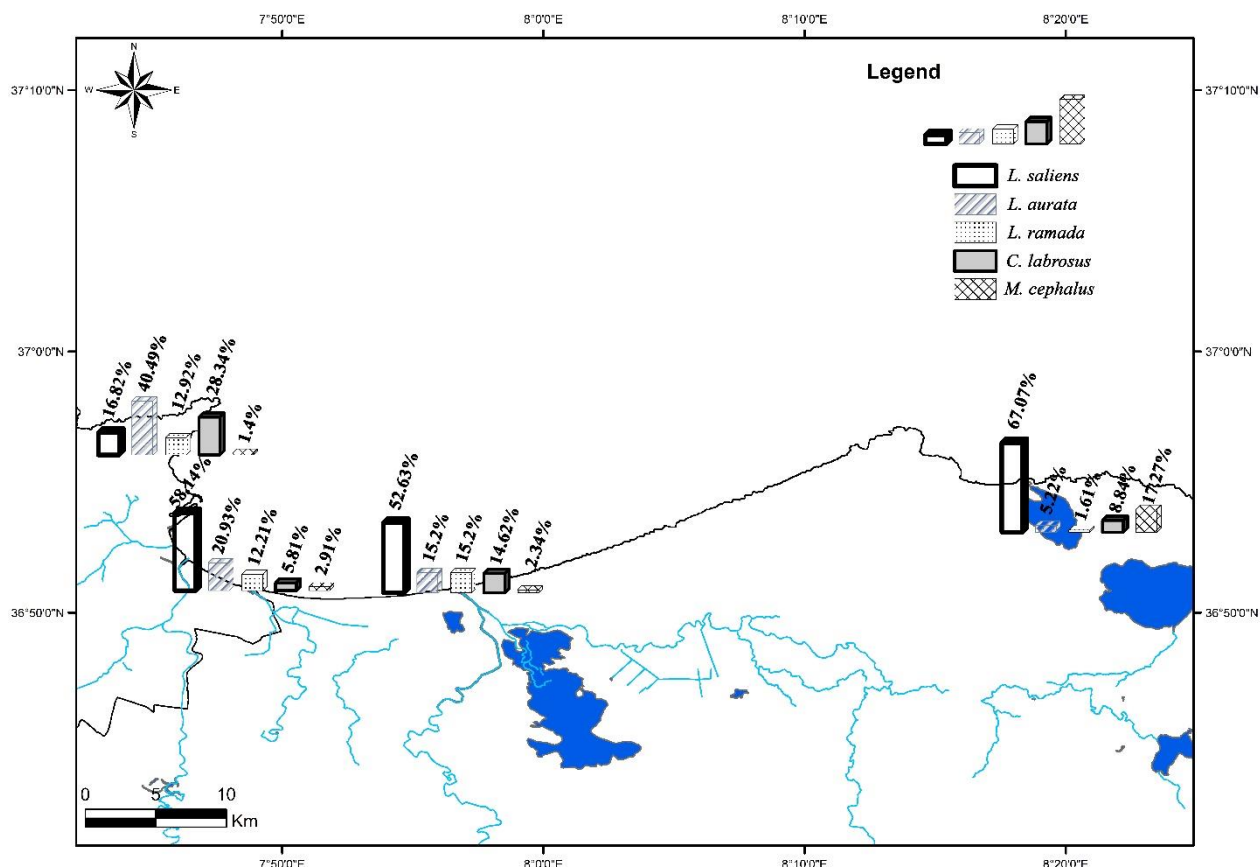
Un total de 2118 individus de Mugilidés a été échantillonné sur les quatre sites de janvier 2016 à février 2017. *Liza saliens* est l'espèce la plus présente avec 991 individus correspondant à 46,83 % du nombre total d'individus capturés, toutes espèces confondues, suivent *L. aurata* (502 individus, 23,7 %), *C. labrosus* (296 individus, 13,97), *L. ramada* (252 individus, 11,89 %) et *M. cephalus* (76 individus, 3,58 %).

La **figure 17** montre que *L. saliens* et *L. ramada* sont surtout présentes dans l'estuaire de Boukhmira (62,17% et 52,71% respectivement). *L. aurata* est surtout répartie entre l'estuaire de Boukhmira et la plage La Caroube (41,94% et 50,48% respectivement). Elle est faiblement représentée dans l'estuaire de Mafragh et la lagune Mellah (5,04% et 2,53%). *Chelon labrosus* fréquente principalement la plage La Caroube (62,97%), alors que *M. cephalus* est surtout présent dans la lagune Mellah (50%), à Boukhmira (34,88%) et dans une moindre mesure à La Caroube (10,45%), alors qu'il est faiblement présent dans l'estuaire de Mafragh (4,65%).



**Figure 17.** Distribution de chacune des 5 espèces entre les 4 sites.

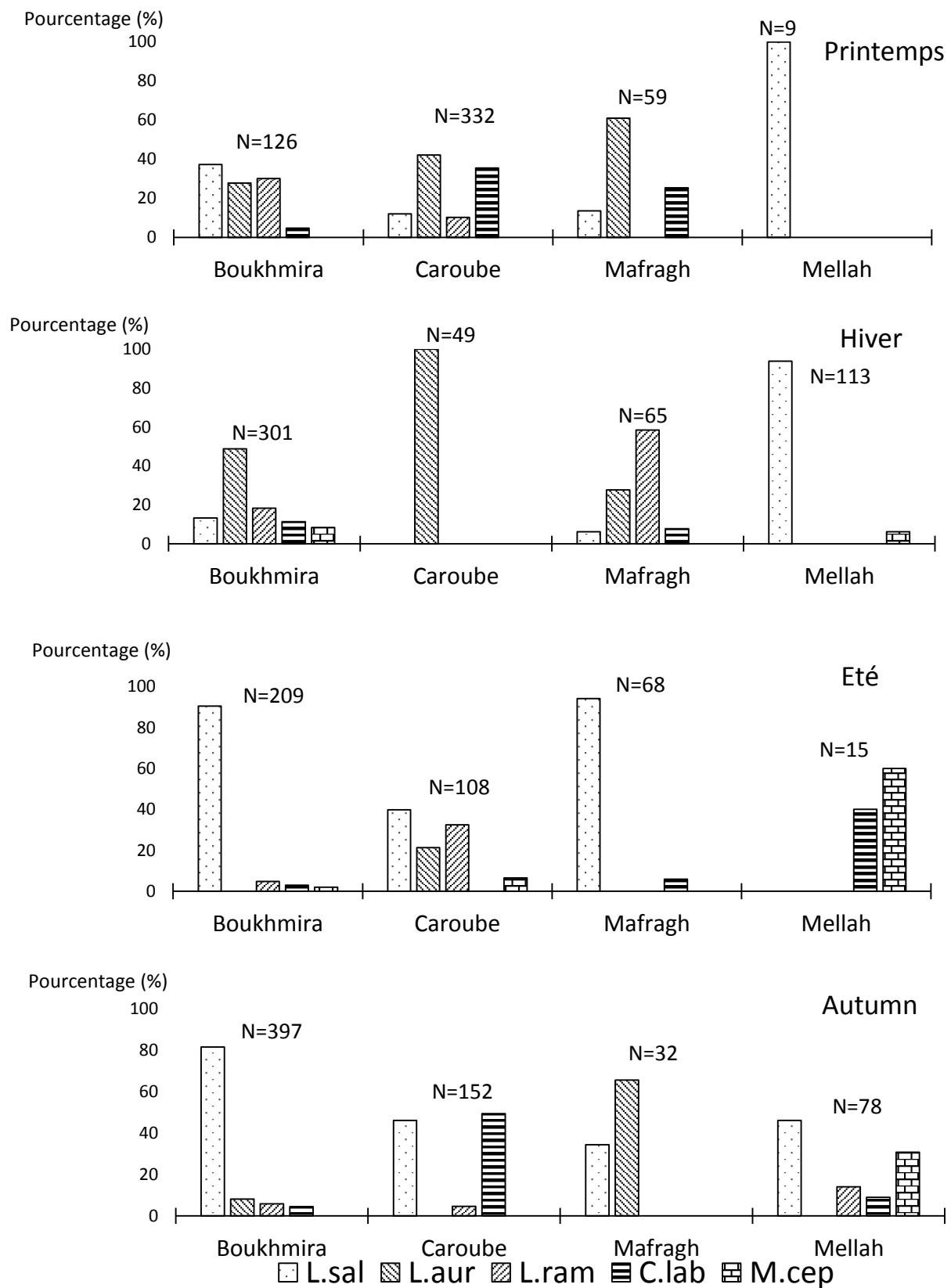
La **figure 18** montre que la plage La Caroube est occupée par les cinq espèces, avec une dominance de *L. aurata* (40,49%) et de *C. labrosus* (28,34%) et une faible présence de *M. cephalus* (1,4%). L'estuaire de Boukhmira abrite également les 5 espèces, avec une dominance numérique de *L. saliens* (58,14%). L'estuaire de Mafragh est caractérisé par l'absence de *M. cephalus* et la dominance de *L. saliens* (52,63%) alors que *L. aurata*, *L. ramada* et *C. labrosus* sont présents à égalité (15,2%, 15,2% et 14,62%). *Liza aurata*, *L. ramada* et *C. labrosus* sont faiblement présents dans la lagune Mellah (5,22%, 1,61% et 8,84%) où *L. saliens* domine (67,07%).



**Figure 18.** Fréquence de chacune des 5 espèces dans chaque site.

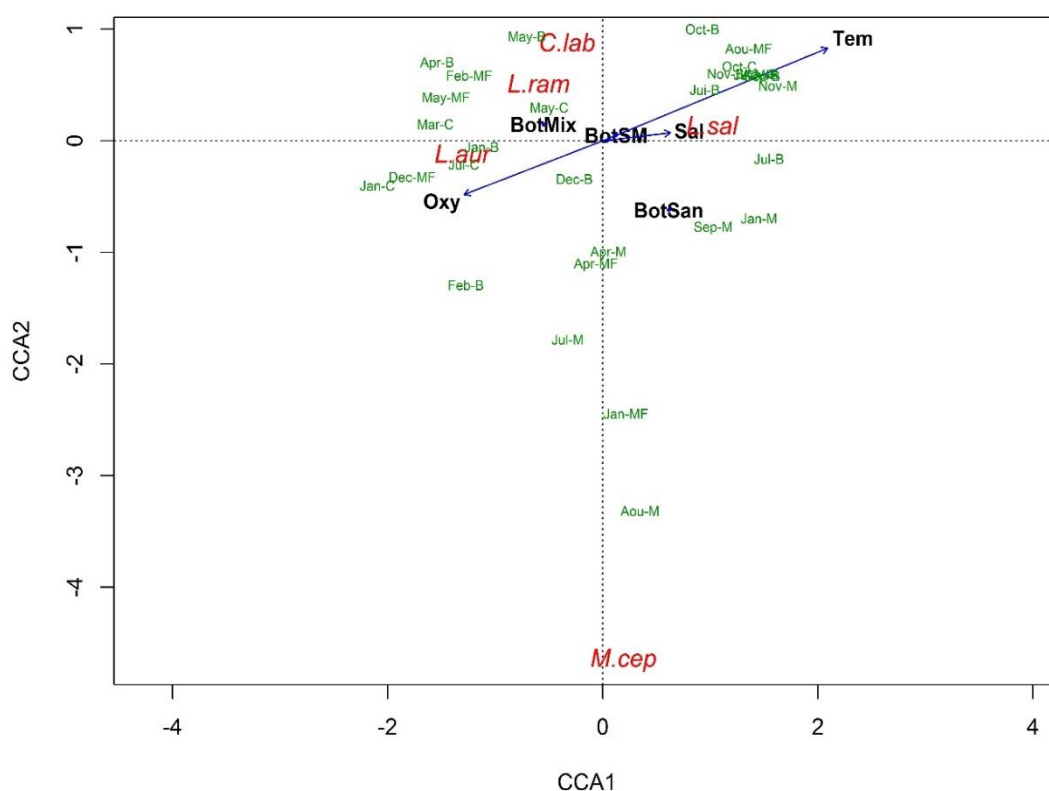
### 3.2.2. Variations saisonnières de la distribution des espèces

Il existe une variation saisonnière dans la distribution des espèces dans chaque site (**Figure 19**). Dans l'estuaire de Boukhmira, *L. saliens* domine largement en été (90,43%) et en automne (81,61%) et *L. aurata* représente 48,83% en hiver. Au printemps, *L. saliens* (37,3%), *L. aurata* (27,77%) et *L. ramada* (30,15%) se partagent le milieu. A La Caroube, *L. aurata* est la seule espèce présente en hiver. Elle partage ce site avec les autres espèces au printemps et en été et disparaît en automne laissant la place à *L. saliens* et *C. labrosus* avec respectivement 46,05% et 49,34%. Dans l'estuaire de Mafragh, 4 espèces sont présentes pendant l'hiver : *L. ramada* (58,46%), *L. aurata* (27,69%), *C. labrosus* (7,69%), *L. saliens* (6,15%). *Liza ramada* disparaît au printemps, laissant la place à *L. aurata* (61,01%) et *C. labrosus* (25,42%). *Liza saliens* domine durant l'été (94,11%) , mais durant l'automne seules *L. saliens* et *L. aurata* sont présentes avec respectivement 34,37% et 65,62%. Dans la lagune Mellah, *L. saliens* est presque la seule espèce présente en hiver (93,80%) et est la seule au printemps. Elle disparaît en été laissant place à *C. labrosus* et *M. cephalus* avec respectivement 40% et 60%. En automne, *L. saliens* réapparaît (46,15%) et partage la dominance avec *M. cephalus* (30,76%).



**Figure 19.** Fréquence des espèces de Mugilidae dans les 4 sites en fonction des saisons. Le nombre par site (N) correspond au nombre d'individus, toutes espèces confondues.

L'analyse canonique des correspondances (**Figure 20**) montre que les facteurs abiotiques considérés n'expliquent que 50,72% de la variation de la distribution des espèces. Les deux premiers axes canoniques (CCA1 et CCA2) expliquent ensemble 92,16% de la variance (76,62% et 15,54% respectivement pour CCA1 et CCA2). La température et la nature du fond sont les deux facteurs qui affectent significativement la distribution des alevins des cinq espèces étudiées ( $P = 0,002$  pour les deux).



**Figure 20.** Triplot de l'analyse canonique des correspondances reliant le score du site, les densités de Mugilidae et les variables abiotiques corrélées avec les axes. Le mois d'échantillonnage du site est représenté en vert avec : Janvier (Jan), Février (Feb), Mars (Mar), Avril (Apr), Mai (May), Juin (Jui), Juillet (Jul), Août (Aou), Sep (Sep), Octobre (Oct), Novembre (Nov), Décembre (Dec). Plage Caroube (C), Estuaire de Boukhmira (B), Estuaire de La Mafragh (MF), Lagune Mellah (M). Les densités des espèces sont représentées par les noms des espèces : *L. saliens* (L. sal), *L. aurata* (L. aur), *L. ramada* (L. ram), *C. labrosus* (C. lab) *M.cephalus* (M. cep). Les variables explicatives quantitatives (variables environnementales): température (Tem), salinité (Sal), oxygène dissous (Oxy) sont représentées par des flèches.

### 3.2.3. Variations saisonnières de la condition des espèces

Pour chacune des cinq espèces, la pente de la relation longueur-poids ( $b$ ) et la valeur du facteur de condition relative ( $K_n$ ) montrent des variations entre les sites (**Tableau 7**).

Pour *L. saliens*, la valeur globale de  $b$ , tous sites confondus, est majorante allométrique (3,15) comme c'est le cas pour chaque site sauf La Caroube où elle est minorante allométrique ( $b = 2,93$ ). Les valeurs les plus élevées de  $K_n$  sont enregistrées à Boukhmira (1,20) et à Mellah (1,29). Globalement, *L. aurata* présente une croissance allométrique majorante (3,03), avec un minimum à Mafragh (2,76) où la croissance est allométrique minorante et un maximum à Boukhmira (3,03). La valeur de  $K_n$  est supérieure à 1 dans les 3 sites où l'espèce est présente. La croissance relative de *L. ramada* est globalement allométrique majorante ( $b = 3,036$ ). Ce n'est le cas qu'à Mellah (3,76), alors que la population de Boukhmira présente une croissance allométrique minorante (2,788) et La Caroube et Mafragh une isométrie. Les valeurs de  $K_n$  sont supérieures à 1 dans tous les sites avec un maximum dans la lagune de Mellah (1,21). Dans le cas de *C. labrosus*, la valeur globale de  $b$  est de 3,01, montrant une croissance allométrique majorante. Elle est majorante à Boukhmira ( $b = 3,19$ ), minorante à Mafragh ( $b = 2,686$ ), isométrique à La Caroube et Mellah. La valeur de  $K_n$  est inférieure à 1, sauf à Mafragh ( $K_n = 1,02$ ). Pour *M. cephalus*, la valeur globale de  $b$  est majorante allométrique (3,37). Elle est également majorante à Mellah ( $b = 4,24$ ), mais isométrique à Boukhmira et La Caroube. La valeur de  $K_n$  est supérieure à 1 dans les 3 sites où elle est présente.

### 3.2.4. Variations de la condition des espèces

Les valeurs saisonnières du coefficient allométrique ( $b$ ) et de l'indice de condition de Fulton ( $K$ ) pour chaque espèce dans les 4 sites considérés sont données dans les **tableaux 8 à 13**.

Pour les 4 sites, les valeurs saisonnières de  $b$  sont comprises entre 2,17 et 3,60 pour *L. saliens*, 2,33 et 3,20 pour *L. aurata*, 2,40 et 4,04 pour *L. ramada*, 2,61 et 3,28 pour *C. labrosus*, 2,67 et 4,29 pour *M. cephalus*. La croissance relative varie selon les saisons. Chez *L. saliens*, elle est majorante au printemps à Caroube ( $b = 3,12$ ), en automne à Mafragh (3,19) et Mellah (3,13). Pour *L. aurata*, l'allométrie de croissance est majorante en été à Caroube (3,20). *Liza ramada* a une excellente croissance relative en été à Boukhmira (4,04) et en automne à Mellah (3,76). L'allométrie de croissance de *C. labrosus* est majorante en hiver (3,26) et en été (3,27) à Boukhmira, au printemps à La Caroube (3,17), en été (3,28) et en automne (3,19) à Mellah. L'embonpoint de *M. cephalus* est meilleur à Boukhmira en hiver (3,19) et en été (3,16), mais surtout à Mellah en été (4,29) et en automne (3,44).

**Tableau 7.** Intercepte (a') et pente (b') relatifs de la relation longueur-poids et facteur de condition relatif (Kn) dans chaque site pour chaque espèce. Intercept (a), pente (b) et coefficient de détermination ( $r^2$ ) de chaque espèce dans tous les sites. B: estuaire de Boukhmira, C: plage La Caroubé, MF: estuaire de La Mafragh, M: lagune Mellah. Les valeurs en gras correspondent aux allométries.

| Espèces            | Site | N   | Intervalle de tailles (cm) | a'                  | b'           | Kn                | a        | b            | $r^2$ |
|--------------------|------|-----|----------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------|
| <i>L. saliens</i>  | B    | 600 | 2,3-15,6                   | $7,8 \cdot 10^{-3}$ | <b>3,046</b> | $1,209 \pm 0,162$ | 0,005578 | <b>3,15</b>  | 0,974 |
|                    | C    | 153 | 4-16,8                     | $9 \cdot 10^{-3}$   | <b>2,936</b> | $1,115 \pm 0,208$ |          |              |       |
|                    | MF   | 87  | 5,96-18,94                 | $2 \cdot 10^{-3}$   | <b>3,52</b>  | $0,987 \pm 0,127$ |          |              |       |
|                    | M    | 151 | 2,33-15,95                 | $6 \cdot 10^{-3}$   | <b>3,2</b>   | $1,296 \pm 0,273$ |          |              |       |
| <i>L. aurata</i>   | B    | 214 | 2,2-11,3                   | $7,2 \cdot 10^{-3}$ | <b>3,039</b> | $1,043 \pm 0,194$ | 0,007538 | <b>3,035</b> | 0,994 |
|                    | C    | 212 | 2,2-20,9                   | $7,9 \cdot 10^{-3}$ | 3,018        | $1,163 \pm 0,257$ |          |              |       |
|                    | MF   | 65  | 2,4-10,4                   | $1,3 \cdot 10^{-2}$ | <b>2,769</b> | $1,099 \pm 0,195$ |          |              |       |
|                    | M    | -   | -                          | -                   | -            | -                 |          |              |       |
| <i>L. ramada</i>   | B    | 126 | 2,54-11,3                  | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | <b>2,788</b> | $1,053 \pm 0,162$ | 0,007085 | <b>3,036</b> | 0,995 |
|                    | C    | 76  | 3-18,2                     | $7,1 \cdot 10^{-3}$ | 3,032        | $1,109 \pm 0,185$ |          |              |       |
|                    | MF   | 38  | 2,4-9,3                    | $7,5 \cdot 10^{-3}$ | 3,004        | $1,055 \pm 0,121$ |          |              |       |
|                    | M    | 11  | 3,17-4,73                  | $3 \cdot 10^{-3}$   | <b>3,767</b> | $1,215 \pm 0,144$ |          |              |       |
| <i>C. labrosus</i> | B    | 64  | 2,5-9,6                    | $6,5 \cdot 10^{-3}$ | <b>3,190</b> | $0,926 \pm 0,135$ | 0,009108 | <b>3,01</b>  | 0,986 |
|                    | C    | 193 | 2,8-18,4                   | $8,8 \cdot 10^{-3}$ | 3,031        | $0,970 \pm 0,139$ |          |              |       |
|                    | MF   | 24  | 3,56-15,5                  | $1,8 \cdot 10^{-2}$ | <b>2,686</b> | $1,029 \pm 0,167$ |          |              |       |
|                    | M    | 13  | 2,83-8,42                  | $5,8 \cdot 10^{-3}$ | 3,194        | $0,906 \pm 0,066$ |          |              |       |
| <i>M. cephalus</i> | B    | 29  | 2,1-13,29                  | $7,4 \cdot 10^{-3}$ | 3,116        | $1,683 \pm 0,499$ | 0,003627 | <b>3,374</b> | 0,988 |
|                    | C    | 7   | 4-9,1                      | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | 2,865        | $1,213 \pm 0,195$ |          |              |       |
|                    | MF   | -   | -                          | -                   | -            | -                 |          |              |       |
|                    | M    | 40  | 2,4-15,76                  | $3,2 \cdot 10^{-4}$ | <b>4,249</b> | $1,453 \pm 0,384$ |          |              |       |

**Tableau 8.** Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton selon les sites pour *Liza saliens*

| <i>Liza saliens</i> |        |     |             |          |       |                |               |
|---------------------|--------|-----|-------------|----------|-------|----------------|---------------|
| Site                | Saison | N   | Taille (cm) | a        | b     | R <sup>2</sup> | K             |
| <b>Boukhmira</b>    | Hiv    | 40  | 2.55-9.9    | 0.01046  | 2.887 | 0.984          | 0.830 ± 0.07  |
|                     | Pri    | 47  | 4.4-10.1    | 0.008157 | 3.033 | 0.990          | 0.868 ± 0.071 |
|                     | Eté    | 189 | 3.2-15.6    | 0.008629 | 3.022 | 0.996          | 0.901 ± 0.078 |
|                     | Aut    | 324 | 2.3-11.6    | 0.009241 | 2.942 | 0.991          | 0.825 ± 0.126 |
| <b>Caroube</b>      | Hiv    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
|                     | Pri    | 40  | 6.6-10.7    | 0.006608 | 3.128 | 0.858          | 0.872 ± 0.136 |
|                     | Eté    | 43  | 4-13.4      | 0.01018  | 2.815 | 0.963          | 0.678 ± 0.114 |
|                     | Aut    | 70  | 5.3-16.8    | 0.01162  | 2.876 | 0.995          | 0.92 ± 0.067  |
| <b>Mafragh</b>      | Hiv    | 4   | 7.1-11.67   | 0.01549  | 2.667 | 0.996          | 0.733 ± 0.058 |
|                     | Pri    | 8   | 5.96-11.52  | 0.01745  | 2.741 | 0.949          | 0.955 ± 0.112 |
|                     | Eté    | 64  | 9.08-18.94  | 0.001652 | 3.608 | 0.954          | 0.799 ± 0.076 |
|                     | Aut    | 11  | 8.7-15.01   | 0.004483 | 3.191 | 0.990          | 0.712 ± 0.07  |
| <b>Mellah</b>       | Hiv    | 106 | 2.33-9.06   | 0.01466  | 2.725 | 0.966          | 0.907 ± 0.204 |
|                     | Pri    | 9   | 5.22-6.88   | 0.04520  | 2.17  | 0.790          | 1.011 ± 0.114 |
|                     | Eté    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
|                     | Aut    | 36  | 2.37-15.95  | 0.007351 | 3.13  | 0.999          | 0.884 ± 0.087 |

**Tableau 9.** Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton selon les sites pour *Liza aurata*.

| <i>Liza aurata</i> |        |     |             |          |       |                |               |
|--------------------|--------|-----|-------------|----------|-------|----------------|---------------|
| Site               | Saison | N   | Taille (cm) | a        | b     | R <sup>2</sup> | K             |
| <b>Boukhmira</b>   | Hiv    | 147 | 2,3-11,3    | 0,006637 | 3,073 | 0,99           | 0,799 ± 0,139 |
|                    | Pri    | 35  | 3,2-7,9     | 0,01052  | 2,841 | 0,954          | 0,801±0,105   |
|                    | Eté    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
|                    | Aut    | 32  | 2,2-9,59    | 0,009365 | 2,957 | 0,999          | 0,957 ± 0,156 |
| <b>La Caroube</b>  | Hiv    | 49  | 2,2-5,1     | 0,02707  | 2,333 | 0,84           | 1,124 ± 0,241 |
|                    | Pri    | 140 | 4,1-9       | 0,02213  | 2,474 | 0,896          | 0,885 ± 0,115 |
|                    | Eté    | 23  | 2,2-20,9    | 0,004516 | 3,205 | 0,998          | 0,756 ± 0,196 |
|                    | Aut    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
| <b>Mafragh</b>     | Hiv    | 18  | 2,7-10,3    | 0,009031 | 2,828 | 0,999          | 0,761 ± 0,148 |
|                    | Pri    | 36  | 3,4-9,42    | 0,007957 | 3,078 | 0,994          | 0,839 ± 0,107 |
|                    | Eté    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
|                    | Aut    | 21  | 2,4-10,4    | 0,01092  | 2,885 | 0,999          | 1,002 ± 0,118 |



**Tableau 10.** Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour *Liza ramada*.

| <i>Liza ramada</i> |        |    |             |          |       |                |               |
|--------------------|--------|----|-------------|----------|-------|----------------|---------------|
| Site               | Saison | N  | Taille (cm) | a        | b     | R <sup>2</sup> | K             |
| <b>Boukhmira</b>   | Hiv    | 55 | 2,7-5,4     | 0,008362 | 2,891 | 0,922          | 0,740 ± 0,120 |
|                    | Pri    | 38 | 2,7-11,3    | 0,01382  | 2,698 | 0,988          | 0,801 ± 0,118 |
|                    | Eté    | 10 | 3,96-4,73   | 0,002022 | 4,043 | 0,924          | 0,912 ± 0,104 |
|                    | Aut    | 23 | 2,54-4,8    | 0,007481 | 3,065 | 0,983          | 0,805 ± 0,075 |
| <b>Caroube</b>     | Hiv    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
|                    | Pri    | 34 | 4,5-9,3     | 0,02432  | 2,405 | 0,945          | 0,809 ± 0,115 |
|                    | Eté    | 35 | 3-9,4       | 0,006966 | 3,068 | 0,99           | 0,838 ± 0,152 |
|                    | Aut    | 7  | 3,2-18,2    | 0,01231  | 2,848 | 0,999          | 0,934 ± 0,093 |
| <b>Mafragh</b>     | Hiv    | 38 | 2,4-9,3     | 0,007598 | 3,004 | 0,996          | 0,780 ± 0,09  |
|                    | Pri    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
|                    | Eté    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
|                    | Aut    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
| <b>Mellah</b>      | Hiv    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
|                    | Pri    | -  | -           | -        | -     | -              |               |
|                    | Eté    |    |             |          |       |                |               |
|                    | Aut    | 11 | 3,17-4,73   | 0,003053 | 3,767 | 0,952          | 0,905 ± 0,109 |

**Tableau 11.** Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour *Chelon labrosus*.

| <i>Chelon labrosus</i> |        |     |             |          |       |                |               |
|------------------------|--------|-----|-------------|----------|-------|----------------|---------------|
| Site                   | Saison | N   | Taille (cm) | a        | b     | R <sup>2</sup> | K             |
| <b>Boukhmira</b>       | Hiv    | 34  | 2,7-9,7     | 0,005451 | 3,268 | 0,997          | 0,824 ± 0,133 |
|                        | Pri    | 6   | 2,5-6,7     | 0,01479  | 2,766 | 0,992          | 0,999 ± 0,134 |
|                        | Eté    | 6   | 2,5-7,77    | 0,05675  | 3,276 | 0,999          | 0,880 ± 0,073 |
|                        | Aut    | 18  | 3,09-4,64   | 0,01042  | 2,851 | 0,882          | 0,850 ± 0,085 |
| <b>Caroube</b>         | Hiv    | -   | -           | -        | -     | -              | -             |
|                        | Pri    | 118 | 2,8-8,5     | 0,006415 | 3,171 | 0,980          | 0,863 ± 0,122 |
|                        | Eté    | -   | -           | -        | -     | -              |               |
|                        | Aut    | 75  | 2,99-18,4   | 0,009509 | 3,006 | 0,992          | 0,955 ± 0,12  |
| <b>Mafragh</b>         | Hiv    | 5   | 8,4-15,5    | 0,006693 | 3,036 | 0,999          | 0,734 ± 0,019 |
|                        | Pri    | 15  | 3,56-9,61   | 0,01683  | 2,704 | 0,989          | 1,008 ± 0,105 |
|                        | Eté    | 4   | 7,4-13,49   | 0,02466  | 2,615 | 0,987          | 1,034 ± 0,155 |
|                        | Aut    | -   | -           | -        | -     | -              |               |
| <b>Mellah</b>          | Hiv    | -   | -           | -        | -     | -              |               |
|                        | Pri    | -   | -           | -        | -     | -              |               |
|                        | Eté    | 6   | 6,8-8,42    | 0,004916 | 3,28  | 0,981          | 0,858 ± 0,046 |
|                        | Aut    | 7   | 2,83-3,82   | 0,006482 | 3,192 | 0,918          | 0,820 ± 0,072 |

**Tableau 12.** Variations saisonnières des coefficients a et b de la relation taille-poids et de l'indice de condition K de Fulton en fonction des sites pour *Mugil cephalus*.

| <i>Mugil cephalus</i> |        |    |             |           |       |                |               |
|-----------------------|--------|----|-------------|-----------|-------|----------------|---------------|
| Site                  | Saison | N  | Taille (cm) | a         | b     | R <sup>2</sup> | K             |
| <b>Boukhmira</b>      | Hiv    | 25 | 2,1-3,5     | 0,00762   | 3,198 | 0,823          | 0,941 ± 0,236 |
|                       | Eté    | 4  | 6,63-13,29  | 0,006578  | 3,166 | 0,979          | 0,960 ± 0,123 |
| <b>Caroube</b>        | Eté    | 7  | 4-9,1       | 0,01207   | 2,865 | 0,918          | 0,859 ± 0,165 |
| <b>Mellah</b>         | Hiv    | 7  | 2,8-4,54    | 0,0167    | 2,673 | 0,921          | 1,081 ± 0,114 |
|                       | Eté    | 9  | 2,71-15,76  | 0,0002869 | 4,299 | 0,993          | 0,861 ± 0,138 |
|                       | Aut    | 24 | 2,4-3,85    | 0,004791  | 3,441 | 0,859          | 0,744 ± 0,188 |

Les valeurs saisonnières de K dans les 4 sites varient entre 0,67 et 1,01 pour *L. saliens*, 0,75 et 1,12 pour *L. aurata*, 0,74 et 0,93 pour *L. ramada*, 0,73 et 1,03 pour *C. labrosus*, 0,74 et 1,08 pour *M. cephalus*. Le test Anova à un facteur montre que la valeur saisonnière moyenne de K varie significativement chez *L. saliens* dans tous les sites considérés (Boukhmira :  $p = 4.8e^{-13}$ , La Caroube :  $p = < 2e^{-16}$ , Mafragh :  $p = 3.24e^{-08}$ ) sauf à la lagune Mellah ( $P = 0,164$ ), Pour *L. aurata*, cet indice varie significativement à Boukhmira ( $p = 2,77e^{-07}$ ), la Caroube ( $p = < 2e^{-16}$ ) et Mafragh ( $p = 7,05e^{-08}$ ), les 3 sites où elle est rencontrée. *L. ramada* n'est rencontrée qu'en hiver à Mafragh et en automne à Mellah. L'ANOVA n'a pas montré de variation significative de la valeur K entre les saisons à La Caroube ( $p = 0,0813$ ), par contre elle a varié significativement à Boukhmira ( $p = 9,45e^{-05}$ ). Dans le cas de *C. labrosus*, K varie entre les saisons à Boukhmira ( $p = 0,00774$ ), la Caroube ( $p = 7,62e^{-07}$ ) et Mafragh ( $p = 3,24e^{-08}$ ), mais pas à Mellah ( $p = 0,297$ ). *Mugil cephalus* n'est capturé que pendant l'été à La Caroube. L'espèce n'a pas montré une différence significative de K entre les saisons à Boukhmira ( $p = 0,879$ ), cependant cette différence est significative dans la lagune Mellah ( $p = 0,000166$ ).

Les variations saisonnières de K sont expliquées par le modèle de régression linéaire multiple à 35,73% ( $p = 0,2015$ ) pour *L. saliens*, 65,48% ( $p = 0,1237$ ) pour *L. aurata*, 45,77% ( $p = 0,05444$ ) pour *L. ramada*, 47,2% ( $p = 0,1906$ ) pour *C. labrosus* et 29,57% ( $p = 0,8392$ ) pour *M. cephalus*. Ces variations sont influencées par la salinité dans le cas de *L. saliens* ( $p = 0,06781$ ,  $r = -0,55$ ), par la concentration en oxygène dissous dans le cas de *L. aurata* ( $p = 0,0541$ ,  $r = 0,74$ ) et *L. ramada* ( $p = 0,0160$ ,  $r = -0,54$ ) et par la température pour *C. labrosus* ( $p = 0,09145$ ,  $r = 0,57$ ). Pour *M. cephalus*, aucun des paramètres considérés ne semble influencer les fluctuations saisonnières des valeurs K.

Le **tableau 13** présente les valeurs moyennes de l'indice de poids relatif (Wrm) pour chaque espèce dans chaque site. Les différences sont mises en évidence pour les 5 espèces en fonction de l'habitat. Les meilleures valeurs de Wrm pour *L. saliens* sont obtenues à Mellah ( $127,82 \pm 27,39$ ), Boukhmira ( $119,06 \pm 16,26$ ) et La Caroube ( $108,62 \pm 20,55$ ). C'est également à La Caroube que *L. aurata* enregistre la valeur la plus élevée de cet indice ( $110,73 \pm 22,7$ ). *Liza ramada* atteint sa meilleure condition à El Mellah ( $112,07 \pm 12,72$ ) et *C. labrosus* à Mafragh ( $102,63 \pm 102,04$ ). Les valeurs les plus élevées de Wrm sont atteintes par *M. cephalus*, notamment à Boukhmira ( $189,22 \pm 57,68$ ) et à Mellah ( $163,04 \pm 43,90$ ). Pour chaque espèce, il existe une corrélation très significative entre les valeurs de Wrm et Kn enregistrées dans chaque site ( $0,95 \leq r \leq 0,99$ ).

**Tableau 13.** Valeurs moyennes de l'indice de poids relatif (Wrm) calculé pour chaque espèce dans chaque site.

| Site              | Wrm (%)             |                    |                    |                        |                       |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
|                   | <i>Liza saliens</i> | <i>Liza aurata</i> | <i>Liza ramada</i> | <i>Chelon labrosus</i> | <i>Mugil cephalus</i> |
| <b>Boukhmira</b>  | 119.06±16.26        | 96.86±16.49        | 97.43±15.57        | 93.11±13.79            | 189.22±57.68          |
| <b>La Caroube</b> | 108.62±20.55        | 110.73±22.7        | 99.40±18.67        | 96.97±13.85            | 133.24±21.43          |
| <b>Mafragh</b>    | 94.89±12.41         | 101.77±17.11       | 99.76±11.56        | 102.63±17.04           | -                     |
| <b>El Mellah</b>  | 127.82±27.39        | -                  | 112.07±12.72       | 90.73±6.52             | 163.04±43.9           |

### 3.3. Discussion

Cette étude révèle une distribution différente de 5 espèces de Mugilidae (*L. saliens*, *L. aurata*, *L. ramada*, *C. labrosus*, *M. cephalus*) entre habitats situés dans un espace géographique limité (51 km linéaires). Ces habitats (mer côtière, estuaires, lagune) sont surtout caractérisés par leur salinité différente et/ou variable. Les mugilidés euryhalins ont une gamme de tolérance à la salinité qui affecte leur croissance en raison de l'énergie dépensée pour l'osmorégulation (**Wootton, 1990**). Ce fait peut influencer leur distribution (**Blaber, 1997**). *Liza saliens* et *L. aurata* sont globalement les espèces les plus fréquentes comme c'est le cas dans l'estuaire de la rivière Seyhan (Turquie) (**Innal, 2020**). **Embarek et al., (2017)** arrivent à la même conclusion pour la lagune Mellah. Ces espèces sont considérées comme les mugilidés les plus sensibles aux températures froides (**Thomson, 1996**). *L. saliens* occupe les 4 habitats considérés ici pendant presque toutes les saisons, mais dans des proportions différentes. Il est exclusif ou quasi exclusif dans certaines situations (hiver et printemps à Mellah, été à Boukhmira et Mafragh, automne à Boukhmira) qui correspondent toutes à des milieux paraliques. Elle serait donc la plus tolérante aux variations de son environnement. En effet, *L. saliens* tolère de fortes variations de température (5-27°C) et de salinité (11-28‰) (**Chervinski, 1977 ; Rossi, 1981**).

L'étude de 42 estuaires dans trois régions différentes de la Méditerranée occidentale a montré que cette espèce domine les assemblages de poissons lorsque la salinité est supérieure à 13‰ (**Cardona et al., 2008**). *Liza aurata* n'est jamais rencontrée à Mellah, alors qu'**Embarek et al., (2017)** l'ont trouvée fréquente dans cette lagune. Sur les autres sites, elle est plus fréquente en hiver et au printemps, notamment à Caroube où elle est exclusive en hiver. En 2012 et 2013, **Boubekeur et al., (2018)** ont échantillonné cette zone avec une senne de plage, mais n'ont jamais rencontré cette espèce. Selon **Cardona, (2006)**, *L. aurata* est abondante dans les sites polyhalins et euryhalins et évite les eaux dessalées (< 15‰). *Liza ramada* est surtout présente dans les deux estuaires et dans une moindre mesure en mer, alors qu'elle est très peu présente dans la lagune Mellah. En effet, *L. ramada* et *M. cephalus* sont les plus tolérants à l'eau douce (**Faouzi, 1938 ; Arné, 1938**). *Chelon labrosus* est plus présent en mer que dans les eaux de transition, mais à des saisons préférentielles (printemps et automne). A Mellah, il est plus abondant en été et partage cette lagune avec *M. cephalus*. Selon **De Angelis (1967)**, cette espèce ne se rencontre que rarement en eau douce. Bien qu'elle soit capable de s'adapter à l'eau douce, elle n'a pas de bonnes capacités d'osmorégulation comme *L. ramada* sur de longues périodes (**Boisseau et al., 1975**). **Heldt, (1948)** a confirmé la rareté de cette espèce dans les eaux saumâtres à faible salinité, alors qu'elle est souvent observée dans les lagunes relativement salées. *Mugil cephalus* est presque absent dans toutes les situations, sauf à Mellah où il représente entre 30% (automne) et 60% (été) des jeunes mugilidés capturés. Ces saisons correspondent bien au calendrier de recrutement des juvéniles de cette espèce dans les lagunes méditerranéennes (**Kara et Quignard, 2019**).

Contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, l'analyse des correspondances canoniques ne montre aucune influence de la salinité sur la distribution des poissons. Il est vrai que les conditions environnementales et la disponibilité des ressources alimentaires sont parmi les principaux paramètres affectant la distribution des espèces de poissons (**Grenouillet et al., 2002**), mais il y a aussi les interactions interspécifiques (**Zaret et Rand, 1971**), la nature du substrat et les capacités d'adaptation intrinsèques de chaque espèce (**Poff et Allan, 1995**), surtout lorsqu'il s'agit d'eaux de transition connues pour la variabilité de leurs caractères physico-chimiques, non seulement la salinité mais aussi l'oxygène dissous, la température et la nature du fond. Ces deux derniers paramètres affectent la distribution des cinq espèces étudiées ici.

Les valeurs du coefficient d'allométrie (b) des juvéniles des 5 espèces de Mugilidae considérées ici se situent dans la gamme attendue (2,5-3,5) selon **Froese et al., (2006)**, sauf pour *M. cephalus* de la lagune de Mellah où b atteint 4,24 (**Tableau 7**).

**Crosetti et Blaber, (2016)** ont passé en revue le paramètre " b " de 33 mugilidés juvéniles provenant de différentes sources de données (**Fishbase ; Quignard et Farrugio, (1981)** et des données recueillies lors d'études antérieures) répartis dans différentes régions géographiques dont la Méditerranée. Les espèces étudiées sont les mêmes que les nôtres en plus de *Mugil curema*. Les valeurs de "b" ont montré une distribution normale avec une moyenne de  $2,95 \pm 0,25$ . La valeur minimale était de 1,75 pour *M. cephalus* du Golfe du Mexique (**Broadhead, 1953**) et la valeur maximale était de 4,05 pour *L. aurata* de différentes localités des côtes tunisiennes (**Fehri-Bedoui et Gharbi, 2005**) et dans plusieurs localités des côtes de la Grande Bretagne (**Hickling, 1970**).

Selon **Froese (2006)**, il semble logique que lors de la comparaison de zones géographiquement éloignées, les différences de coefficients d'allométrie soient dues au gradient de latitude qui confère à chaque région ses propres conditions abiotiques différentes, entraînant des types de croissance différents. Cependant, d'autres paramètres ont également une influence, comme la taille de l'échantillon (**Dias et al., 2014**), la composition de l'échantillon, la disponibilité de la nourriture, la variabilité du développement ontogénétique, les maladies et les parasites (**Tesch, 1971 ; Ricker, 1975 ; Froese, 2006**), le protocole d'échantillonnage, l'utilisation des terres et la période (**Santos et Gris, 2016 ; Carvalho et al., 2017**).

La salinité étant le principal paramètre qui différencie les 3 types d'habitats considérés ici, elle ne semble pas influencer l'embonpoint des espèces du genre *Liza* : *L. saliens*, *L. aurata*, *L. ramada*. *Liza saliens* présente une meilleure condition dans l'estuaire de Mafragh (oligohalin) et la lagune Mellah (polyhalin), quand *L. aurata* présente un meilleur embonpoint dans l'estuaire de Boukhmira (polyhalin) et à La Caroube (euhalin). Le petit nombre d'individus de *L. ramada* (N = 11) et leur gamme de taille limitée à Mellah (3,17-4,73) peuvent être à l'origine de la valeur élevée de b (3,767), cependant l'espèce montre des valeurs très proches entre la plage de La Caroube (b = 3,032) et l'estuaire de Mafragh (b = 3,004). Quant à *C. labrosus* et *M. cephalus*, ils sont plus en surpoids dans la lagune Mellah et l'estuaire de Boukhmira, tous deux polyhalins.

Le test Anova à un facteur montre des variations saisonnières de l'indice de condition K dans tous les sites dans le cas de *L. saliens*, *L. aurata* et *C. labrosus*. *Chelon labrosus* est une exception dans la lagune Mellah où l'espèce n'est présente qu'en été et en automne. Pour *L. ramada*, K ne varie qu'à Boukhmira, alors que pour *M. cephalus*, il ne varie qu'à Mellah. Pour chaque espèce, les meilleures valeurs de K sont enregistrées à différentes saisons selon le site et aucune généralisation n'est possible. Les modèles de régression linéaire multiple montrent que les variations saisonnières de K sont expliquées par la salinité chez *L. saliens*, l'oxygène

dissous chez *L. aurata* et *L. ramada*, la température chez *C. labrosus*. En ce qui concerne *M. cephalus*, aucun des paramètres considérés n'est impliqué dans ces variations.

Dans notre étude, seules les valeurs  $k$  de *C. labrosus* et *M. cephalus* sont influencées par des paramètres abiotiques, la première par la salinité, et la seconde à la fois par la salinité et la température. La valeur  $k$  de *L. saliens* est influencée par la salinité, par la température pour *C. labrosus*, et enfin par le niveau d'oxygène dissous pour *L. aurata* et *L. ramada*, mais cette valeur  $k$  n'est influencée par aucun des paramètres abiotiques pour *M. cephalus*.

**Chu et al., (2012)** ont évalué la condition des adultes de *Liza macrolepis* vivant au large de la côte sud-ouest de Taïwan en se basant sur la valeur  $b$ . Les résultats ont montré une faible valeur  $b$  ( $< 3$ ) pendant la saison humide. **Sandhya et Shameem, (2003)** ont calculé les valeurs  $b$  et  $Kn$  pour les adultes de la même espèce collectés dans les eaux non polluées de l'estuaire de Gosthani et les eaux polluées du port de Visakhapatnam. Ces valeurs étaient plus élevées dans les eaux non polluées. Les deux études ont rapporté que les saisons sèches favorisent une meilleure condition des poissons que les saisons humides. **Yulianto et al., (2020)** expliquent la meilleure condition des adultes de *Liza macrolepis* et *Moolgarda engeli* pendant les saisons sèches par le fait qu'au cours de la période sèche, l'eau claire favorise la croissance du phytoplancton et des algues qui constituent un élément alimentaire fondamental pour les Mugilidae. **Kembenya et al., (2014)** ont rapporté le contraire pour plusieurs poissons d'eau douce vivant dans le lac Baringo au Kenya. Dans notre cas, aucune tendance de ce type n'est perceptible.

La grande majorité des valeurs de  $Kn$  sont supérieures à 1, ce qui indique une bonne condition pour les cinq espèces dans tous les habitats. La seule exception est *L. saliens* dans l'estuaire de Mafragh ( $Kn = 0,987$ ). En effet, cette espèce colonise les eaux marines et saumâtres et est rare dans les eaux douces (**Ben Tuvia, 1986 ; Gandolfi et al., 1991**). **Kara et Quignard, (2019)** rapportent que *L. saliens* domine les assemblages lorsque la salinité est supérieure à 13 ‰ et qu'elle se concentre dans les sites polyhalins et euhalins. Ces observations corroborent nos résultats, car l'abondance de cette espèce à Mafragh est relativement faible (87 individus au total).

A l'exception de *L. ramada*, les valeurs de  $b$  et  $Kn$  ne permettent pas d'évaluer de la même manière l'embonpoint des poissons. Par exemple, *L. saliens* montre la plus faible valeur de  $Kn$  dans l'estuaire du Mafragh où nous avons noté la plus grande valeur de  $b$ . De même, aucun des paramètres abiotiques étudiés ici n'a d'impact sur la valeur de  $b$  pour *L. saliens*, *L. aurata* et *L. ramada*, cependant ces paramètres montrent une influence sur  $Kn$  pour toutes les espèces sauf pour *M. cephalus*. Au contraire, les résultats sur la condition des poissons obtenus à l'aide de  $Kn$  sont les mêmes que ceux obtenus à l'aide de l'indice de poids relatif lors de la comparaison

des populations. Ces descripteurs seraient alors plus appropriés que le coefficient allométrique de la relation longueur-poids.

La combinaison des informations acquises dans ce travail sur l'abondance et la condition des juvéniles de chacune des 5 espèces de mugilidés nous permet d'orienter la collecte de chacune d'elles comme suit : *L. saliens* à la lagune de Mellah pendant l'hiver et à Boukhmira pendant l'été et l'automne, *L. aurata* sur les trois sites où elle existe, mais de préférence en hiver à Caroube, au printemps et en automne à Mafragh, *L. ramada* sur les quatre sites, mais surtout en hiver à Mafragh, *C. labrosus* à Mafragh pendant le printemps, et enfin *M. cephalus* sur les trois sites où elle existe, surtout à Mellah pendant l'été et l'automne. Ces saisons correspondent à des périodes où la ressource est abondante et de meilleure qualité.

## **Chapitre 4.**

**Structure et croissance des juvéniles de cinq espèces de Mugilidés  
en fonction de l'habitat dans le Sud-Ouest de la Méditerranée**



## Chapitre 4

### Structure et croissance des juvéniles de cinq espèces de Mugilidés en fonction de l'habitat dans le Sud-Ouest de la Méditerranée

#### Introduction

La famille des Mugilidae a une large distribution géographique. Elle colonise toutes les mers tropicales et tempérées, de la Méditerranée à l'ouest de la mer Noire (**Harrison, 2003**), de l'Atlantique Est, du Cap-Vert, des Açores, des îles britanniques, de la mer du Nord et de la mer Baltique (**Schaber et al., 2011**) au sud de la Norvège, au sud de l'Islande et aux îles Féroé (**Ben-Tuvia, 1986 ; Bauchot, 1987 ; Reay, 1992 ; Nash et Santos, 1998 ; Kottelat et Freyhof, 2007**).

Les espèces de Mugilidae sont connues pour leur caractère euryhalin et eurytherme, ce qui leur donne la possibilité de vivre dans différents écosystèmes aquatiques après la reproduction en mer, bien que presque toutes atteignent la maturité sexuelle dans les estuaires et les lagunes (**Wallace, 1975b**). Seule *Liza abu* accomplit l'ensemble de son cycle de vie en eau douce (**Nelson, 2006**).

La famille des Mugilidae comprend 72-80 espèces réparties en 17 genres (**Harrison, 2003; Nelson, 2006**), dont 4 sont connues de la mer Méditerranée. Le genre *Liza* comprend cinq espèces, dont trois sont indigènes (*L. aurata*, *L. ramada*, *L. saliens*) et deux sont introduites (*L. carinata* et *L. haematocheilus*). Les genres *Mugil* et *Chelon* sont chacun représenté par une seule espèce, *M. cephalus* et *C. labrosus* respectivement. Le genre *Oedalechilus* n'est représenté que par *O. labeo*.

Plusieurs espèces de Mugilidae sont connues pour leur intérêt écologique et commercial. Leur production globale de capture était de 109 404 tonnes en 2020 (**FAO 2022**). Au moins trois d'entre elles (*Liza ramada*, *Mugil cephalus*, *Liza carinata*) présentent un intérêt pour l'aquaculture, en partie en raison de leur capacité à se développer dans les eaux douces, ce qui leur ouvre des perspectives importantes pour le renforcement des capacités des pêcheries continentales dans différentes parties du monde. En Égypte, par exemple, l'aquaculture de mulets représentait près de 25 % de l'ensemble de l'aquaculture de poissons en 2012. D'autres produits de Mugilidae sont également très convoités, tels que les œufs, les testicules et les estomacs (gésier) (**Crosetti et Blaber, 2016**). L'utilisation des pièces calcifiées des poissons (otolithes, statolithes, épines, rayons de nageoires, vertèbres et autres os) est d'une importance majeure tant pour les études écologiques que pour la gestion des pêcheries. Les otolithes (oreille interne du poisson), également connus sous le nom de "boîte noire" (**Lecomte-Finiger, 1999**),

contiennent toute l'histoire physiologique et écologique du poisson. **Pannella, (1971)** a découvert les incréments journaliers déposés sur l'otolithe. Depuis, de nombreuses recherches ont été menées sur la croissance journalière de l'otolithe pour déterminer la saisonnalité du frai (**Campana et Neilson, 1985 ; Tzeng et al., 1998 ; Chang et al., 2000 ; Peng Sun et al., 2020**), le succès du recrutement (**Marin et al., 2003; McDonough et Wenner, 2003 ; Trape et al., 2017**) et pour détecter la transition des juvéniles de la mer vers les environnements lagunaires et estuariens (**Chang et al., 2000**). Chez les Mugilidae, à notre connaissance, la détermination de l'âge journalier à partir des microstructures des otolithes n'a jamais été tentée sur les cinq espèces concernées par cette étude.

Dans ce travail, nous essayons de : (1) connaître la fréquentation de 3 types d'habitats côtiers (un milieu marin côtier, une lagune et deux estuaires), situés dans une aire géographique restreinte, par les juvéniles 0<sup>+</sup> de 5 espèces de mugilidés (*Chelon labrosus*, *Liza aurata*, *L. ramada*, *L. saliens*, *Mugil cephalus*), (2) comparer la croissance journalière des juvéniles de chaque espèce entre les quatre sites considérés ici (plage de Caroube, lagune du Mellah, estuaires de Boukhmira et de Mafragh).

Les résultats de cette étude nous permettront de différencier le rôle de nurserie joué par les différents habitats côtiers pour les juvéniles de Mugilidés. Ces informations sont très importantes pour les programmes de renforcement des capacités de la pêche continentale basés sur le repeuplement en mulets. En particulier, elles aideront les pisciculteurs à choisir les sites côtiers à exploiter pour la collecte d'alevins de bonne qualité pour le grossissement.

#### **4.1. Matériels et méthodes**

##### **4.1.1. Structure des populations**

Cette étude est réalisée dans 4 zones côtières (**Figure 1**) et le protocole d'échantillonnage est décrit dans le matériel et méthode du chapitre 2. Après le tri, les espèces de Mugilidae ont été conservées dans une glacière jusqu'au laboratoire où elles sont identifiées à un niveau spécifique basé sur le nombre de caeca pyloriques selon **Farrugio, (1977)**.

Chaque individu est mesuré au millimètre près et pesé à 0,01 gramme près. Les données recueillies ont été utilisées pour décrire l'abondance relative des 0<sup>+</sup> des différentes espèces de Mugilidae dans chaque site, et pour déterminer la distribution spatiale de ces espèces. Nous avons également évalué les variations saisonnières de la taille totale moyenne des poissons dans chaque site, afin d'évaluer les tendances temporelles d'occupation de ces sites par les différentes tailles au fil des saisons.

#### 4.1.2. Préparation et lecture des otolithes

La plupart des otolithes sagitta n'étant pas lisibles, nous nous sommes tournés vers les otolithes lapillis. La paire d'otolithes de lapillis est extraite et lavée à l'eau du robinet. L'otolithe gauche est utilisé pour déterminer l'âge quotidien des poissons 0<sup>+</sup> comme le recommandent **Belcari et al., (2006)**. Il est monté sur une lame de verre de façon à ce que le côté convexe sillonné par le sulcus adhère à la colle (Crystalbond) déposée sur la lame. Cette colle est thermosensible, ce qui permet de polir l'otolithe et de le retourner pour le polissage de l'autre face en plaçant l'ensemble sur une plaque chauffante à 200° C. Une fois la colle sèche, le polissage est commencé avec du papier abrasif (grain 1200 ou 2400), et si le noyau n'apparaît pas, du papier grain 4000 est utilisé pour un polissage plus fin en raison de la petite taille des lapilli et de la méticulosité nécessaire à leur manipulation. Les lames sont marquées afin que les lecteurs ne soient pas influencés par la longueur ou le poids de l'individu considéré. Après polissage des otolithes préparés, les incréments de croissance quotidiens ont été comptés trois fois à l'aide d'un microscope binoculaire couplé à une caméra haute résolution. Cet appareil est connecté au logiciel TNPC 5.0. Si l'erreur relative de la moyenne des trois lectures ne dépasse pas 10%, la lecture est acceptée, sinon l'individu est supprimé.

#### 4.1.3. Estimation de la croissance des poissons

La régression linéaire  $LT = a \text{ Age} + b$  a été appliquée pour exprimer la croissance de chaque espèce dans chaque site au cours de sa première année de vie. Pour une même espèce, les intervalles d'âge représentés dans chaque site n'étant pas les mêmes, une comparaison de la croissance entre les sites en comparant les équations des lignes de régression ne serait pas raisonnable.

A partir de la taille mesurée des poissons (en mm) et de leur âge individuel (en jours), nous avons estimé le taux de croissance linéaire journalier moyen (GR en mm/jour) pour chaque espèce dans chaque site en utilisant l'équation suivante :

$$GR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{TL_i}{ti}$$

Où : **N** est le nombre total d'individus, **TL<sub>i</sub>** est la longueur totale de l'individu **i**, et **ti** est l'âge journalier de l'individu **i**.

La vérification de la normalité de la distribution des valeurs de taux de croissance (GR) a été effectuée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, suivi d'un test Anova à un facteur et du test Posthoc de Tukey (Honest Significant Difference) pour la comparaison par paire entre les sites.

À partir de ce taux de croissance quotidien, nous avons pu calculer l'âge quotidien des individus pour lesquels nous n'avons pas pu lire l'âge de la manière suivante :

$$t = \frac{LT}{GR}$$

Où : **LT** est la longueur totale et **GR** est le taux de croissance.

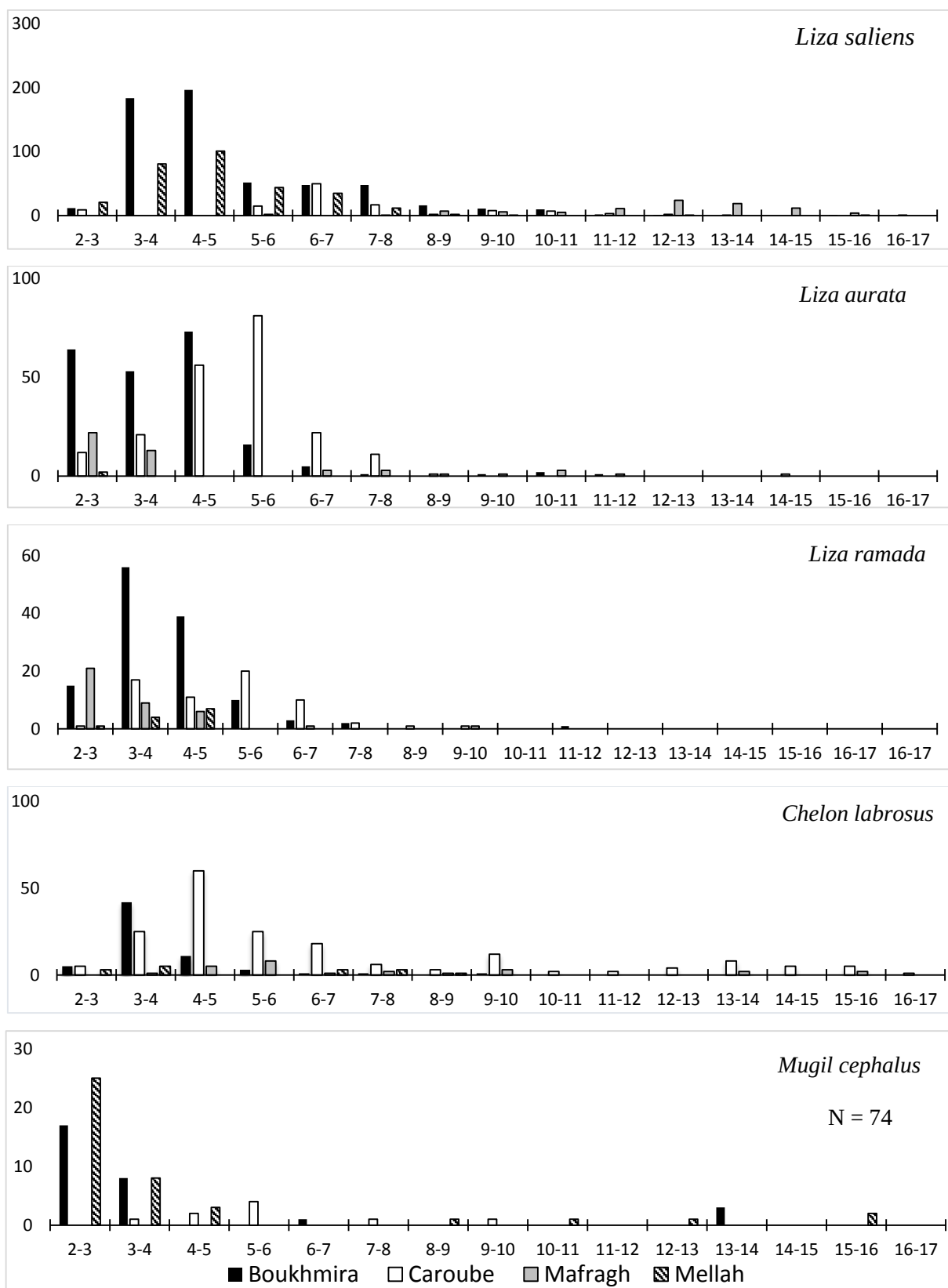
## 4.2. Résultats

### 4.2.1 Paramètres abiotiques

La **figure 7 (chapitre 1)** montre les variations mensuelles des trois paramètres abiotiques mesurés (température, salinité, oxygène dissous) dans les 4 sites considérés. La température moyenne de l'eau a montré une variation significative entre les saisons ( $p = 0,00016$ ), mais pas entre les sites ( $p = 0,991$ ). Aucune variation saisonnière de la salinité n'a été détectée ( $p = 0,986$ ), mais elle varie entre les sites ( $p = 5,67 \times 10^{-9}$ ). Les concentrations d'oxygène dissous ne varient pas en fonction de la saison ou du site ( $p = 0,134$  et  $p = 0,204$ ).

### 4.2.2. Abondance et distribution des poissons

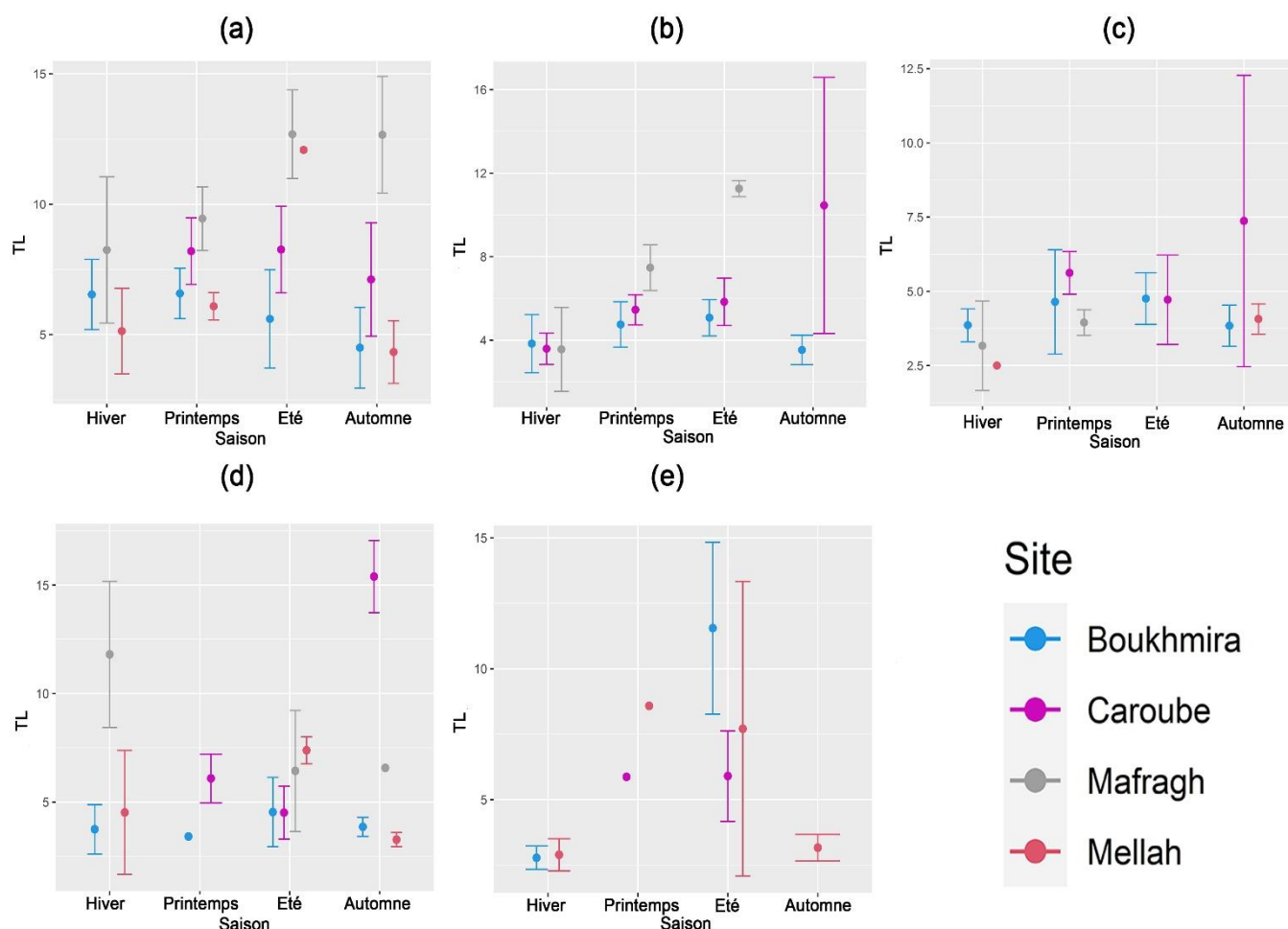
La **figure 21** montre l'abondance et la distribution des fréquences de taille des juvéniles de chacune des 5 espèces dans chaque zone étudiée. *Liza saliens* est l'espèce la plus abondante surtout à Boukhmira (58,02%) et Mellah (70,23%) avec des tailles comprises entre 2 et 11 cm TL. Elle n'est pas abondante à Caroube et Mafragh où elle n'apparaît qu'à 5 et 7 cm TL respectivement. *Liza aurata* est présente dans les quatre sites avec une dominance à Boukhmira ( $N = 216$ ) et Caroube ( $N = 205$ ) qu'elle fréquente essentiellement entre 2-6 et 2-8 cm TL respectivement. Elle est peu abondante à Mafragh et rare à Mellah (2 individus). *Liza ramada* est présente dans les 4 sites jusqu'à 5 cm LT avec plus de 58% des effectifs à Boukhmira. Au-delà de cette taille, elle ne persiste qu'à Caroube et un peu moins à Boukhmira jusqu'à 7 cm. Dans Mafragh et Mellah, elle est presque inexistante à partir de 5 cm LT. *Chelon labrosus* fréquente principalement la plage Caroube à des tailles comprises entre 2 et 16 cm de LT. Des individus de 2 à 6 cm de LT sont également trouvés à Boukhmira, par contre, elle n'est pas abondante à Mafragh et Mellah. Les petits *Mugil cephalus* fréquentent surtout Mellah (2-5 cm TL) et Boukhmira (2-4 cm TL). Ils sont beaucoup moins abondants à Caroube (entre 3 et 6 cm LT) et absents à Mafragh.



**Figure 21.** Distribution des fréquences des tailles (LT en cm) des cinq espèces de mugilidés dans les quatre environnements.

#### 4.2.3. Variations temporelles de la taille des poissons

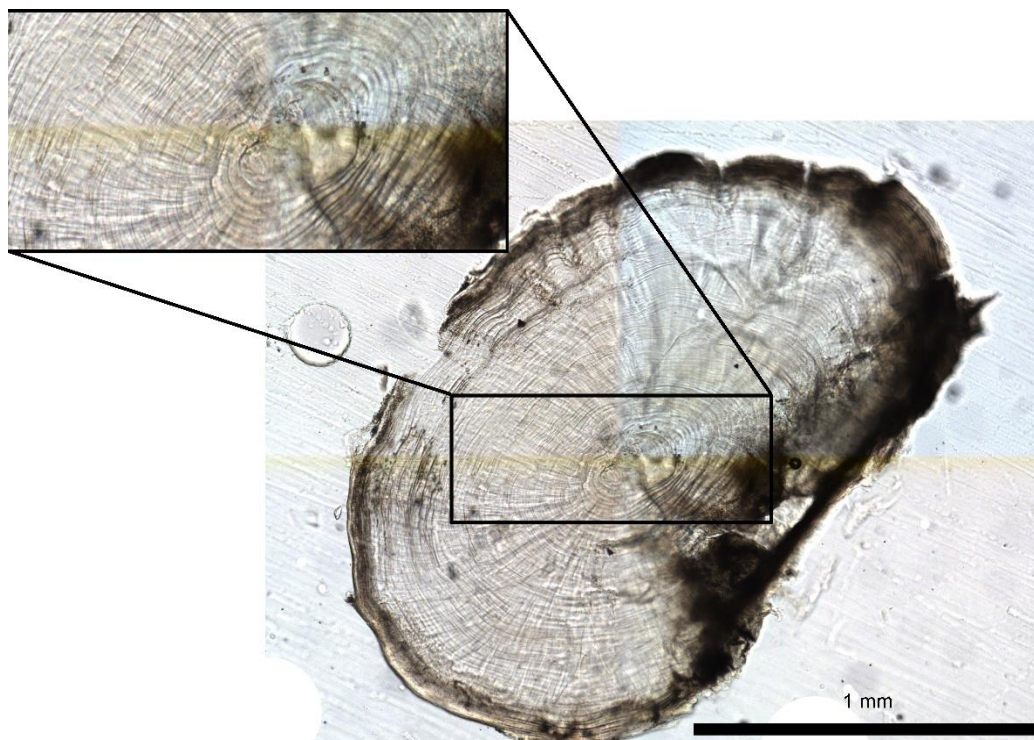
La **figure 22** montre les variations saisonnières de la longueur totale de chaque espèce en fonction de son site d'origine. Compte tenu de l'irrégularité de la présence des espèces dans les 4 sites étudiés et dans le temps, nous n'avons considéré que les situations où chaque saison est représentée par au moins un mois (**Annexe 1**). Chez *L. saliens*, le meilleur profil d'évolution temporelle de la taille est obtenu à Mafragh. Pour une même saison, les individus sont plus grands dans cet estuaire (8,2 cm TL en hiver, 9,4 au printemps, 11,6 en été, 11,1 en automne) qu'à Boukhmira (5,34 TL en hiver, 6,58 au printemps, 6,06 en été, 4,72 en automne) et qu'à Mellah. Elles sont intermédiaires entre les deux à Caroube. Chez *L. aurata*, les valeurs saisonnières de la taille sont quasi-stationnaires à Boukhmira (3,36 cm TL en hiver, 5,13 cm au printemps, 4,8 cm en été, 3,79 cm en automne) et tendent à augmenter nettement de l'hiver (3,5 cm) à l'automne (10,4 cm) à Caroube. Cette tendance se retrouve à Mafragh (3,58 cm en hiver, 11,26 cm en été). Chez *L. ramada*, les longueurs totales moyennes saisonnières sont presque constantes dans les deux principaux sites qu'elle fréquente : Craoube (5,97 cm TL au printemps, 5,45 cm en été, 6,47 cm en automne) et Boukhmira (4,93 cm au printemps, 4,5 cm en été, 3,81 cm en automne, 3,37 cm en hiver). Elles sont cependant plus élevées à Caroube. Chez *C. labrsosus*, les valeurs moyennes mensuelles de la longueur totale les plus faibles sont enregistrées à Boukhmira et Mellah et fluctuent faiblement autour d'une moyenne annuelle de 4,36 cm et 5,54 cm TL respectivement. A Caroube et Mafragh, les valeurs sont plus élevées avec une tendance à l'augmentation du printemps (6,34 cm TL) à l'automne (15,38) dans le cas de Caroube. *Mugil cephalus* est surtout présent dans la lagune de Mellah où sa taille augmente significativement de l'automne (3,16 cm TL) à l'été (9 cm TL). A Boukhmira, elle passe également de 2,78 cm en février à 12,11 cm TL en été.



**Figure 22.** Evolution saisonnière de la taille (LT en cm) des 5 espèces de Mugilidae dans les 4 sites étudiés de janvier à décembre 2016 (a : *L. saliens*, b : *L. aurata*, c : *L. ramada*, d : *C. labrosus*, e : *M. cephalus*).

#### 4.2.4. Croissance journalière des poissons

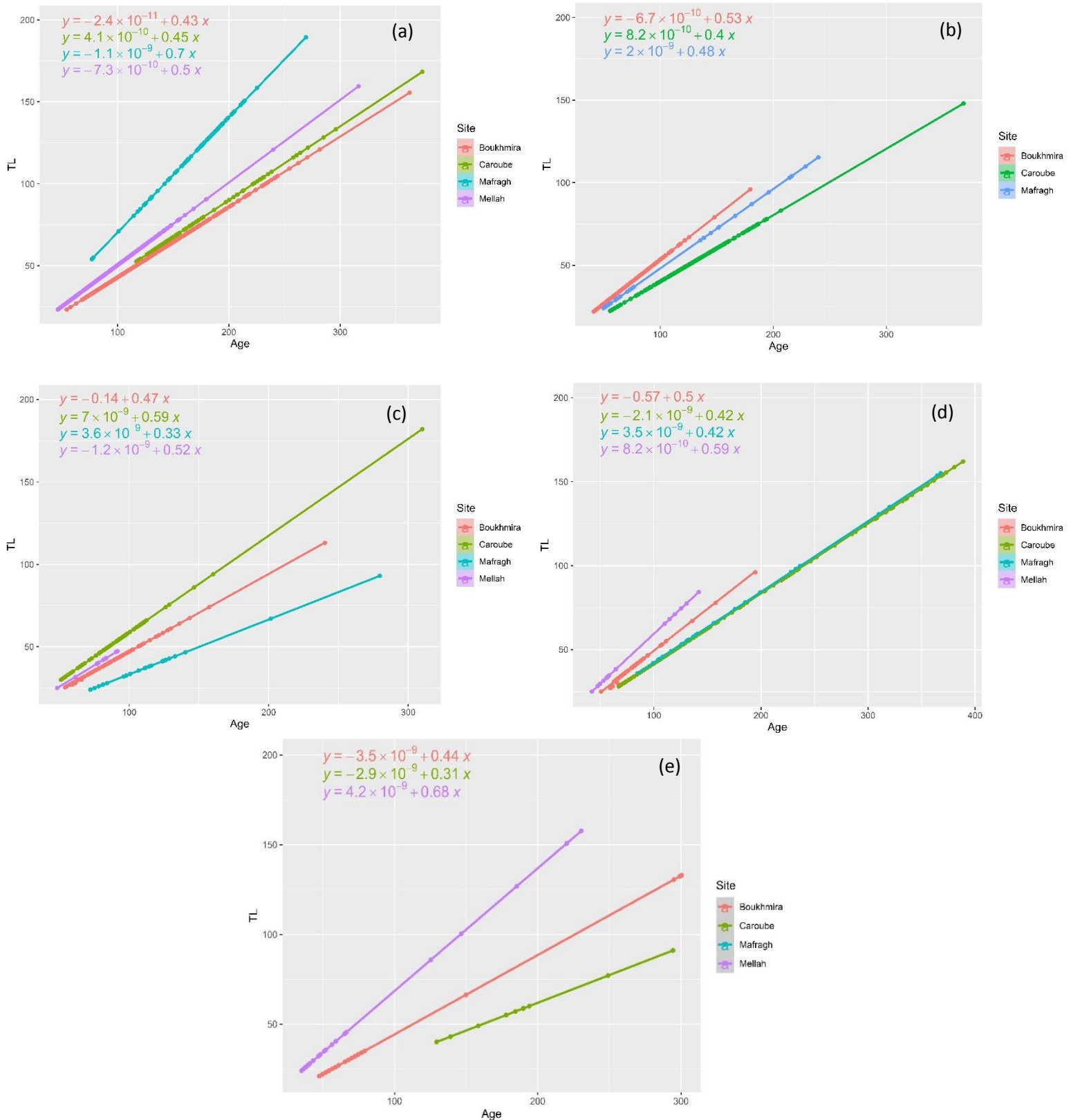
L'âge individuel journalier est déterminé par le comptage des marques journalières sur les otolithes lapilli (**Figure 23**) de 408 poissons répartis comme suit : 118 individus de *L. saliens* ( $2,38 \text{ cm} \leq \text{TL} \leq 15,56 \text{ cm}$ , 52 - 372 jours d'âge), 89 *L. aurata* ( $2,2 \text{ cm} \leq \text{TL} \leq 14,79 \text{ cm}$ , 35 - 297 jours d'âge), 51 *L. ramada* ( $2,79 \text{ cm} \leq \text{TL} \leq 12,2 \text{ cm}$ , 55 - 158 jours), 77 *C. labrosus* ( $2,5 \text{ cm} \leq \text{TL} \leq 15,37 \text{ cm}$ , 60 - 345 jours), 66 *M. cephalus* ( $2,4 \text{ cm} \leq \text{TL} \leq 15,76 \text{ cm}$ , 31 - 355 jours).



**Figure 23.** Microstructure des stries de croissance journalières dans des lapillis d'un individu de *C.labrosus* âgé de 121 jours et de 4,9 cm LT.

La **figure 24** montre la relation entre la taille et l'âge journalier des 5 espèces dans les sites où elles existent. Pour *L. saliens*, nous avons trouvé des individus de 47 à 300 jours à Boukhmira, 129 à 294 à Caroube, 100 à 230 à Mafragh et 35 à 230 à Mellah. Chez *L. aurata*, des individus de 41 à 211 jours sont trouvés à Boukhmira, 55 à 368 à Caroube, 49 à 239 à Mafragh. Concernant *L. ramada*, des individus de 54 à 240 jours sont trouvés à Boukhmira, 51 à 310 à Caroube, 72 à 279 à Mafragh et 48 à 91 à Mellah. Des individus de *Chelon labrosus* âgés de 50 à 194 jours ont été capturés à Boukhmira, de 67 à 388 à Caroube, de 84 à 367 à Mafragh et de 42 à 141 à Mellah. *Mugil cephalus* est capturé à Boukhmira à un âge de 47 à 300 jours, de 129 à 294 jours à Caroube et de 35 à 230 jours à Mellah. A âge égal, les plus grandes tailles de *L. saliens* sont généralement trouvées à Mafragh et les plus petites à Boukhmira. Ces longueurs extrêmes sont respectivement à Mafragh et Caroube chez *L. aurata*, Mafragh et Caroube chez *L. ramada*, Caroube et Mafragh chez *C. labrosus*, Mellah et Caroube chez *M. cephalus*.





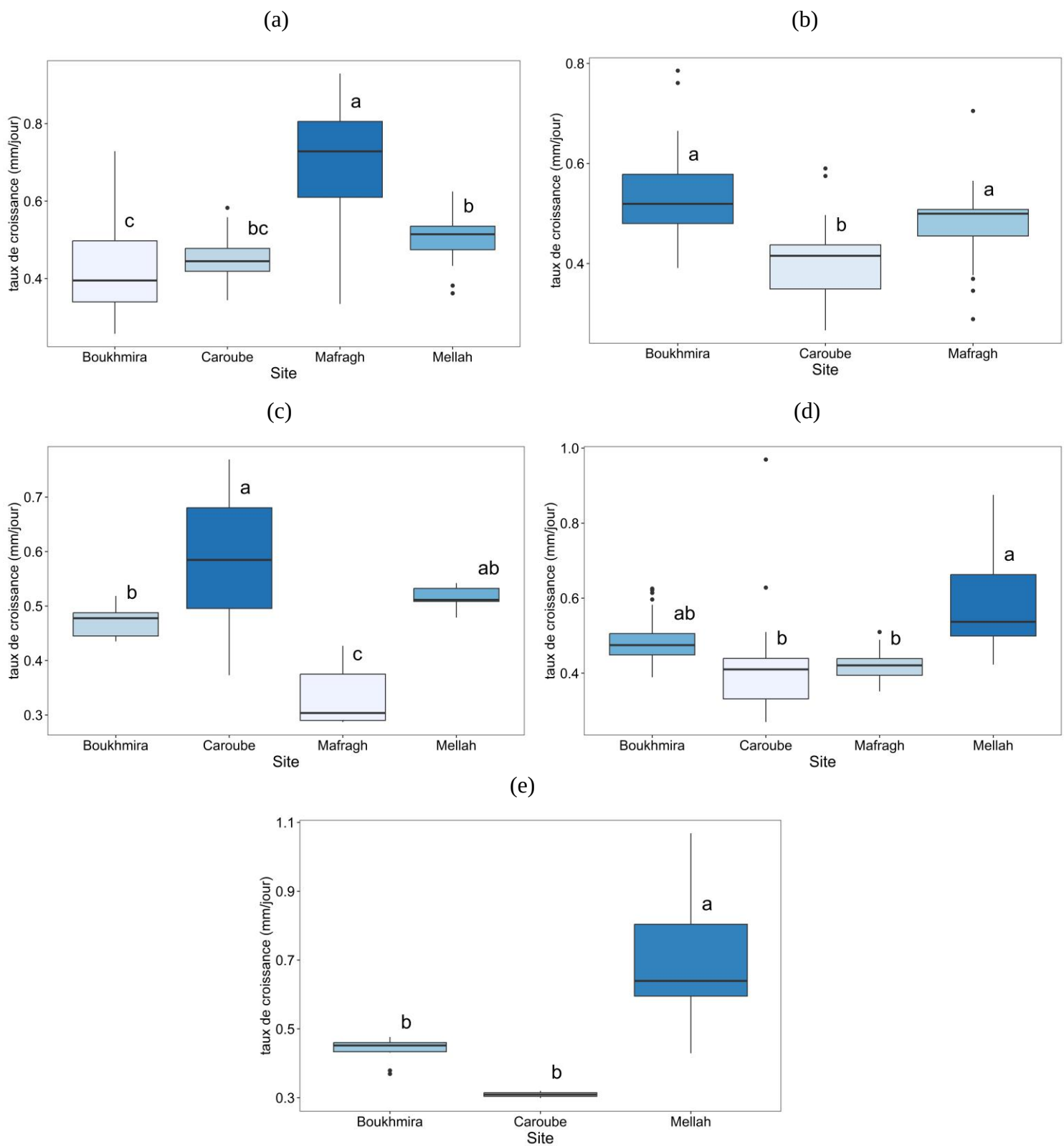
**Figure 24.** Relations âge-longueur estimées pour les juvéniles des 5 espèces de Mugilidés capturés dans chaque zone (a: *L. saliens*, b: *L. aurata*, c: *L. ramada*, d: *C. labrosus*, e: *M. cephalus*).

L'analyse ANOVA à un facteur a révélé des différences inter-sites significatives dans les taux de croissance quotidiens (GR) de toutes les espèces (**Tableau 14**) :  $p < 2e-16$  pour *L. saliens*,  $p = 5,33e-8$  pour *L. aurata*,  $p = 2,57e-9$  pour *L. ramada*,  $p = 4,05e-5$  pour *C. labrosus*,  $p = 3,55e-6$  pour *M. cephalus*. Les meilleurs taux de croissance journaliers sont enregistrés pour *L. saliens* dans l'estuaire Mafragh (0,703 mm/jour) et pour *M. cephalus* dans la lagune Mellah (0,684 mm/jour).

**Tableau 14.** Taux de croissance journalier (mm/jour) calculé pour les cinq espèces de Mugilidae en fonction des différents sites.

| Espèce                 | Site          |               |               |               |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        | Caroube       | Boukhmira     | Mafragh       | Mellah        |
| <i>Liza saliens</i>    | 0.450 ± 0.054 | 0.429 ± 0.113 | 0.703 ± 0.138 | 0.503 ± 0.057 |
| <i>Liza aurata</i>     | 0.401 ± 0.079 | 0.533 ± 0.086 | 0.480 ± 0.091 | -             |
| <i>Liza ramada</i>     | 0.587 ± 0.123 | 0.470 ± 0.025 | 0.332 ± 0.051 | 0.516 ± 0.02  |
| <i>Chelon labrosus</i> | 0.416 ± 0.136 | 0.492 ± 0.073 | 0.421 ± 0.039 | 0.593 ± 0.148 |
| <i>Mugil cephalus</i>  | 0.309 ± 0.014 | 0.442 ± 0.032 | -             | 0.684 ± 0.172 |

La **figure 25** présente les résultats du test Posthoc (test HSD de Tukey) appliqué aux taux de croissance des poissons sur les 4 sites. Elle confirme que pour *L. saliens*, les individus de Mafragh différaient significativement des autres sites. Pour *L. aurata*, les populations de Boukhmira et de Mafragh ne présentaient aucune différence significative et différaient toutes deux de celle de Caroube. *Liza ramada* de Mafragh est significativement différente des 3 autres populations qui montrent une certaine affinité, bien que présentant un taux de croissance journalier supérieur à Caroube. *Chelon labrosus* se développe mieux à Mellah où son taux de croissance est significativement différent par rapport à Caroube et Mafragh, tandis que Boukhmira est intermédiaire. *Mugil cephalus* de Mellah est significativement différent des deux autres sites (Boukhmira et Caroube) qui ne se différencient pas.



**Figure 25.** Résultats du test Post Hoc Tukey HSD de l'Anova à un facteur. Les sites qui ne partagent pas la même lettre présentent des taux de croissance significativement différents. (a: *L. saliens*, b: *L. aurata*, c: *L. ramada*, d: *C. labrosus*, e: *M. cephalus*).

### 4.3. Discussion

Les variations mensuelles de la température et ses valeurs extrêmes (11,6 - 30,2° C) montrent une forte similitude entre les 4 sites considérés. Par contre, leur salinité moyenne varie significativement ( $p = 5,67 \times 10^{-9}$ ) et évolue dans des intervalles différents. Selon le "système de Venise" de classification des eaux marines (**Battaglia, 1959**), ces 4 milieux sont distincts et appartiennent aux catégories suivantes: euhalin (plage de Caroube), mixoeuhalin (lagune du Mellah), polyhalin (estuaire de la Boukhmira) et oligohalin (estuaire du Mafragh). Quant à l'oxygène dissous, il n'est pas un facteur limitant puisque ses teneurs sont généralement supérieures au seuil critique de 3 mg/l.

Les jeunes des 5 espèces de Mugilidae pénètrent dans les milieux paraliques considérés à des tailles très réduites (2-3 cm TL). Globalement, *L. saliens* est l'espèce la plus abondante (46,92 %), suivie de *L. aurata* (23,72 %), *C. labrosus* (13,96 %), *L. ramada* (11,80 %) et *M. cephalus* (3,50 %). L'étude de 42 estuaires situés dans trois régions différentes de la Méditerranée occidentale (Aiguamolls de l'Emporda, delta de l'Ebre, Minorque) a montré que *L. saliens* domine les assemblages de poissons lorsque la salinité est supérieure à 13‰ (**Cardona et al., 2008**). Dans la lagune de Messolonghi (Grèce), *L. saliens* est l'espèce dominante (66% des larves de mugilidés échantillonnées bimensuellement de janvier à Décembre 1992) et est le seul mulot présent en janvier et février et d'août à octobre (**Katselis et al., 1994**).

Les différences d'abondance et d'occupation des 4 sites par les différentes gammes de taille des 5 espèces seraient la conséquence du caractère halin particulier de chaque environnement et de ses variations temporelles. Ce paramètre ne répond pas toujours aux exigences osmotiques des différentes espèces à tous les stades de leur développement. En effet, des variations saisonnières dans l'occurrence et la densité des mugilidés sont mises en évidence dans ces mêmes sites dont l'assemblage ichthyologique global est également influencé par la nature du substrat benthique (**Bechecker et al., 2022**). Les dates de recrutement et la croissance des poissons montrent également des différences en fonction de l'environnement. Ces différences existent avec et entre d'autres localités méditerranéennes en ce qui concerne le recrutement (**Kara et Quignard, 2020**). Cependant, les données sur la croissance des juvéniles de mulot 0<sup>+</sup> manquent.

*Liza saliens* se concentre dans des sites polyhalins (Boukhmira) et mixoeuhalins (Mellah) qui attirent particulièrement les jeunes individus (3-8 cm TL), comme c'est le cas dans 9 estuaires de Minorque (**Cardona, 2006**). Elle entre à Mafragh en hiver (Décembre) à environ 5,4 cm de LT. Elle arrive à Boukhmira et Mellah à une LT de 4,2 cm à la fin de l'été et en automne. De jeunes individus de 6,5 cm de LT sont trouvés à Caroube en octobre. L'arrivée des larves de *L.*

*saliens* sur les côtes tunisiennes (**Chauvet, 1986 ; Vidy et Franc, 1992**) et italiennes (**Gandolfi et al., 1981**) est observée dès le début du mois de juillet. Sur les côtes françaises, Cambrony (1983) a trouvé des larves de poissons de début septembre à janvier. L'observation des droites de régression  $LT = f(\text{âge})$  montre une meilleure croissance de cette espèce à Mafragh avec un taux journalier de 0,70 mm/jour contre une moyenne de 0,46 mm/jour pour les trois autres sites qui ne diffèrent pas significativement les uns des autres: Caroube-Boukhmira ( $p = 0,77$ ), Caroube-Mellah ( $p = 0,13$ ). Les études sur la croissance pluriannuelle de cette espèce en Méditerranée occidentale donnent des tailles à un an entre 8,1 cm LT dans l'étang de Berre en France (**Ezzat, 1965**) et 10,2 cm de longueur standard dans l'embouchure de la lagune d'Albufera aux Baléares (**Cardona, 1999**), ce qui donne des taux de croissance linéaire relativement faibles, entre 0,22 et 0,34 mm/jour.

*Liza aurata* préfère les sites polyhalins (Boukhmira) et euhalins (Caroube) à 2-8 cm de LT. **Cardona (2006)** fait le même constat et trouve qu'elle évite les eaux ayant une salinité inférieure à 15‰ tout au long de l'année, ce qui explique sa faible présence à Mafragh. *L. aurata* arrive à Boukhmira et Mafragh en décembre à environ 3 cm LT. Elle atteint 4,4 cm LT après 10 mois dans le premier site et 11,2 cm LT après 9 mois dans le second. A Caroube, sa longueur passe de 3,6 cm en janvier à 10,4 cm LT en octobre. Sur les côtes tunisiennes, l'arrivée des larves de poissons commence à la mi-octobre (**Chauvet, 1986 ; Vidy et Franc, 1992**). Sur les côtes du Languedoc-Roussillon (France), cette espèce pénètre dans les lagunes de novembre à Avril (**Cambrony, 1983**). C'est à Boukhmira et Mafragh que la croissance de cette espèce est la plus forte avec des taux de croissance journaliers respectifs de 0,53 et 0,48 mm/jour, significativement supérieurs à ceux de Caroube (0,40 mm/jour) ( $p < 0,05$ ). En Méditerranée occidentale, à partir des travaux sur la croissance annuelle, on déduit des taux relativement faibles compris entre 0,28 mm/jour dans la lagune de Stagnone en Sicile (**Andaloro, 1983**) et 0,39 mm/jour sur les côtes tunisiennes (**Fehri-Bedoui et Gharbi, 2005**).

*Liza ramada* est plus tolérante à la salinité puisqu'elle est présente dans les 4 sites, surtout entre 2 et 4 cm de LT. Elle est également omniprésente et permanente dans toutes les lagunes et tous les estuaires du Languedoc, France (**Autem, 1979**). Selon **Thomson (1990)**, cette espèce tolère les salinités extrêmes et les changements brusques de la qualité de l'eau. Cependant, elle préfère les faibles salinités et domine les assemblages lorsque celle-ci est inférieure à 13‰ (**Cardona, 2008**), ce qui explique la dominance des individus de 2-3 cm LT à Mafragh. *Liza ramada* est recrutée en janvier à Boukhmira à 2,8 cm LT comme sur la côte du Roussillon (France) où les larves de poissons sont capturées de fin Janvier à Juin, avec un maximum d'abondance en Mars (**Cambrony, 1983**). C'est également en mars que des individus de 5,5 cm LT apparaissent à

Caroube. Sur les côtes tunisiennes, les premières larves de poissons (1,4-2,0 cm de Longueur standard) arrivent dans les estuaires et les lagunes vers la fin du mois de Novembre (**Vidy et Franc, 1992**). Dans le golfe de Marseille, les premières arrivées ont lieu dès le début de l'automne (**Ezzat, 1965**). *L. ramada* se développe mieux en mer que dans les eaux de transition avec un taux journalier de 0,58 mm/jour. Ce taux est relativement faible dans les autres sites qui ne présentent pas de différences significatives entre eux: Mellah-Boukhmira ( $p = 0,41$ ), Mellah-Caroube ( $p = 0,1$ ) avec une moyenne de 0,43 mm/jour. D'après les travaux sur la croissance annuelle de cette espèce en Méditerranée occidentale, elle mesure à 1 an entre 10,5 cm de LS dans les estuaires du Languedoc, France (**Autem, 1979**) et 30,5 cm de TL dans la lagune de Kelbia, Tunisie (**Heldt, 1948**), soit des taux de croissance journaliers compris entre 0,22 et 0,83 mm/jour.

*Chelon labrosus* de 3-7 cm de LT est surtout présent dans le site marin côtier (plage de Caroube). A Boukhmira, on trouve surtout des individus de 3-5 cm de LT, alors qu'à Mafragh et Mellah l'espèce est très peu représentée. En effet, **Heldt (1948)** a signalé la rareté de cette espèce dans les eaux saumâtres à faible salinité (Ichkeul, Kelbia en Tunisie) et **Autem (1979)** la considère comme rare dans les lagunes du Languedoc, France. *Chelon labrosus* arrive à Boukhmira et Mafragh en automne à 3,2 et 6,5 cm LT respectivement, en Décembre à Mellah à 2,5 cm LT et en mars en mer à 5,6 cm TL. Sur les côtes tunisiennes, l'abondance maximale des larves de poissons a été observée un mois après les premières captures, en Avril (**Vidy et Franc, 1992**). C'est également à la fin du mois d'Avril que les premières captures ont été enregistrées dans les lagunes du Languedoc-Roussillon (**Cambrony, 1983**). En Italie, la période d'arrivée sur la côte serait en Mars (**Brunelli, 1916**), mais certains auteurs la situent entre Mai et Juillet dans les estuaires du sud de l'Adriatique (**Gandolfi et al., 1981 ; Villani, 1988**). A Mellah, la croissance de *C. labrosus* est significativement meilleure (0,59 mm/jour) que dans les 3 autres sites où elle est proche: Mellah-Boukhmira ( $p = 0,41$ ), Mellah-Caroube ( $p = 0,1$ ) et évoluent autour d'une moyenne de 0,44 mm/jour. D'après les travaux sur la croissance annuelle de cette espèce en Méditerranée occidentale, cet intervalle est compris entre 0,36 mm/jour dans la lagune de Thau, France (**Coutelan, 1953**) et 0,73 mm/jour dans la lagune de Paola, Italie (**Karvounaris, 1963**).

*Mugil cephalus* est l'espèce la moins abondante. Composée principalement d'individus de 2 à 4 cm LT, elle se trouve notamment dans Mellah (euhalin) et Boukhmira (polyhalin). Elle est très peu présente en mer et totalement absente dans Mafragh. En effet, dans 10 estuaires de l'île de Minorque, **Cardona (2000)** a montré que les individus de cette espèce ( $> 30$  cm de LT) se concentrent dans les régions polyhalines en automne et en été, se déplaçant vers les zones

euhalines en hiver et au printemps, évitant ainsi les eaux douces. Ce n'est qu'au Mellah que les juvéniles de *M. cephalus* sont présents durant les 4 saisons. Des individus d'environ 3 cm LT y entrent en septembre et atteignent 9 cm l'été suivant. Dans 27 sites (estuaires et lagunes) de la côte tunisienne, **Vidy et Franc (1992)** ont également trouvé que les larves de poisson de *M. cephalus* (1,6-2,0 cm LS) sont présentes à partir de Septembre. En Adriatique, le recrutement débute également en Septembre ou Octobre et se poursuit jusqu'en Février ou Mars selon les régions (**Bunelli, 1916 ; Gandolfi et al., 1981 ; Villani, 1988**). **Khalil (1997)** a calculé que le recrutement avait lieu entre Août et Mai dans la lagune de Manzalah. **Cambrony (1983)** a observé des entrées de *M. cephalus* dans les lagunes du Languedoc-Roussillon pendant l'hiver. La croissance de *M. cephalus* est significativement meilleure dans Mellah (0,68 mm/jour) que dans Boukhmira (0,44 mm/jour) ( $p = 0,0000191$ ) et Caroube (0,30 mm/jour) ( $p = 0,0020235$ ). Les travaux sur la croissance annuelle de cette espèce en Méditerranée occidentale permettent de situer ce taux entre 0,38 mm/jour dans l'Etang de Berre, France (**Ezzat, 1965**) et 1,15 mm/jour à Kelbia, Tunisie (**Heldt, 1948**).

Chez les 5 espèces, nous avons mis en évidence des différences dans les périodes de recrutement, dans l'abondance et dans la fréquentation des 4 milieux par les différentes classes de tailles. En milieu côtier (**Hannachi et al., 2014; Boubekour et al., 2018**) et dans les écosystèmes paraliques (**Jaafour et al., 2015 ; Embarek et al., 2017 ; Becheker et al., 2022**), des variations saisonnières de la composition et de la structure des communautés de poissons sont connues. Ces variations reflètent d'abord les exigences abiotiques propres aux espèces, mais sont aussi la conséquence du décalage de leurs périodes de reproduction (**Verdiell-Cubedo et al., 2008**), de la chronologie du recrutement ou des migrations anadromes des larves ou des juvéniles (**Rountree et Able, 2007**) et de l'importance de la communication avec la mer dans le cas des estuaires et des lagunes. La croissance différentielle intersites démontrée ici est également liée aux conditions physico-chimiques du milieu, mais dépend aussi de ses conditions trophiques. Il faut noter ici que la proximité des valeurs de croissance journalière des 5 espèces avec les données obtenues par différentes méthodes d'étude de l'âge pluriannuel, indirectes et directes (scalimétrie, otolithométrie), montre la validité de l'utilisation des microstructures de l'otolithe pour la détermination de l'âge des juvéniles de mugilidés 0<sup>+</sup>.

## **Conclusion générale**



## Conclusion générale

La première partie de ce travail décrit la diversité de la faune piscicole dans différents habitats côtiers peu profonds de la côte Est de l'Algérie, il fournit les premières données sur les estuaires de Boukhmira et de Mafragh ( $t_0$ ) et constitue une actualisation des assemblages déjà effectués auparavant au niveau de la baie d'Annaba (La Caroube) et à la lagune Mellah. Cette partie est une première en méditerranée dans le sens où ce travail ne se limite pas à un milieu spécifique, mais plutôt une étude spatio-temporelle entre des milieux différents à une échelle régionale limitée.

43 espèces ont été identifiées à la Caroube, ce qui est supérieure à ce qui a été capturé dans les travaux antérieurs dans la même région, par contre les espèces dominantes demeurent les même que celle capturées par **Boubekeur et al., (2018)** dans ce même site, et qui sont *B. boops* et *Atherina punctata*. À Boukhmira, 20 espèces ont été recensées, principalement des Mugilidés avec une dominance de *L. saliens*. Quinze espèces ont été recensées à Mafragh avec une dominance de *Pomatoschistus sp* et *A. boyeri*, dans la lagune Mellah cette dernière (*A. boyeri*) est l'espèce dominante.

La diversité spécifique est relativement élevée dans le site marin au printemps ( $H' = 3,87$ ;  $J' = 0,77$ ), tandis que la plus faible diversité est notée au printemps dans la lagune Mellah ( $H' = 0,49$ ;  $J' = 0,15$ ).

D'après la composition de leur ichthyofaune, les eaux de transition (estuaires et lagune) se distinguent des eaux marines côtières. Les quatre sites ont montré une variation saisonnière dans l'abondance des poissons et dans la diversité spécifique, ainsi que dans la distribution des guildes écologiques et trophiques.

Aux échelles spatiales et temporelles combinées, l'analyse canonique des correspondances (ACC) a révélé les exigences des espèces par rapport aux paramètres abiotiques considérés (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond), cette analyse a révélé que la nature du fond était le principal facteur affectant la distribution des espèces mais il est à noter que d'autres paramètres abiotiques pourraient façonner l'organisation des communautés ichthyologiques dans ces milieux. Ces informations serviront d'outil d'aide à la décision pour la bonne gestion de ces écosystèmes.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons étudiés les variations temporelles de la fréquentation de 4 habitats côtiers différents (mer côtière, estuaires, lagune) par des juvéniles ( $0^+$ ) de cinq espèces de mugilidae (*Liza aurata*, *L. ramada*, *L. saliens*, *Chelon labrosus*, *Mugil cephalus*) dans une zone géographique relativement limitée en fonction des principaux

paramètres abiotiques pris en considération dans notre étude (température, salinité, oxygène dissous, nature du fond), bien que le choix des sites s'est essentiellement basé sur l'existence d'un gradient de salinité entre les différents milieux, il s'est avéré que ce paramètre n'affecte finalement pas la distribution de ces juvéniles, et c'est plutôt la nature du fond et la température qui conditionnent leur distribution spatio-temporelle.

Dans ce même chapitre, nous avons apporté les premières données sur la relation taille-poids des 0<sup>+</sup> de ces espèces dans ces différents quatre milieux et en fonction des saisons, à partir de là, nous avons pu comparer les différences dans les performances de croissance somatiques entre les saisons pour chaque site et entre les sites en utilisant trois indices : l'indice de condition de Fulton (**K ; Fulton, 1904**), l'indice de condition relative (**Kn ; Le Cren, 1951**), le poids relatif (**W<sub>rm</sub>, Froese, 2006**).

La combinaison des informations acquises dans ce travail sur l'abondance et la condition des juvéniles de chacune des 5 espèces de mugilidés permettra les porteurs de projets, les décideurs et les autorités compétentes d'orienter la collecte de chacune d'entre elles.

A partir des résultats de ce chapitre nous recommandant la collecte d'alevins comme suit : *L. saliens* à la lagune Mellah pendant l'hiver et à Boukhmira pendant l'été et l'automne, *L. aurata* sur les trois sites où elle existe, mais de préférence en hiver à Caroube, au printemps et en automne à Mafragh, *L. ramada* sur les quatre sites, mais surtout en hiver à Mafragh, *C. labrosus* à Mafragh pendant le printemps, et enfin *M. cephalus* sur les trois sites où elle existe, surtout à El Mellah pendant l'été et l'automne. Ces saisons correspondent à des périodes où la ressource est abondante et de meilleure qualité.

En résumé de la troisième partie, qui traite à la fois l'occurrence et la croissance des 0<sup>+</sup> des cinq espèces de mugilidae étudiées dans le troisième et le quatrième chapitre, on conclut que ces juvéniles pénètrent dans les milieux paraliques considérés à des tailles très réduites (2-3 cm TL). Globalement, *L. saliens* est l'espèce la plus abondante (46,92 %), suivie de *L. aurata* (23,72 %), *C. labrosus* (13,96 %), *L. ramada* (11,80 %) et *M. cephalus* (3,50 %).

Les différences d'abondance et d'occupation des 4 sites par les différentes gammes de taille des 5 espèces seraient la conséquence du caractère halin particulier de chaque environnement et de ses variations temporelles.

En hiver (Décembre), *L. saliens* entre à Mafragh à une LT d'environ 5,4 cm, tandis qu'à la fin de l'été et en automne, elle se concentre dans des sites polyhalins (Boukhmira) et mixoeuhalins (Mellah) à une LT de 4,2 cm, qui attirent particulièrement les jeunes individus âgés de 3 à 8 cm. À Caroube, de jeunes individus mesurant 6,5 cm de LT sont présents en octobre. *L. aurata* a une préférence pour les sites polyhalins (Boukhmira) et euhalins (Caroube) où la Longueur

Totale est comprise entre 2 et 8 cm. La présence de *L. ramada* dans les 4 sites, surtout entre 2 et 4 cm de LT, indique une plus grande tolérance à la salinité de cette espèce. Les individus de *C. labrosus* mesurant entre 3 et 7 cm de LT sont principalement observés dans le site marin côtier (plage de Caroube). À Boukhmira, on trouve principalement des individus mesurant entre 3 et 5 cm de LT, tandis que l'espèce est très peu représentée à Mafragh et Mellah. *M. cephalus* est la moins abondante des espèces étudiées. Elle est principalement représentée par des individus de 2 à 4 cm de LT et se trouve principalement à Mellah (euhalin) et Boukhmira (polyhalin). Cette espèce est très rare en mer et totalement absente du Mafragh.

L'établissement des relations taille-âge nous a permis d'identifier la meilleure croissance pour chaque espèce. *Mugil cephalus* et *Liza saliens* montrent une meilleure croissance en milieu lagunaire, *Liza aurata* et *Chelon labrosus* présentent une meilleure croissance en milieu estuarien, et enfin *Liza ramada* a une meilleure performance de croissance en milieu marin, le taux de croissance (mm/jour) le plus médiocre a été noté pour *Liza ramada* à l'estuaire de la Mafragh avec GR=0.33 alors que le plus fort a été noté pour *Liza saliens* dans le même site, les dates de pontes ont été différentes pour toutes les espèces en fonction des sites.

En conclusion, nous avons constaté des différences entre les cinq espèces étudiées en termes de périodes de recrutement, d'abondance et de fréquentation des quatre milieux par les différentes classes de taille.

Enfin, cette partie de la thèse a démontré que les variations observées entre les espèces reflètent les exigences abiotiques propres à chacune d'entre elles, ainsi que le décalage de leurs périodes de reproduction, de la chronologie du recrutement ou des migrations anadromes des larves ou des juvéniles et de l'importance de la communication avec la mer dans le cas des estuaires et des lagunes. La croissance différentielle observée entre les sites est également liée aux conditions physico-chimiques du milieu, mais dépend également des conditions trophiques. Il est important de noter que la proximité des valeurs de croissance journalière des cinq espèces avec les données obtenues par différentes méthodes de vieillissement pluriannuel, indirectes et directes (scalimétrie, otolithométrie), souligne la validité de l'utilisation des microstructures de l'otolithe pour la détermination de l'âge des juvéniles de Mugilidae âgés de 0<sup>+</sup>.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- Ahnelt, H., & Dorda, J. (2004). Gobioid fishes from the north eastern Atlantic and the Mediterranean: new records and rarely found species. *Naturhistorisches Museum Wien* 105B, 5-19.
- Akin, S., Buhan, E., Winemiller, K. O., & Yilmaz, H. (2005). Fish assemblage structure of Koycegiz Lagoon–Estuary, Turkey: Spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(4), 671-684. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.03.019>.
- Akin, S., Winemiller, K. O., & Gelwick, F. P. (2003). Seasonal and spatial variations in fish and macrocrustacean assemblage structure in Mad Island Marsh estuary, Texas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 269-282. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00354-2](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00354-2).
- Albertini-Berhaut, J. (1975). Biologie des stades juveniles de téléostéens Mugilidae (Mugil cephalus Risso, 1810, Mugil capito Cuvier, 1829 et Mugil saliens Risso, 1810). III. Croissance linéaire et pondérale de Mugil capito dans le golfe de Marseille. *Aquaculture*, 5, 179–197.
- Andaloro, F. (1983). Contribution on the knowledge of the age and growth of the Marsala lagoon golden mullet, *Liza aurata* (Risso, 1810). *Rapport de la Commission Internationale Mer Méditerranée*, 28(5), 81–82.
- Andrade-Tubino, M. F., Azevedo, M. C., Franco, T. P., & Araújo, F. G. (2019). How are fish assemblages and feeding guilds organized in different tropical coastal systems? Comparisons among oceanic beaches, bays and coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 847, 403-419. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04101-3>.
- Arechavala-López, P., Bayle-Sempere, J. T., Sánchez-Jerez, P., Valle, C., Forcada, A., Fernández-Jover, D., Ojeda-Martínez, C., Vázquez-Luis, M., & Luna-Pérez, B. (2008). Biodiversity and structure of rocky reef fish assemblages in the Sierra Helada Natural Park (South-western Mediterranean Sea). *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 6, 234-256. <http://doi.org/10.32800/amz.2008.06.0232>.
- Arne, P. (1938). Contribution à l'étude de la biologie des muges du Golfe de Gascogne. *Rapports Commission International pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESM)*, 11, 77-115.
- Bartulović, V., Glamuzina, B., Lucic, D., Conides, A., Jasprica, N., & Dulčić, J. (2007). Recruitment and food composition of juvenile thin-lipped grey mullet, *Liza ramada* (Risso,

- 1826), in the Neretva River estuary (Eastern Adriatic, Croatia). *Acta Adriatica*, 48(1), 25-37.
- Bartulović, V., Matic-skoko, S., Lucic, D., Conides, A., Jasprica, N., Joksimovic, A., Dulčić, J., & Glamuzina, B. (2009). Recruitment and feeding of juvenile leaping grey mullet, *Liza saliens* (Risso, 1810) in the Neretva River estuary (South-Eastern Adriatic, Croatia). *Acta Adriatica*, 50(1), 91-104.
- Battaglia, B. (1959). Final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. *Archo Oceanography Limnology*, 11, 243-248.
- 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.
- Becheker, A., Chaoui, L., & Kara, M. H. (2022). The profiles of occupancy by fish fauna of four shallow coastal habitats at a limited regional scale in the south-western Mediterranean. *Regional Studies in Marine Science*, 51, 102195.
- Belcari, P., Ligas, A., & Viva, C. (2006). Age determination and growth of juveniles of the European hake, *Merluccius merluccius* (L., 1758), in the northern Tyrrhenian Sea (NW Mediterranean). *Fisheries Research*, 78(2-3), 211-217.
- Ben Tuvia, A. (1986). Mugilidae. In P. J. P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen, & E. Tortonese (Eds.), *Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean* (pp. 1197-1204). UNESCO.
- Blaber, S. J. M. (1997). *Fish and Fisheries of Tropical Estuaries*. Chapman and Hall.
- Bodilis, P., Arceo, H., & Francour, P. (2011). Further evidence of the establishment of *Fistularia commersonii* (Osteichthyes: Fistulariidae) in the north-western Mediterranean Sea. *Marine Biodiversity Records*, 4. <https://doi.org/10.1017/S1755267211000194>
- Boisseau, J., Lasserre, P., Gallis, J. L., & Cassifour, P. (1975). Aspects écophysologiques de l'osmorégulation et de l'évolution génitale de poissons mugilidés en milieu lagunaire. *The Journal of Physiology*, 70, 669–670.
- Boubekour, M. S., Derbal, F., Hannachi, M. S., & Kara, M. H. (2018). Structure of nearshore fish assemblages in Annaba coastal waters, Algeria (SW Mediterranean sea). *Vie Milieu - Life Environ*, 68(2–3), 87–97.
- Bouchereau, J.-L., Durel, J.-S., Guelorget, O., & Louali, L. (2000). L'ichtyofaune dans l'organisation biologique d'un système paralique: la lagune de Nador, Maroc. *Marine Life*, 10(1-2), 69-76.
- Boudjemaa, S. (2010). Cartographie des relations sol-eau-végétation dans un milieu salé (lac Fetzara). Mémoire de Magister en Ecologie végétale. Option : Cartographie des

- écosystèmes forestiers de l'Est Algérien. Université Badji Mokhtar, Annaba., Institut de Biologie.
- Bougis, P. (1952). La croissance des poissons méditerranéens. Océanographie méditerranéenne. Journées d'études du laboratoire Arago, Science and Industry Research Act, 1187, 118–146.
- Bourquard, C., & Benharrat, K. (1985). La colonisation des lagunes du Golfe du Lion par les stades jeunes de Soleidae, Mugilidae et Sparidae. Actes du 110e Congrès national des Sociétés savantes, Montpellier 1985, Section Sciences, booklet II, 127–138, Montpellier, France.
- Broadhead, G. C. (1953). Investigations of the black mullet *Mugil cephalus* L. in northwest Florida. Florida Board of Conservation Technical Series No.7, 33 pp.
- Brunelli, G. (1916). Ricerche sul novellame dei muggini, con osservazioni e considerazioni sulla mugginicoltura. Officine grafiche di C. Ferrari.
- Brusle, J., & Cambrony, M. (1992). Les lagunes méditerranéennes : des nurseries favorables aux juvéniles de poissons euryhalins et/ou des pièges redoutables pour eux? Analyse critique de la croissance des populations de muges de plusieurs étangs saumâtres du Languedoc-Roussillon, au cours de leur première année de vie. *Vie et Milieu*, 42(2), 193–205.
- Bussotti, S., & Guidetti, P. (2009). Do Mediterranean fish assemblages associated with marine caves and rocky cliffs differ? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81(1), 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.023>.
- Cain, R. L., & Dean, J. M. (1976). Annual occurrence, abundance and diversity of fish in a South Carolina intertidal creek. *Marine Biology*, 36(4), 369-379. <https://doi.org/10.1007/BF00390798>
- Cambrony, M. (1983). Recrutement et biologie des stades juvéniles de mugilidés dans trois milieux lagunaires du Roussillon et du Narbonnais (Sases-Leucate, Lapalme, Bourdigou) [Recruitment and biology of juvenile stages of mugilids in three lagoon environments in Roussillon and Narbonnais (Sases-Leucate, Lapalme, Bourdigou)]. Postgraduate thesis, University of Paris IV.
- Cambrony, M. (1984). Identification et périodicité du recrutement des juvéniles de Mugilidae dans les étangs littoraux du Languedoc-Roussillon [Identification and periodicity of recruitment of juvenile Mugilidae in coastal ponds of Languedoc-Roussillon]. *Vie et Milieu*, 34, 221–227.
- Campana, S. E. (2005). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive

- understanding of fish populations? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 62(4), 823-831. <https://doi.org/10.1139/f05-052>.
- Campana, S. E., & Casselman, J. M. (1993). Stock discrimination using otolith shape analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 50(5), 1062-1083. <https://doi.org/10.1139/f93-123>.
- Campana, S. E., & Neilson, J. D. (1985). Microstructure of fish otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 42(5), 1014-1032. <https://doi.org/10.1139/f85-126>.
- Cardona, L. (2000). Effects of salinity on the habitat selection and growth performance of Mediterranean flathead grey mullet *Mugil cephalus* (Osteichthyes, Mugilidae). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 50(5), 727-737. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0615>
- Cardona, L. (1999a). Age and growth of leaping grey mullet (*Liza saliens* (Risso 1810)) in Minorca (Balearic Islands). Scientia Marina, 63, 93-99. <https://doi.org/10.3989/scimar.1999.63s293>
- Cardona, L. (2006). Habitat selection by grey mullets (Osteichthyes: Mugilidae) in Mediterranean estuaries: the role of salinity. Scientia Marina, 70(3), 443-455. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70n3443>
- Cardona, L., Hereu, B., & Torras, X. (2008). Juvenile bottlenecks and salinity shape grey mullet assemblages in Mediterranean estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 77(4), 623-632. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.10.018>
- Carpentieri, P., Colloca, F., & Ardizzone, G. D. (2005). Day-night variations in the demersal nekton assemblage on the Mediterranean shelf-break. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 63(4), 577-588. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.01.005>.
- Chang, C. W., Tzeng, W. N., & Lee, Y. C. (2000). Recruitment and hatching dates of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) juveniles in the Tanshui estuary of northwest Taiwan. Zoological Studies, 39(2), 99-106.
- Chaoui, L., Kara, M. H., Faure, É., & Quignard, J. P. (2006). L'ichtyofaune de la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est): diversité, production et analyse des captures commerciales. Cybium, 30(2), 123-132.
- Chauvet, C. (1986). Exploitation des poissons en milieu lagunaire méditerranéen. Dynamique du peuplement ichtyologique de la lagune de Tunis et des populations exploitées par les bordigues (Muges, Loups, Daurades). Thèse, Univ. Perpignan, 549 PP.
- Chervinski, J. (1977). Adaptability of *Chelon labrosus* (Risso) and *Liza saliens* (Risso)(Pisces, Mugilidae) to fresh water. Aquaculture, 11(1), 75-79.



- Chervinski, J. (1978). First Recovery of *Liza carinata* (Teleostei: Mugilidae) from Lake Kinneret. *Israel Journal of Zoology*, 27(1), 52-52.
- Chessa, L. A., Casu, S., Delitala, G. M., Vacca, R. A., Corso, G., Palam, M., ... & Tola, S. (1988). The Calich lagoon (NW Sardinia): general ecological observation and fry migration. Report, Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée (CIESM), 31(2), 63.
- Chu, W. S., Hou, Y. Y., Ueng, Y. T., & Wang, J. P. (2012). Length-weight relationship of largescale mullet, *Liza macrolepis* (Smith, 1846), off the southwestern coast of Taiwan. *African Journal of Biotechnology*, 11(8), 1948-1952. DOI: 10.5897/AJB11.3580.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, and M. Van Den Belt. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Coutelan, R. (1953). Contribution a` l'étude des muges de l'étang de Thau. DES Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Crosetti, D., & Blaber, S. J. M. (Eds.). (2016). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)* (1st ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida (U.S.A), 521 pp. <https://doi.org/10.1201/b19927>
- Day, J. W., & Yáñez-Arancibia, A. (1985). Coastal lagoons and estuaries as an environment for nekton. *Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration*. UNAM, Mexico DF, México: 17-34.
- De Angelis, C. M. (1967). Osservazioni sulle specie del genere *Mugil* segnalate lungo le coste del Mediterraneo. *Boll. Pesca, Piscic. Hidrob*, 22, 5-36.
- De Carvalho, D. R., de Castro, D. M. P., Callisto, M., Moreira, M. Z., & Pompeu, P. S. (2017). The trophic structure of fish communities from streams in the Brazilian Cerrado under different land uses: an approach using stable isotopes. *Hydrobiologia*, 795, 199–217. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3130-6>
- Derbal, F., & Kara, M. H. (2010). Composition et variations du peuplement ichtyologique de l'herbier superficiel à *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans la baie d'Annaba (Algérie). *Revue d'écologie*, 65(2), 139-149.
- Derita Yulianto, I. I., Batubara, A. S., Efizon, D., Nur, F. M., Rizal, S., Elvyra, R., & Muchlisin, Z. A. (2020). Length–weight relationships and condition factors of mullets *Liza macrolepis* and *Moolgarda engeli* (Pisces: Mugilidae) harvested from Lambada Lhok waters in Aceh Besar, Indonesia. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22562.2>

- Deudero, S., G. Morey, A. Frau, J. Moranta, and I. Moreno. (2008). Temporal trends of littoral fishes at deep *Posidonia oceanica* seagrass meadows in a temperate coastal zone. *Journal of Marine Systems*, 70(1-2), 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.05.001>.
- Draredja, B. (2007). Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen : Lagune Mellah (El-Kala, Algérie Nord-Est). Thèse Doct. d'État. Univ. Annaba : 225p.
- Dumay, O., P.S. Tari, J.A. Tomasini, and D. Mouillot. (2004). Functional groups of lagoon fish species in Languedoc Roussillon, Southern France. *Journal of Fish Biology*, 64(4), 970-983. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00365.x>.
- Ecoutin, J.M., E. Richard, M. Simier, and J.J. Albaret. (2005). Spatial versus temporal patterns in fish assemblages of a tropical estuarine coastal lake: the Ebrié Lagoon (Ivory Coast). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(4), 623-635. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.04.002>.
- Elliott, M., A.K., Whitfield, I.C., Potter, S.J.M., Blaber, D.P., Cyrus, F.G. Nordlie, and T.D. Harrison. (2007). The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish and Fisheries*, 8, 241-268.
- Elliott, M., and A.K. Whitfield. (2011). Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94, 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.016>.
- Embarek, R., Amara, R., Kara, M.H. (2017). Fish assemblage structure in shallow waters of the Mellah Lagoon (Algeria): Seasonal and spatial distribution patterns and relation to environmental parameters. *Acta Ichthyol. Piscatoria*, 47(2), 133–144. <http://dx.doi.org/10.3750/AIEP/02080>.
- Embarek, R., M.H. Kara, L. Bahri-Sfar, R. Amara. (2019). Seasonal and spatial variations in the fish assemblage of shallow habitats within the Bizerte Lagoon (Tunisia). *Vie Milieu*, 69(1), 35–46.
- Ezzat, A. (1965). Contribution à l'étude de la biologie de quelques Mugilidae de la région de l'étang de Berre et de Port de Bouc [Thesis, Marseille].
- FAO. (2022). Statistiques des pêches et de l'aquaculture. Production mondiale de l'aquaculture 1950-2020 (FishStatJ). In: Division des pêches et de l'aquaculture de la FAO [en ligne]. Rome. Mise à jour 2022. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/fr>
- Faouzi, H. (1938). Quelques aspects de la biologie des muges en Égypte. *Rapports Commission International pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESM)*, 11, 63–68.
- Farrugio, H. (1977). Clés commentées pour la détermination des adultes et des alevins de Mugilidae de Tunisie. *Cybium*, 3(Serie 2), 57-73.

- Farrugio, H. (1975). Distribution and fishing of mullet (teleostean fish) in Tunisia. Contribution to their systematic and biological study.
- Fehri-Bedoui, R., & Gharbi, H. (2005). Âge et croissance de *Liza aurata* (Mugilidae) des côtes tunisiennes. *Cybium*, 29(2), 119-126. <https://doi.org/10.26028/cybium/2005-292-002>
- Fernandez, W. S., Dias, J. F., Boufleur, L. A., Amaral, L., & Yoneama, M. L. (2014). Bioaccumulation of trace elements in hepatic and renal tissues of the white mullet *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (Actinopterygii, Mugilidae) in two coastal systems in southeastern Brazil. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 318, 94-98. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2013.05.103>
- Franco, A., Pérez-Ruzafa, A., Drouineau, H., Franzoi, P., Koutrakis, E.T., Lepage, M., Verdiell-Cubedoe, D., Bouchouchaf, M., López-Capel, A., Riccato, F., Sapounidis, A., Marcos, C., Oliva-Paterna, F.J., Torralva-Forero, M., & Torricelli, P. (2012). Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: effect of sampling method. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.08.015>.
- Franco, A., Franzoi, P., & Torricelli, P. (2008). Structure and functioning of Mediterranean lagoon fish assemblages: A key for the identification of water body types. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(3), 549-558. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.05.011>.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P., & Mainardi, D. (2006). Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2), 67-83. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.020>.
- Francour, P., & Harmelin, J.G. (1988). Inventaire de la faune ichthyologique marine de Port-Cros. Scientific Report of Port-Cros National Park, 14, 65-79.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4), 241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>.
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2020). FishBase. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (accessed 03/2020).
- Fulton, T. W. (1904). The rate of growth of fishes. Twenty-second Annual Report, Part III. Fisheries Board of Scotland, Edinburgh, pp. 141–241.
- Gandolfi, G., Pesaro, M., & Tongiorgi, P. (1981). Osservazioni sulla montata del pesce novello lungo le coste italiane. *Quaderni del Laboratorio di Tecnologia della Pesca*, 3, 215–232.
- Gandolfi, G., Zerunian, S., Torricelli, P., & Marconato, A. (1991). I Pesci delle acque interne italiane. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Union Zoologica Italiana, 499–503.

- Ghittino, P. (1983). *Tecnologia e patologia in acquacoltura*. I. Tecnologia. E. Bono, Turin.
- Green, B. S., Mapstone, B. D., Arlos, G., & Begg, G. A. (2009). *Tropical fish otoliths: Information for assessment, management and ecology* (11th ed.). Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5775-5\_9
- Grenouillet, G., Pont, D., & Seip, K. L. (2002). Abundance and species richness as a function of food resources and vegetation structure: juvenile fish assemblages in rivers. *Ecography*, 25(6), 641-650. DOI: 10.1034/j.1600-0587.2002.250601.x
- Gubiani, É. A., Ruaro, R., Ribeiro, V. R., & Fé, Ú. M. G. D. S. (2020). Relative condition factor: Le Cren's legacy for fisheries science. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32. DOI: 10.1590/s2179-975x13017.
- Guelorget, O., & Perthuisot, J. P. (1983). Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 36(4), 239-248. <https://doi.org/10.3406/sgeol.1983.1642>.
- Guidetti, P., Beck, M. W., Bussotti, S., Ciccolella, A., D'Ambrosio, P., Lembo, G., Spedicato, M. T., & Boero, F. (2009). Nursery habitats for Mediterranean coastal fishes: the need for a quantitative approach. *Biologia Marina Mediterranea*, 16(1), 197–200.
- Haedrich, R. L. (1983). Estuarine fishes. In D. W. Goodall (Ed.), *Ecosystems of the world*, vol. 26. B. H. Ketchum (Ed.): *Estuaries and enclosed seas* (pp. 183–207). Elsevier Sci. Publ. Com. Amsterdam-Oxford-New York.
- Hannachi, M. S., Derbal, F., Boubekour, M. S., & Kara, M. H. (2014). Composition and nycthemeral variations of shallow water ichthyofauna in the Gulf of Annaba, Algeria. *Cybum*, 38(4), 243-253. <https://doi.org/10.26028/cybum/2014-384-001>.
- Harmelin-Vivien, M., MaHé, K., Bodiguel, X., & Mellon, C. (2012). Possible link between prey quality, condition and growth of juvenile hake (*Merluccius merluccius*) in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Cybum*, 36(2), 323-328. <https://doi.org/10.26028/cybum/2012-362-001>.
- Harmelin-Vivien, M. L., & Francour, P. (1992). Trawling or visual censuses? Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds. *Marine Ecology*, 13(1), 41-51. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00338.x>
- Harmelin-Vivien, M. L., Harmelin, J. G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., Barnabé, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J., & Lasserre, G. (1985). The underwater observation of fish communities and fish populations. Methods and problems. *Revue d'Ecologie*, 40(4), 467-539.

- Harrison, I. J. (2003). *Chelon labrosus*. In P. J. Miller (Ed.), *The Freshwater Fishes of Europe*, 8/1: 17–24 (pp. 17-24). Aula-Verlag.
- Heincke, F. (1908). Bericht u`ber die Untersuchungen der Biologischen Anstalt auf Helgoland zur Naturgeschichte der Nutzfische. (1. April 1905 bis 1. Oktober 1907). In *Die Beteiligung Deutschlands an der Internationalen Meeresforschung*, 4. & 5. Jahresbericht (pp. 67–150). Otto Salle.
- Heldt, H. (1948). Contribution à l'étude de la biologie des muges des lacs tunisiens. *Bulletin-Station océanographique de Salammbô*, 41, 1–50.
- Hickling, C. F. (1970). A contribution to the natural history of the English grey mullets [Pisces, Mugilidae]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 50(3), 609-633.
- Innal, D. (2020). Fish diversity and abundance in the Seyhan river estuary, Mediterranean Sea Basin, Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica. Supplement*, 13, 173-180.
- Jaafour, S., Yahyaoui, A., Sadak, A., Bacha, M., & Amara, R. (2015). Fish assemblages of a shallow Mediterranean lagoon (Nador, Morocco): an analysis based on species and functional guilds. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 45(2), 115-124. <https://doi.org/10.3750/AIP2015.45.2.01>
- Kalogirou, S., Corsini-Foka, M., Sioulas, A., Wennhage, H., & Pihl, L. (2010). Diversity, structure and function of fish assemblages associated with *Posidonia oceanica* beds in an area of the eastern Mediterranean Sea and the role of non-indigenous species. *Journal of Fish Biology*, 77(10), 2338-2357. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02817.x>
- Kara, M. H. (1997). Cycle sexuel et fécondité du Loup *Dicentrarchus labrax* (Poisson Moronidé) du golfe d'Annaba. *Cahiers de Biologie Marine*, 38(3), 161-168.
- Kara, M. H., & Quignard, J. P. (2019). *Fishes in lagoons and estuaries in the Mediterranean 3A: Migratory fish*. John Wiley & Sons.
- Kara, M. H., Lacroix, D., Sadek, S., Rey-Valette, H., Kraiem, M., & Blancheton, J. P. (2016). Vingt ans d'aquaculture en Afrique du Nord (1993-2013): évolutions, bilan critique et avenir. *Cahiers Agricultures*, 25(6), 64004 (1-9). <http://doi.org/10.1051/cagri/2016044>
- Karvounaris, D. (1963). Alcune osservazioni su *Mugil chelo* Cuv. nel lago di Paola. *Boll. Pesca Piscic*, 18, 71-89.
- Katavic, I. (1980). Temporal distribution of young mugilids (Mugilidae) in the coastal waters of the Central Eastern Adriatic. *Acta Adriatica*, 21, 137–150.

- Katselis, G., Minos, G., Marmagas, A., Hotos, G., & Ondrias, I. (1994). Seasonal distribution of Mugilidae fry and juveniles in Messolonghi coastal waters, western Greece. *Bios (Macedonia, Greece)*, 2, 101–108.
- Kawamura, K. (2008). Review of “Handbook of European freshwater fishes” by M. Kottelat and J. Freyhof (2007). *Ichthyological Research*, 55(1), 99. <https://doi.org/10.1007/s10228-007-0012-3>
- Kembenye, E. M., Ogello, E. O., Githukia, C. M., Aera, C. N., Omondi, R., & Munguti, J. M. (2014). Seasonal changes of length-weight relationship and condition factor of five fish species in Lake Baringo, Kenya. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 14(2), 130-140.
- Khalil, M. (1997). Changes in the mullet fishery of Lake Manzala, Egypt. *International Journal of Salt Lake Research*, 5, 241–251. <https://doi.org/10.1007/BF02442118>
- Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S., & Abdenour, C. (2006). The hydrology of the Mafragh estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4(2), 340-346. <https://doi.org/10.1234/4.2006.902>
- Kimmerer, W., Avent, S. R., Bollens, S. M., Feyrer, F., Grimaldo, L. F., Moyle, P. B., Nobriga, M., & Visintainer, T. (2005). Variability in length–weight relationships used to estimate biomass of estuarine fish from survey data. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134(2), 481-495. <http://dx.doi.org/10.1577/T04-042.1>
- Knoppers, B. (1994). Aquatic primary production in coastal lagoons. In B. Kjerfve (Ed.), *Elsevier Oceanography Series* (pp. 243-286). Amsterdam: Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70014-X](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70014-X)
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Family Mugilidae. *Handbook of European Freshwater Fishes*. Imprimerie du Démocrate SA, Switzerland, Délemont, 464-469.
- Koutrakis, E. T. (2004). Temporal occurrence and size distribution of grey mullet juveniles (Pisces, Mugilidae) in the estuarine systems of the Strymonikos Gulf (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 20, 76–78.
- Koutrakis, E. T., & Sinis, A. I. (1994). Growth analysis of grey mullets (Pisces, Mugilidae) as related to age and site. *Israel Journal of Zoology*, 40(1), 37-53.
- Koutrakis, E. T., Tsikliras, A. C., & Sinis, A. I. (2005). Temporal variability of the ichthyofauna in a northern Aegean coastal lagoon (Greece): influence of environmental factors. *Hydrobiologia*, 543(1), 245–257. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-7891-3>

- Kraïem, M.M., L. Chouba, M. Ramdani, M.H. Ahmed, J.R. Thompson and R.J. Flower. (2009). The fish fauna of three North African lagoons: specific inventories, ecological status and production. *Hydrobiologia*, 622(1), 133–146. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9679-3>.
- Le Cren, E. D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20, 201–219.
- Lecomte-Finiger, R. (1999). L'otolithe: la "boîte noire" des Téléostéens. *L'Année Biologique*, 38(2), 107-122.
- Leitão, R., F. Martinho, H.N. Cabral, J.M. Neto, I. Jorge, and M.A. Pardal. (2007). The fish assemblage of the Mondego estuary: composition, structure and trends over the past two decades. *Hydrobiologia*, 587(1), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0688-4>.
- Louisy, P. (2005). Guide d'identification des poissons marins. Europe de l'ouest et Méditerranée.(eds) Eugen Ulmer, 430.
- Maci, S., and A. Basset. (2009). Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: a case study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 83(4), 602-612. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.05.007>.
- Malavasi, S., R. Fiorin, A. Franco, P. Franzoi, A. Granzotto, F. Riccato, and D. Mainardi. (2004). Fish assemblages of Venice Lagoon shallow waters: an analysis based on species, families and functional guilds. *Journal of Marine Systems*, 51(1-4), 19-31. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.05.006>.
- Mariani, S. (2001). Can spatial distribution of ichthyofauna describe marine influence on coastal lagoons? A central Mediterranean case study. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 52, 261–267. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0746>.
- Marin, E. B. J., Quintero, A., Bussiere, D., & Dodson, J. J. (2003). Reproduction and recruitment of white mullet (*Mugil curema*) to a tropical lagoon (Margarita Island, Venezuela) as revealed by otolith microstructure. *Fishery Bulletin*, 101(4), 809-821.
- Matic-Skoko, S., Peharda, M., Pallaoro, A., Crnčević, M., & Lučić, D. (2005). Species composition, seasonal fluctuations and residency of inshore fish assemblages in the Pantan estuary of the eastern middle Adriatic. *Acta Adriatica*, 46(2), 201-212.
- Matic-Skoko, S., Peharda, M., Pallaoro, A., Crnčević, M., & Lučić, D. (2007). Infralittoral fish assemblages in the Zrmanja estuary, Adriatic Sea. *Acta Adriatica*, 48(1), 45-55.
- Messerer, Y. (1999). Etude morphométrique et hydrologique du complexe lacustre d'El-kala (cas du lac Mellah et du lac Oubeira). Thèse. Magistère. Univ. Annaba. 123 p.
- McDonough, C. J., & Wenner, C. A. (2003). Growth, recruitment and abundance of juvenile



- striped mullet (*Mugil cephalus*) in South Carolina estuaries. *Fishery Bulletin*, 101(2), 343-357.
- Mićković, B., Nikčević, M., Hegediš, A., Regner, S., Gačić, Z., & Krpo-Ćetković, J. (2010). Mullet fry (*Mugilidae*) in coastal waters of Montenegro, their spatial distribution and migration phenology. *Archives of Biological Sciences*, 62(1), 107-114.
- Mouillot, D., Laune, J., Tomasini, J. A., Aliaume, C., Brehmer, P., Dutrieux, E., & Do Chi, T. (2005). Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities. *Hydrobiologia*, 550(1), 121-130. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-4368-y>
- Nash, R. D. M., & Santos, R. S. (1998). Seasonality in diel catch rate of small fishes in a shallow-water fish assemblage at Porto Pim Bay, Faial, Azores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(3), 319-328.
- Nelson, J. S. (1994). *Fishes of the world*. Wiley and Sons Inc.
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the world* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- The R Core Team. (2021). Notes on R: A programming environment for data analysis and graphics. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.html>
- Ounissi, M., Haridi, A., & Rétima, A. (2002). Variabilité du zooplancton de la lagune Mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. *Journal de Recherche Océanographique*, 27(1), 1-13.
- Pannella, G. (1971). Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, 173(4002), 1124-1127. <https://doi.org/10.1126/science.173.4002.1124>.
- Peng Sun, Chen, Q., Fu, C., Zhu, W., Li, J., Zhang, C., Yu, H., Sun, R., Xu, Y., & Tian, Y. (2020). Daily growth of young-of-the-year largehead hairtail (*Trichiurus japonicus*) in relation to environmental variables in the East China Sea. *Journal of Marine Systems*, 201, 103243. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103243>.
- Pérez-Ruzafa, A., García-Charton, J. A., Barcala, E., & Marcos, C. (2006). Changes in benthic fish assemblages as a consequence of coastal works in a coastal lagoon: the Mar Menor (Spain, Western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4), 107-120. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.014>.
- Pérez-Ruzafa, A., Mompeán, M. C., & Marcos, C. (2007). Hydrographic, geomorphologic and fish assemblage relationships in coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 577, 107-125. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0421-8>.
- Petrakis, G., & Stergiou, K. I. (1995). Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries Research*, 21(3-4), 465-469. <https://doi.org/10.1016/0165->



[7836\(94\)00294-7.](#)

- Poff, N. L., & Allan, J. D. (1995). Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology*, 76(2), 606-627. <https://doi.org/10.2307/1941217>.
- Poizat, G., Rosecchi, E., Chauvelon, P., Contournet, P., & Crivelli, A. J. (2004). Long-term fish and macro-crustacean community variation in a Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59(4), 615-624. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.11.007>.
- Pruginin, Y., Shilo, S., & Mires, D. (1975). Grey mullet: a component in polyculture in Israel. *Aquaculture*, 5(3), 291-298. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(75\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(75)90013-3).
- Here are the references you provided formatted in APA style:
- Quignard, J.P., Man-wai R., & Vianet, R. (1984). Les poissons de l'étang de Mauguio (Hérault, France): inventaire, structure du peuplement, croissance et polymorphisme des tailles. *Vie et Milieu*, 34(4), 173–183.
- Quignard, J.P., & Zaouali, J. (1980). Les Lagunes périméditerranéennes: bibliographie ichthyologique annotée. *Bulletin de l'Office national des pêches de Tunis*, 4(2).
- Quignard, J.-P., & Farrugio, H. (1981). Age and growth of grey mullet. In O.H. OREN (Ed.), *Aquaculture of Grey Mullet* (pp. 155–184). Cambridge University Press.
- Reay, P.J. (1992). *Mugil cephalus* L.—a first British record and a further 5°N. *Journal of Fish Biology*, 40(2), 311–313. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb02698.x>
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Department of Environment, Fisheries and Marine Service.
- Rossi, R. (1981). La pesca del pesce novella da semina nell area meridionale del delta del Po. *Quaderni del Laboratorio di Tecnologia della Pesca*, 3, 23–36.
- Rountree, R.A., & Able, K.W. (2007). Spatial and temporal habitat use patterns for salt marsh nekton: implications for ecological functions. *Aquatic Ecology*, 41(1), 25-45. <https://doi.org/10.1007/s10452-006-9052-4>
- Sadek, S. (2018). The culture of grey mullet in Egypt: the largest market in the Mediterranean region. In Workshop on grey mullet aquaculture: state of the art and perspectives. Palace Hotel.
- Sandhya, V., & Shameem, U. (2003). Length-weight relationship and condition factor of *Liza macrolepis* (Smith, 1846) from polluted and unpolluted waters of Visakhapatnam. *Indian Journal of Fisheries*, 50, 543–546.
- Schaber, M., Marohn, L., Petereit, C., Schroeder, J., Zumholz, K., & Hanel, R. (2011). Newcomers in the Baltic Sea: An attempt to trace the origins and whereabouts of thicklip grey mullet *Chelon labrosus*. *Fisheries Science*, 77, 757–764.

<https://doi.org/10.1007/s12562-011-0384-1>.

- Selfati, M., El Ouamari, N., Franco, A., Lenfant, P., Lecaillon, G., Mesfioui, A., Boissery, P., & Bazairi, H. (2019). Fish assemblages of the Marchica lagoon (Mediterranean, Morocco): Spatial patterns and environmental drivers. *Regional Studies in Marine Science*, 32, 100896. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100896>
- Sellami, R., Chaouachi, B., & Ben Hassine, O. K. (2010). Impacts anthropiques et climatiques sur la diversité ichthyque d'une lagune méditerranéenne (Ichkeul, Tunisie). *Cybium*, 34(1), 5-10. <https://doi.org/10.26028/cybium/2010-341-001>
- Selleslagh, J., & Amara, R. (2008). Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(3), 507-517. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.05.006>
- Selleslagh, J., Amara, R., Laffargue, P., Lesourd, S., Lepage, M., & Girardin, M. (2009). Fish composition and assemblage structure in three Eastern English Channel macrotidal estuaries: a comparison with other French estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81(2), 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.10.008>
- Serbetis, C. D. (1939). L'edad e l'accrescimento di Mugilidi. *Bollettino di Pesca, Piscicoltura e Idrobiologia*, 15, 628–707.
- Seytre, C., & Francour, P. (2014). A long-term survey of *Posidonia oceanica* fish assemblages in a Mediterranean marine protected area: emphasis on stability and no-take area effectiveness. *Marine and Freshwater Research*, 65(3), 244-254. <https://doi.org/10.1071/MF13080>
- Sheaves, M. (2009). Consequences of ecological connectivity: the coastal ecosystem mosaic. *Marine Ecology Progress Series*, 391, 107-115. <https://doi.org/10.3354/meps08121>
- Shulman, G. E., Nikolsky, V. N., Yuneva, T. V., Minyuk, G. S., Shchepkin, V. Y., Shchepkina, A. M., & Kideys, A. E. (2005). Fat content in Black Sea sprat as an indicator of fish food supply and ecosystem condition. *Marine Ecology Progress Series*, 293, 201-212. <https://doi.org/10.3354/meps293>
- Stobart, B., García-Charton, J. A., Espejo, C., Rochel, E., Goñi, R., Reñones, O., Herrero, A., Crec'hriou, R., Polti, S., Marcos, C., Planes, S., & Pérez-Ruzafa, A. (2007). A baited underwater video technique to assess shallow-water Mediterranean fish assemblages: Methodological evaluation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 345(2), 158-174. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.02.009>.
- Sun, P., Chen, Q., Fu, C., Zhu, W., Li, J., Zhang, C., Zhang, W., & Tian, Y. (2020). Daily growth of young-of-the-year largehead hairtail (*Trichiurus japonicus*) in relation to

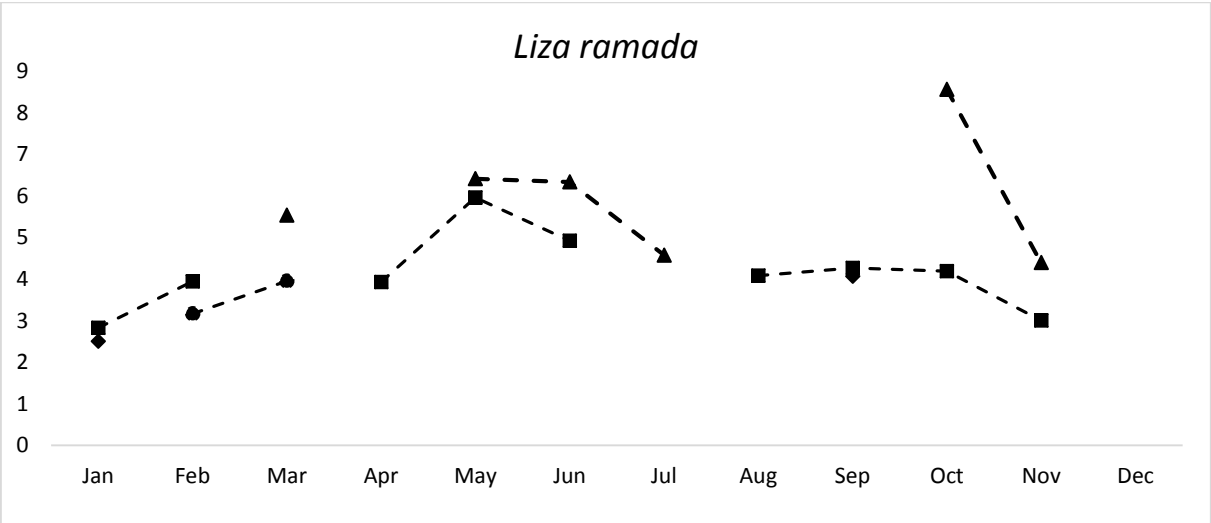
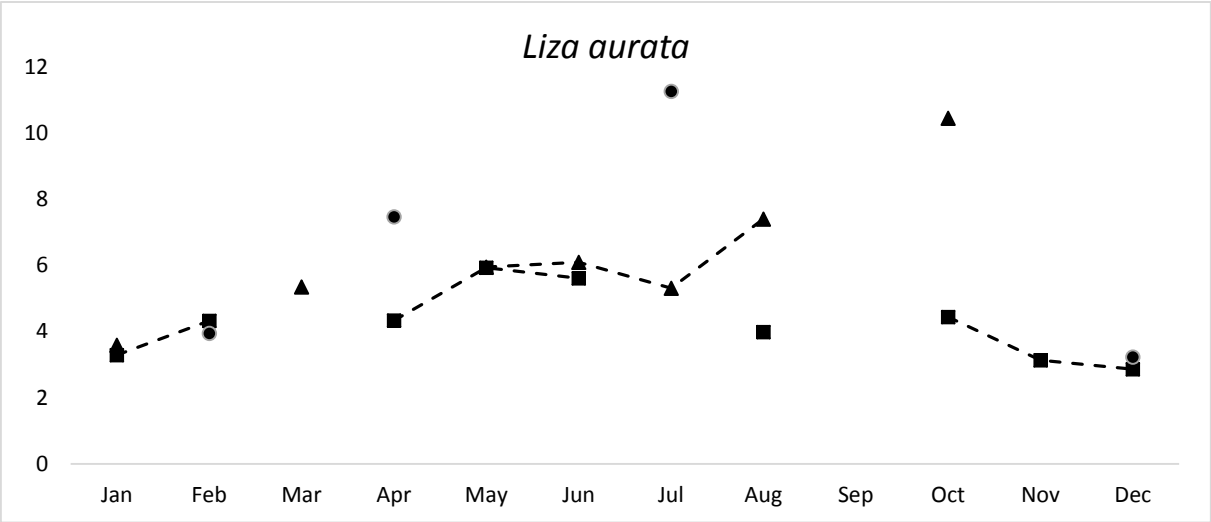
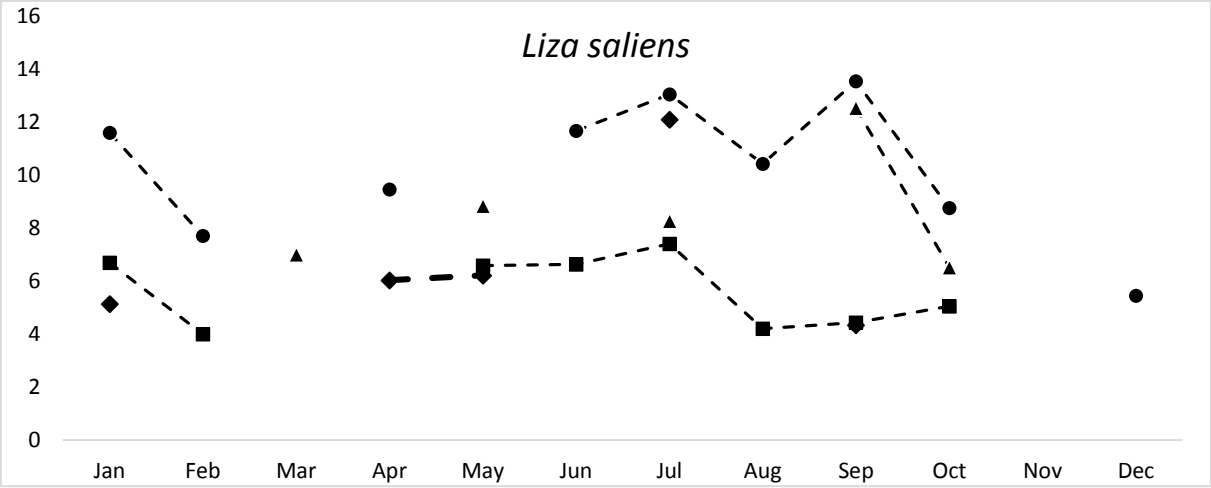
- environmental variables in the East China Sea. *Journal of Marine Systems*, 201, 103243. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103243>
- Tesch, F. W. (1968). Age and growth. In W. E. Ricker (Ed.), *Methods for assessment of fish production in fresh waters* (pp. 93-123). Blackwell Scientific Publications.
- Thomas J.P., Bougazelli N., & Attender M. (1973). *Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El-Kala, Annaba, Algérie* : 64p.
- Thomson, J. M. (1966). The grey mullets. *Oceanography and Marine Biology Annual Reviews*, 4, 310-335.
- Thomson, J. M. (1996). Family Mugilidae: grey mullets. In R. M. McDowall (Ed.), *Freshwater Fishes of South-eastern Australia* (pp. 191-197).
- Thomson, J. M. (1990). Mugilidae. In J. C. Quero, J. C. Hureau, C. A. Post, & L. Saldanha (Eds.), *Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic, vol. II* (pp. 857-858). UNESCO.
- Torricelli, P., Tongiorgi, P., & Almansi, P. (1982). Migration of grey mullet fry into the Arno river [Italy]: seasonal appearance, daily activity, and feeding rhythms. *Fisheries Research*, 2(2), 115-130.
- Trape, S., Durand, J. D., Vigliola, L., & Panfili, J. (2017). Recruitment success and growth variability of mugilids in a West African estuary impacted by climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 198, 53-62.
- Triantafyllidis, A., Leonardos, I., Bista, I., Kyriazis, I. D., Stoumboudi, M. T., Kappas, I., Amat, F., & Abatzopoulos, T. J. (2007). Phylogeography and genetic structure of the Mediterranean killifish *Aphanius fasciatus* (Cyprinodontidae). *Marine Biology*, 152(5), 1159-1167. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0760-7>.
- Tsikliras, A. C., Antonopoulou, E., & Stergiou, K. I. (2010). Spawning period of Mediterranean marine fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20(4), 499-538. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9158-6>.
- Tzeng, W. N., & Yu, S. Y. (1988). Daily growth increments in otoliths of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal), larvae. *Journal of Fish Biology*, 32, 495-504.
- Vaz-dos-Santos, A. M., & Gris, B. (2016). Length-weight relationships of the ichthyofauna from a coastal subtropical system: a tool for biomass estimates and ecosystem modelling. *Biota Neotropica*, 16(3), e20160192. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0192>.
- Venables, W. N., & Smith, D. M. (2005). The R development core team. *An introduction to R*.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F. J., Egea-Serrano, A., & Torralva, M. (2008). Population biology and habitat associations of benthic fish species in the shallow areas of the

- Mediterranean coastal lagoon (SE Iberian Peninsula). *Scientia Marina*, 72(2), 319-328.  
<https://doi.org/10.3989/scimar.2008.72n2319>.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F. J., Ruiz-Navarro, A., & Torralva, M. (2013). Assessing the nursery role for marine fish species in a hypersaline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean Sea). *Marine Biology Research*, 9(8), 739-748.  
<https://doi.org/10.1080/17451000.2013.765580>.
- Vidy, G., & Franc, J. (1992). Saisons de présence à la côte des alevins de muges (Mugilidae) en Tunisie. *Cybiu*, 16(1), 53-71.
- Villani, P. (1988). The absence of Mugilidae fry into a coastal lagoon of the southern Adriatic. *FAO Fish. Rep.*, 394, 381-388.
- Wallace, J. H. (1975). The estuarine fishes of the east coast of South Africa. III. Reproduction. *Investigational Reports of the Oceanographic Research Institute*, 41, 1-51.
- Wege, G. J., & Anderson, R. O. (1978). Relative weight (Wr): a new index of condition of largemouth bass. In G. Novinger & J. Dillard (Eds.), *New approaches to management of small impoundments* (pp. 79-91). American Fisheries Society Special Publication 5. Bethesda, MD.
- Whitfield, A. K., Panfili, J., & Durand, J. D. (2012). A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(3), 641-681. <http://dx.doi.org/10.1007/s11160-012-9263-9>.
- Wilke, M. (1998). Variabilité des facteurs abiotiques dans les eaux d'une lagune méditerranéenne, l'étang de Canet. *Vie Milieu*, 48(3), 157-169.
- Wilke, M. (2002). Les fluctuations spatiotemporelles des conditions abiotiques dans les lagunes méditerranéennes. (Thesis). EPHE., Montpellier.
- Wootton, R. J. (1990). Bioenergetics. In *Ecology of teleost fishes* (pp. 73-96). Springer, Dordrecht.
- XIMENES M.C. (1979-1980). Observations sur les faunes ichtyologiques des étangs corses: Biguglia, Diana et Urbino (inventaire, alevinage, croissance et démographie de certaines espèces). Centre technique du génie rural des eaux et forêts, Division ALA, Montpellier.
- Zaret, T. M., & Rand, A. S. (1971). Competition in tropical stream fishes: support for the competitive exclusion principle. *Ecology*, 52(2), 336-342.

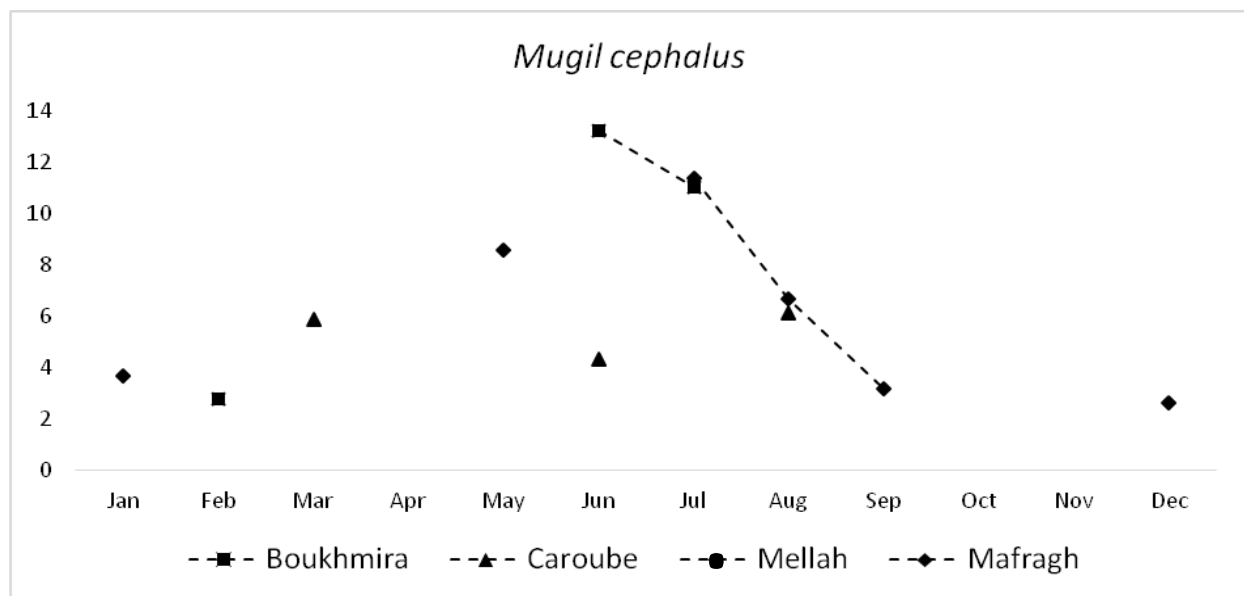
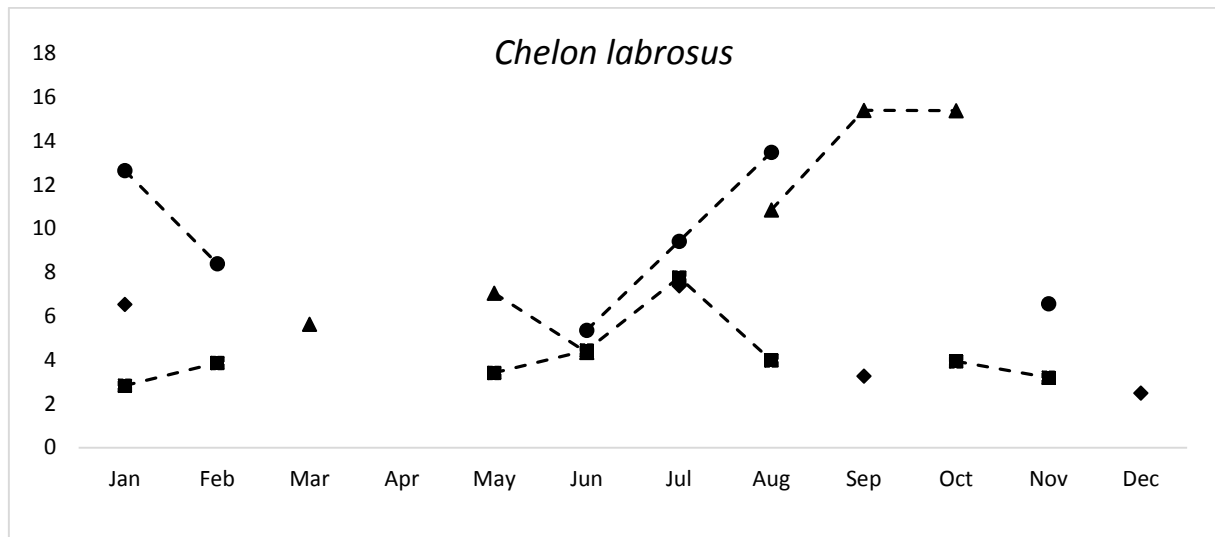


## **Annexes**

## **Annexe 1**





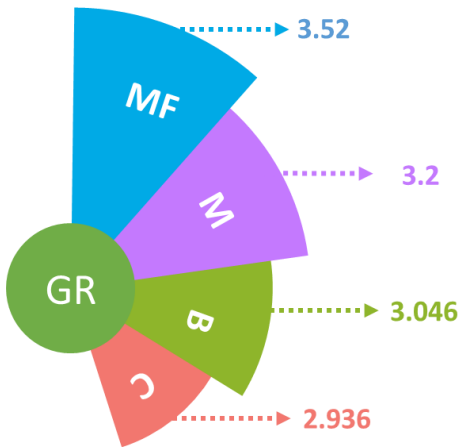


**Figure 1.** Évolution mensuelle de la taille (LT en cm) des 5 espèces de Mugilidae dans les 4 sites de Janvier à Décembre 2016.

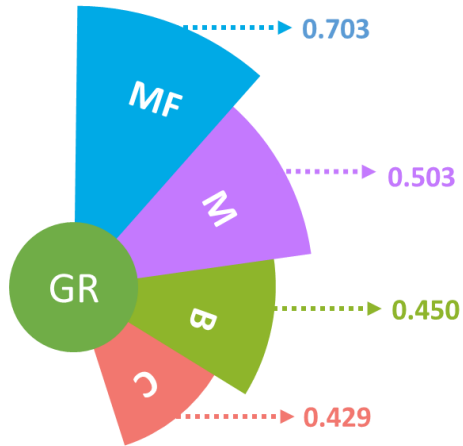
## **Annexe 2**

(a)

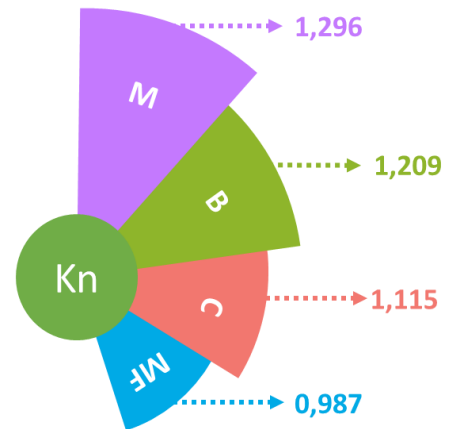
Coefficient (b)



Taux de croissance (GR)

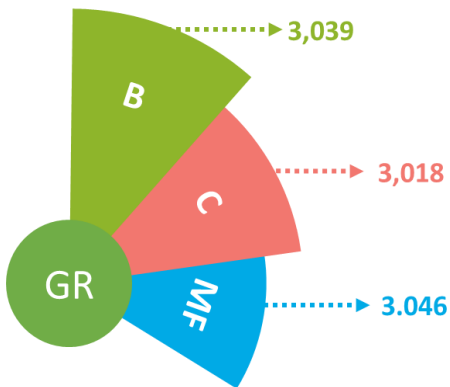


Indice de condition Kn

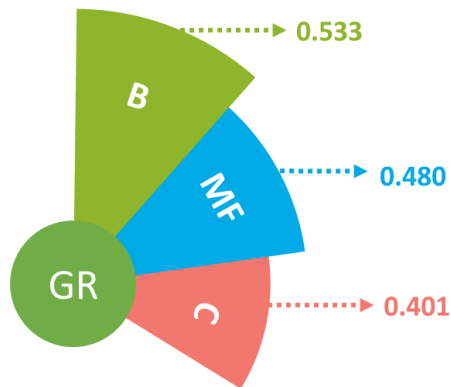


(b)

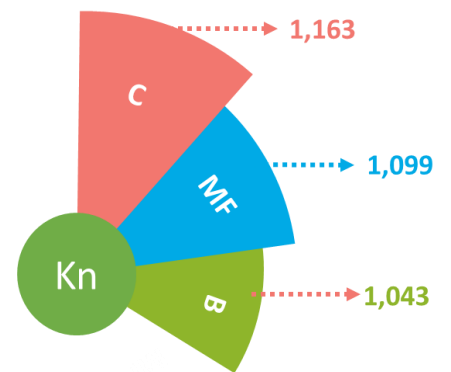
Coefficient (b)



Taux de croissance (GR)

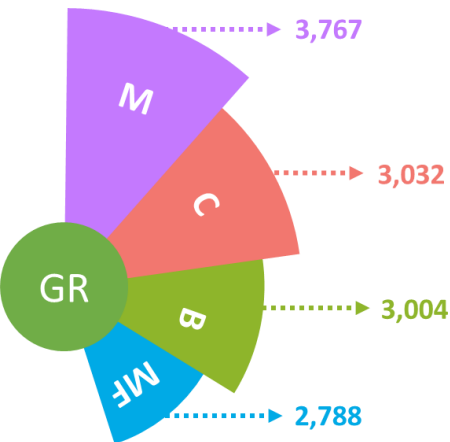


Indice de condition Kn

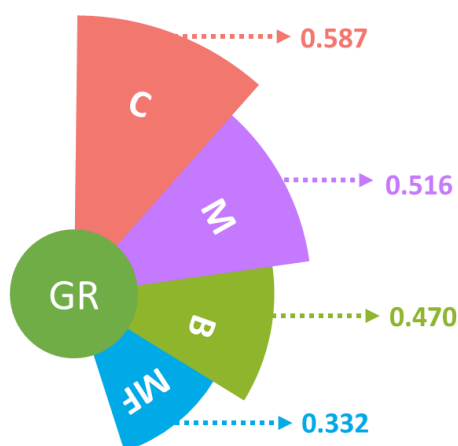


(c)

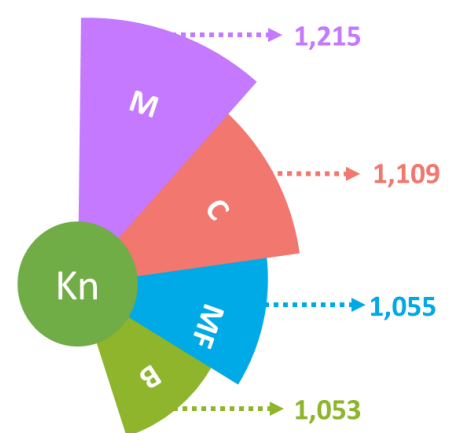
Coefficient (b)

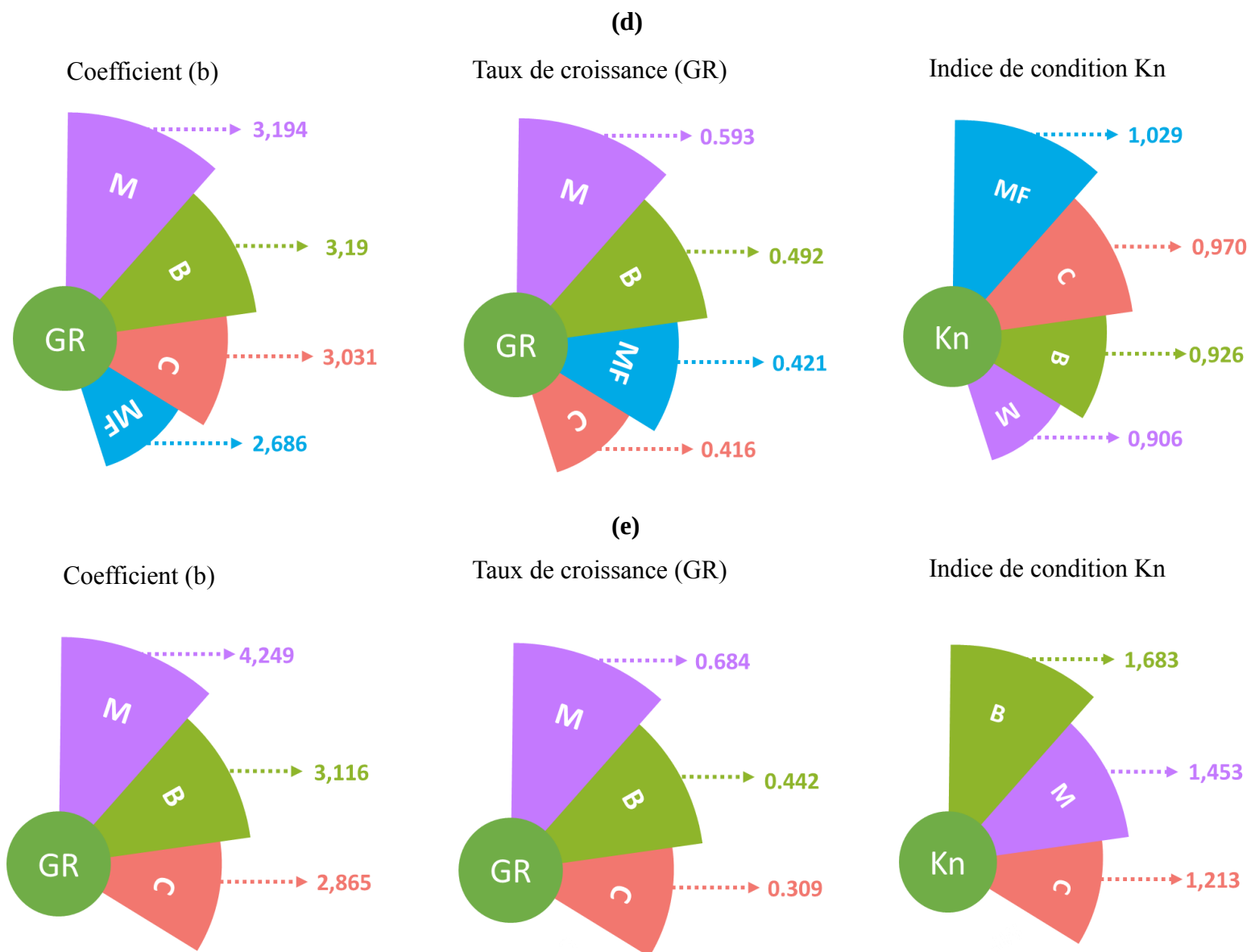


Taux de croissance (GR)



Indice de condition Kn





**Figure 2.** Récapitulatif du coefficient (b), de l'indice de condition relatif (Kn) et du taux de croissance journalière en mm/jour (a : *L. saliens*, b : *L. aurata*, c : *L. ramada*, d : *C. labrosus*, e : *M. cephalus*).

### **Annexe 3**



# The profiles of occupancy by fish fauna of four shallow coastal habitats at a limited regional scale in the south-western Mediterranean

Ali Becheker<sup>1</sup>, Lamya Chaoui<sup>1</sup>, M. Hichem Kara<sup>1,\*</sup>

Laboratoire Bioressources Marines, Université d'Annaba Badji Mokhtar, Annaba, Algeria

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 16 September 2020

Received in revised form 2 October 2021

Accepted 17 January 2022

Available online 24 January 2022

### Keywords:

Fish fauna

Diversity

Coastal waters

Estuaries

Lagoons

Mediterranean

Algeria

## ABSTRACT

The diversity of the ichthyofauna and the seasonal variations of its assemblages were studied in four different habitats on a limited geographical scale of the eastern coast of Algeria: one downright marine site (The Caroube beach) and three transitional waters, two estuaries (Boukhmira and Mafragh) and one lagoon (Mellah).

From monthly samples taken between January and December 2016 using a 3 mm mesh beach seine ( $L = 14$  m,  $H = 2$  m), a total of 13240 fish was caught: 4148 individuals (43 species, 13 families) at The Caroube beach, 1452 (20 species, 11 families) in Boukhmira Wadi, 1218 (15 species, 10 families) in Mafragh estuary and 6422 (14 species, 8 families) in Mellah lagoon. Shannon–Wiener ( $H'$ ) index showed a relatively high specific diversity at the Caroube beach in spring ( $H' = 3.87$ ) with a Pielou equitability index  $J' = 0.77$ , while the lowest diversity was noted in spring at Mellah lagoon ( $H' = 0.49$ ) with  $J' = 0.15$ . All localities showed a seasonal variation in fish abundance and in specific diversity, as well as in the distribution of the ecological and trophic guilds.

The analysis of the seasonal hierarchical clusters differentiated the marine site from the transitional waters (lagoon and estuaries). This site is also characterized by an autumnal ichthyofauna different from that of other seasons. At the combined spatial and temporal scales, canonical correspondence analysis (CCA) revealed the requirements of the species with respect to the considered abiotic parameters (temperature, salinity, oxygen, bottom nature) and showed that the nature of the bottom is the most important factor affecting the distribution and the abundance of fish.

© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

Coastlines provide the largest share of the earth's current economic wealth, with 38% of their value (Costanza et al., 1997). Covering 13% of these areas (Knoppers, 1994), the paralic ecosystems alone generate 26% of the food resources of the biosphere, or a value of 366 billion dollars per year (Costanza et al., 1997). Thereby, they are of major socio-economic importance for dependent human populations, thanks to the various activities that are practiced there, such as fishing, aquaculture and tourism.

Coastal marine areas, notably the coastal fringe, contain a mosaic of natural habitats which contributes to the maintenance in balance of the biological cycles of many fish populations (Carpentieri et al., 2005; Guidetti et al., 2009). They provide habitats suitable for many species that complete their entire lifecycle there. Above all, they act as nurseries for the young stages of certain species that reproduce in the sea (Elliott et al., 2007), and they are also “shelters” and temporary feeding sites for

adults. However, under the increasing natural (global warming) and anthropogenic (pollution, urbanization, coastal development, overfishing) influences, the balance of these ecosystems and the vulnerability of their biodiversity continue to be affected.

Unlike freshwater and marine systems, abiotic conditions of estuaries and lagoons are very variable which puts the fish in a stressful environment and, hence, obliging them to acclimatize to a wide range of temperature and salinity; a few species have the adequate physiology conferring them the ability to resist to these changes (Haedrich, 1983). Moreover, fish assemblages in these environments undergo rapid temporal and spatial alterations influenced by environmental parameters, such as physiochemical factors like temperature, salinity and turbidity (Battaglia, 1959; Koutrakis et al., 2005; Maci and Basset, 2009), and are more stable depending on some parameters linked to the habitat structure, such as depth, hydrological conditions, type of substrate and coverage of submerged vegetation (Guelorget and Perthuisot, 1983; Mariani, 2001; Franco et al., 2006; Verdiell-Cubedo et al., 2013).

Mediterranean estuaries and lagoons are frequented by 249 fish species, distributed among sedentary, migratory and nomadic (Kara and Quignard, 2019). This diversity varies from one site to another and within the same type of habitat it depends on the

\* Corresponding author.

E-mail address: [kara\\_hichem@yahoo.com](mailto:kara_hichem@yahoo.com) (M.H. Kara).

<sup>1</sup> All authors contributed equally to this Perspective.

specific richness of the tributaries flowing into them and that of the coastal marine waters to which they are connected. Within a single geographic sector, this diversity depends on the surface area, the depth and the diversity of marine habitats and their structuration, and also on the size of the channels of connection (inlet, in the case of lagoons) which, through a “threshold effect”, ensure a very selective “sorting” of the species entering the lagoon. The strength of the currents between sea and estuaries/lagoons, and also their extension and direction in the sea, are determining factors in the success of the active migrations of adults and juveniles and passive entry of the planktonic larvae and post-larvae. When the “intermittent passes” are present, the period and the duration of the opening also play a determining role in the migration potential, relative to the hydroclimate and spawning periods at sea (Quignard and Zaouali, 1980; Wilke, 1998, 2002). Clearly, the success of permanent (sedentarization) or temporary (migration) occupation is a function of the eco-physiological capacities of a species (swimming ability, buoyancy, and more generally the euryvalence of individuals) in relation to the biotic characteristics of the host environment (habitat richness, trophic availability) and intra- and interspecific intralagoon relationships (competition, predation).

In the Mediterranean, knowledge on coastal fish diversity and structure is unequal between the different regions. The north-western coasts, characterized by a relatively large number of transitional waters (Kara and Quignard, 2019), received more interest. Several studies have focused on the ichthyological fauna of shallow coastal waters at sea (Arechavala-López et al., 2008; Bodilis et al., 2011; Seytre and Francour, 2014; Deudero et al., 2008; Bussotti and Guidetti, 2009), in estuaries (Matic-Skoko et al., 2005, 2007) and in lagoons (Dumay et al., 2004; Malavasi et al., 2004; Franco et al., 2006, 2008; Maci and Basset, 2009; Pérez-Ruzafa et al., 2006; Verdiell-Cubedo et al., 2013; Poizat et al., 2004; Mouillot et al., 2005). In North Africa, this subject remained little treated. If no work has been dedicated to fish in estuaries, some works have focused on ichthyological assemblages in shallow marine habitats, especially in Algeria (Derbal and Kara, 2010; Hannachi et al., 2014; Boubekour et al., 2018). Regarding the lagoons, we can quote Bouchereau et al. (2000), Jaafour et al. (2015), Selfati et al. (2019) in Morocco, Chaoui et al. (2006) and Embarek et al. (2019) in Algeria and Sellami et al. (2010), Kraïem et al. (2009) and Embarek et al. (2019) in Tunisia. However, few of these works were interested in changes on fish assemblages as a function of variations in the characteristics of the biotic environment.

In this work, our primary aim is to know how different types of coastal habitats (coastal sea, lagoon, estuary) located in a relatively limited geographical area can shape the composition and the organization of ichthyological communities. Next, we seek to understand how the environmental factors (temperature, salinity, dissolved oxygen and bottom nature) can shape the ichthyological assemblages at the scale of each of the considered habitat.

## 2. Material and methods

### 2.1. Study areas

This study was conducted in four different habitats located on the eastern coast of Algeria: the Caroube beach (C), the Boukhmira estuary (B), the Mafragh estuary (Mf), the Mellah lagoon (M) (Fig. 1). These ecosystems differ by their typological and physico-chemical characteristics. The Caroube beach (Or La Caroube beach), at the far west of the Gulf of Annaba (N36°56', E7°45'), has a mixed bottom composed of sand, rock and *Posidonia oceanica* meadow. The Boukhmira estuary (N36°50', E7°48') is characterized by a clayey and hydromorphic bottom who is

rather sandy-muddy on the side of the mouth with only a few pieces of vegetation. It is characterized by a high attendance by birds. The Mafragh estuary (N36°50', E7°56') has a sandy-mud substratum and a very low and sparse vegetation, with three phases of hydrologic cycle (river phase, estuarine phase, lagoon phase) (Khélifi-Touhami et al., 2006) functioning differently depending on weather conditions; each phase extends for about four months. The Mellah lagoon (N36°53', E8°20') has an area of about 865 ha and an average depth of 3.5 m. It receives three wadis and is connected to the sea by a channel of about 870 m long and 15 m wide. El Mellah lagoon is mainly covered by *Ruppia* Sp.

### 2.2. Sampling protocol

This study was carried out in accordance with the Algerian regulations regarding fish sampling and conservation (Law No. 01–11 of 2001 relating to Fisheries and Aquaculture, and its regulations). The Fish fauna was caught monthly in shallow waters (<1.5 m) during daylight hours between January and December 2016 using a beach seine net (length = 14 m, height = 2 m, mesh size = 3 mm). The seine net is considered appropriate for catching small (<100 mm total length) fishes, which abound in shallow transitional waters (Pierce et al. 1990; (Franco et al., 2012). In each site, 3 stations are sampled (Fig. 1). The catches are mixed and considered as a single sample representative of the site. At the Caroube beach, we sampled along the beach on 3 different substrates (Posidonia meadow, rocks and sand). At the Boukhmira and the Mafragh estuaries, the first station was located about 240 m and 260 m upstream respectively. At these two sites, the closer you get to the mouth, the more the substrate changes from muddy to sandy. At the Mellah, stations were located south of the lagoon where the substrate is muddy. In all cases and at each station, the seine was pulled perpendicular to the shore over a distance of 50 m, which corresponds to a swept area of about 700 m<sup>2</sup>. For each species, catches were standardized to numbers of individuals per 100 m<sup>2</sup>.

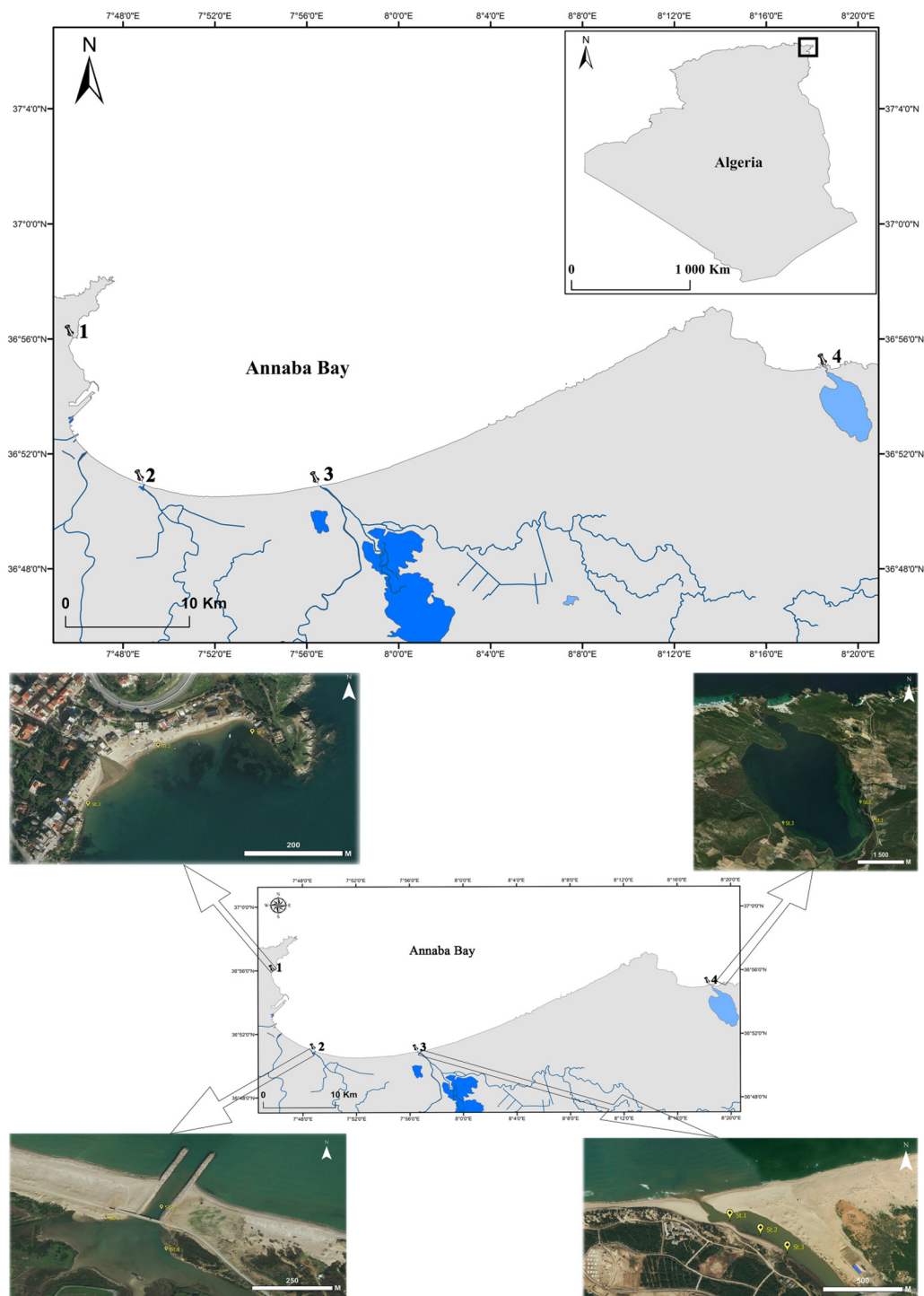
After each sampling, fishes were preserved in plastic bags and transported in a cooler with ice to the laboratory. Each fish caught was identified to species level, with the exception of the genus *Pomatoschistus*. Juveniles of mugilids (<60 mm) were identified according to Cambrony (1984). Temperature (°C), salinity (‰) and dissolved oxygen (mg L<sup>-1</sup>) were recorded *in situ* immediately before the fishing procedure using a multiparameter HANNA HI9828 immersed at a depth of about 30 cm. The nature of the bottom is noted each time.

### 2.3. Data analysis

A one-way ANOVA was used to analyze the differences of abiotic parameters between seasons and between sites. Several indices are used to determine the diversity and the abundance of each species:

- Species richness which is the number of species caught in each habitat or during each season.
- Shannon–Wiener index  $H' = -\sum[(p_i) \times \log_2(p_i)]$  where  $p_i$ : proportion of species  $i$  in the total sample.
- Evenness index  $J' = H'/H_{max}$  (Pielou, 1966), where  $H_{max} = \log_2 S$  and  $S$  is the total number of species in the habitat.
- Seasonal frequency of occurrence (% Occ) defined as the proportion of months the species was caught in a given season.
- The Mean density of a species  $i$ ,  $D_i = (Q_i \times 100)/A$  expressed in individuals/100 m<sup>2</sup>, where  $Q_i$  is the number of individuals of species  $i$  per season and  $A$  is the sampled area (m<sup>2</sup>).

Fish species were assigned to functional groups according to their ecological and trophic guilds. For the Caroube beach, we



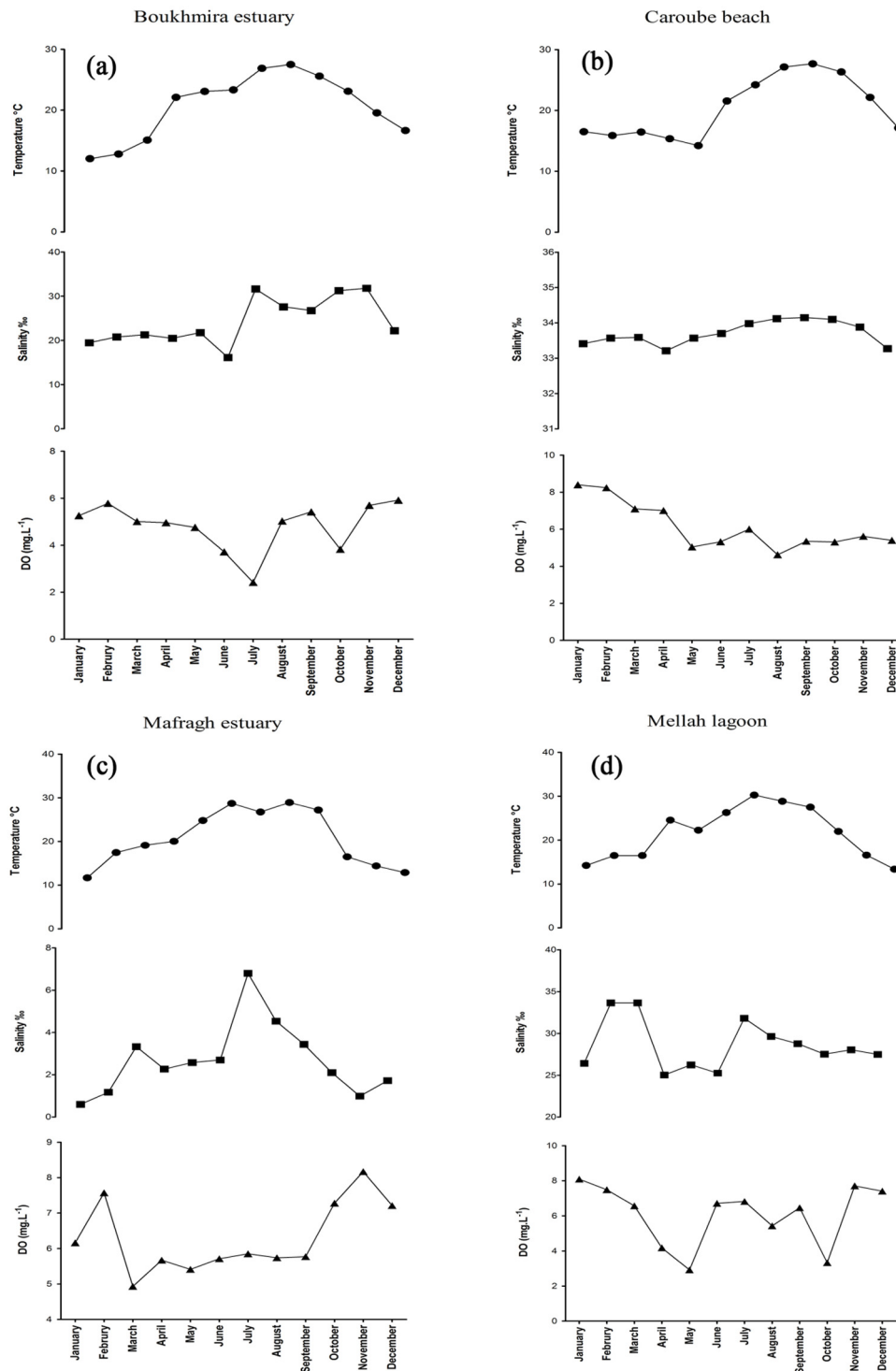
**Fig. 1.** Geographic location of the four habitats studied (a) and situation of the sampling points in each site (b).

used Fishbase data (Froese and Pauly, 2020). In the case of transitional waters (Boukhmira, Mafragh, Mellah), we followed Franco et al. (2012). Functional groups were assigned as follow for estuaries and lagoon: resident (R), marine migrant (MM), estuarine (ES), catadromous (CA), diadromous (D), marine seasonal migrant (MS), freshwater species (F) and for marine site: seagrass resident (SR), juvenile migrant (JM) occasional visitor (Ov). According to trophic guilds, the species have been classified as follows: Herbivorous (H), hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivorous (DV), macrobenthivorous (Bma), microbenthivorous

(Bmi), omnivorous (OV), hyperbenthivorous/piscivorous (HP), planktivorous (P).

To analyze the temporal variations of the fish assemblages in the four habitats, seasons were aggregated into three-month groups: winter (December, January, February), spring (March, April, May), summer (June, July, August), autumn (September, October, November). Multivariate analysis was performed with PRIMER software (version 6.1.16) using Hierarchical cluster analysis (HCA) in order to highlight the structure of the fish assemblages. Matrix of species abundances for each site was square-root transformed to reduce the effect of the important





**Fig. 2.** Monthly variations of temperature, salinity and dissolved oxygen in the four habitats studied (a: Caroube beach, b: Boukhmira estuary, c: Mafragh estuary, d: Mellah lagoon).

abundances and to take into account the lowest ones. This analysis was used to investigate the similarity between the seasons at all sites. SIMPER analysis was used to calculate the contribution of each species to the similarity and dissimilarity between each two groups. It is calculated from the Bray–Curtis similarity matrix. A Canonical Correspondence Analysis (CCA) was performed using R software (Venables and Smith, 2005) in order to study the influence of the abiotic variables (temperature, salinity, dissolved oxygen) on spatiotemporal fish distribution.

### 3. Results

#### 3.1. Environmental variables

Monthly variations of the abiotic parameters in the four habitats are shown in Fig. 2. The lowest temperature was recorded in January in Boukhmira, Mafragh and Mellah. (12.3 °C, 11.6 °C and 10.4 °C respectively), while at the Caroube beach, the lowest value was recorded in May (14.2 °C). Salinity ranged from 33.2

**Table 1**List of fishes caught in Caroube beach with their mean seasonal densities (D: ind.100 m<sup>-2</sup>), seasonal occurrences (%Occ), ecological and feeding guilds.

| Family       | Species                            | Code   | Habitat use | Feeding mode | Winter |       | Spring |        | Summer |       | Autumn |        |
|--------------|------------------------------------|--------|-------------|--------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
|              |                                    |        |             |              | D.     | Occ.  | D.     | Occ.   | D.     | Occ.  | D.     | Occ.   |
| Atherinidae  | <i>Atherina boyeri</i>             | Aboy   | Ov          | HZ           | 0.76   | 33.33 | 3.20   | 66.67  | 0.00   | 0.00  | 12.29  | 33.33  |
|              | <i>Atherina punctate</i>           | Apun   | Ov          | HZ           | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 43.76  | 66.67  |
| Blennidae    | <i>Parablennius pilicornis</i>     | Ppil   | Ov          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.54   | 33.33  | 0.20   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
| Carangidae   | <i>Trachinotus ovatus</i>          | Tova   | SR          | Bma          | 2.33   | 0.00  | 3.51   | 0.00   | 2.46   | 33.33 | 0.10   | 33.33  |
| Clupeidae    | <i>sardinella pilchardus</i>       | Spil   | JM          | P            | 0.00   | 0.00  | 0.57   | 0.00   | 1.60   | 33.33 | 0.33   | 0.00   |
|              | <i>Sardinella aurita</i>           | Saur   | JM          | P            | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 33.33  | 0.14   | 66.67 | 3.43   | 0.00   |
| Gobiidae     | <i>Gobius niger</i>                | Gnig   | Ov          | Bmi          | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.06   | 33.33 | 0.10   | 33.33  |
|              | <i>Gobius bucchichi</i>            | Gbuc   | Ov          | Bmi          | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 1.2    | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Gobius geniporus</i>            | Ggen   | Ov          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.03   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Gobius sp</i>                   | Gobsp  |             |              | 1.00   | 66.67 | 0.06   | 33.33  | 0.06   | 33.33 | 0.05   | 33.33  |
|              | <i>Pomatoschistus sp</i>           | Psp    |             |              | 0.00   | 0.00  | 0.03   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   |
| Labridae     | <i>Symphodus tinca</i>             | Stin   | SR          | Bma          | 0.24   | 66.67 | 0.17   | 33.33  | 1.31   | 66.67 | 6.10   | 66.67  |
|              | <i>Symphodus cinereus</i>          | Scin   | SR          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.03   | 33.33  | 0.03   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Symphodus melops</i>            | Smel   | SR          | Bma          | 0.76   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Symphodus ocellatus</i>         | Socell | SR          | Bma          | 1.24   | 33.33 | 0.17   | 33.33  | 0.31   | 33.33 | 1.52   | 66.67  |
|              | <i>Symphodus rostratus</i>         | Sros   | SR          | Bma          | 0.05   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Symphodus roissali</i>          | Sroi   | Ov          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.06   | 33.33  | 0.31   | 33.33 | 0.24   | 66.67  |
|              | <i>Coris julis</i>                 | Cjul   | SR          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.03   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
| Moronidae    | <i>Dicentrarchus labrax</i>        | Dlab   | Ov          | HZ, HP       | 0.00   | 0.00  | 0.11   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   |
| Mugilidae    | <i>Liza saliens</i>                | Lsal   | JM          | H, DV        | 0.00   | 0.00  | 0.74   | 66.67  | 0.29   | 33.33 | 3.43   | 66.67  |
|              | <i>Liza aurata</i>                 | Laur   | JM          | DV, Bmi      | 2.33   | 33.33 | 3.51   | 66.67  | 2.46   | 66.67 | 0.10   | 33.33  |
|              | <i>Liza ramada</i>                 | Lram   | JM          | DV, Bmi      | 0.00   | 0.00  | 0.57   | 33.33  | 1.60   | 66.67 | 0.33   | 66.67  |
|              | <i>Oedalechilus labeo</i>          | Clabe  | Ov          | DV           | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.14   | 33.33 | 3.43   | 33.33  |
|              | <i>Chelon labrosus</i>             | Clab   | Ov          | HZ           | 0.00   | 0.00  | 0.46   | 33.33  | 1.14   | 33.33 | 3.86   | 100.00 |
|              | <i>Mugil cephalus</i>              | Mcep   | Ov          | DV, Bmi      | 0.00   | 0.00  | 0.03   | 33.33  | 0.51   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
| Mullidae     | <i>Mullus surmuletus</i>           | Msur   | JM          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.09   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Mullus barbatus</i>             | Mbar   | JM          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.23   | 66.67 | 0.00   | 0.00   |
| Scorpaenidae | <i>Scorpaena porcus</i>            | Spor   | Ov          | Bma, HZ      | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.26   | 66.67 | 0.00   | 0.00   |
| Serranidae   | <i>Serranus scriba</i>             | Sscr   | SR          | Bma          | 0.05   | 33.33 | 0.03   | 33.33  | 0.26   | 33.33 | 0.10   | 66.67  |
| Sparidae     | <i>Diplodus sargus sargus</i>      | Dsar   | JM          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.11   | 33.33  | 0.03   | 33.33 | 0.24   | 33.33  |
|              | <i>Spondylisoma cantharus</i>      | Scan   | JM          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.17   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Sparus aurata</i>               | Saur   | Ov          | Bmi, Bma     | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.03   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Diplodus vulgaris</i>           | Dvul   | JM          | Bma          | 0.00   | 0.00  | 0.26   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.05   | 33.33  |
|              | <i>Diplodus cervinus</i>           | Dcer   | Ov          | Bmi, HZ      | 0.19   | 33.33 | 0.43   | 33.33  | 0.09   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Diplodus puntazzo</i>           | Dpun   | Ov          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.31   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.05   | 33.33  |
|              | <i>Diplodus annularis</i>          | Dann   | SR          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.17   | 33.33  | 0.11   | 33.33 | 0.90   | 33.33  |
|              | <i>Sarpa salpa</i>                 | Ssal   | Ov          | H            | 0.00   | 0.00  | 0.86   | 66.67  | 0.00   | 0.00  | 0.05   | 33.33  |
|              | <i>Lithognathus mormyrus</i>       | Lmor   | Ov          | Bmi, Bma     | 0.00   | 0.00  | 0.03   | 33.33  | 0.17   | 33.33 | 0.10   | 33.33  |
|              | <i>Oblada melanura</i>             | Omel   | SR          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.29   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.10   | 33.33  |
|              | <i>Boops boops</i>                 | Bboo   | SR          | OV           | 21.00  | 33.33 | 23.63  | 100.00 | 0.17   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |
|              | <i>Syngnathus abaster</i>          | Saba   | Ov          | Bmi          | 0.00   | 0.00  | 0.03   | 33.33  | 0.20   | 66.67 | 0.00   | 0.00   |
| Syngnathidae | <i>Syngnathus typhle rondeleti</i> | Stron  | SR          | HZ           | 0.05   | 33.33 | 0.31   | 100.00 | 0.20   | 66.67 | 0.05   | 33.33  |
|              | <i>Nerophis ophidion</i>           | Nophi  | SR          | Bmi, HZ      | 0.10   | 33.33 | 0.11   | 33.33  | 0.14   | 33.33 | 0.00   | 0.00   |

Seagrass residents (SR), juvenile migrants (JM), occasional visitors (Ov), herbivorous (H), hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivorous (DV), macrobenthivorous (Bma), microbenthivorous (Bmi), omnivorous (OV), hyperbenthivorous/piscivorous (HP), planktivorous (P).

‰ in May to 34.1 ‰ in October in Caroube beach (mean  $\pm$  SD =  $33.71 \pm 0.33$ ), from 16.1 ‰ in June to 31.8 ‰ in November in Boukhmira ( $24.26 \pm 5.32$  ‰), from 0.6 ‰ in January to 6.8 ‰ in June in Mafragh ( $2.68 \pm 1.71$  ‰) and from 25 ‰ in April to 33.6 ‰ in August in Mellah ( $28.63 \pm 3.00$  ‰). At the Caroube beach, dissolved oxygen values ranged from 4.62 mg L<sup>-1</sup> in August to 8.4 mg L<sup>-1</sup> in January ( $6.11 \pm 1.26$  mg L<sup>-1</sup>), in Boukhmira from 2.42 mg L<sup>-1</sup> in July to 5.92 mg L<sup>-1</sup> in December ( $4.81 \pm 1.02$  mg L<sup>-1</sup>), from 4.93 mg L<sup>-1</sup> in March to 8.17 mg L<sup>-1</sup> in November in Mafragh ( $6.28 \pm 1$  mg L<sup>-1</sup>) and in Mellah it ranged from 2.92 mg L<sup>-1</sup> in May to 8.09 mg L<sup>-1</sup> in January ( $6.09 \pm 1.74$  mg L<sup>-1</sup>). The average water temperature showed significant variations between seasons ( $P = 0.00016$ ), but it does not vary between sites ( $P = 0.991$ ). No variation of salinity was noted between seasons ( $P = 0.986$ ), but it varies between sites ( $P = 5.67 \times 10^{-9}$ ). Dissolved oxygen concentration does not vary according to the seasons or the sites with respectively ( $P = 0.134$  and  $P = 0.204$ ).

### 3.2. Fish species composition

During the four seasons, a total of 13 240 fishes were sampled in the 4 sites together. They are spread over 19 families and 53 species (Tables 1 to 4). At the Caroube beach (Table 1), 4148 fish were caught counting 43 species belonging to 13 families; the most abundant were Atherinidae (35.68%), Sparidae (29.45%) and Mugilidae (15.41%). In the Boukhmira estuary (Table 2), 1452 fish belonging to 11 families represented by 20 species were caught; the most represented family was Mugilidae (71.96%). In the Mafragh estuary (Table 3), we sampled 1218 specimens represented by 15 species belonging to 9 families, whose Gobiidae (52.76%), Atherinidae (23.77%) and Mugilidae (21.04%) are the most present. In the Mellah lagoon (Table 4), 6422 fish were caught comprising 14 species belonging to 8 families; *Atherina boyeri* was the dominant species (89.93%).

Seasonal variations in specific richness and fish density are shown in Fig. 3. At the Caroube beach, the specific richness is high in summer (32 species;  $H' = 3.87$ ,  $J' = 0.77$ ) and spring (30;  $H' = 2.44$ ,  $J' = 0.49$ ) compared to autumn (24;  $H' = 2.36$ ,  $J' = 0.51$ ) and winter (13;  $H' = 1.72$ ,  $J' = 0.46$ ). In the Boukhmira estuary,

**Table 2**List of fishes caught in Boukhmira estuary with their mean seasonal densities (D: ind.100 m<sup>-2</sup>), seasonal occurrences (%Occ), ecological and feeding guilds.

| Family          | Species                       | Code | Habitat use | Feeding mode | Winter |        | Spring |       | Summer |        | Autumn |        |
|-----------------|-------------------------------|------|-------------|--------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                               |      |             |              | D.     | Occ.   | D.     | Occ.  | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   |
| Atherinidae     | <i>Atherina boyeri</i>        | Aboy | ES          | HZ           | 0.81   | 33.33  | 1.62   | 66.67 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Anguillidae     | <i>Anguilla anguilla</i>      | Aang | CA          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.24   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
| Clupeidae       | <i>Clupeidae n.i</i>          | Clu  | MM          | P            | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.05   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
| Cyprinidae      | <i>Carassius carassius</i>    | Cara | F           | OV           | 0.05   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Cyprinodontidae | <i>Aphanius fasciatus</i>     | Afas | ES          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.90   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Gobiidae        | <i>Gobius niger</i>           | Gnig | ES          | Bmi, HP      | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.05   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Pomatoschistus sp</i>      | Psp  | ES          | Bmi          | 8.10   | 66.67  | 0.05   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Moronidae       | <i>Dicentrarchus labrax</i>   | Dlab | MM          | HZ, HP       | 0.00   | 0.00   | 3.14   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Liza saliens</i>           | Lsal | MM          | H, DV        | 1.86   | 100.00 | 0.29   | 33.33 | 10.95  | 100.00 | 15.48  | 100.00 |
|                 | <i>Liza aurata</i>            | Laur | MM          | DV,Bmi       | 8.05   | 100.00 | 1.48   | 33.33 | 0.29   | 66.67  | 0.48   | 66.67  |
| Mugilidae       | <i>Liza ramada</i>            | Lram | D           | DV,Bmi       | 2.62   | 66.67  | 1.62   | 33.33 | 0.24   | 66.67  | 1.52   | 100.00 |
|                 | <i>Chelon labrosus</i>        | Clab | MM          | HZ           | 1.43   | 33.33  | 0.05   | 33.33 | 0.52   | 100.00 | 0.86   | 66.67  |
|                 | <i>Mugil cephalus</i>         | Mcep | D           | DV,Bmi       | 0.14   | 66.67  | 0.00   | 0.00  | 0.19   | 66.67  | 0.00   | 0.00   |
| Poecilidae      | <i>Gombusia affinis</i>       | Gaff | ES          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.10   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Soleidae        | <i>Solea solea</i>            | Sol  | MM          | Bmi,Bma      | 0.24   | 66.67  | 0.95   | 66.67 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Diplodus puntazzo</i>      | Dpun | MS          | OV           | 0.29   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Pagellus bogaraveo</i>     | Pbog | MS          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.38   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Sparidae        | <i>Sarpa salpa</i>            | Ssal | MS          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.33   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Diplodus sargus sargus</i> | Dsar | MS          | OV           | 0.00   | 0.00   | 1.24   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Spondylisoma cantharus</i> | Scan | MS          | OV           | 0.19   | 33.33  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

Marine migrants (MM), estuarines (ES), catadromous (CA), diadromous (D), marine seasonal migrants (MS), freshwater species (F), hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivorous (DV), macrobenthivorous (Bma), microbenthivorous (Bmi), omnivorous (OV), hyperbenthivorous/piscivorous (HP).

**Table 3**List of fishes caught in Mafragh estuary with their mean seasonal densities (D: ind.100 m<sup>-2</sup>), seasonal occurrences (%Occ), ecological and feeding guilds.

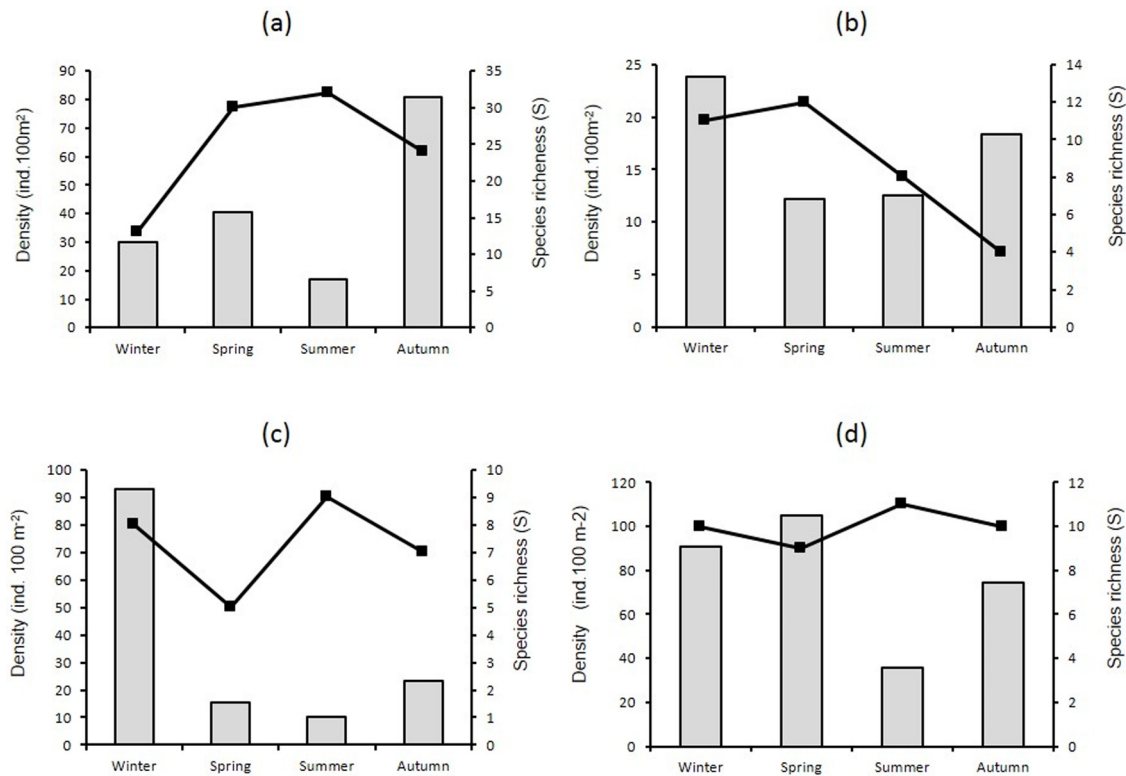
| Family          | Species                    | Code  | Habitat use | Feeding mode | Winter |        | Spring |        | Summer |        | Autumn |        |
|-----------------|----------------------------|-------|-------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                            |       |             |              | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   |
| Atherinidae     | <i>Atherina boyeri</i>     | Aboy  | ES          | HZ           | 6.52   | 33.33  | 3.21   | 66.67  | 3.43   | 33.33  | 20.57  | 100.00 |
| Anguillidae     | <i>Anguilla anguilla</i>   | Aang  | CA          | OV           | 0.67   | 66.67  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Cyprinidae      | <i>Cyprinus carpio</i>     | Ccar  | F           | HZ           | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.10   | 33.33  | 0.05   | 33.33  |
|                 | <i>Carassius carassius</i> | Ccar  | F           | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 1.81   | 66.67  | 0.00   | 0.00   |
| Cyprinodontidae | <i>Aphanius fasciatus</i>  | Afas  | ES          | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.19   | 33.33  |
| Gobiidae        | <i>Pomatoschistus sp</i>   | Psp   | ES          | Bmi          | 61.57  | 66.67  | 11.29  | 100.00 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Gobius sp</i>           | Gobsp | ES          | Bmi          | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.05   | 33.33  | 1.95   | 33.33  |
|                 | <i>Liza saliens</i>        | Lsal  | MM          | H, DV        | 1.43   | 100.00 | 0.50   | 66.67  | 3.24   | 100.00 | 0.52   | 66.67  |
|                 | <i>Liza aurata</i>         | Laur  | MM          | DV, Bmi      | 13.00  | 66.67  | 0.43   | 66.67  | 0.10   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
| Mugilidae       | <i>Liza ramada</i>         | Lram  | D           | DV, Bmi      | 8.67   | 33.33  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Chelon labrosus</i>     | Clab  | MM          | HZ           | 0.52   | 66.67  | 0.00   | 0.00   | 0.90   | 100.00 | 0.05   | 33.33  |
|                 | <i>Mugil cephalus</i>      | Mcep  | D           | DV, Bmi      | 0.43   | 66.67  | 0.07   | 33.33  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Poecilidae      | <i>Gombusia affinis</i>    | Gaff  | F           | OV           | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.04   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
| Sparidae        | <i>Sparus aurata</i>       | Saur  | MS          | Bmi, Bma     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.05   | 33.33  |
| Syngnathidae    | <i>Syngnathus abaster</i>  | Saba  | ES          | Bmi          | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.52   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |

Marine migrants (MM), estuarines (ES), catadromous (CA), diadromous (D), marine seasonal migrants (MS), freshwater species (F), hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivorous (DV), macrobenthivorous (Bma), microbenthivorous (Bmi), omnivorous (OV).

**Table 4**List of fishes caught in Mellah lagoon with their mean seasonal densities (D: ind.100 m<sup>-2</sup>), seasonal occurrences (%Occ), ecological and feeding guilds.

| Family          | Species                       | Code | Habitat use | Feeding mode | Winter |       | Spring |        | Summer |        | Autumn |        |
|-----------------|-------------------------------|------|-------------|--------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                               |      |             |              | D.     | Occ.  | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   | D.     | Occ.   |
| Atherinidae     | <i>Atherina boyeri</i>        | Aboy | R           | HZ           | 81.48  | 66.67 | 97.90  | 100.00 | 27.00  | 100.00 | 68.62  | 100.00 |
| Blennidae       | <i>Salaria pavo</i>           | Lpav | MM          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.27   | 33.33  | 0.00   | 0.00   |
| Cyprinodontidae | <i>Aphanius fasciatus</i>     | Afas | R           | OV           | 0.90   | 66.67 | 1.81   | 100.00 | 5.71   | 66.67  | 1.33   | 100.00 |
| Gobiidae        | <i>Pomatoschistus sp</i>      | Psp  | R           | Bmi          | 0.10   | 33.33 | 0.00   | 0.00   | 0.10   | 0.33   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Gobius niger</i>           | Gnig | R           | Bmi          | 0.30   | 33.33 | 0.33   | 33.33  | 0.14   | 33.33  | 0.71   | 100.00 |
| Hemiramphidae   | <i>Hyporhamphus picarti</i>   | Hpic | MM          | H            | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.05   | 33.33  |
|                 | <i>Liza saliens</i>           | Lsal | MM          | H, DV        | 5.00   | 66.67 | 0.38   | 33.33  | 0.43   | 33.33  | 2.14   | 100.00 |
|                 | <i>Liza aurata</i>            | Laur | MM          | DV, Bmi      | 0.19   | 66.67 | 0.33   | 66.67  | 0.05   | 33.33  | 0.05   | 33.33  |
| Mugilidae       | <i>Liza ramada</i>            | Lram | D           | DV, Bmi      | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.10   | 33.33  | 0.10   | 33.33  |
|                 | <i>Chelon labrosus</i>        | Clab | MM          | HZ           | 0.10   | 66.67 | 0.00   | 0.00   | 0.62   | 66.67  | 0.33   | 33.33  |
|                 | <i>Mugil cephalus</i>         | Mcep | D           | DV, Bmi      | 1.43   | 66.67 | 0.10   | 66.67  | 0.62   | 66.67  | 0.57   | 33.33  |
| Sparidae        | <i>Diplodus puntazzo</i>      | Dpun | MS          | OV           | 0.05   | 33.33 | 0.19   | 33.33  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
|                 | <i>Diplodus sargus sargus</i> | Dsar | MS          | OV           | 0.00   | 0.00  | 0.76   | 33.33  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Syngnathidae    | <i>Syngnathus abaster</i>     | Saba | R           | Bmi          | 1.10   | 66.67 | 3.00   | 66.67  | 0.86   | 66.67  | 0.52   | 100.00 |

Resident (R), marine migrants (MM), estuarines (ES), diadromous (D), marine seasonal migrants (MS), hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivorous (DV), macrobenthivorous (Bma), microbenthivorous (Bmi), omnivorous (OV).



**Fig. 3.** Seasonal variations of fish species richness and densities in Caroube beach (a), Boukhmira wadi (b), Mafragh estuary (c), Mellah lagoon (d). Density expressed with gray bars and specific richness with black square points.

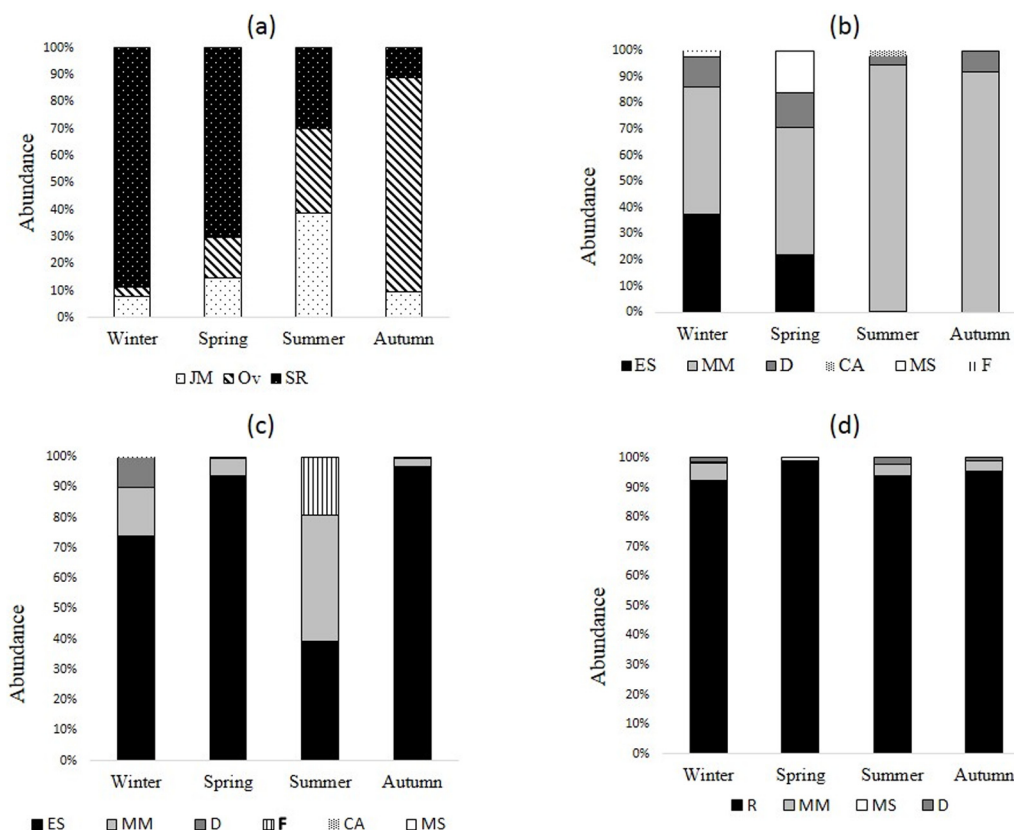
12 species have been listed in spring ( $H' = 3.09$ ,  $J' = 0.86$ ), 11 in winter ( $H' = 2.22$ ,  $J' = 0.64$ ), 8 in summer ( $H' = 0.86$ ,  $J' = 0.28$ ) and 4 in autumn ( $H' = 0.84$ ,  $J' = 0.42$ ). In the Mafragh estuary, 9 species were found in summer ( $H' = 2.22$ ,  $J' = 0.70$ ) and 8 species during winter ( $H' = 1.60$ ,  $J' = 0.53$ ), 7 in autumn ( $H' = 0.69$ ,  $J' = 0.24$ ) and 5 in Spring ( $H' = 1.14$ ,  $J' = 0.49$ ). In the Mellah lagoon, 11 species were recorded in summer ( $H' = 1.28$ ,  $J' = 0.37$ ), 10 in winter ( $H' = 0.68$ ,  $J' = 0.20$ ), 10 in autumn ( $H' = 0.58$ ,  $J' = 0.17$ ) and 9 in spring ( $H' = 0.49$ ,  $J' = 0.15$ ). Regarding fish density (Fig. 3), it goes from 16.94 individuals/100 m<sup>2</sup> in summer to 80.71 individuals/100 m<sup>2</sup> in autumn at Caroube beach. At Boukhmira, it increases from spring to winter (12.15, 12.53, 18.34, 23.78 individuals/100 m<sup>2</sup> respectively). At Mafragh, the lowest density is at summer (10.19 individuals/100 m<sup>2</sup>) followed by spring (15.50 individuals/100 m<sup>2</sup>), autumn (23.38 individuals/100 m<sup>2</sup>) and winter (92.81 individual/100 m<sup>2</sup>). At Mellah, the lowest density is also in summer (35.9 individual/100 m<sup>2</sup>) and the highest in spring (104.8 individuals/100 m<sup>2</sup>). According to the ecological guild (Fig. 4), the Caroube beach is mostly occupied by seagrass residents during winter and spring with 88.72% and 70.31% respectively. During the autumn, the site is occupied by occasional visitors with 79.19%, this dominance decreases in summer 31.63% and we note the presence of juvenile migrants with 38.62% and seagrass residents with 29.73%. The Boukhmira estuary is widely inhabited by marine migrants (48.64%), estuarine species (37.46%) and diadromous species (11.60%) during winter. During spring, it is unevenly shared between marine migrant species (48.62%), estuarine (21.97%), marine seasonal migrants (16.04%) and diadromous species (13.33%). Marine migrants dominate again in summer and autumn (94.25% and 91.71% respectively). The Mafragh estuary is mainly populated by estuarine fish (73.36% in winter, 93.54% in spring, 39.19% in summer and 97.13% in autumn). In summer, marine migrant (42.04%) and freshwater (19.15%) species arrive. In the Mellah lagoon, resident species are

almost exclusive during all seasons (between 92.53% in winter and 98.32% in spring).

According to the feeding guild (Fig. 5), winter and spring are characterized at the Caroube beach by a dominance of omnivorous species (72.16% and 62.11% respectively), while detritivorous/microbenthivores dominate in summer (38.92%) and hyperbenthivorous/zooplanktivorous in autumn (74.33%). In Boukhmira, in winter detritivorous/microbenthivores and microbenthivorous dominate with 45.45% and 34.06% respectively. In spring, the assemblage is composed of hyperbenthivorous/zooplanktivorous and hyperbenthivorous/piscivores (25.84%), detritivorous and microbenthivorous (25.51%), omnivorous (24.28%) and hyperbenthivorous/zooplanktivorous (13.74%). During summer and autumn, Herbivorous/detritivorous group dominate the assemblage with 87.39% and 84.40% respectively. In Mafragh we found mostly microbenthivorous species in winter and spring (66.33% and 72.83% respectively). Hyperbenthivorous/zooplanktivorous (43.51%) and herbivorous/detritivorous (31.82%) are the most present in summer, whereas the hyperbenthivorous/zooplanktivorous group dominate in autumn (88.40%). Mellah lagoon is mainly occupied by Hyperbenthivorous/Zooplanktivorous species throughout the year (between 76.94% in summer and 93.42% in spring).

### 3.3. Temporal and inter-habitat variations in fish assemblages

Hierarchical cluster analysis between seasons in the four localities has shown, at 31% similarity, three principal groups (Fig. 6). The first group (G1) is represented by the 4 seasons in the marine site. The second one (G2) include all the seasons of the Boukhmira estuary, the spring of the Mellah lagoon and Mafragh estuary, the summer of Mellah and the winter of Mafragh. The third group (G3) includes the autumn and summer of Mafragh estuary and the autumn and winter of the Mellah lagoon.



**Fig. 4.** Abundance of the different ecological guilds according to seasons in the four studied sites expressed as a percentage. Caroube beach (a), Boukhmira wadi (b), Mafragh estuary (c), Mellah lagoon (d). Estuarine (ES), marine migrants (MM), freshwater species (F), residents (R), seagrass residents (SR), juvenile migrants (JM), Occasional visitors (Ov) Marine seasonal migrants (MS).

**Table 5**  
SIMPER analysis showing average similarity percentages within groups.

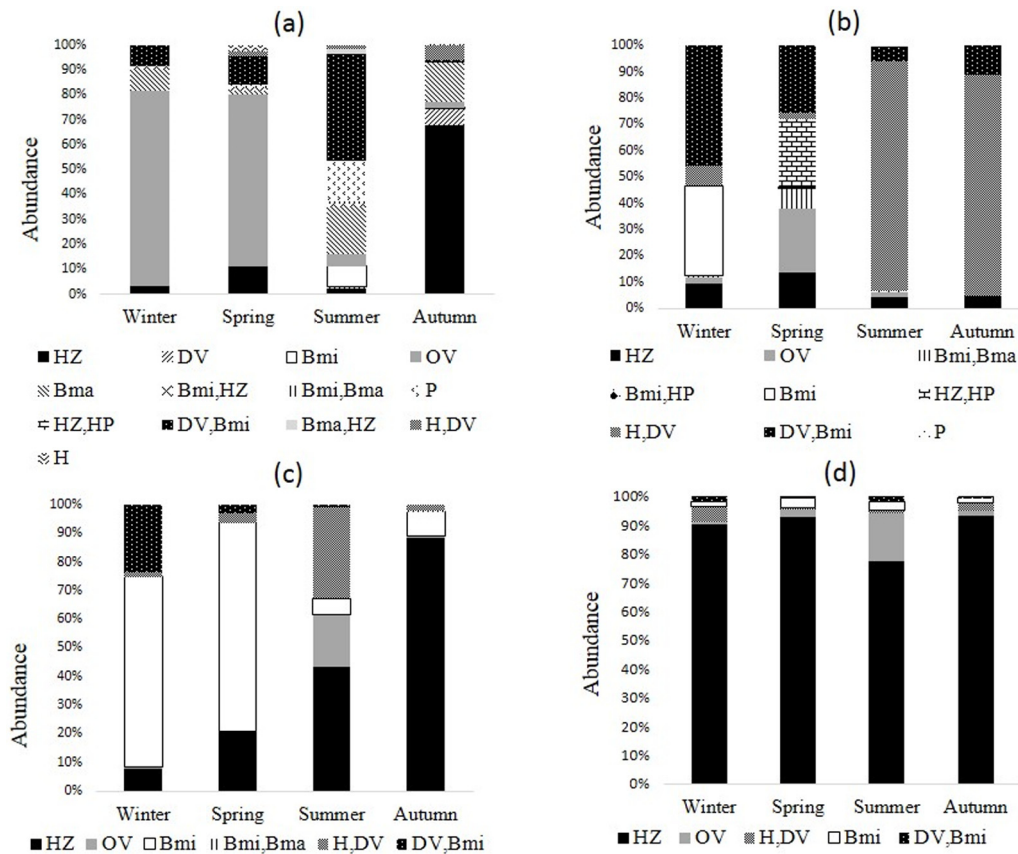
| Groups | Average .similarity | Species                    | > 5% contributing species |                           |
|--------|---------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|        |                     |                            | Average abundance         | Similarity contribution % |
| G1     | 35.39%              | <i>Liza aurata</i>         | 7.19                      | 13.26                     |
|        |                     | <i>Boops boops</i>         | 13.05                     | 13.15                     |
|        |                     | <i>Symphodus ocellatus</i> | 4.13                      | 9.32                      |
|        |                     | <i>Symphodus tinca</i>     | 5.7                       | 8.47                      |
|        |                     | <i>Atherina boyeri</i>     | 7.66                      | 8.37                      |
|        |                     | <i>Chelon labrosus</i>     | 5.55                      | 6.97                      |
| G2     | 50.39%              | <i>Liza saliens</i>        | 11.57                     | 39.31                     |
|        |                     | <i>Liza ramada</i>         | 5.07                      | 21.34                     |
|        |                     | <i>Liza aurata</i>         | 4.57                      | 16.99                     |
|        |                     | <i>Pomatoschistus sp</i>   | 5.4                       | 5.7                       |
|        |                     | <i>Chelon labrosus</i>     | 2.06                      | 5.13                      |
| G3     | 38.84%              | <i>Atherina boyeri</i>     | 21.62                     | 54.28                     |
|        |                     | <i>Liza saliens</i>        | 7.17                      | 20.01                     |
|        |                     | <i>Chelon labrosus</i>     | 4.19                      | 7.63                      |

According to SIMPER analysis, the similarity in the first group is 35.39%, with a large contribution of both *L. aurata* and *B. boops* with 13.26% and 13.15% respectively. The second group shows a similarity of 50.39% with a large contribution of *L. saliens* (39.31%), *L. ramada* (21.34%) and *L. aurata* (16.99%). In the third group, the similarity is 38.84%, with two major contributors: *A. boyeri* (54.28%) and *L. saliens* (20.01%) (Table 5).

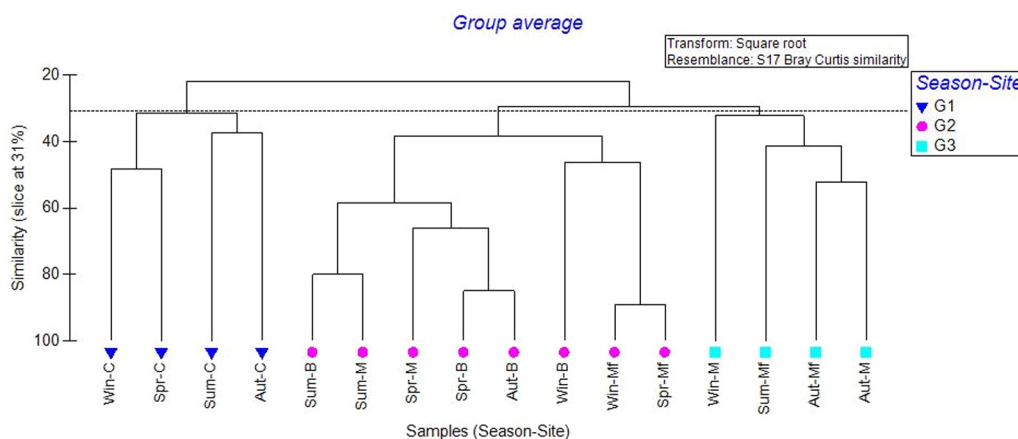
Canonical correspondence analysis (CCA) (Fig. 7) shows that environmental parameters (temperature, salinity, dissolved oxygen, nature of the bottom) influence the seasonal fish community distribution at a significant rate of 48.26%. The first two canonical axes (CCA1 and CCA2) explain together 79.98% of the variance (46.18% and 33.79% respectively) (Table 6). CCA plotting indicates a spatial separation, where the seasons of each site are close to

each other. The winter of Boukhmira is detached from the other seasons of the site to join the summer of Mafragh estuary. The spring and the summer of Mellah join the three other seasons of Boukhmira. The winter of Mellah joins the winter and the spring of Mafragh which are almost superimposed. It is the same for the autumn of Mellah and the autumn of Mafragh. Temperature, salinity and dissolved oxygen parameters are represented each by a vector whose length shows its influence. Seagrass resident species (SR: *syngnathus typhle rondeleti*, *Serranus scriba*, *Boops boops*) were plotted close to the salinity vector which shows a great relationship between these exclusive marine species and the salinity. Species located near to the origin are either not influenced by any of the environmental variables or are found at average value of them (case of *Liza aurata*). two factors have a





**Fig. 5.** Abundance of the different trophic guilds according to seasons in the four studied habitats. Caroube beach (a), Boukhmira wadi (b), Mafragh estuary (c), Mellah lagoon (d). H: Herbivorous, hyperbenthivorous/zooplanktivorous (HZ), detritivors (DV), macrobenthivors (Bma), microbenthivors (Bmi), omnivors (OV), hyperbenthivorous/piscivores (HP), planktivorous (P).



**Fig. 6.** Seasonal Hierarchical Cluster Analysis between all sites. Seasons: Winter (Win), Spring (Spr), Summer (Sum), Autumn (Aut). Sites: Caroube beach (C), Boukhmira wadi (B), Mafragh estuary (Mf), Mellah lagoon (M).

significant influence on the variation of the fish assemblage, the first one is the nature of the bottom (ANOVA,  $P = 0.007$ ) followed by the temperature (ANOVA,  $P = 0.047$ ).

#### 4. Discussion

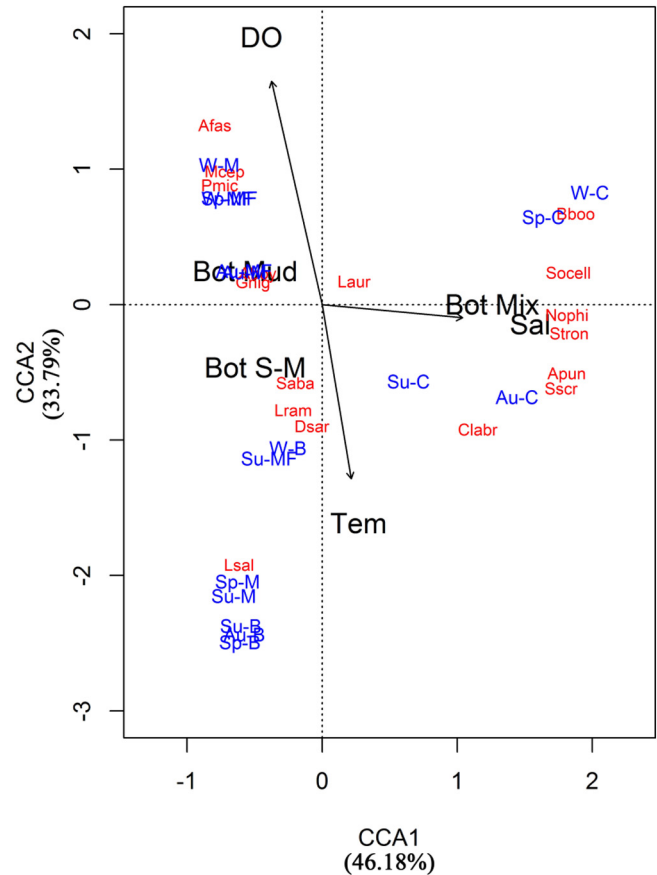
This work is an update of the researches carried out in La Caroube beach (Hannachi et al., 2014; Boubekour et al., 2018) and in Mellah lagoon (Chaoui et al., 2006; Embarek et al., 2017). It constitutes a  $t_0$  for Boukhmira and Mafragh estuaries. Usually, fish assemblage works concerns a specific environment (e.g. coastal

marine environment, lagoon, estuary), but the comparison of the spatio-temporal structuring of fish populations of the 3 types of coastal ecosystems at a limited regional scale has not been investigated. The exception is the work of Andrade-Tubino et al. (2019) on the coast of Rio de Janeiro (Brazil) which made this comparison but took into account only two seasons (summer and winter).

Due to some differences in census methods, destructive (gill-net, trawls, beach seine) and non-destructive (visual counting, acoustic telemetry, underwater video), sampling efforts and local

**Table 6**  
Statistics associated with the first two canonical axes from canonical correlation analysis.

|                                                  | CCA1     | CCA2      |
|--------------------------------------------------|----------|-----------|
| Canonical correlation                            | 0.68     | 0.5       |
| Percent of variance explained                    | 46.18%   | 33.79%    |
| Standardized correlation with environmental axis |          |           |
| Temperature                                      | 0.09872  | −0.69286  |
| Salinity                                         | 0.47911  | −0.05203  |
| Dissolved oxygen                                 | −0.17292 | 0.88879   |
| Muddy bottom                                     | −0.62529 | 0.32043   |
| Sandy–Muddy bottom                               | −0.34023 | −0.37324  |
| Centroids for factors                            |          |           |
| Mixed bottomMuddy bottom                         | 1.5214   | 0.004393  |
|                                                  | −0.6875  | 0.352306  |
| Sandy–Muddy bottom                               | −0.5951  | −0.652842 |



**Fig. 7.** Triplot of canonical correspondence analysis relating site score, fish species densities and abiotic variables correlated with axes. Season-site sampling is represented in blue color with: Winter (W), Spring (Sp), Summer (Su), Autumn (Au), La Caroube beach (C), Boukhmira wadi (B), Mafragh estuary (MF), Mellah lagoon (M). Species are plotted by species codes in red color. Quantitative explanatory variables (environmental variables; Tem: temperature, Sal: salinity, DO: dissolved oxygen) are represented by arrows. Qualitative explanatory variable (nature of the bottom; Bot Mix: Mixed bottom, Bot S-M: Sandy–Muddy bottom, Bot Mud: Muddy bottom).

environmental specificities, it was difficult to compare the specific or family richness, the abundances, and the biomasses of the caught species. The action, sometimes combined, of these factors could strongly bias the results. This question has been raised by many authors in coastal (Harmelin-Vivien et al., 1985; Harmelin-Vivien and Francour, 1992; Stobart et al., 2007; Hannachi et al., 2014; Boubekour et al., 2018) and transitional waters (Selleslagh and Amara, 2008; Selleslagh et al., 2009; Franco et al., 2012; Embarek et al., 2017, 2019; Selfati et al., 2019).

At the Caroube beach, 43 species were identified. This is higher than what was obtained by (Hannachi et al., 2014) ( $S = 38$ ) in several localities in eastern Algeria, and in the same site by (Boubekour et al., 2018) (27 species), all using a beach seine. Using different fishing gears, the number of species recorded in the Mediterranean shallow marine coastal waters varies according to the authors between 19 within the herbarium of the Port-Cros National Park (visual counting diving; Francour and Harmelin, 1988) and 88 on the posidonia meadows of the Rhodes coast (Danish Seine; Kalogirou et al., 2010). Fish assemblage at the Caroube beach is dominated by *B. boops* (26.63% of the total catches) and *Atherina punctata* (26.02%), confirming the results of (Boubekour et al., 2018) in the same area. *B. boops* was also the second dominant species (28%) in Rhodes, Greece (Kalogirou et al., 2010). Diversity index and equitability ranged among seasons ( $1.72 < H' < 3.87$ ,  $0.46 < J' < 0.77$ ), and showed superior values to those obtained in previous work done in the Gulf of Annaba:  $0.1 < H' < 3.7$ ,  $0.1 < J' < 0.7$  (Hannachi et al., 2014),  $0.38 < H' < 3.05$ ,  $0.1 < J' < 0.78$  (Boubekour et al., 2018). The lowest values in autumn would be explained by the large abundance of *A. boyeri* and *A. punctata*. Seagrass resident group dominance in winter and spring (88.72% and 70.31% respectively) is due to the abundance of *B. boops* that spawn between February and June in Algeria (Tsikliras et al., 2010). This species is also responsible for the dominance of omnivorous trophic guild during the same seasons.

Ichthyofauna of Boukhmira and Mafragh estuaries was studied for the first time. In Boukhmira, 20 species were listed, mainly Mugilidae with a dominance of *L. saliens* (83.77%). Fifteen species were recorded in Mafragh with a dominance of *Pomatoschistus* sp (51.35%) and *A. boyeri* (23.77%). Using gillnet, (Innal, 2016) caught 27 species at Aksu stream in Turkey. With a trammel net, 42 species were recorded in Koycegiz lake, Turkey (Akin et al., 2005) and 47 were inventoried in the Kastic Zrmanja River in Croatia (Matic-Skoko et al., 2007). In Boukhmira, the diversity index showed a peak during spring ( $H' = 3.09$ ), reflecting its nursery role for several species. The lowest value recorded in autumn is explained by the dominance of mugilidae, especially *Liza saliens*. Different ecological guilds were encountered during spring (estuarine, marine migrants, diadromous, marine seasonal migrants). However, in summer and autumn, *L. saliens* dominate, whereas in winter, the estuary is colonized by *L. aurata* and estuarine species, in particular *Pomatoschistus* sp. Microbenthivorous (*Pomatoschistus* sp) and detritivorous/ microbenthivorous (especially *L. aurata*) trophic guilds dominate in winter. The abundance of juveniles of *L. aurata* during this season follows the spawning of this species, recorded in October–November on the Algerian coasts. In spring, several trophic groups share the site, but mostly the hyperbenthivorous/zooplanktivorous and hyperbenthivorous/piscivores *D. labrax* whose egg-laying takes place from December to March (Kara, 1997). In summer and autumn, the dominance of the

herbivorous/detritivorous group is due to the strong abundance of *L. saliens* (87.46% and 84.4% respectively).

In Mafragh, the diversity index reached its maximum in summer ( $H' = 2.22$ ) when the marine water intrusion increased (Khélifi-Touhami et al., 2006) allowing many marine fish species to enter the estuary. This area is mainly occupied by estuarine group, except in summer when marine migrants arrive. This season is also characterized by the presence of freshwater group, in particular *C. carrasius* which goes down along the river probably looking for resources. Exclusively represented by *Pomatoschistus* genus, the microbenthivorous group is the most abundant trophic guild in spring and winter. This would not be the result of variations in environmental conditions which do not change much in this site, but rather that of the availability of preferential prey (polychaetes, mysids, isopods) or of recruitment as is the case in the Mondego estuary in Portugal (Leitão et al., 2007).

Mellah lagoon showed a relatively low fish diversity (14 species,  $0.49 < H' < 1.28$ ,  $0.15 < J' < 0.37$ ), but more than what Embarek et al. (2017) found (11 species) using the same fishing gear in the same site. Chaoui et al. (2006) identified 38 species there by exploring the commercial fishery products (bordigue, trammel nets) and scientific fisheries carried out using beach seine. Pérez-Ruzafa et al. (2007) reports an average of 23.4 species (6–48) in 40 Atlanto-Mediterranean lagoons. From 97 surveys conducted in 45 Mediterranean lagoons, Kara and Quignard (2019) identified 25 sedentary and 22 migratory species. The clogging of the channel which connects Mellah lagoon to the sea, led to reduce water exchanges (Ounissi et al., 2002) and to limit the movements, both passive and active, of animals. In this lagoon, estuarine ecological guild and hyperbenthivorous/zooplanktivorous trophic guild dominates the assemblage in all seasons with a strong representation of *A. boyeri*.

The seasonal variations in the composition and the structure of ichthyological communities that we have highlighted in the different types of habitats are already known, both in coastal marine spaces (Hannachi et al., 2014; Boubekeur et al., 2018) and in transitional waters (Jaafour et al., 2015; Embarek et al., 2017). They result from the reproduction seasonality of the different species (Verdiell-Cubedo et al., 2008), the chronology of anadromic migrations of larvae or juveniles (recruitment) (Rountree and Able, 2007) and the importance of the communication with the sea in the case of estuaries and lagoons. This means that the fish distribution profiles, as well as the sources of such variabilities, should be taken into consideration, especially when designing sampling strategies to assess anthropic impact.

Hierarchical Cluster Analysis (HCA) separates transitional waters (lagoon and estuaries) from coastal marine waters. The presence of exclusively marine species at the Caroube beach throughout the year and the occupation of the 3 other environments (Boukhmira, Mafragh, Mellah) by euryhaline fish, both marine and freshwater, explains this structure which argues in favor of the uniqueness of the fish community of the paralic environments considered here. Andrade-Tubino et al. (2019) compared fish assemblages in 4 ocean beaches, 2 bays and 3 lagoons on a limited regional scale on the coast of Rio de Janeiro, Brazil. Their results corroborate ours and highlight that coastal marine sites are the richest in species and that among transitional waters the highest abundance is found in lagoons. The relatively low diversity in the 3 transitional waters studied here ( $H'_{\text{mean}} = 1.32$ ) also reflects their low connections with the sea. Indeed, the diversity and structure of assemblages in this type of environment are dependent on their degree of confinement or isolation (Day and Yáñez Arancibia, 1985; Sheaves, 2009; Elliott and Whitfield, 2011). Similarly to several other transitional waters worldwide, they are dominated by relatively few species (e.g., Akin et al., 2003; Ecoutin et al., 2005). In relation to the seasons, the HCA

brings together on the one hand the summer and the autumn in Mafragh estuary with two seasons in Mellah lagoon (winter and autumn), and on the other hand the spring in Mafragh with the other seasons of Boukhmira estuary. These groupings find their explanation in the particular hydrological functioning of the Mafragh, characterized by 3 phases: a river phase (wet period) from the end of autumn to the winter, an estuarine core phase from spring to the beginning of summer, and a lagoon phase (dry period) from the end of summer to the beginning of autumn (Khélifi-Touhami et al., 2006).

Canonical correspondence analysis showed that the occupancy dynamics of the 4 habitats and the seasonal changes in the structure of ichthyological assemblages in each of them are under the influence of environmental factors (temperature, salinity, oxygen, bottom nature). The nature of the bottom is the factor that most influences this structuring, followed by the temperature in second place. In the coastal marine environment, Tunesi et al. (2006) found a difference between the fish assemblages associated with cobbles, *P. oceanica* beds and rocky bottoms, and confirmed the difference between the ichthyofauna of sand and that of other substrate types. The canonical analysis also highlights the requirements of each species in relation to these parameters. The species that colonize the Caroube marine site are approaching the tip of the salinity vector (ex. *S. scribea*, *S. typhle rondoletti*, *N. ophidion*, *S. ocellatus*) showing their strong affinity to this factor. *A. fasciatus*, highly euryhaline and eurytherm (Triantafyllidis et al., 2007), shows affinity for dissolved oxygen. Close to *Atherina boyeri* in the plot, *Gobius niger* who lives indifferently in marine and brackish waters (Ahnelt and Dorda, 2004) is more or less in the center but on the negative side of the salinity vector which confirms its affinity for brackish waters, while *D. sargus* is more attracted to high temperature as is the case with mugilids (*Liza saliens*, *Liza ramada*, *Chelon labrosus*), with the exception of *L. aurata* which is found near the origin of the CCA plot and which is not influenced by none of the parameters considered here, or these parameters affects its distribution at the same level, and the *Mugil cephalus* which seems more attracted to low temperatures and oxygenated waters.

This work describes the diversity of fish fauna in different shallow coastal habitats of the eastern coast of Algeria and provides the first data on Boukhmira and Mafragh estuaries. These information will be used as a decision-making tool for the proper management of these ecosystems, knowing that other abiotic parameters could shape the organization of the ichthyological communities in these environments.

## CRedit authorship contribution statement

**Ali Becheker:** Planning, Execution, Analysis of this study.  
**Lamia Chaoui:** Planning, Execution, Analysis of this study. **M. Hichem Kara:** Planning, Execution, Analysis of this study.

## Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Acknowledgments

The authors thank the Algerian Ministry for Higher education and scientific research (General directorate for scientific research and technology development, GDRSDT) which financially supported this study within the framework of the National Funds of Research (NFR).



## Funding sources

This research received grant from the General Directorate of Scientific Research and Technological Development (DGRSDT), Algeria within the framework of the National Research Fund.

## References

- Ahnelt, H., Dorda, J., 2004. Gobioid fishes from the north eastern atlantic and themediterranean: new records and rarely found species. pp. 5–19, *Naturhistorisches Museum Wien* 105B.
- Akin, S., Buhar, E., Winemiller, K.O., Yilmaz, H., 2005. Fish assemblage structure of Koycegiz Lagoon–Estuary, Turkey: Spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64 (4), 671–684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2005.03.019>.
- Akin, S., Winemiller, K.O., Gelwick, F.P., 2003. Seasonal and spatial variations in fish and macrocrustacean assemblage structure in Mad Island Marsh estuary, Texas. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 57 (1–2), 269–282. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00354-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00354-2).
- Andrade-Tubino, M.F., Azevedo, M.C., Franco, T.P., Araújo, F.G., 2019. How are fish assemblages and feeding guilds organized in different tropical coastal systems? Comparisons among oceanic beaches, bays and coastal lagoons. *Hydrobiologia* 847, 403–419. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-019-04101-3>.
- Arechavala-López, P., Bayle-Sempere, J.T., Sánchez-Jerez, P., Valle, C., Forcada, A., Fernández-Jover, D., Ojeda-Martínez, C., Vázquez-Luis, M., Luna-Pérez, B., 2008. Biodiversity and structure of rocky reef fish assemblages in the Sierra Helada natural park (South-western Mediterranean Sea). *Arxius Misc. Zool.* 6, 234–256. <http://dx.doi.org/10.32800/amz.2008.06.0232>.
- Battaglia, B., 1959. Facteur thermique et différenciation saisonnière chez un copépode harpacticoïde de la Lagune de Venise. *Vie Milieu* 10 (1), 1–13.
- Bodilis, P., Arceo, H., Francour, P., 2011. Further evidence of the establishment of *sifistularia commersonii* (Osteichthyes: Fistulariidae) in the north-western Mediterranean sea. *Mar. Biodiver. Rec.* 4, <http://dx.doi.org/10.1017/S1755267211000194>.
- Boubekeur, M.S., Derbal, F., Hannachi, M.S., Kara, M.H., 2018. Structure of nearshore fish assemblages in Annaba coastal waters, Algeria (SW mediterranean sea). *Vie Milieu - Life Environ.* 68 (2–3), 87–97.
- Bouchereau, J.-L., Durel, J.-S., Guelorget, O., Louali, L., 2000. L'ichtyofaune dans l'organisation biologique d'un système paralique: la lagune de Nador. *Mar. Life* 10 (1–2), 69–76.
- Bussotti, S., Guidetti, P., 2009. Do mediterranean fish assemblages associated with marine caves and rocky cliffs differ? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81 (1), 65–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.023>.
- Cambrony, M., 1984. Identification et périodicité du recrutement des juvéniles de Mugilidae dans les étangs littoraux du Languedoc-Roussillon. *Vie Milieu* 34, 221–227.
- Carpentieri, P., Colloca, F., Ardizzone, G.D., 2005. Day-night variations in the demersal nekton assemblage on the Mediterranean shelf-break. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 63 (4), 577–588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2005.01.005>.
- Chaoui, L., Kara, M.H., Faure, É., Quignard, J.P., 2006. L'ichtyofaune de la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est): diversité, production et analyse des captures commerciales. *Cybio* 30 (2), 123–132.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (6630), 253–260. <http://dx.doi.org/10.1038/387253a0>.
- Day, J.W., Yáñez Arancibia, A., 1985. Coastal lagoons and estuaries as an environment for nekton. In: *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM, Mexico DF, México, pp. 17–34.
- Derbal, F., Kara, M.H., 2010. Composition et variations du peuplement ichtyologique de l'herbier superficiel à *Posidonia oceanica* (L.) delile, dans la baie d'annaba (Algérie). *Rev. D'Écol.* 65 (2), 139–149.
- Deudero, S., Morey, G., Frau, A., Moranta, J., Moreno, I., 2008. Temporal trends of littoral fishes at deep *Posidonia oceanica* seagrass meadows in a temperate coastal zone. *J. Mar. Syst.* 70 (1–2), 182–195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.05.001>.
- Dumay, O., Tari, P.S., Tomasini, J.A., Mouillot, D., 2004. Functional groups of lagoon fish species in Languedoc Roussillon, Southern France. *J. Fish Biol.* 64 (4), 970–983. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00365.x>.
- Ecoutin, J.M., Richard, E., Simier, M., Albaret, J.J., 2005. Spatial versus temporal patterns in fish assemblages of a tropical estuarine coastal lake: the Ebrié Lagoon (Ivory Coast). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64 (4), 623–635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2005.04.002>.
- Elliott, M., A.K., Whitfield, I.C., Potter, S.J.M., Blaber, D.P., Cyrus, Nordlie, F.G., Harrison, T.D., 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish Fish.* 8, 241–268.
- Elliott, M., Whitfield, A.K., 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 94, 306–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecss.2011.06.016>.
- Embarek, R., Amara, R., Kara, M.H., 2017. Fish assemblage structure in shallow waters of the mellah lagoon (Algeria): Seasonal and spatial distribution patterns and relation to environmental parameters. *Acta Ichthyol. Piscatoria* 47 (2), 133–144. <http://dx.doi.org/10.3750/AIEP/02080>.
- Embarek, R., Kara, M.H., Bahri-Sfar, L., Amara, R., 2019. Seasonal and spatial variations in the fish assemblage of shallow habitats within the Bizerte lagoon (Tunisia). *Vie Milieu* 69 (1), 35–46.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P., Mainardi, D., 2006. Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 66 (1–2), 67–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.020>.
- Franco, A., Franzoi, P., Torricelli, P., 2008. Structure and functioning of Mediterranean lagoon fish assemblages: A key for the identification of water body types. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 79 (3), 549–558. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.05.011>.
- Franco, A., Pérez-Ruza, A., Drouineau, H., Franzoi, P., Koutrakis, E.T., Lepage, M., Verdiell-Cubedoe, D., Bouchouchaf, M., López-Capelb, A., Riccato, F., Sapounidis, A., Marcob, C., Oliva-Patena, F.J., Torralva-Forero, M., Torricelli, P., 2012. Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: effect of sampling method. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 112, 115–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.08.015>.
- Francour, P., Harmelin, J.G., 1988. Inventaire de la faune ichtyologique marine de port-cros. *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park* 14, 65–79.
- Froese, R., Pauly, D. (Eds.), 2020. FishBase. URL [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org). (Accessed 3 2020).
- Guelorget, O., Perthuisot, J.P., 1983. Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique. *Sci. GÉol., Bull. Et Mémoires* 36 (4), 239–248. <http://dx.doi.org/10.3406/sgeol.1983.1642>.
- Guidetti, P., Beck, M.W., Bussotti, S., Ciccolella, A., D'Ambrosio, P., Lembo, G., Spedicato, M.T., Boero, F., 2009. Nursery habitats for mediterranean coastal fishes: the need for a quantitative approach. *Biol. Mar. Mediterr.* 16 (1), 197–200.
- Haedrich, R.L., 1983. Estuarine fishes. In: Ketchum, B.H. (Ed.), *Estuaries and enclosed seas*. Goodall, -D.W. (Ed.), *Ecosystems of the world*, vol. 26, Elsevier Sci. Publ. Com., Amsterdam-Oxford-New York, pp. 183–207.
- Hannachi, M.S., Derbal, F., Boubekeur, M.S., Kara, M.H., 2014. Com-position and nychthemeral variations of shallow water ich-thyofauna in the Gulf of Annaba, Algeria. *Cybio* 38 (4), 243–253. <http://dx.doi.org/10.26028/cybio/2014-384-001>.
- Harmelin-Vivien, M.L., Francour, P., 1992. Trawling or visual censuses ? Methodological bias in the assessment of fish populations in seagrass beds. *Mar. Ecol.* 13 (1), 41–51. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00338.x>.
- Harmelin-Vivien, M.L., Harmelin, J.G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., Barnabé, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J., Lasserre, G., 1985. The underwater observation of fish communities and fish populations. *Methods and problems. Rev. D'Écol.* 40 (4), 467–539.
- Innal, D., 2016. Fish diversity and distribution in the Aksu river estuary (Antalya-Turkey), in relation to environmental variables. *Ecologica Montenegrina* 5, 90–98.
- Jaafour, S., Yahyaoui, A., Sadak, A., Bacha, M., Amara, R., 2015. Fish assemblages of a shallow mediterranean lagoon (Nador, Morocco): an analysis based on species and functional guilds. *Acta Ichthyol. Piscatoria* 45 (2), 115–124. <http://dx.doi.org/10.3750/AIP2015.45.2.01>.
- Kalogirou, S., Corsini-Foka, M., Sioulas, A., Wennhage, H., Pihl, L., 2010. Diversity, structure and function of fish assemblages associated with *Posidonia oceanica* beds in an area of the eastern mediterranean sea and the role of non-indigenous species. *J. Fish Biol.* 77 (10), 2338–2357. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02817.x>.
- Kara, M.H., 1997. Cycle sexuel et fécondité du loup *Dicentrarchus labrax* (Poisson moronidé) du golfe d'annaba. *Cahiers de Biol. Mar.* 38 (3), 161–168.
- Kara, M.H., Quignard, J.P., 2019. *Fishes in Lagoons and Estuaries in the Mediterranean 3A: Migratory Fish*. John Wiley & Sons.
- Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S., Abdenour, C., 2006. The hydrology of the Mafrah estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *J. Food Agric. Environ.* 4 (2), 340–346. <http://dx.doi.org/10.1234/4.2006.902>.
- Knoppers, B., 1994. Aquatic primary production in coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.), *Elsevier Oceanography Series*. Amsterdam, pp. 243–286. [http://dx.doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70014-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70014-X).
- Koutrakis, E.T., Tsikliras, A.C., Sinis, A.I., 2005. Temporal variability of the ichthyofauna in a northern aegean coastal lagoon (Greece). Influence of environmental factors. *Hydrobiologia* 543 (1), 245–257. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-004-7891-3>.
- Kraïem, M.M., Chouba, L., Ramdani, M., Ahmed, M.H., Thompson, J.R., Flower, R.J., 2009. The fish fauna of three north african lagoons: specific inventories, ecological status and production. *Hydrobiologia* 622 (1), 133–146. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9679-3>.

- Leitão, R., Martinho, F., Neto, H.N., Cabraland J.M., Jorge, I., Pardal, M.A., 2007. The fish assemblage of the Mondego estuary: composition, structure and trends over the past two decades. *Hydrobiologia* 587 (1), 269–279. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-007-0688-4>.
- Maci, S., Basset, A., 2009. Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: a case study. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 83 (4), 602–612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2009.05.007>.
- Malavasi, S., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Granzotto, A., Riccato, F., Mainardi, D., 2004. Fish assemblages of Venice lagoon shallow waters: an analysis based on species, families and functional guilds. *J. Mar. Syst.* 51 (1–4), 19–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.05.006>.
- Mariani, S., 2001. Can spatial distribution of ichthyofauna describe marine influence on coastal lagoons? A central Mediterranean case study. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 52, 261–267. <http://dx.doi.org/10.1006/ecss.2000.0746>.
- Matic-Skoko, S., Peharda, M., Pallaoro, A., et al., 2005. Species composition, seasonal fluctuations and residency of inshore fish assemblages in the Pantan estuary of the eastern middle Adriatic. *Acta Adriat.* 46, 201–212.
- Matic-Skoko, S., Peharda, M., Pallaoro, A., et al., 2007. Infralittoral fish assemblages in the Zrmanja estuary, Adriatic sea. *Acta Adriat.* 48, 45–55.
- Mouillot, D., Laune, J., Tomasini, J.A., Aliaume, C., Brehmer, P., Dutrieux, E., Do Ch, T., 2005. Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities. *Hydrobiologia* 550 (1), 121–130. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-005-4368-y>.
- Ounissi, M., Haridi, A., Rétima, A., 2002. Variabilité du zooplancton de la lagune mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996–1997. *J. Rech. Océanogr.* 27 (1), 1–13.
- Pérez-Ruzafa, A., García-Charton, J.A., Barcala, E., Marcos, C., 2006. Changes in benthic fish assemblages as a consequence of coastal works in a coastal lagoon: the Mar Menor (Spain, Western Mediterranean). *Mar. Pollut. Bull.* 53 (1–4), 107–120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.09.014>.
- Pérez-Ruzafa, A., Mompeán, M.C., Marcos, C., 2007. Hydrographic, geomorphologic and fish assemblage relationships in coastal lagoons. *Hydrobiologia* 577, 107–125. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-006-0421-8>.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13, 131–144. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Poizat, G., Rosecchi, E., Chauvelon, P., Contournet, P., Crivelli, A.J., 2004. Long-term fish and macro-crustacean community variation in a Mediterranean lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 59 (4), 615–624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2003.11.007>.
- Quignard, J.P., Zaouali, J., 1980. Les lagunes périméditerranéennes: bibliographie ichthyologique annotée. *Bull. L'Office Natl. Des Pêches Tunis* 4 (2).
- Rountree, R.A., Able, K.W., 2007. Spatial and temporal habitat use patterns for salt marsh nekton: implications for ecological functions. *Aquat. Ecol.* 41 (1), 25–45. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-006-9052-4>.
- Selfati, M., El Ouamari, N., Franco, A., Lenfant, P., Lecaillon, G., Mesfioui, A., Boissery, P., Bazairi, H., 2019. Fish assemblages of the Marchica lagoon (Mediterranean, Morocco): Spatial patterns and environmental drivers. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 32, 100896. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100896>.
- Sellami, R., Chaouachi, B., Ben Hassine, O.K., 2010. Impacts anthropiques et climatiques sur la diversité ichthyologique d'une lagune méditerranéenne (Ichkeul, Tunisie). *Cybiu* 34 (1), 5–10. <http://dx.doi.org/10.26028/cybiu/2010-341-001>.
- Selleslagh, J., Amara, R., 2008. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English channel). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 79 (3), 507–517. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.05.006>.
- Selleslagh, J., Amara, R., Laffargue, P., Lesourd, S., Lepage, M., Girardin, M., 2009. Fish composition and assemblage structure in three Eastern English channel macrotidal estuaries: a comparison with other French estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81 (2), 149–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2008.10.008>.
- Seytre, C., Francour, P., 2014. A long-term survey of *Posidonia oceanica* fish assemblages in a Mediterranean marine protected area: emphasis on stability and no-take area effectiveness. *Mar. Freshwater Res.* 65 (3), 244–254. <http://dx.doi.org/10.1071/MF13080>.
- Sheaves, M., 2009. Consequences of ecological connectivity: the coastal ecosystem mosaic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 391, 107–115. <http://dx.doi.org/10.3354/meps08121>.
- Stobart, B., García-Charton, J.A., Espejo, C., Rochel, E., Goñi, R., Reñones, O., Herrero, A., Crec'hriou, R., Polti, S., Marcos, C., Planes, S., Pérez-Ruzafa, A., 2007. A baited underwater video technique to assess shallow-water Mediterranean fish assemblages: Methodological evaluation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 345 (2), 158–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2007.02.009>.
- Triantafyllidis, A., Leonardos, I., Bista, I., Kyriazis, I.D., Stoumboudi, M.T., Kappas, I., Amat, F., Abatzopoulos, T.J., 2007. Phylogeography and genetic structure of the Mediterranean killifish *Aphanius fasciatus* (Cyprinodontidae). *Mar. Biol.* 152 (5), 1159–1167. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-007-0760-7>.
- Tsikliras, A.C., Antonopoulou, E., Stergiou, K.I., 2010. Spawning period of Mediterranean marine fishes. *Rev. Fish Biol. Fish.* 20 (4), 499–538. <http://dx.doi.org/10.1007/s11160-010-9158-6>.
- Tunesi, L., Molinari, A., Salvati, E., Mori, M., 2006. Depth and substrate type driven patterns in the infralittoral fish assemblage of the NW Mediterranean sea. *Cybiu* 30 (2), 151–159. <http://dx.doi.org/10.26028/cybiu/2006-302-008>.
- Venables, W.N., Smith, D.M., 2005. The R Development Core Team. *An Introduction To R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F.J., Egea-Serrano, A., Torralva, M., 2008. Population biology and habitat associations of benthic fish species in the shallow areas of the Mediterranean coastal lagoon (SE Iberian peninsula). *Sci. Mar.* 72 (2), 319–328. <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.2008.72n2319>.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna, F.J., Ruiz-Navarro, A., Torralva, M., 2013. Assessing the nursery role for marine fish species in a hypersaline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean Sea). *Mar. Biol. Res.* 9 (8), 739–748. <http://dx.doi.org/10.1080/17451000.2013.765580>.
- Wilke, M., 1998. Variabilité des facteurs abiotiques dans les eaux d'une lagune méditerranéenne, l'étang de Canet. *Vie Milieu* 48 (3), 157–169.
- Wilke, M., 2002. Les Fluctuations Spatiotemporelles Des Conditions Abiotiques Dans Les Lagunes Méditerranéennes (Thesis). EPHE, Montpellier.