



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT SCIENCES DE LA MER  
LABORATOIRE BIORESSOURCES MARINES

Thèse En vue de l'obtention d'un Diplôme de Doctorat

Spécialité: Sciences de la mer  
Option: Bioressources Marines

### Intitulé

Recherches sur la morphologie et la génétique du complexe  
*Atherina boyeri* en Méditerranée occidentale et biologie de  
l'espèce dans la lagune Mellah.

par

**BOUDINAR Ahmed Sofiane**

Directeur de thèse: M<sup>me</sup> CHAOUI Lamya (Professeur, Université Badji-Mokhtar, Annaba)

### Jury d'examen

#### Président

M. KARA M. Hichem (Professeur, Université Badji-Mokhtar, Annaba)

#### Examineurs

M. AURELLE Didier (Maître de conférences, HDR, Université Aix Marseille)

M. DERBAL Farid (Professeur, Université Badji-Mokhtar, Annaba)

M. QUIGNARD Jean-Pierre (Professeur, Université Montpellier II, Montpellier)

M. SOLTANI Nouredine (Professeur, Université Badji-Mokhtar, Annaba)

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été effectué au sein du laboratoire Bioressources Marines de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, sous la direction de Madame CHAOUI Lamy, Professeur à l'université Badji-Mokhtar, Annaba, à laquelle j'adresse mes remerciements les plus sincères. Elle m'a accueilli au sein de son laboratoire et m'a fait profiter de son expérience et de ses connaissances. Je la remercie de m'avoir confié ce sujet, pour m'avoir conseillé, encouragé et soutenu tout au long de la thèse avec patience et disponibilité. Qu'elle trouve ici, le témoignage de ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur KARA Mohamed Hichem, Professeur à l'Université Badji-Mokhtar et directeur du Laboratoire Bioressources Marines, pour l'intérêt porté à mon travail et pour ses précieuses remarques. Je le remercie pour le temps passé à la lecture de mes travaux et des corrections apportées à ce manuscrit. Malgré ses diverses occupations, il a constamment répondu présent, et m'a honoré en acceptant de présider ce jury. Je lui adresse toute ma reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur AURELLE Didier, Maître de conférences, (HDR) à l'Université Aix Marseille, France, pour m'avoir accueilli à l'IMBE, pour ses conseils et son aide précieuse pour la réalisation de la partie génétique, de m'avoir assisté le long de mon travail aussi bien sur la paillasse que pour les analyses phylogénétiques, et qui a accepté, avec amabilité et gentillesse, de juger ce travail. Je lui exprime tout mon respect et mes remerciements.

Je remercie aussi cordialement Monsieur DERBAL Farid, Professeur à l'Université Badji-Mokhtar et chef de Département des Sciences de la Mer, qui a bien voulu faire partie de ce jury. Malgré ses occupations nombreuses, il a bien voulu corriger une partie de ce manuscrit. Il a toujours été présent pour tous les doctorants, avec sa gentillesse, sa disponibilité et sa serviabilité, tant bien sur le plan scientifique qu'administratif. Qu'il trouve ici tout mon respect et ma profonde reconnaissance.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur QUIGNARD Jean-pierre, Professeur à l'Université Montpellier II, France, qui malgré ses lourdes responsabilités, a aimablement accepté d'évaluer cette thèse. Ces remarques pertinentes me seront certainement bénéfiques.

Je suis très reconnaissant à Monsieur SOLTANI Nouredine, Professeur à l'Université Badji-Mokhtar, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je lui adresse mes remerciements les plus sincères.

Je tiens à remercier MAHE Kelig et CACHERA Marie de Ifremer, Laboratoire Ressources Halieutiques, Boulogne-sur-Mer, France, pour leur aide, conseils et orientations pour la réalisation de la partie analyse de forme des otolithes.

Aussi je remercie KIRANE GACEMI Djamilia, Professeur à l'Université Badji-Mokhtar, qui m'a initié à la recherche scientifique lors de mon stage de Master II au Laboratoire de Microbiologie Appliquée, et qui par la suite m'a orienté vers les sciences de la mer, où j'y ai pu découvrir de nouveaux horizons. Sa rigueur scientifique et son enthousiasme pour la recherche resteront pour moi un exemple.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à l'équipe de la station marine d'Endoum de Marseille : Alexandra, Laura, Quentin, Marjorie pour leur accueil durant mes passages, ainsi que Isabelle et son mari Anto, pour leur serviabilité et leur gentillesse. Merci à tous pour leur aide, aussi pour les bons moments de rigolade qu'on a eus.

Mes remerciements vont également à Nassima, Houda, Imène, Sarah, et Imène, mes amies de longue date, qui ont toujours été présentes pour moi et qui n'ont jamais cessé de m'encourager. Merci aux techniciennes de laboratoire: M. Zahiya et K. Wahiba ainsi que G. Soraya pour nous avoir toujours faciliter le travail.

Aussi j'exprime ma profonde gratitude à tous les membres du laboratoire Bioressources marines et du département des sciences de la mer pour leur disponibilité et leur soutien ainsi que pour les nombreuses discussions que nous avons eues, et qui m'ont permis de surmonter bon nombre de choses au cours de mes travaux de thèse, particulièrement: Ibrahim, Kader, Issam, Sofiane, Raouf, Rabie, Hamdi, Imed, G. Fatma, B. Fatma, Rym, Imène, Radia, Soumia, Nihed, Rima, Sara, Naima, Nadjette, et Chafia.

Mille mercis ne suffisent pas pour exprimer ma grande gratitude à mes chers parents, mes soeurs, et mes frères qui n'ont jamais cessé de me soutenir. Que ce travail soit le témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon affection.

Enfin merci à toutes les personnes que je n'ai pas citées ici quels que soient leurs degrés d'implication, et qui se reconnaîtront dans ces quelques lignes.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
<b><i>PREMIÈRE PARTIE</i></b>	
<b>Milieux et peuplements</b>	<b>6</b>
<hr/>	
1. Présentation des sites d'échantillonnage	6
1.1. Milieux lagunaires	6
1.1.1. Lagune Mellah	6
1.1.2. Oued Ziama	7
1.1.3. Lagune de Bizerte	8
1.1.4. Étang de Mauguio	9
1.2. Milieux marins	10
1.2.1. Golfe de Annaba	10
1.2.2. Étang de Thau	11
2. Description des athérines	14
2.1. Caractéristiques de la famille	14
2.2. Caractéristiques du genre	15
2.2.1. <i>Atherina hepsetus</i> (Linnaeus, 1758)	15
2.2.2. <i>Atherina presbyter</i> (Cuvier, 1829)	17
2.3. Présentation de l'espèce <i>Atherina boyeri</i>	18
2.3.1. Position systématique	18
2.3.2. Caractéristiques morphologiques	18
2.3.3. Distribution géographique	19
2.3.4. Éléments de biologie	19
2.3.5. Valeur commerciale	20
2.3.6. Éléments de diagnose	21
<b><i>DEUXIÈME PARTIE</i></b>	
<b>Différenciation morpho-somatique, otolithométrique et génétique d'<i>Atherina boyeri</i> dans différents habitats en Méditerranée</b>	<b>22</b>
<hr/>	
<b>Chapitre I. Différenciation morpho-somatique</b>	<b>23</b>
Introduction	23
1. Matériel et méthodes	24
1.1. Échantillonnage	24
1.2. Morphométrie	24
1.2.1. Caractères numériques	24
1.2.2. Caractères métriques	26
1.2.3. Dimorphisme	29
1.2.4. Analyse statistique	30
2. Résultats	31
2.1. Caractères numériques	31
2.2. Caractères métriques	36
2.3. Dimorphisme sexuel	44
2.3. Analyse discriminante	55
3. Discussion	57

<b>Chapitre II. Différenciation otolithométrique</b>	61
Introduction	61
1. Matériel et méthodes	62
1.1. Descripteurs de distance et indices de forme	63
1.2. Description du contour	64
2. Résultats	66
2.1. Indices de forme	66
2.2. Descripteurs de Fourier	66
3. Discussion	70
<b>Chapitre III. Différenciation génétique</b>	72
Introduction	72
1. Matériel et méthodes	73
1.1. Echantillonnage	73
1.2. Extraction de l'ADN	73
1.3. Amplification par PCR et visualisation	74
1.4. Analyses phylogénétiques	77
2. Résultats	81
2.1. Extraction de l'ADN	81
2.2. Arbres phylogénétiques	83
3. Discussion	95
<b><i>TROISIÈME PARTIE</i></b>	
<b>Biologie de l'athérine <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah</b>	<b>102</b>
<hr/>	
<b>Chapitre I. Âge et croissance</b>	99
Introduction	99
1. Matériel et méthodes	100
1.1. Etude de l'âge	100
1.1.1. Écailles	101
1.1.1.1. Description des écailles	101
1.1.1.2. Prélèvement et examen des écailles	101
1.1.2. Otolithes	103
1.1.3. Dépôt des anneaux d'arrêt croissance et accroissement marginal	104
1.2. Modélisation de la croissance	105
1.2.1. Croissance linéaire absolue	105
1.2.2. Croissance relative ou relation taille-poids	105
1.2.3. Croissance pondérale absolue	107
1.3. Etude de l'âge par la méthode indirecte	107
1.3.1. Méthode de Petersen (1892)	107
1.3.2. Méthode de Bhattacharya (1967) ou des différences logarithmiques	107
2. Résultats	108
2.1. Âge	108
2.1.1. Relation entre la longueur totale du poisson et le rayon de l'écaïlle ou de l'otolithe	108
2.1.2. Accroissement marginal	108
2.1.3. Étude rétrospective de la taille par âge	108

2.2. Croissance	112
2.2.1. Croissance linéaire absolue	112
2.2.2. Relation taille-poids	115
2.2.3. Croissance pondérale absolue	118
2.3. Croissance méthode indirecte	118
2.3.1. Structure de la population	118
2.3.2. Identification des cohortes	118
2.3.3. Croissance linéaire absolue	121
2.3.4. Croissance pondérale absolue	121
3. Discussion	126
<b>Chapitre II. Reproduction</b>	128
Introduction	128
1. Matériel et méthodes	128
1.1. Indices utilisés	128
1.2. Distinction des sexes et apparition de la maturité sexuelle	129
1.3. Rapport gonado-somatique (RGS)	130
1.4. Rapport hépato-somatique (RHS)	131
1.5. Sex-ratio	131
1.6. Taille à la première maturité sexuelle	132
2. Résultats	132
2.1. Sex-ratio	132
2.2. Rapport gonado-somatique	134
2.3. Rapport hépato-somatique	134
2.4. Taille à la première maturité sexuelle	136
3. Discussion	138
<b>Conclusion générale</b>	141
<b>Références bibliographiques</b>	145
<b>Résumés</b>	166
<b>Annexe</b>	170

## LISTE DES FIGURES

Titre	Page
Figure 1. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage.	13
Figure 2. Représentation des différentes espèces d'athérines européennes. A: <i>Atherina hepsetus</i> , B: <i>Atherina presbyter</i> (Iglésias, 2012), C: <i>Atherina boyeri</i> .	16
Figure 3. Répartition géographique d' <i>Atherina hepsetus</i> (www.fishbase.org)	17
Figure 4. Répartition géographique d' <i>Atherina presbyter</i> (www.fishbase.org)	18
Figure 5. Répartition géographique d' <i>Atherina boyeri</i> (www.fishbase.org)	20
Figure 6. Echantillonnage d' <i>A. boyeri</i> dans la lagune Mellah. A: caractéristiques de l'engin de pêche; B: trait de senne; C: récolte des poissons.	25
Figure 7. Photographies montrant les caractères numériques pris en considération.	27
Figure 8. Mensurations prises pour chaque spécimen.	28
Figure 9. Fréquence du nombre de rayons sur la première nageoire dorsale pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	37
Figure 10. Fréquence du nombre de rayons sur la 2ème nageoire dorsale pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	37
Figure 11. Fréquence du nombre de rayons sur la nageoire pectorale pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	37
Figure 12. Fréquence du nombre de rayons sur la nageoire anale pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	38
Figure 13. Fréquence du nombre d'écailles sur la ligne latérale pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	38
Figure 14. Fréquence du nombre de vertèbres pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	38
Figure 15. Fréquence du nombre total de branchiospines pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	39
Figure 16. Fréquence du nombre de branchiospines inférieures pour les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	39
Figure 17. Fréquence du nombre de branchiospines supérieures pour les différentes	39

populations d' <i>Atherine boyeri</i> . Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.	
Figure 18. Classification hiérarchique réalisée avec les moyennes des caractères métriques des différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Le trait noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définie dans le tableau 28.	55
Figure 19. Méthodologie pour l'acquisition des images des otolithes d' <i>A.boyeri</i> et détermination des descripteurs de Fourier.	62
Figure 20. Descripteurs de distance mesurés sur l'image binarisée d'une <i>sagitta</i> .	63
Figure 21. Variations du pourcentage de la moyenne cumulée de la puissance de Fourier en relation avec le nombre d'harmoniques décrivant la forme de l'otolithe d' <i>A. boyeri</i> .	65
Figure 22. Classification hiérarchique réalisée utilisant les descripteurs de Fourier des différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Le trait vertical noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définie dans le tableau 28.	68
Figure 23. Classification hiérarchique réalisée utilisant les descripteurs de Fourier des différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> en prenant en considération le fait que l'otolithe soit droit (D) ou gauche (G). Le trait horizontal noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définie dans le tableau 28.	69
Figure 24. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage. Les huit points d'échantillonnage sont indiqués par leurs codes définis dans le tableau 28. (●) habitats lagunaires côtiers, (▲) habitats marins, (■) habitat eau douce/eau saumâtre. La zone d'échantillonnage au Nord de la Méditerranée est représentée en haut, et celle au Sud de la Méditerranée en bas.	74
Figure 25. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour la région de contrôle (Mq: marqueur de taille, pb: paires de bases).	76
Figure 26. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage. Les détails de chaque localité sont présentés dans le tableau 28.	79
Figure 27. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR, utilisant deux méthodes d'extraction.	81
Figure 28. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour la Rhodopsine (A: Alicot d'amroce refait; B: PCR gradient 45-60°C; C: Augmentation de la quantité d'ADN dans le mix).	82
Figure 29. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour le marqueur S7.	82
Figure 30. Relations phylogénétiques au sein d' <i>Atherina</i> pour les données du marqueur <i>Cyt b</i> . Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encerclées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.	84
Figure 31. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> utilisant le <i>Cyt b</i> .	85
Figure 32. Relations phylogénétiques au sein d' <i>Atherina</i> pour les données du marqueur CR. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encerclées. ML -	87

maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.	
Figure 33. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d' <i>A. boyeri</i> utilisant le CR.	88
Figure 34. Relations phylogénétiques au sein d' <i>Atherina</i> pour les données du marqueur 16S. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encerclées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.	89
Figure 35. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> utilisant le 16S.	90
Figure 36. Fragment d'arbre construit selon la méthode du maximum de vraisemblance utilisant le S7.	91
Figure 37. Arbre concaténé CR et <i>Cyt b</i> des populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encerclées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.	91
Figure 38. Localisation de la zone de prélèvement des écailles d' <i>Atherina boyeri</i> du Mellah.	102
Figure 39. A: Définition des champs et emplacement des mesures prises sur l'écaille d' <i>Atherina boyeri</i> du Mellah. Rt: rayon totale de l'écaille; r1: rayon du premier annulus; AM: accroissement marginal; B: écaille régénérée.	102
Figure 40. Otolithe sagitta d' <i>Atherina boyeri</i> du Mellah. A: définition des champs et emplacement des mesures prises sur l'otolithe. Rt: rayon total de l'otolithe; r1: rayon du premier annulus, r2: rayon du deuxième annulus; AM: accroissement marginal; B: otolithe mal formée.	103
Figure 41. Variations mensuelles de l'accroissement marginal (AM) des écailles/otolithes d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah (les différentes lettres indiquent les différents groupes de moyennes).	109
Figure 42. Croissance linéaire observée (C.L.O.), théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez les mâles (A), et les femelles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant les écailles.	113
Figure 43. Croissance linéaire observée (C.L.O.), théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez les mâles (A), et les femelles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant les otolithes.	114
Figure 44. La relation taille-poids chez la population totale (A), les mâles (B) et les femelles (C) d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah.	126
Figure 45. Variations mensuelles des coefficients d'allométrie de la relation taille-poids chez la population totale (A), les femelles (B) et les mâles (C) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah. (-): allométrie minorante, (+): allométrie majorante, (=): isométrie.	117
Figure 46. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (en g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez les mâles (A), et les femelles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant les écailles.	119
Figure 47. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez les mâles (A), et les femelles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant les otolithes.	120
Figure 48. Décomposition de la distribution de fréquences de tailles de la population totale (A), femelles (B), et mâles (C) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, par la méthode de	122

---

Bhattacharya (1967).	
Figure 49. Croissance linéaire théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez la population totale (A), les femelles (B), et les mâles (C) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant la méthode de Bhattacharya (1967).	123
Figure 50. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez la population totale (A), les mâles (B), et les femelles (C) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant la méthode de Bhattacharya (1967).	124
Figure 51. Photographie montrant une gonade gauche non développée (1), et une gonade droite développée (2) d'une femelle d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	129
Figure 52. Aspect des gonades chez les mâles et les femelles d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah; 1: aspect de la gonade femelle avant maturation (début de pigmentation); 2: aspect finale de la gonade femelle après maturation; 3: aspect finale de la gonade mâle après maturation.	130
Figure 53. Evolution du sex-ratio en fonction de la taille d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	133
Figure 54. Évolution mensuelle du RGS, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	135
Figure 55. Évolution mensuelle du RHS, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	136
Figure 56. Evolution de la fréquence (%) des individus matures en fonction de la taille, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah. Le nombre entre parenthèse indique l'effectif.	137

---

## LISTE DES TABLEAUX

Titre	Page
Tableau 1. Données statistiques sur la distribution numérique des vertèbres chez la population totale d' <i>Atherina boyeri</i> échantillonnée dans les 3 sites. N. Obs.: nombre d'observations, Moy.: Moyenne, M: mode, ET: écart type, Lim: valeurs limites.	33
Tableau 2. Comparaison multiples de moyennes des caractères méristiques entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> . Z: Oued Ziam; L: Lagune Mellah; MP: Golfe de Annaba; MNP: Golfe de Annaba; TG: Étang de Thau; T: Lagune de Bizerte; MG: Étang de Mauguio.	40
Tableau 3. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculées pour le nombre de rayons de la première nageoire dorsale entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	41
Tableau 4. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la deuxième nageoire dorsale entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	41
Tableau 5. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la nageoire pectorale entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	41
Tableau 6. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la nageoire anale entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	41
Tableau 7. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de vertèbres entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	42
Tableau 8. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre d'écaillés sur la ligne latérale entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	42
Tableau 9. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de branchiospines inférieures entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	42
Tableau 10. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de branchiospines supérieures entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	42
Tableau 11. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre total de branchiospines entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	43
Tableau 12. Coefficients de corrélation et relations d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	45
Tableau 13. Coefficients de corrélation et relations d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> de l'oued Ziam. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	46
Tableau 14. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune de Bizerte. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	47
Tableau 15. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents	48

couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> de l'étang de Mauguio. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	
Tableau 16. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> ponctuée du golfe de Annaba. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	49
Tableau 17. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> non ponctuée du golfe de Annaba. T. Allo: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	50
Tableau 18. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d' <i>Atherina boyeri</i> de l'étang de Thau. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.	51
Tableau 19. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d' <i>Atherina boyeri</i> des lagunes Mellah et de Bizerte, de l'oued Ziama et de l'étang de Mauguio. (*: différence significative).	52
Tableau 20. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune de Bizerte et de l'étang de Mauguio. (*: différence significative).	53
Tableau 21. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d' <i>Atherina boyeri</i> ponctuée et non ponctuée du golfe de Annaba. (*: différence significative).	56
Tableau 22. Tests d'égalité des moyennes des variables métriques entre les différentes populations d' <i>Atherina boyeri</i> .	56
Tableau 23. Pourcentage du bon taux de reclassement par validation croisée des individus au sein de chacun des sites de prélèvement utilisant les caractères métriques. Les rangés représentent les groupes actuels, alors que les colonnes les groupes prédis. Le pourcentage du bon taux de reclassement est donné en gras.	56
Tableau 24. Descripteurs de distance pris en considération et formules de calcul des indices de forme.	63
Tableau 25. Comparaison multiples de moyennes des indices de forme des otolithes, entre les différentes populations d' <i>A. boyeri</i> échantillonnées. Avec: Z: Oued Ziama; L: Lagune Mellah; MP: Golfe de Annaba; MNP: Golfe de Annaba; TG: Étang de Thau; T: Lagune de Bizerte; MG: Étang de Mauguio.	67
Tableau 26. Pourcentage du bon taux de reclassement par validation croisée des individus au sein de chacun des sites de prélèvement utilisant les descripteurs de Fourier. Le pourcentage du bon taux de reclassement est mentionné en gras.	69
Tableau 27. Amorces et conditions de PCR pour chaque fragment.	76
Tableau 28. Description des échantillons d' <i>Atherina boyeri</i> incluant les lieux d'échantillonnage et coordonnées, les codes pour chaque échantillon, le type d'habitat et le nombre de séquences étudiées pour chaque fragment et échantillon.	77

Tableau 29. Zones d'étude et nombre de séquences étudiées par marqueurs et par site.	80
Tableau 30. Résultats de l'AMOVA pour cinq différents regroupements, en fonction de la distance géographique, le type d'habitat, ou la combinaison des	93
Tableau 31. Valeurs du Dxy par marqueur en comparant les trois formes d' <i>Atherina boyeri</i> . (Lag: Lagunaire, MNP: Marins non ponctués, MP: Marins ponctués, A. heps: <i>Atherina hepsetus</i> ; A. presb: <i>Atherina presbyter</i> ).	94
Tableau 32. Longueurs rétrocalculées par âge, pour les mâles et les femelles d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah, utilisant les écailles et les otolithes.	109
Tableau 33. Distribution des longueurs totales (en cm) pour les mâles et les femelles, d'après la lecture directe des écailles d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	110
Tableau 34. Distribution des longueurs totales (en cm) pour les mâles et les femelles, d'après la lecture directe des otolithes d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	111
Tableau 35. Comparaison des longueurs observées avec les longueurs rétrocalculées par âge pour les individus d' <i>A. boyeri</i> de la lagune Mellah.	112
Tableau 36. Structure de la population pour l'étude de la croissance par méthode indirecte.	118
Tableau 37. Clés âge-longueur de la population d' <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah obtenues par la méthode de Bhattacharya (1967).	120
Tableau 38. Structure de l'âge, paramètres de la relation taille poids (a, b) et la croissance ( $L_{\infty}$ , $K$ et $t_0$ ) chez <i>Atherina boyeri</i> dans différentes régions de la Méditerranée et d'Atlantique.	125
Tableau 39. Variation du sex-ratio pendant et hors période de reproduction (en cm) d' <i>Atherina boyeri</i> (N: effectif; *: $P < 0,05$ ; **: $P < 0,01$ ; ***: $P < 0,001$ ).	133
Tableau 40. Evolution saisonnière du sex-ratio chez <i>Atherina boyeri</i> de la lagune Mellah. (N: effectif; * $P < 0,05$ ; ** $P < 0,01$ ; *** $P < 0,001$ )	133

**INTRODUCTION**

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La Méditerranée constitue un des réservoirs majeurs de la biodiversité marine et côtière, avec la présence de plus de 17000 espèces, représentant 6,27% des espèces marines mondiales de macrophytes et de Métazoaires, avec un taux d'endémisme de 20,2% (Coll *et al.*, 2010). Ce qui est considérable sachant que la surface de la Méditerranée n'est que de 0,82% de la surface de l'océan mondial et que son volume n'en représente que 0,32% (Bianchi et Morri 2000; Quignard et Tomasini 2000).

La forte biodiversité en Méditerranée est expliquée par son histoire paléogéographique et géologique particulière et complexe. En effet, elle est marquée par la crise de salinité messinienne et les fluctuations climatiques du Quaternaire récent, caractérisée par la succession de périodes glaciaires et interglaciaires, résultant en la création de différentes zones de transition géographique. Ainsi, la Méditerranée est connectée avec l'Océan Atlantique par le détroit de Gibraltar. Elle communique avec l'Océan Indien à travers la Mer rouge en passant par le canal de Suez. En outre, le détroit Siculo-Tunisien subdivise la Méditerranée en deux principaux bassins, l'un oriental et l'autre occidental (Astraldi *et al.*, 1999; Krijgsman *et al.*, 1999; Patarnello *et al.*, 2007). Ces zones joueraient ainsi le rôle de barrières aux flux géniques, favorisant la fragmentation de l'habitat et l'altération des liens entre populations, conduisant à une différenciation entre les populations plus ou moins importante selon les espèces (Borsa *et al.*, 1997; Astraldi *et al.*, 1999; Paternello *et al.*, 2007). Ces populations évoluent et acquièrent une certaine originalité qui se traduit par leur diversification. Ainsi, la structuration des populations d'une espèce donnée, n'est que la résultante d'une interaction complexe entre la dynamique de ses populations (phases larvaires pélagiques, comportement migratoire, recrutement, croissance, reproduction, mortalité,...), l'action des forces évolutives (dérive génétique, migration, flux génique, sélection, mutation, ...) (Hoarau, 2004) et les conditions environnementales de leur milieu de vie.

Ces zones de transition géographique, sont parfaites pour l'étude des mécanismes responsables de la structuration génétique des populations marines. Avec une importante diversité morphologique et génétique selon l'habitat ou la distance géographique, Les athérines constituent un bon modèle pour l'étude de cette structuration/différenciation et spéciation en Mer Méditerranée (Kiener et Spillmann, 1969).

La famille des Atherinidae est représentée par un seul genre et trois espèces: *Atherina boyeri* (Risso, 1810), *Atherina hepsetus* (Linnaeus, 1758) et *Atherina presbyter* (Cuvier, 1829). *A. hepsetus* est limitée à la Méditerranée, mais elle a également été signalée sur les côtes Est Atlantiques de l'Espagne, le Maroc, Madère et les îles Canaries. La distribution d'*A. presbyter* va des îles britanniques aux îles Canaries, la Mauritanie et le Cap-Vert (Quignard et Pras, 1986), elle a également été signalé dans l'archipel des Açores (Santos *et al.*, 1997), et plus rarement, dans la Méditerranée occidentale. Bien que très sporadiques, la présence de cette espèce a été également signalée dans la Méditerranée occidentale (Kiener et Spillmann, 1969; Quignard et Pras, 1986).

*Atherina boyeri* est un poisson téléostéen extrêmement euryhaline. Cette espèce habite les eaux côtières et estuariennes, y compris les lagunes côtières et plus rarement les eaux intérieures. Elle peut supporter de grandes variations de salinité allant de l'eau douce au lacs hypersalés (Gon et Ben-Tuvia, 1983), avec un record maximal enregistré de 110% (Henderson et Bamber, 1987). *Atherina boyeri* est commune dans la Méditerranée et les mers adjacentes, se retrouve également dans le Nord-Est de l'Atlantique, des Açores à la côte Nord-Ouest de l'Ecosse (Kiener et Spillmann, 1969; Quignard et Pras, 1986). Elle est composée de populations locales semi-isolées, qui peuvent être différentes les unes des autres par rapports à leurs traits biologiques (Henderson et Bamber, 1987).

Le genre *Atherina* a fait l'objet de plusieurs révisions majeures systématiques (Kiener et Spillmann, 1969), où deux genres et 20 espèces ont été condensés dans un seul genre, et les trois espèces mentionnées précédemment étaient les seules à être acceptées pour la Méditerranée. Kottelat (1997) a souligné l'existence possible de deux groupes différents chez *A. boyeri*, l'un vivant dans un environnement lagunaire/d'eau douce et l'autre dans l'environnement marin. Il a limité le nom d'*A. boyeri* à la forme lagunaire et a proposé *A. Mochon* pour le groupe marin. Plusieurs études basées sur la morphométrie (Kartas et Trabelsi, 1990; Trabelsi *et al.*, 2002a; 2004), et des analyses allozymiques (Focant *et al.*, 1992; 1993; 1999; Cammarata *et al.*, 1996) ont soutenu l'hypothèse que *A. boyeri* peut être subdivisée en sous-populations ou populations distinctes. Des données récentes basées sur l'analyse allozymiques seule (Mauro *et al.*, 2007), ou combinée avec la morphométrie (Trabelsi *et al.*, 2002a; 2002b; 2004), ont souligné l'existence de deux (Klossa-Kilia *et al.*, 2002; 2007; Kraitsek *et al.*, 2008) voir trois espèces méditerranéennes (Trabelsi *et al.*, 2002a; 2002b; 2004; Astolfi *et al.*, 2005; Francisco *et al.*, 2008; 2011; Milana *et al.*, 2008), incluant une forme lagunaire (*A. lagunae*) et une ou deux (ponctuée "*A. punctata*" et non ponctuée "*A. boyeri*" sur les flancs) formes marines. La forme marine ponctuée diffère des autres groupes

par sa coloration, caractéristiques morphologiques, biochimiques et la présence de taches sombres le long de la ligne latérale (Trabelsi *et al.*, 2000; 2002a). En outre, les valeurs de la divergence phylogénétique estimées entre les athérines lagunaires et celles marines étaient comparables, voire supérieures à celles observées entre les espèces reconnues et bien définies du même genre (*A. hepsetus* et *A. presybter*). Dès lors, les chercheurs sus-cités ont proposé d'élever ces trois formes au rang d'espèces.

Toutes ces études ont souligné le fait que *A. boyeri* représentait un complexe d'espèces, mais aucune description formelle ou étendue de la biologie et la distribution de ces nouvelles espèces putatives, n'existe pour l'instant. La plupart des études antérieures n'étaient pas géographiquement étendues. La sous-représentation des populations du Sud de la Méditerranée occidentale pourrait avoir empêché la détection de structuration génétique supplémentaire (e.g. Chaoui *et al.*, 2009) ou une bonne estimation de la distribution des espèces putatives. En outre, l'utilisation d'un seul marqueur génétique, le plus souvent mitochondrial, ne permettait pas une délimitation précise des espèces ni l'identification des événements d'hybridation putative. En effet, une étude intégrative incluant une grande couverture géographique, une approche multilocus et des outils non moléculaires apparaît comme la meilleure approche pour la délimitation des espèces (Puillandre *et al.*, 2012; Pante *et al.*, 2015).

Le présent travail comporte trois parties indépendantes et complémentaires:

La première partie est une compilation des connaissances sur les athérines Atlanto-méditerranéennes, sur les milieux étudiés, leurs caractéristiques environnementales et les différents peuplements qui y vivent. Ces informations sont utiles pour l'interprétation des résultats, notamment ceux qui sont liés aux différences d'habitats.

La deuxième partie s'intéresse à la diversité morpho-somatique et génétique des populations marines et lagunaires d'*A. boyeri*. La discrimination entre ces différentes populations a été réalisée moyennant une combinaison d'outils d'investigation. Cette partie comporte trois chapitres:

Le premier aborde la différenciation morpho-somatique, où seront présentés les résultats obtenus après les analyses des caractères métriques et méristiques des différentes populations étudiées. La discrimination entre les différentes populations a été abordée par des techniques d'analyses statistiques uni et multivariées.

Le deuxième chapitre portera sur la différenciation utilisant la forme des otolithes. Ces derniers présentent une spécificité de forme, et ont été utilisés comme un outil de classification et d'identification des espèces (L'Abée-Lund, 1988). Des analyses statistiques

uni et multivariées ont été réalisées utilisant les descripteurs de Fourier ainsi que les indices de forme.

Le troisième chapitre portera sur le polymorphisme génétique. Il est basé sur des analyses des expressions des gènes par le biais des analyses des séquences de trois marqueurs d'ADN mitochondrial (région de contrôle, cytochrome b, et 16S), ainsi que deux marqueurs d'ADN nucléaire (Rhodopsine et S7).

La troisième partie est consacrée aux principaux descripteurs de la biologie de l'espèce *A. boyeri*: la reproduction, avec l'étude du sex-ratio, la période de ponte et la taille à la première maturité sexuelle. L'âge et la croissance ont été abordés en utilisant deux méthodes directes (otolithométrie et scalimétrie) et une méthode indirecte (Bhattacharya) à des fins de comparaison. Ces informations sont importantes pour la détermination des paramètres d'exploitation et l'évaluation du stock.

**PREMIÈRE PARTIE  
MILIEUX ET PEUPEMENTS**

---

## PREMIÈRE PARTIE

### Milieux et peuplements

#### 1. Présentation des sites d'échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués en prenant en considération le type d'habitat, avec des échantillons provenant de milieux lagunaires et d'autres de milieux marins ou encore la distance géographique, avec des échantillons provenant des rives Nord et Sud de la méditerranée occidentale (fig. 1).

Les milieux lagunaires sont représentés par cinq échantillons: lagune Mellah, oued Ziama en Algérie, lagune de Bizerte en Tunisie et étang de Mauguio en France. Les échantillons marins proviennent des côtes algériennes (golfe de Annaba) et françaises (étang de Thau).

#### 1.1. Milieux lagunaires

##### 1.1.1. Lagune Mellah

La lagune Mellah se situe à l'extrême Nord-est algérien ( $8^{\circ} 20' E$  et  $36^{\circ} 54' N$ ), en bordure de la Mer Méditerranée entre les deux caps Rosa et Roux. Cette étendue d'eau saumâtre est d'une forme grossièrement ovoïde, elle s'étend du Nord au Sud sur 4 km et d'Est en Ouest sur 2 km (Guelorget et Perthuisot, 1983), Avec une superficie globale d'environ 865 hectares (Thomas *et al.*, 1973). D'une profondeur moyenne de 3,5 m (Messerer, 1999; Draredja, 2007), il communique avec la mer par un chenal long d'environ 870 m et de 15 m de large, profond d'environ 0,6 m et large de 10 m (Draredja, 2007). Il reçoit, en outre, les eaux douces des oueds Mellah et Bouaroug au sud, et de l'oued R'kibet à l'ouest. Ses extensions marécageuses se trouvent essentiellement au nord, au départ du chenal, et au sud, à l'embouchure de l'oued Bouaroug. Unique du genre en Algérie, la lagune Mellah appartient au complexe des zones humides du Parc National d'El Kala (PNEK), avec les lacs Oubéïra et Tonga.

La lagune est située sous un climat de type méditerranéen, caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Elle est soumise généralement aux vents du Nord et Nord-ouest de novembre jusqu'à mai et aux vents d'Est de juin jusqu'à octobre (Draredja, 2007). L'étendue lagunaire reçoit des précipitations directes de l'ordre de 5 à 8 millions  $m^3$ /an,

correspondant à une hauteur d'eau comprise entre 0,60 et 1 m. Ces hauteurs d'eau apportent 22-36% du volume total de la lagune (Ounissi *et al.*, 2002).

Le Mellah fait partie d'un ensemble de dépressions, dont certaines sont endoréiques, situées au cœur des terrains gréseux et argilo-gréseux oligocènes de la nappe numidienne. Elle correspond vraisemblablement à une dépression endoréique lacustre würmienne, envahie par la mer lors de la remontée eustatique flandrienne (Guelorget *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). Les températures enregistrées montrent une homogénéité des eaux de surface et celles plus profondes, avec une amplitude de variation qui ne dépasse pas 1°C. Un minimum de 10°C est enregistré en janvier et un maximum de 30,2°C en août. L'évolution de la salinité montre deux phases. La première est décroissante et couvre la période de crue, de novembre à mars, avec des valeurs qui diminuent de 34,8 à 25,4 psu. Durant la seconde phase qui coïncide avec la période sèche, de mars à novembre, cette tendance s'inverse. Cependant, aucune stratification des eaux n'est enregistrée (Draredja et Kara, 2004a; Draredja, 2007).

### **1.1.2. Oued Ziama**

L'Oued Ziama fait partie du parc national de Taza. Ce parc est situé dans la partie Nord-est de l'Algérie et s'ouvre sur la Méditerranée par ses 9 km de côtes (plages et corniche). L'Oued est situé à 30 km au sud-ouest de Jijel et à 60 km à l'Est de Bejaïa. Il est entièrement localisé dans la wilaya de Jijel et s'étend sur deux daïras: El-Aouana et Ziama Mansouriah, incluant trois communes: El-Aouana, Selma Benziada, qui couvre près de 50% du territoire du parc national de Taza et Ziama Mansouriah. Malheureusement, cet oued n'a fait l'objet d'aucune étude physico-chimique ou biologique.

Le bioclimat dominant dans la région est celui de l'étage humide tempéré. La température moyenne du mois le plus chaud est de 27 °C pour le mois d'août et la température moyenne du mois le plus froid est de 12,7 °C pour le mois de janvier. La pluviosité annuelle moyenne est de 1200 à 1400 mm, mesurée à une altitude de 700 mètres au niveau du lieu dit maison forestière de Guerrouch (Anonyme, 2006).

### 1.1.3. Lagune de Bizerte

La lagune de Bizerte est située dans l'extrême Nord-Est de la Tunisie septentrionale entre 37°8' et 37°14' de latitude Nord et 9°46' et 9°56' de longitude Est. Elle s'étend sur une superficie de 128 km<sup>2</sup> (la largeur maximale est de 11 km et la longueur maximale est de 13 km) avec une profondeur moyenne de 7 m. Elle est reliée en permanence à la mer Méditerranée par chenal rectiligne long de 6 km de longueur et 12 m de profondeur (Bejaoui *et al.*, 2009). Elle est classée en troisième position après la lagune de Bou Grara (500 km<sup>2</sup>) et celle d'El Bibane (230 km<sup>2</sup>) (Zaouali, 1979).

La lagune de Bizerte est alimentée, d'une part, par les eaux marines via le canal de navigation largement ouvert à la mer, et d'autre part à partir du ruissellement de différents oueds, des apports à partir de la garaet el Ichkeul ainsi que des précipitations directes. Elle reçoit également des rejets domestiques et industriels des villes de Menzel Bourguiba, Menzel Abdel Rahmen et Menzel Jemil (Frisoni *et al.*, 1986). Les moyennes thermique des eaux de surface et du fond sont respectivement de 14,97 °C et de 14,64 °C (Essid, 2008).

La salinité dépend du bilan hydrique entre les apports d'eau douce, d'une part, et les apports marins, d'autre part, avec de fortes valeurs en été (35,8 psu) et de faibles valeurs en hiver (33,9 psu) (Bejaoui *et al.*, 2009). La température moyenne de l'eau montre une variation saisonnière avec un maximum au mois d'août (29 °C) et un minimum au mois de janvier (11 °C) (Bejaoui *et al.*, 2009)

La faune malacologique est composée de 93 espèces réparties sur 3 classes et 41 familles, avec densités spécifiques qui varient entre 0 à 15872 ind./m<sup>2</sup>. L'indice de Shannon varie entre 0 et 3,48. La communauté phytoplanctonique naturelle est composée de trois groupes taxinomiques: dinoflagellés (57–66%), les diatomées (24–38%) et les flagellés (4–9%) (Chikhaoui *et al.*, 2008). Les fonds sont recouverts d'herbiers de *Caulerpa prolifera*, de *Cymodocea nodosa*, de *Zostera marina* et de *Ruppia spiralis* (Frisoni *et al.*, 1986). La faune ichtyique est constituée d'espèces à affinité marine. Les principales espèces pêchées sont: le marbré (*Lithognathus mormyrus*), les muges, la daurade (*Sparus aurata*), l'orphie (*Belone belone*), les raies, et l'athérine (*Atherina boyeri*). Les quantités moyennes débarquées annuellement avoisinent les 100 tonnes (Zaouali, 1984).

#### 1.1.4. Étang de Mauguio

Située près de Montpellier (France), cette lagune appelée encore lagune de l'Or s'étend suivant une direction NE-SW sur une longueur de 11 km et une largeur de 3 km, couvrant ainsi une superficie approximative de 3000 ha. La profondeur moyenne est estimée à 0,8 m avec un maximum de 1,3 m dans la partie centrale. La lagune est bordée au sud par le canal du Rhône à Sète, à l'est par le canal de Lunel et à l'ouest par les lagunes de Méjean et de Pérols. Le canal de l'Impérial, long de 1200 m et large de 10 m au maximum, relie l'extrémité sud-ouest de l'étang de Mauguio à la mer. Le bassin versant, d'une superficie d'environ 300 km<sup>2</sup>, comprend 7 ruisseaux principaux qui se déversent dans la zone Nord-est de la lagune.

Les fonds de la lagune sont constitués en majorité par des sédiments vaseux d'origine fluviale ou anthropique (rejet de station d'épuration). Les sites rocheux sont rares et très localisés: canal de l'Impérial, cabanes du Roc et canal du Rhône à Sète. Le sédiment est extrêmement chargé en éléments organiques, ce qui entraîne des phénomènes de fermentation, particulièrement en été. Les apports d'eau douce sur la bordure nord de la lagune sont importants et les précipitations, souvent à caractère torrentiel, provoquent un lessivage important, ce qui apporte nombre d'éléments nutritifs indispensables à la photosynthèse; ces apports d'eau douce induisent un gradient de salinité décroissant entre les extrémités NE et SW de la lagune (3-15% et 15-37%). La concentration des sels dissous varie en fonction des saisons; elle est maximale en automne-hiver (nitrates) et en été (phosphates). Ces produits proviennent du lessivage du bassin versant et des stations d'épuration des régions environnantes (la Grande Motte, Mauguio et Pérols). Ces sels se répartissent dans la lagune selon un gradient croissant E-W et N-S. La température de l'eau suit étroitement celle de l'air (Bouchereau *et al.*, 1989). L'amplitude des variations annuelles et journalières de la température de l'eau est importante en raison du faible volume d'eau. Pendant les longues périodes de vent faible, les fortes températures estivales, associées à une eutrophisation intense due plus particulièrement à l'azote (lessivage des terres agricoles du bassin versant et rejet d'eaux urbaines), favorisent la surproduction primaire et l'apparition consécutive d'eaux rouges, connues sous le nom de "malaïgues". Ces crises dystrophiques causent de fortes mortalités par les dégagements de gaz toxiques (H<sub>2</sub>S) qu'elles suscitent. Les herbiers dont l'évolution semble en constante régression, sont d'une grande importance pour les peuplements piscicoles de la lagune. Ils servent, en effet, d'habitat ou de refuge, en particulier pour de nombreux alevins. Les algues vertes (Genres *Ulva*, *Ulvopsis*, *Chaetomorpha* et *Enteromorpha*) et rouges (*Gracilaria verrucosa*) le plus souvent sous forme libre, présentent

un développement très important, surtout au printemps et en été, et envahissent parfois toute la tranche d'eau, favorisant l'apparition de crises dystrophiques ou "malaïgues". Sur le pourtour de la lagune se répartissent, selon un gradient de moindre salinité, divers peuplements végétaux, les mieux représentés sont les roselières d'eau douce ou saumâtre (*Scurpus sp*, *Phragmites australis*) et les engames (*Arthrocnenum sp*, *Salicornia europaea*). La bordure N-E de la lagune est colonisée par *Pomatogeton fluitans pectinatus* ayant une prédilection pour les eaux dessalées. Quant à la bordure sud, elle est peuplée par deux espèces à affinité marine *Zostera noltii* et *Ruppia maritima*.

## 1.2. Milieux marins

### 1.2.1. Golfe de Annaba

Le golfe de Annaba est limité à l'Est par le cap Rosa (8°15' Est et 36°58' Nord) et à l'ouest par le cap de Garde (7°47'Est et 36°58'Nord). La distance séparant les deux caps est d'environ 40 km et la profondeur maximale des eaux est estimée à 65 mètres (moyenne = 50 m). Selon Vaissière et Fredj (1963), le plateau continental est généralement étroit, avec un fond hétérogène; ce dernier est accidenté, nettement restreint au nord du cap de garde, puis s'élargit dans le golfe jusqu'à 27 km puis se rétrécit légèrement au niveau du cap Rosa.

La vase terrigène domine les fonds du golfe (Vaissiere et Fredj, 1963). Globalement, le fond débute à l'Ouest par du sable fin auquel succède une ceinture d'herbiers à *Posidonia oceanica* installée généralement sur un substrat dur et souvent entrecoupé par des zones sableuses (Pergent *et al.*, 1993). Au large du golfe, on trouve essentiellement de la vase terrigène molle mélangée à du sable et des débris coquilliers. Au delà, dans le prolongement du golfe vers les vallées de Tabarka (Tunisie), le substrat est constitué surtout de vase terrigène gluante (Vaissiere et Fredj, 1963).

La température et la salinité varient entre 19,4°C et 25.8 °C et 36.9 psu à 38.1 psu, respectivement (Hannachi, 2015). Le golfe est battu par les vents Nord à Nord-Ouest de la fin de l'automne jusqu'à la fin du printemps et par un vent d'Est en été. La côte Sud-ouest, particulièrement exposée aux vents du Nord, est sujette à d'intenses transports et accumulations sédimentaires générés par l'action hydrodynamique. A proximité du cap de Garde, il existe un courant principal résiduel qui progresse vers la côte en prenant une direction Sud (150° - 180°) avec une vitesse de 0,25 à 0,35 m/s. En l'absence de toute autre cause motrice de l'eau, de lents tourbillons plus au moins vastes prennent naissance le long du rivage, d'origines non précisées. Plus au Sud du cap, le courant se dirige vers l'Est aux

environs de l'oued Mafrag (90° - 100°) en diminuant d'intensité (0,10 à 0,25 m/s) (Anonyme, 1996).

En général, les teneurs en éléments minéraux azotés sont très hétérogènes et s'organisent selon un gradient décroissant depuis la côte vers le large. Dans le golfe de Annaba se jettent essentiellement trois oueds: Seybouse, la Mafragh et Bedjima; ces derniers charrient vers le golfe les eaux de leur bassin versant. Ces eaux charriées se composent d'eaux de pluie, de rejets directs de polluants industriels. Le golfe reçoit aussi les eaux usées urbaines qui ne subissent qu'un traitement sommaire au niveau de la station de traitement des eaux de Sidi Brahim, ainsi que de nombreux autres émissaires provenant des différentes plages qui longent le golfe.

### 1.2.2. Étang de Thau

Située à Sète (France), il fait partie des nombreuses lagunes qui jalonnent le littoral méditerranéen français. D'une superficie de 7500 ha (20 km de long et 5 km de large), il représente de ce fait, la plus grande lagune languedocienne. La pointe de Balaruc au nord, et l'avancée du Barrou au sud délimitent 2 zones d'inégale importance:

- La lagune des Eaux Blanches, à l'Est (600 ha), bordée par des zones de faible profondeur, communique avec la mer par les canaux de Sète et reçoit, à l'Est, le canal du Rhône à Sète (Canal des Étangs). Il est exploité intensivement pour la pêche (Poissons, Mollusques fousseurs).

- La grande lagune à l'ouest (5900 ha), s'étend des Onglous à Bouzigues où se détache, vers le nord, un bras marécageux: la crique de l'Angle; celle-ci reçoit le ruisseau d'Issanka (seul cours d'eau qui se déverse de façon permanente dans l'étang de Thau) et abrite une source immergée d'eau minérale chaude: la Bise. La grande lagune reçoit aux Onglous le canal du Midi et communique avec la mer par le grau de Pisos Samo (Section 20 m x 2,50 m). C'est dans la grande lagune que s'étalent les parcs conchylicoles (1200 ha dont 300 ha de tables) dont l'exploitation constitue une source de revenus essentielle pour la population riveraine. La température de l'eau présente deux phases saisonnières bien tranchées: une période hivernale froide où les températures de la lagune sont plus basses (janvier 3°C) qu'en mer et une autre chaude (printemps-été) où les phénomènes thermiques entre mer et lagune sont inversés (juillet 28°C). L'étang de Thau est le siège d'une phase de dessalure hivernale à partir de septembre (abondance des précipitations), suivie d'une période de concentration dès mars-avril, sous les effets du changement éolien, du réchauffement et de l'évaporation (min 6,4 psu

- max 41,8 psu). L'oxygène dissous est lié à de très nombreux facteurs physiques et biologiques, eux mêmes sujets à d'importantes fluctuations. L'évolution de la teneur en nitrates présente:

- des maxima en hiver, suite à la mortalité estivale des organismes végétaux et animaux. La reminéralisation bactérienne restitue alors au milieu les stocks de sels nutritifs. Les maxima observés peuvent s'expliquer par le ruissellement des eaux du bassin versant, consécutif à la tempête. Cet enrichissement en nitrates par les apports continentaux (engrais notamment) est un fait général; cependant il ne faut pas négliger l'importance que joue la mer en tant que réservoir de nitrates. En effet, celle-ci contribue à enrichir largement les eaux de la lagune par l'intermédiaire des canaux de Sète. L'accumulation des nitrates dans l'eau est susceptible d'engendrer un phénomène de dystrophie.

- des minima en période chaude, qui traduisent la reprise printanière, avec une nouvelle utilisation des sels nutritifs par les organismes végétaux.

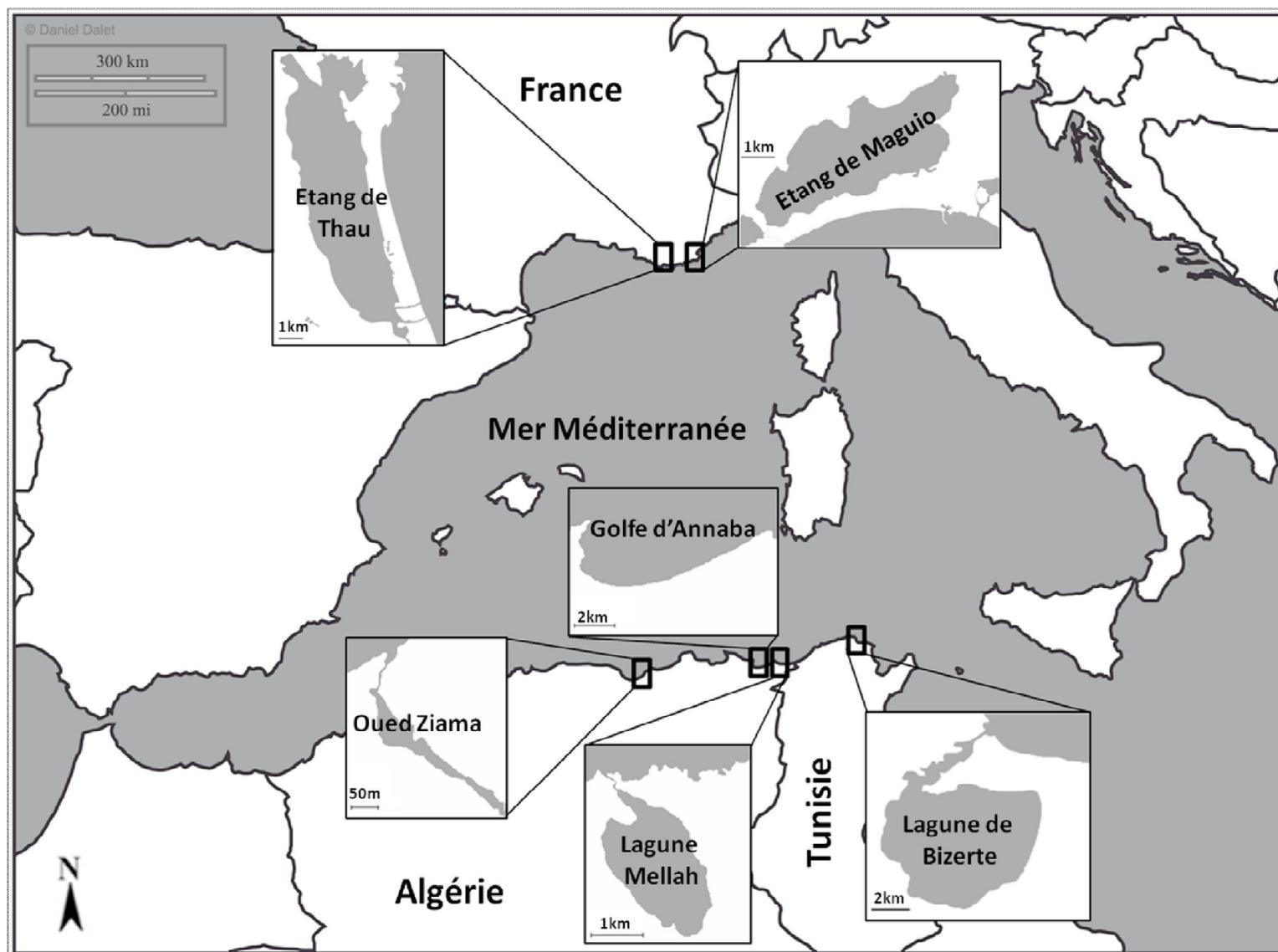


Figure 1. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage.

## 2. Description des athérines

### 2.1. Caractéristiques de la famille

Les représentants de la famille des Athérinidae peuplent les eaux superficielles littorales de toutes les mers tropicales et tempérées. Certains d'entre eux, aux affinités marines dominantes, sont essentiellement localisés en mer au niveau continental et insulaire dans les eaux peu profondes, préférentiellement dans les criques, les calanques et les ports. D'autres, plus eurybiontes et surtout euryhalins, pénètrent dans les lagunes saumâtres, les estuaires et les eaux douces.

Les athérines sont des poissons semi-pélagiques ou pélagiques. Elles mènent une vie grégaire et se déplacent par petits bancs sur fonds sableux, rocheux et parfois vers les prairies sous-marines. Au sein des biocénoses, leur rôle dominant est celui de petits carnivores vivant essentiellement aux dépens de crustacés: copépodes planctoniques en mer et dans les lagunes profondes et de copépodes, amphipodes benthiques dans les lagunes peu profondes. Leur teneur en graisse subit des variations importantes en fonction des saisons. Leurs oeufs, munis de nombreux filaments, adhèrent aux algues, aux rochers ou au sable du fond. Par ailleurs, les athérines sont une proie de choix pour beaucoup de carnassiers de plus grande taille tels que l'anguille et le loup mais également les poissons benthiques comme la sole. Bien d'autres poissons carnivores sont des prédateurs des athérines.

Le corps, y compris les pièces operculaires, est revêtu d'écailles lisses cycloïdes peu développées et faiblement adhérentes. De forme quadrangulaire ou vaguement pentagonale, elles présentent un champ postérieur large, fin, transparent, dépourvu d'ornementation et à bord arrondi. Leur champ antérieur, muni de circuli parallèles et bien dessinés, possède un bord formant angle obtus en son milieu. Toutes les nageoires sont presque incolores parfois légèrement teintées de blanc jaunâtre ou grisâtre.

- Les deux dorsales sont espacées l'une de l'autre. La première dorsale moins grande que la seconde est soutenue par des épines minces, flexibles et en nombre variable. La seconde dorsale est soutenue par un rayon non segmenté (épine) et un nombre variable de rayons segmentés.

- L'anale est la nageoire la plus longue, elle débute en avant de l'origine de la seconde dorsale et s'achève au même niveau que cette dernière. Elle a un rayon antérieur non segmenté suivi d'un nombre variable de rayons segmentés.

- Les pectorales sont placées, juste en arrière de la tête, dans la moitié supérieure de la hauteur du corps; ces nageoires masquent la partie antérieure de la bande argentée. Elles sont soutenues chacune par une épine et un nombre variable de rayons segmentés.

## 2.2. Caractéristiques du genre

Pendant longtemps une grande confusion a marqué la taxinomie des espèces de la famille des Athérinidés. Elle est due notamment au polymorphisme qui caractérise certaines d'entre elles et à l'absence d'éléments de diagnose discriminants valable sur toute l'aire de répartition. La discordance entre les travaux réalisés et la pluralité des noms spécifiques retenus ont incité Kiener et Spillmann (1969) à procéder à une importante mise au point systématique. Cette dernière est représenté par un seul genre en Europe composé de trois espèces, *Atherina boyeri* (Risso, 1810), *Atherina hepsetus* (Linnaeus, 1758) et *Atherina presbyter* (Cuvier, 1829) (Kiener et Spillmann, 1969).

Ici seront présentés quelques éléments de diagnose et de la biologie des espèces du genre *Atherina* (fig. 2), leurs différentes appellations sont résumées dans le tableau A. 1, en annexe.

### 2.2.1. *Atherina hepsetus* (Linnaeus, 1758)

*Atherina hepsetus* est un petit poisson (fig. 2 A) pélagique littoral qui vit entre 5 et 20m de profondeur, relativement à tendance sténohaline. Elle vit généralement en mer, dans les zones côtières et pénètre parfois dans les étangs à affinités mixo-euhaline ou pixo-polyhaline. Elle ne pénètre que rarement en eaux saumâtres. Son aire de répartition (fig. 3) couvre la Méditerranée, les mers Noire et Caspienne (Kiener et Spillmann, 1969). Dans l'Atlantique oriental, elle s'étend du golfe de Gascogne au golfe de Guinée, y compris les îles de Madère, des Canaries, du Cap Vert et d'Annobon (Dieuzeide *et al.*, 1955; Ladiges et Vogt, 1965; Tortonese, 1975; 1985). C'est une espèce carnivore qui se nourrit de zooplancton (copépodes, larves de poissons), de petits crustacés (benthiques et pélagiques) et occasionnellement de végétaux. Elle se reproduit de janvier à avril en Mer Adriatique (Grubišić, 1988), de décembre à mai en Méditerranée (France, Italie; Maugé, 1990) et d'avril à juillet dans la Mer Noire (Svetovidov, 1964). Les œufs, pourvus de nombreux et fins filaments, sont déposés et fixés sur les fonds caillouteux de 4 à 8 m de profondeur. Sa taille varie de 10 à 14 cm et peut atteindre 20 cm. Cette espèce fait l'objet de pêche semi-industrielle (Adriatique) et artisanale moyennant des sennes de plage, chaluts pélagique, filets soulevés (carrelet) et filets maillants.

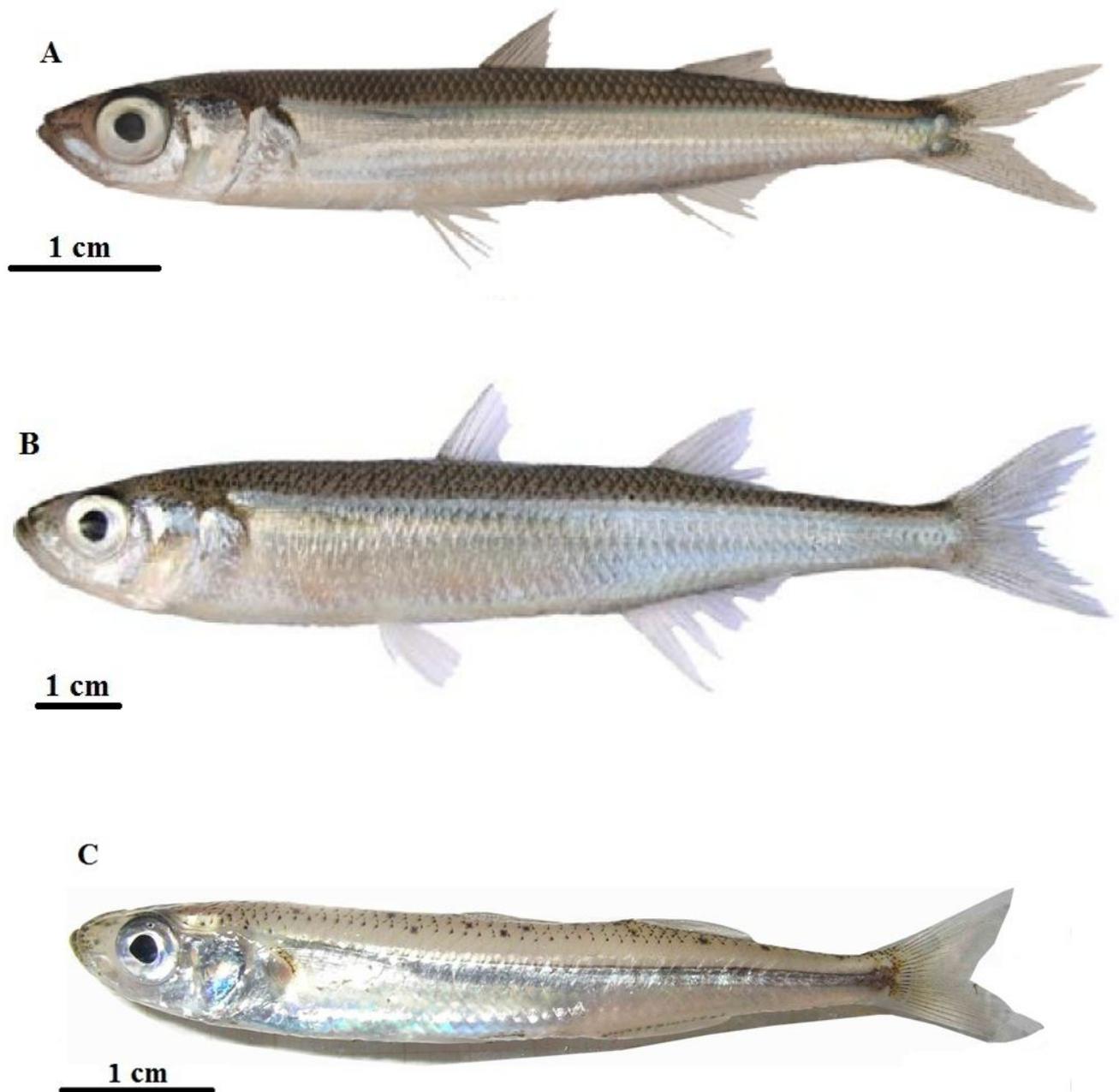


Figure 2. Représentation des différentes espèces d'athérines européennes.

A: *Atherina hepsetus*, B: *Atherina presbyter* (Iglésias, 2012), C: *Atherina boyeri*.



Figure 3. Répartition géographique d'*Atherina hepsetus* (www.fishbase.org)

En Méditerranée, les captures annuelles atteignent 160 tonnes (Jardas, 1996). C'est un poisson comestible (fritures, soupes de poissons) et régulièrement présent sur les marchés européens.

### 2.2.2. *Atherina presbyter* (Cuvier, 1829)

*Atherina presbyter* est une espèce littorale et pélagique (fig. 2 B) à tendance sténohaline effectuant de petites incursions dans les lagunes fortement marinisées. Elle est présente le long des côtes européennes et africaines de l'Océan Atlantique, de Kattegat (rare) et la Scandinavie au Maroc, autour des îles Canaries, Madère et au Cap Vert. Rare en Méditerranée, sa présence a été signalée dans le détroit de Gibraltar et sur les côtes françaises et tunisiennes (Quignard et Pras, 1986; Maugé, 1990), autour de l'archipel des Açores (Santos *et al.*, 1997) et en Algérie (Guichenot, in Dieuzeide *et al.*, 1955) (fig. 4).



Figure 4. Répartition géographique d'*Atherina presbyter* (www.fishbase.org)

*A. presbyter* est décrite comme étant une espèce marine et migratrice, qui utilise les estuaires et les lagunes côtières comme nurserie. Elle passe l'essentiel de sa vie adulte en mer, mais saisonnièrement retourne aux estuaires (Elliott et Dewailly, 1995).

La reproduction est estivale sur les côtes océanes et printanières sur les côtes méditerranéennes. Les œufs démersaux (1,9-2,0 mm) sont munis de filaments qui permettent l'adhésion au substrat ou aux algues. Les larves éclosent à une température de 15°C et atteignent une longueur totale de 6,7-7,5 mm après 15-16 jours (Bamber *et al.*, 1985). Elle se nourrit de petits crustacés et de larves de poissons, avec ralentissement de prise de nourriture en hiver et une période de jeûn pendant la ponte. Sa taille est de 15 à 17 cm, et peut atteindre 20 cm.

Autour des îles Canaries, *A. presbyter* représente un grand intérêt tant pour le commerce que pour les pêches aux thons, où elle sert d'appât (Pajuelo et Lorenzo, 2000). Elle est soumise à une pêche artisanale en Espagne et au Maroc au moyen des filets maillants de fond et des filets soulevés (carrelet). Sa chair est estimée et est régulièrement présent sur les marchés du Maroc, occasionnellement en Espagne où elle est commercialisée fraîche.

## 2.3. Présentation de l'espèce *Atherina boyeri*

### 2.3.1. Position systématique

Selon Bouchet et Fontaine (2009), le genre *Atherina* occupe la position systématique suivante:

Règne:	Animalia
Embranchement:	Chordata
Sous Embranchement:	Vertebrata
Super classe:	Gnathostoma
Classe:	Actinopteri
Ordre:	Atheriniformes
Famille:	Atherinidae
Sous famille:	Atherininae
Genre:	<i>Atherina</i>

### 2.3.2. Caractéristiques morphologiques

*Atherina boyeri* est un Téléostéen Actinoptérygien de petite taille (fig. 2 C), n'excédant pas 20 cm de long. Leur corps élancé est faiblement comprimé latéralement. La tête est aplatie

dorsalement et les yeux sont en position latérale. La bouche, fendue obliquement, possède des mâchoires protractiles sub-égales atteignant ou même dépassant légèrement le bord antérieur de l'œil. Des dents fines et pointues garnissent les mâchoires et la voûte buccale (vomer, palatins, ectoptérygoïdes). Les branchiospines sont grêles et longues. L'estomac, de type siphonal, est dépourvu de caecums pyloriques. L'anus est éloigné de l'origine de la nageoire anale. Le dos, gris-jaunâtre, est piqueté de petits points noirs. Le ventre est blanchâtre. Les flancs nuancés de grisâtre présentent, en position médiane, une bande argentée brillante qui s'étend de l'aisselle des nageoires pectorales jusqu'à la base de la caudale. Cette bande perd de sa vivacité chez les individus morts et devient brune ou noir foncée chez les spécimens conservés dans l'alcool ou le formol (Marfin, 1981).

### 2.3.3. Distribution géographique

*Atherina boyeri* est une espèce littorale commune en Méditerranée et les mers annexes (Adriatique, mers Noire, Caspienne et d'Aral). En Atlantique, son aire de distribution (fig. 5) s'étend des Açores aux côtes Scandinaves (Kiener et Spillmann, 1969; Quignard et Pras, 1986). Elle est fréquente dans les estuaires et les lagunes saumâtres côtières, remontant parfois jusqu'en eau douce (lacs Trasamino, Karoun, Caramargue, Iznik). Elle se rencontre également dans les eaux littorales marines abritées, sur fond sableux ou rocheux mixte, parfois d'herbier.



Figure 5. Répartition géographique d'*Atherina boyeri* (www.fishbase.org)

### 2.3.4. Eléments de biologie

Ces petits poissons forment des populations locales semi-isolées qui peuvent être différents, tant bien sur le plan biologique que morphologique (Eklossa-Kilia *et al.*, 2002). Ils

supportent de grandes variations de salinité (euryhaline) et de température (eurytherme). On les retrouve dans des zones de salinités comprises entre 0 à 60 psu, mais ils sont rencontrés le plus fréquemment à des salinités comprises entre 3 et 12 psu (Louisy, 2002). Ils demeurent dans les eaux de 6 à 25°C (Louisy, 2002) et remontent parfois les eaux douces. Ils sont présents en mer dans des zones peu profondes (0-3 m) abritées, au-dessus de fonds détritiques, rocheux ou d'herbiers.

*Atherina boyeri* est carnivore (Marfin, 1981) et se nourrit principalement en mer de zooplancton (planctophage) et en lagunes ou en eau douce de petits invertébrés benthiques. Son régime alimentaire est varié et à base de petits crustacés, mollusques, annélides et aussi de larves de poissons (Louisy, 2002). Ce régime évolue avec sa taille et son environnement, mais les larves et les juvéniles consomment de très petites proies comme les larves de copépodes ou de mollusques.

Les sexes sont séparés. Mâles et femelles se ressemblent, mais la taille des femelles est très souvent supérieure à celle des mâles (Marfin, 1981). Quel que soit le sexe, la maturité sexuelle est atteinte à une taille de 4 cm qui correspond à un an (Fisher *et al.*, 1987). Les gonades sont simples et constituées soit d'un unique testicule blanc lobulaire soit d'un unique ovaire, entouré, une fois mature, d'un péritoine noir (Palmer et Culley, 1983). La ponte et la fécondation sont externes. Les œufs (0,03 - 2 mm) sont démersaux et peuvent avoir trois aspects différents en fonction de leur taille: transparents (< 0,6 mm), opaques blancs-jaunes ( $\leq$  0,9 mm) et vitellins jaunes-orangés ( $\geq$  1 mm). Les œufs munis de nombreux filaments adhèrent à différents substrats (algues, rochers, sable) (Fisher *et al.*, 1987). À l'éclosion, la larve mesure 5 à 6 mm après 30 jours. Sa taille est de 8 à 10 cm, avec une longueur maximale de 13 cm.

### 2.3.5. Valeur commerciale

*A. boyeri* fait l'objet de pêche semi-industrielle (Adriatique) ou artisanale, moyennant des sennes de plage, chaluts de fond et pélagiques, filets soulevés (carrelet) et maillants, nasses, barrages. Elle fait partie des captures les plus importantes sur les côtes Méditerranéennes espagnoles, et représente, à côté de *Sparus aurata* et des Mugilidae, une capture de choix dans la lagune de Mar Menor (Guevara et Sautier-Casaseca, 1977; Cabo, 1979). En Grèce, elle est devenue l'espèce la plus commercialisée pour certaines eaux intérieures (Koutrakis, 2000). En Turquie, elle est exportée du Lac Iznik (Özeren, 2009). On la trouve régulièrement présente

sur la plupart des marchés du pourtour de la Méditerranée où elle est commercialisée fraîche ou marinée.

Malgré son intérêt économique dans d'autres pays, il n'existe aucune information sur sa biologie dans le Sud-ouest de la Mer Méditerranée où son exploitation reste limitée (Kraïem *et al.*, 2003) voire absente (Chaoui *et al.*, 2006).

### 2.3.6. Eléments de diagnose

- Apophyses des prémaxillaires larges et plus courtes ou égales aux parties horizontales dentées, et n'atteignant pas le bord supérieur de l'œil.
- Processus mandibulaire bien développé.
- Bouche oblique et protractile.
- Deux nageoires dorsales bien séparées.
- Côtés dorsal et ventral des écailles du flanc très sensiblement rectilignes.
- Bande longitudinale sombre surmontée d'une ligne brillante, verte à dorée.
- Écailles sur la ligne latérale au nombre de 39 à 52 (écailles en travers: 6-11)
- Vertèbres au nombre de 40 à 47.
- Prémaxillaire armé de dents fortes sur 4/5 à 9/10 de la partie horizontale.
- Dents fortes disposées en plusieurs rangées sur la tête du vomer.
- Dents fortes disposées en deux groupes sur les ectoptérygoïdes: un antérieur, constant et un en position postérieure, inconstant.
- Dents disposées en cadre sur les arcs plantins, réparties en deux groupes principaux, un antérieur et un postérieur plus important. Parfois un troisième groupe entre les deux.
- D1: VI-IX; D2 8-14; A: 11-17; branchiospines: 21-39; espèce euryhaline, très polymorphe, colonise les lagunes saumâtres, taille maximale 13 cm.
- Corps de même allure que celui d'*A. presbyter*.

**DEUXIÈME PARTIE**

**DIFFERENCIATION MORPHO-SOMATIQUE,  
OTOLITHOMÉTRIQUE ET GÉNÉTIQUE  
D'*ATHERINA BOYERI* DANS DIFFÉRENTS HABITATS  
DE LA MEDITERRANÉE**

---

## Chapitre I.

### Différenciation morpho-somatique

#### Introduction

En milieu marin, il est difficile de définir les limites géographiques des stocks ichtyologiques, étant donné les spécificités intrinsèques de ce milieu qui se présente comme un espace dépourvu de frontières au sein duquel les poissons peuvent se déplacer librement (Palumbi, 1994; Alheit et Hagen, 1997; Zitari-Chatti *et al.*, 2009).

Une large variété de méthodes, directes et indirectes, sont utilisées pour l'identification des populations ichtyologiques, dont la puissance et la faiblesse dépendent de l'espèce étudiée (Cadrin *et al.*, 2005). Il est généralement recommandé d'utiliser une large gamme de techniques complémentaires pour la même espèce «holistic approach» ce qui permet de résoudre les anomalies apparentes entre les différentes méthodes et aboutir à une définition correcte d'un stock (Begg et Waldman, 1999; Swain *et al.*, 2005). Les méthodes d'identification des stocks peuvent être groupées en trois catégories (Cadrin *et al.*, 2005):

- Des méthodes basées sur les traits d'histoire de vie du poisson comme la reproduction, la mortalité, la croissance et la distribution.
- Des méthodes basées sur les marqueurs comme la morphologie du corps, la morphologie des otolithes ou leur composition chimique, les caractères génétiques et les parasites.
- Des méthodes basées sur l'application de marquage comme le marquage recapture «tagging» ou le marquage thermique des otolithes.

Depuis des décennies, la morphométrie, combinée à l'analyse multivariée, offre un bon outil pour explorer les différences morphologiques entre les stocks et les différentes populations de poissons (ex. Chambers *et al.*, 1979; Winans, 1984; Kara et Frehi, 1997; Palma et Andrade, 2002; Langerhans *et al.*, 2003; Maltagliati *et al.*, 2003; Silva, 2003; Turan, 2004; Ergüden et Turan, 2005; Bahri-Sfar et Ben Hassine, 2009; Erdoğan *et al.*, 2009; Uglem *et al.*, 2011). Elle se base sur l'observation des critères morphologiques tels que la forme du corps (aplatissement, allongement), l'emplacement des nageoires, le diamètre de l'œil, le nombre de rayons, etc... . Un problème mineur avec la morphométrie peut résulter de la variation des

tailles des individus, mais ces différences peuvent être exclus par la normalisation des données (Chambers *et al.*, 1979) ou par l'application de certaines transformations afin d'éliminer l'effet de taille (Turan, 1999; Palma et Andrade, 2002).

L'identification des stocks pourrait servir à l'élaboration de nouvelles stratégies de gestion de pêche en vue d'une meilleure exploitation des ressources disponibles, d'où l'importance du concept de la structuration géographique des populations marines (Bailey, 1997). En outre, les variations phénotypiques sont généralement les résultantes d'une combinaison entre la composante environnementale et la composante génétique (Cabral *et al.*, 2003). Les investigations morphométriques constitueraient donc un premier pas vers des études complémentaires, notamment génétiques, pour une meilleure connaissance des populations marines considérées (Kara et Frehi, 1997; Turan, 1999).

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1. Echantillonnage**

L'échantillonnage lagunaire a été effectué à l'aide d'une senne de plage (L: 10 m, h: 1,2 m, vide de maille: 4 mm) (fig. 6), sur une période de 13 mois, avec une fréquence d'un prélèvement par mois. L'échantillon est transporté ensuite dans une glacière pour qu'il soit conservé au frais au laboratoire à -4°C. Afin d'effectuer une série de comparaisons morpho-somatiques, un échantillonnage supplémentaire qui ne couvre pas un cycle entier a été réalisé. Il concerne les individus marins ponctués et non ponctués du golfe de Annaba, des individus provenant de l'oued Ziama (Algérie), de la lagune de Bizerte (Tunisie) des étangs de Thau et de Mauguio (France).

### **1.2. Morphométrie**

#### **1.2.1. Caractères numériques**

Les paramètres numériques ont été observés sous loupe binoculaires chez tous les individus. La limite de comptage des écailles de la ligne latérale sont comprises entre la base de la bordure operculaire et la limite de la partie charnue du pédoncule caudale (qui est aussi la limite de la mesure de la longueur standard). Neuf caractères numériques (fig. 7) ont été pris en considération, soit: VE (nombre de vertèbres), SC (nombre d'écailles sur la ligne *latérale*), TGt (nombre de branchiospines totales), TGinf (nombre de branchiospines inférieur),



Figure 6. Echantillonnage d'*A. boyeri* dans la lagune Mellah.

A: caractéristiques de l'engin de pêche; B: trait de senne; C: récolte des poissons.

TGsup (nombre de branchiospines supérieur), Pe (nombre de rayons de la nageoire pectorale), D1 (nombre de rayons de la 1ère nageoire dorsale), D2 (nombre de rayons de la 2ème nageoire dorsale), AN (nombre de rayons de la nageoire anale).

Afin de déceler d'éventuelles différences au niveau des caractères numériques en fonction des sexes et/ou des sites, chaque caractère est décrit par son mode, ses valeurs limites et sa moyenne. L'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour comparer les valeurs moyennes entre populations pour chaque site, et a été complétée par le test de comparaison des moyennes deux à deux (test de Newman-Keuls, SNK) utilisant le logiciel SPSS v. 13.0 (SPSS, 2004).

Lorsqu'il y a une différence entre les deux échantillons, nous avons calculé le coefficient de différence (CD) de Mayr Linsley, et Usinger (Quignard, 1966) pour connaître leur niveau taxonomique respectif:

$$C.D. = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_1 + S_2}$$

où:

$\bar{X}$  : Valeur moyenne du caractère étudié

S: écart-type de la moyenne

Il est généralement admis (Géry, 1962) que lorsque 75 % des individus d'une population diffèrent par un ou plusieurs caractères de 75 % des individus d'une autre population ( $CD > 0,67$ ), nous sommes en présence de différences raciales entre ces deux populations. Lorsque 75 % des individus d'une population diffèrent de 97 % de ceux d'une autre population ( $CD > 1,28$ ), ces deux populations diffèrent sub-spécifiquement.

### 1.2.2. Caractères métriques

Un total de 14 caractères métriques a été utilisé pour décrire la morphologie d'*A. boyeri* (fig. 8): Lt (longueur totale), Ls (longueur standard), MZ (longueur du museau), DO (diamètre orbitaire), LPo (longueur post-orbitaire), Lc (longueur céphalique), MD1 (distance depuis le museau jusqu'à la 1ère dorsale), MD2 (distance depuis le museau jusqu'à la 2ème dorsale), DAn (distance depuis le museau jusqu'à la nageoire anale), Eid (distance entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> dorsale), O-O (Distance interorbitaire), Hc (hauteur du corps), Hpc (hauteur du pédoncule caudal), BD1 (longueur de la 1<sup>ère</sup> nageoire dorsale). Les mesures ont été effectuées au dixième de millimètre près à l'aide d'un pied à coulisse électronique.

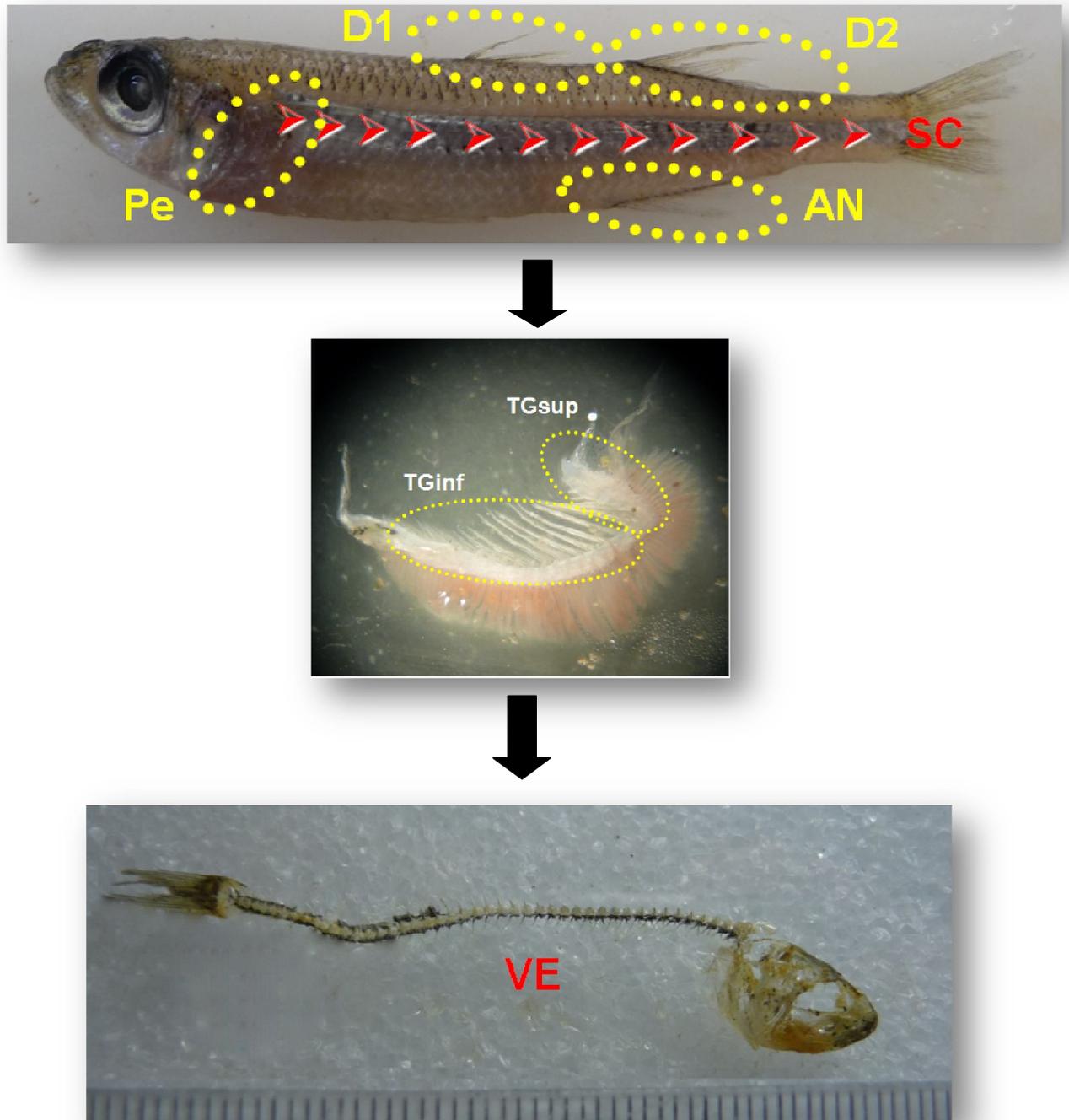


Figure 7. Photographies montrant les caractères numériques pris en considération.

Le coefficient de corrélation "r" est calculé et le type d'allométrie est déterminé en utilisant le test "t" de Student (Dagnelie, 1975) pour chaque paramètre. La valeur de  $t_{obs}$  est comparée à celle de "t" théorique:  $t_{1-\alpha/2}$  (donnée par la table de Student) où  $\alpha$  représente le seuil de confiance au risque d'erreur de 5 % pour (n-2) degré de liberté.

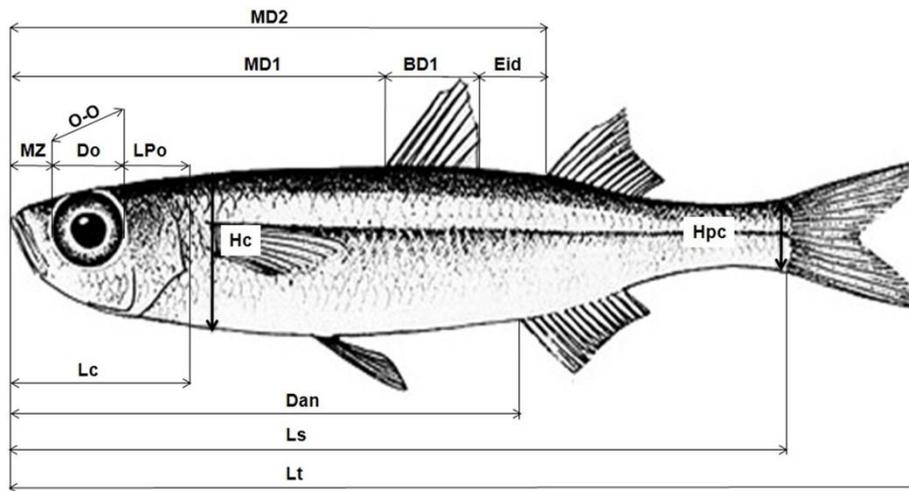


Figure 8. Mensurations prises pour chaque spécimen.

Légende: Lt = longueur totale, Ls = longueur standard, MZ = museau, DO = diamètre orbitaire, LPo = longueur post-orbitaire, Lc = longueur céphalique, MD1 = distance jusqu'à la 1<sup>ère</sup> dorsale, MD2 = distance jusqu'à la 2<sup>ème</sup> dorsale, DAN = distance jusqu'à la nageoire anale, Eid = espace inter-dorsal, O-O = Distance interorbitaire, Hc = hauteur du corps, Hpc = hauteur du pédoncule caudal, BD1 = longueur de la 1<sup>ère</sup> nageoire dorsale.

Afin de caractériser la morphologie des athérines des sites étudiés, les différentes parties du corps sont exprimées en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique. Etant données les variations de certains de ces rapports au cours de la croissance du poisson, et afin de mettre de manière plus expressive les changements relatifs de ces dimensions, nous avons utilisé la méthode des moindres rectangles (axe majeur réduit) qui est une équation de régression préconisée par Teissier (1948) pour les études d'allométrie. Elle s'écrit de la manière suivante:

$$Y = bX + a$$

Avec: b: pente de la droite.

$$b = \frac{\text{Ecart type } y}{\text{Ecart type } x}$$

a: ordonné à l'origine.

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

X et Y: dimensions mesurées sur un même individu.

La valeur  $t_{obs}$  est calculée en utilisant le test "t" de Student (Dagnelie, 1975) qui s'écrit de la manière suivante:

$$t_{obs} = \frac{(|b^2 - 1| \cdot \sqrt{n - 2})}{(2b \cdot \sqrt{1 - r^2})}$$

où:

n: nombre de couples de données,

r: coefficient de corrélation,

b: coefficient d'allométrie (pente).

La valeur de  $t_{obs}$  est comparée à celle de "t" théorique =  $t_{1-\alpha/2}$  (valeur donnée par table de Student) ou  $\alpha$  représente le seuil de confiance au risque d'erreur de 5%. Deux cas peuvent se présenter:

- Si  $t_{obs} \leq t_{1-\alpha/2}$ : on accepte l'hypothèse, la différence n'est pas significative et  $b = 1$ , il y a donc une isométrie entre les deux paramètres étudiés.

- Si  $t_{obs} > t_{1-\alpha/2}$ : on rejette l'hypothèse, la différence est significative entre la pente et la valeur théorique, il y a donc une allométrie minorante (négative), si  $b < 1$ , ou allométrie majorante (positive), si  $b > 1$ .

### 1.2.3. Dimorphisme

Afin de déceler une éventuelle différence morpho-somatique suivant le sexe ou le site d'échantillonnage, nous avons comparé pour chaque caractère les équations des droites de régression entre les deux sexes. Pour cela, nous avons utilisé le test "t" de Student adapté aux axes majeurs réduits. On compare tout d'abord les pentes des deux axes en comparant une différence à son erreur standard:

$$tpe = \frac{|a_1 - a_2|}{\sqrt{Var(a_1 - a_2)}}$$

à (n - 4) degrés de liberté. où:

$a_1$  et  $a_2$ : pentes des deux droites.

n: nombre total de couples.

Si la différence de pente n'est pas significative, on compare alors la position des deux droites expérimentales par deux "droites auxiliaires" parallèles passant par les centres de gravité des échantillons mais de pente intermédiaire commune. On calcule une variance commune autour de ces parallèles; c'est une régression combinée "tpo":

$$t_{po} = \frac{Y_{1P} - Y_{2P}}{\sqrt{\text{Var}(Y_{1P} - Y_{2P})}} = \frac{|\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2| - a_p(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{S^2 y_p \left[ \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \times \left( \frac{2}{1 + R_p} \right) + \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^2}{NS^2 X_p} \right]}}$$

où:

$\bar{Y}_{1P} - \bar{Y}_{2P}$  : Distance entre les droites auxiliaires.

$\bar{Y}_1$  et  $\bar{Y}_2$  : moyenne des Y des droites expérimentales.

$\bar{X}_1$  et  $\bar{X}_2$  : moyenne des X des deux droites expérimentales.

$a_p$  : Pente de la droite auxiliaire.

$R_p$  : Coefficient de corrélation moyen.

$\frac{1}{n_1}(S^2 Y_p)$  et  $\frac{1}{n_2}(S^2 Y_p)$  : variance de  $\bar{Y}_{1P} - \bar{Y}_{2P}$  considérées comme moyennes de  $Y_{1P} - Y_{2P}$ .

$NS^2 X_p$  : Covariance des  $X_p$ .

$N$  : Nombre total de couples.

La valeur de  $t_{obs}$  est comparée à celle de "t" théorique =  $t_{1-\alpha/2}$  (valeur donnée par table de Student) ou  $\alpha$  représente le seuil de confiance au risque d'erreur de 5%. Deux cas peuvent se présenter:

- Si  $t_{obs} > t_{1-\alpha/2}$ : on accepte l'hypothèse, la différence est significative, alors il y a un dimorphisme sexuel.

- Si  $t_{obs} \leq t_{1-\alpha/2}$ : on rejette l'hypothèse, la différence n'est pas significative, il n'y a pas donc un dimorphisme.

#### 1.2.4. Analyse statistique

Pour une meilleure estimation des divergences entre les échantillons, nous avons procédé à des analyses multidimensionnelles traitant simultanément l'ensemble des caractères et des échantillons analysés. Pour cela, une analyse factorielle discriminante (AFD) a été utilisée afin de discriminer éventuellement les échantillons d'une même espèce ou d'espèces différentes (Dagnelie, 1975; Semple *et al.*, 1991). Afin d'éliminer le biais de la longueur, utilisant Excel, la matrice de données a été transformée en matrice de résidus.

Chaque population a été scindée aléatoirement en deux parties pour vérifier l'effet inter et intra-spécifique. Les barycentres propres à chaque paramètre et population ont été déterminés en utilisant le logiciel Systat 11<sup>®</sup> et le clustering via le logiciel R<sup>®</sup>.

## 2. Résultats

### 2.1. Caractères numériques

Le tableau 1 illustre les statistiques descriptives pour chaque caractère numérique de la population totale étudiée chez *A. boyeri* suivant le site d'échantillonnage. Le nombre de rayons sur la 1<sup>ère</sup> nageoire dorsale est compris entre 5 et 10 (mode = 7) pour la population de la lagune Mellah, entre 5 et 8 (mode = 7) pour celle de l'oued Ziama, entre 5 et 9 (mode = 7) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, entre 5 et 11 (mode = 8) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, entre 7 et 9 (mode = 8) pour celle de l'étang de Thau, entre 5 et 8 (mode = 7) pour celle de la lagune de Bizerte et entre 6 et 8 (mode = 7) pour celle de l'étang de Mauguio.

Le nombre de rayons sur la 2<sup>ème</sup> nageoire dorsale oscille entre 10 et 14 (mode = 12) pour la population de la lagune Mellah, entre 11 et 15 (mode = 12) pour celle de l'oued Ziama, entre 10 et 15 (mode = 12) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba; 8 à 14 rayons (mode = 12) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba; 11 à 14 rayons (mode = 13) pour celle de l'étang de Thau; 10 à 14 rayons (mode = 12) pour celle de la lagune de Bizerte; et 11 à 18 rayons (mode = 12) pour celle de l'étang de Mauguio.

Le nombre de rayons sur la nageoire pectorale d'*A.* est situé entre 10 à 16 (mode = 14) pour la population de la lagune Mellah, entre 10 et 17 (mode = 15) pour celle de l'oued Ziama, entre 11 et 15 (mode = 13) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, entre 10 et 18 (mode = 15) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, entre 12 et 15 (mode = 14) pour celle de l'étang de Thau, entre 10 et 14 (mode = 12) pour celle de la lagune de Bizerte et entre 12 et 16 (mode = 14) pour celle de l'étang de Mauguio.

Le nombre de rayons sur la nageoire anale d'*A. boyeri* est compris entre 11 et 17 (mode = 14) pour la population de la lagune Mellah, entre 12 et 16 (mode = 14) pour celle de l'oued Ziama, entre 12 et 16 (mode = 14) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, entre 9 et 16 (mode = 13) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, entre 14 et 16 (mode = 15) pour celle de l'étang de Thau, entre 12 et 17 (mode = 15) pour celle de la lagune de Bizerte et entre 13 et 16 (mode = 15) pour celle de l'étang de Mauguio.

L'arc branchial d'*A. boyeri* porte 14 à 21 branchiospines inférieures (mode = 17) pour la population de la lagune Mellah, 13 à 19 (mode = 17) pour celle de l'oued Ziama, 16 à 25 (mode = 20) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, 18 à 29 (mode = 20) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, 19 à 23 (mode = 21) pour

celle de l'étang de Thau, 17 à 19 (mode = 18) pour celle de la lagune de Bizerte et 16 à 20 (mode = 18) pour la population provenant de l'étang de Mauguio.

L'arc branchial d'*A. boyeri* porte 6 à 8 branchiospines supérieures (mode = 7) pour la population de la lagune Mellah, 5 à 8 (mode = 7) pour celle de l'oued Ziama, 5 à 8 (mode = 7) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, 6 à 10 (mode = 7) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, 8 à 9 (mode = 8) pour celle de l'étang de Thau, 7 à 8 (mode = 7) pour celle de la lagune de Bizerte et 6 à 8 (mode = 7) pour la population provenant de l'étang de Mauguio.

L'arc branchial d'*A. boyeri* porte 20 à 28 branchiospines totale (mode = 24) pour la population de la lagune Mellah, 20 à 26 (mode = 23) pour celle de l'oued Ziama, 22 à 33 (mode = 27) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, 24 à 39 (mode = 27) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, 27 à 31 (mode = 29) pour celle de l'étang de Thau, 24 à 27 (mode = 25) pour celle de la lagune de Bizerte et 23 à 28 (mode = 25) pour la population provenant de l'étang de Mauguio.

Le nombre d'écailles sur sa ligne latérale d'*A. boyeri* est situé entre 36 et 47 (mode = 41) pour la population de la lagune Mellah, entre 38 et 49 (mode = 45) pour celle de l'oued Ziama, entre 39 et 47 (mode = 42) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, entre 38 et 48 (mode = 45) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, entre 41 et 48 (mode = 45) pour celle de l'étang de Thau, entre 38 et 44 (mode = 38) pour celle de la lagune de Bizerte et entre 38 et 44 (mode = 38) pour celle de l'étang de Mauguio.

Quant au nombre de vertèbres d'*A. boyeri*, il varie entre 37 et 44 (mode = 41) pour la population de la lagune Mellah, entre 39 et 48 (mode = 44) pour celle de l'oued Ziama, entre 38 et 47 (mode = 41) pour la population d'athérine ponctuée du golfe de Annaba, entre 39 et 49 (mode = 44) pour la population d'athérine non ponctuée du golfe de Annaba, entre 42 et 46 (mode = 45) pour celle de l'étang de Thau, entre 38 et 43 (mode = 38) pour celle de la lagune de Bizerte et entre 37 et 45 (mode = 42) pour celle de l'étang de Mauguio.

Tableau 1. Données statistiques sur la distribution numérique des vertèbres chez la population totale d'*Atherina boyeri* échantillonnée dans les 3 sites. N. Obs.: nombre d'observations, Moy.: Moyenne, M: mode, ET: écart type, Lim: valeurs limites. Avec: L: Lagune Mellah; MP: Golfe de Annaba; Z: Oued Ziama; MNP: Golfe de Annaba; TG: Étang de Thau; T: Lagune de Bizerte; MG: Étang de Manguio.

Caractère	Site	N. Obs	Moy.	ET	M	Lim (Min: Max)	
						Min	Max
D1	L	268	7,05	0,73	7	5	10
	Z	147	6,84	0,63	7	5	8
	MP	144	6,9	0,71	7	5	9
	MNP	194	7,84	1,02	8	5	11
	TG	22	7,9	0,52	8	7	9
	T	146	6,93	0,73	7	5	8
	MG	56	7,32	0,6	7	6	8
D2	L	268	12,01	0,7	12	10	14
	Z	147	12,72	0,87	12	11	15
	MP	144	11,95	0,73	12	10	15
	MNP	194	12,26	0,86	12	8	14
	TG	22	12,72	0,63	13	11	14
	T	146	12,18	0,88	12	10	14
	MG	56	12,51	0,95	12	11	18
Pe	L	269	13,29	1,06	14	10	16
	Z	147	14,44	1,07	15	10	17
	MP	144	13,15	1,06	13	11	15
	MNP	193	15,01	1,25	15	10	18
	TG	22	14,18	0,73	14	12	15
	T	146	12,04	0,73	12	10	14
	MG	56	13,69	0,78	14	12	16
SC	L	265	41	1,63	41	36	47
	Z	147	44,7	2,56	45	38	49
	MP	144	41,65	1,43	42	39	47
	MNP	117	43,33	2,26	45	38	48
	TG	22	44,68	1,8	45	41	48
	T	146	39,9	1,56	38	38	44
	MG	56	40	1,86	38	38	44
AN	L	269	13,81	0,82	14	11	17
	Z	147	14,17	0,77	14	12	16
	MP	144	14,12	0,89	14	12	16
	MNP	194	13,85	1,08	13	9	16
	TG	22	15	0,75	15	14	16
	T	146	14,54	0,82	15	12	17
	MG	56	14,46	0,78	15	13	16
TGsup	L	236	6,82	0,61	7	6	8
	Z	143	6,58	0,62	7	5	8
	MP	144	6,79	0,69	7	5	8
	MNP	194	7,49	0,85	7	6	10
	TG	22	8,04	0,21	8	8	9
	T	146	7,32	0,47	7	7	8
	MG	100	7,2	0,44	7	6	8

Suite tableau 1.

Caractère	Site	N. Obs	Moy.	ET	M	Lim (Min: Max)	
						Min	Max
TGinf	L	235	17,13	1,3	17	14	21
	Z	144	16,48	1,01	17	13	19
	MP	143	20,11	1,55	20	16	25
	MNP	194	22,01	2,55	20	18	29
	TG	22	20,81	1,36	21	19	23
	T	146	18,21	0,63	18	17	19
	MG	100	17,99	0,92	18	16	20
VE	L	266	41,18	1,25	41	37	44
	Z	147	44,41	1,57	44	39	48
	MP	142	41,6	1,45	41	38	47
	MNP	118	44,5	2,11	44	39	49
	TG	22	44	1,3	45	42	46
	T	146	40,17	1,59	38	38	43
	MG	56	41,39	2,06	42	37	45
TGt	L	235	23,95	1,49	24	20	28
	Z	142	23,06	1,28	23	20	26
	MP	143	26,91	1,93	27	22	33
	MNP	194	29,5	3,17	27	24	39
	TG	22	28,86	1,35	29	27	31
	T	146	25,54	0,91	25	24	27
	MG	100	25,19	1,04	25	23	28

La comparaison des caractères méristiques (tab. 2) indique une différence significative suivant le site d'échantillonnage. Cette différence concerne la plupart des 13 caractères étudiés. Selon le paramètre pris en considération, les différences sont plus ou moins prononcées et peuvent atteindre un niveau de différence raciale ou sub-spécifique (tab. 3-11). Les figures 9-17 illustrent les fréquences par caractère pour l'ensemble des populations étudiées.

Pour le nombre de rayons de la première nageoire dorsale, une différence significative est observée entre les différentes populations ( $F = 38,69$ ;  $P < 0,001$ ) avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (MNP, TG), le groupe B (MG), le groupe C (L), le groupe D (Z, T), avec la population ponctué du golfe de Annaba qui appartient aux groupex C et D. Une différence raciale est observée en comparant TG avec L (CD = 0,68), Z (CD = 0,92), MP (CD = 0,81), et T (CD = 0,77) (tab. 3).

En ce qui concerne le nombre de rayons de la seconde nageoire dorsale, une différence significative est observée ( $F = 17,41$ ;  $P < 0,001$ ) avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (Z, MG, TG), le groupe B (T), le groupe C (L, MP), avec la population marine non ponctuée du golfe de Annaba (MNP) qui présente une similarité avec les échantillons des groupes A et B (tab. 4). De même pour le nombre de rayons de la nageoire pectorale où une différence significative est mise en évidence ( $F = 136,73$ ;  $P < 0,001$ ), avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (MNP), le groupe B (Z), le groupe C (MG), le groupe D (L, MP), le groupe E (T), avec la population de l'étang de Thau qui présente une similarité avec les groupes B et C. Une différence raciale est observée en comparant les individus MNP avec MP ( $CD = 0,8$ ) et L ( $CD = 0,74$ ), et en comparant les individus de la lagune de Bizerte avec MG ( $CD = 1,09$ ) et L ( $CD = 0,69$ ). Les différences atteignent un niveau sub-spécifique en comparant T avec Z ( $CD = 1,33$ ), MNP ( $CD = 1,5$ ), et TG ( $CD = 1,46$ ) (tab. 5).

Une différence significative est observée pour le nombre de rayons de la nageoire anale ( $F = 18,71$ ;  $P < 0,001$ ), avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (TG), le groupe B (T, MG), le groupe C (Z, MP), le groupe D (L, MNP). Une différence raciale est observée en comparant les individus de la lagune Mellah avec ceux de l'Étang de Thau ( $CD = 0,75$ ) (tab. 6).

Le nombre de vertèbres varie d'une population à une autre ( $F = 140,1$ ;  $P < 0,001$ ), où on observe les groupes suivants: le groupe A (T), le groupe B (L, MP, MG), le groupe C (MNP, TG, Z). Une différence raciale est observée en comparant Z avec L ( $CD = 1,14$ ), MP ( $CD = 0,93$ ), MG ( $CD = 0,83$ ), ou en comparant MNP avec L ( $CD = 1,04$ ), MP ( $CD = 0,94$ ), T ( $CD = 1,15$ ), MG ( $CD = 0,89$ ), aussi en comparant TG avec MP ( $CD = 0,87$ ), L ( $CD = 1,1$ ), MG ( $CD = 0,77$ ). Les différences atteignent un niveau sub-spécifique en comparant T avec TG ( $CD = 1,32$ ) ou Z ( $CD = 1,34$ ) (tab. 7).

Le nombre d'écaillés sur la ligne latérale diffère d'une population à une autre ( $F = 120,23$ ;  $P < 0,001$ ), avec l'observation des groupes suivants: le groupe A (T, MG), le groupe B (L), le groupe C (MP), le groupe D (MNP), et le groupe E (Z, TG). Une différence raciale est observée en comparant Z avec L ( $CD = 0,88$ ), MP ( $CD = 0,76$ ), T ( $CD = 1,16$ ), MG ( $CD = 1,06$ ), ou en comparant MNP avec L ( $CD = 0,89$ ), MP ( $CD = 0,83$ ), T ( $CD = 1,04$ ), MG ( $CD = 0,99$ ), ou encore en comparant TG avec L ( $CD = 1,07$ ), MG ( $CD = 1,27$ ) ou MP ( $CD = 0,93$ ). Les différences atteignent un niveau sub-spécifique en comparant TG avec T ( $CD = 1,42$ ) (tab. 8).

Une différence significative est mise en évidence pour le nombre de branchiospines inférieures ( $F = 270,43$ ;  $P < 0,001$ ), avec la distinction des groupes suivants: Le groupe A

(MNP), le groupe B (TG), le groupe C (MP), le groupe D (T, MG), le groupe E (L), et le groupe F (Z). Une différence raciale est observée en comparant T avec MNP (CD = 1,19), Z (CD = 1,05), MP (CD = 0,87), ou en comparant L avec MP (CD = 1,04), MNP (CD = 1,26), aussi en comparant MG avec MP (CD = 0,85), Z (CD = 0,78), MNP (CD = 1,15), TG (CD = 1,23). Les différences atteignent un niveau sub-spécifique quand on compare Z avec MP (CD = 1,41), MNP (CD = 1,55), TG (CD = 1,82), et aussi quand on compare TG avec T (CD = 1,3), ou L (CD = 1,38) (tab. 9).

De même pour le nombre de branchiospines supérieures ( $F = 50,713$ ;  $P < 0,001$ ), où on distingue les groupes suivants: le groupe A (TG), le groupe B (MNP), le groupe C (T, MG), le groupe D (L, MP) et le groupe E (Z). Une différence raciale est observée en comparant T avec Z (CD = 0,67), TG (CD = 1,05). Ces différences atteignent un niveau sub-spécifique en comparant TG avec L (CD = 1,48), Z (CD = 1,75), MP (CD = 1,38), et MG (CD = 1,29) (tab. 10).

Des différences sont également observées au niveau du nombre total de branchiospines ( $F = 229,94$ ;  $P < 0,001$ ), ce qui nous permet de distinguer les groupes de moyennes suivants: le groupe A (MNP, TG), le groupe B (MP), le groupe C (T, MG), le groupe D (L) et le groupe E (Z). Une différence raciale est observée en comparant L avec MP (CD = 0,86), MNP (CD = 1,19), ou en comparant Z avec MP (CD = 1,19), T (CD = 1,13), MG (CD = 0,91), ou encore en comparant MNP avec T (CD = 0,97), ou MG (CD = 1,02). Les différences observées atteignent un niveau sub-spécifique quand on compare TG avec L (CD = 1,72), Z (CD = 2,2), T (CD = 1,46), MG (CD = 1,53), et aussi en comparant MNP avec Z (CD = 1,44) (tab. 11).

## 2.2. Caractères métriques

La morphologie de 1022 spécimens appartenant à sept populations d'*Atherina boyeri* provenant de six sites: lagune Mellah ( $n = 269$ ;  $2,0 \leq Lt \leq 8,3$  cm), golfe de Annaba (194 individus non ponctuée:  $4,6 \leq Lt \leq 13,1$  cm et 144 individus ponctués:  $5,4 \leq Lt \leq 10,7$  cm), oued Ziama ( $n = 147$ ;  $2,9 \leq Lt \leq 10,2$  cm), lagune de Bizerte ( $n = 146$ ;  $3,1 \leq Lt \leq 7,8$  cm), étang de Thau ( $n = 22$ ;  $4,8 \leq Lt \leq 9,2$  cm), étang de Mauguio ( $n = 100$ ;  $4,5 \leq Lt \leq 9,1$  cm), est décrite en utilisant 14 paramètres métriques et 9 critères numériques.

Les équations de conversion des différents caractères métriques en fonction de la longueur totale (Lt) ou de la longueur céphalique (Lc) et leurs coefficients de corrélation pour chaque site et sexe, sont consignées dans les tableaux 12 à 18. Tous les paramètres mesurés sont significativement corrélés à la longueur totale ou à la longueur céphalique.

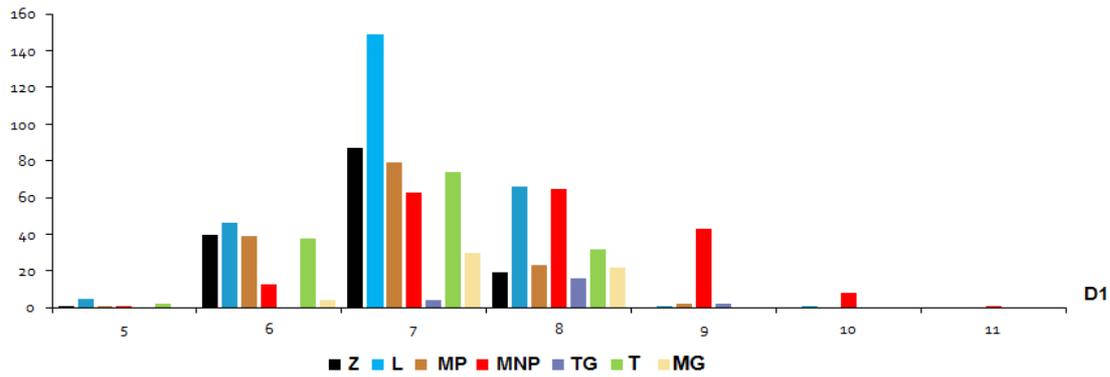


Figure 9. Fréquence du nombre de rayons sur la première nageoire dorsale pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

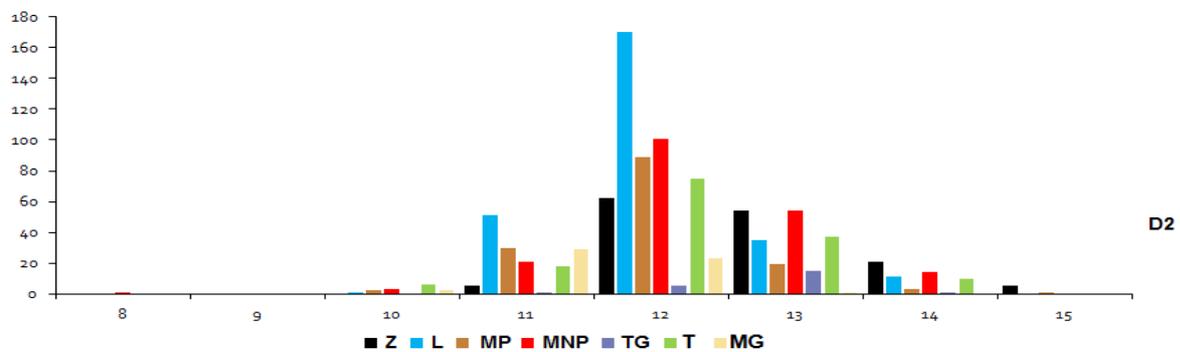


Figure 10. Fréquence du nombre de rayons sur la 2ème nageoire dorsale pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

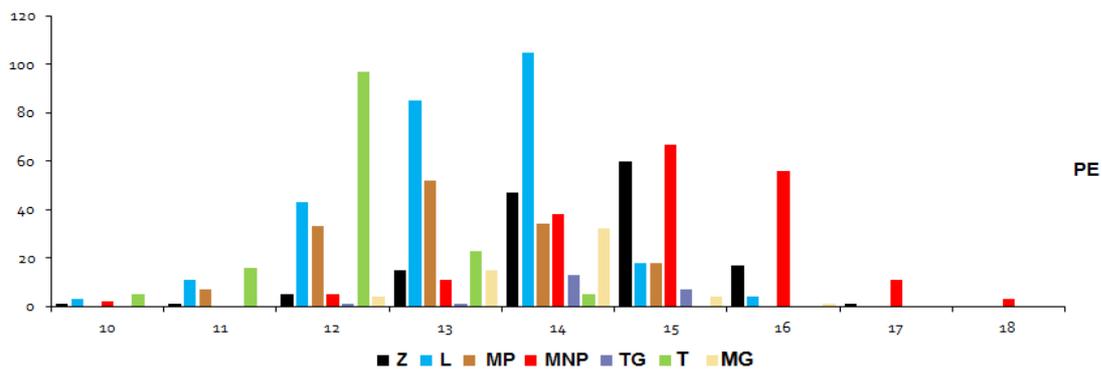


Figure 11. Fréquence du nombre de rayons sur la nageoire pectorale pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

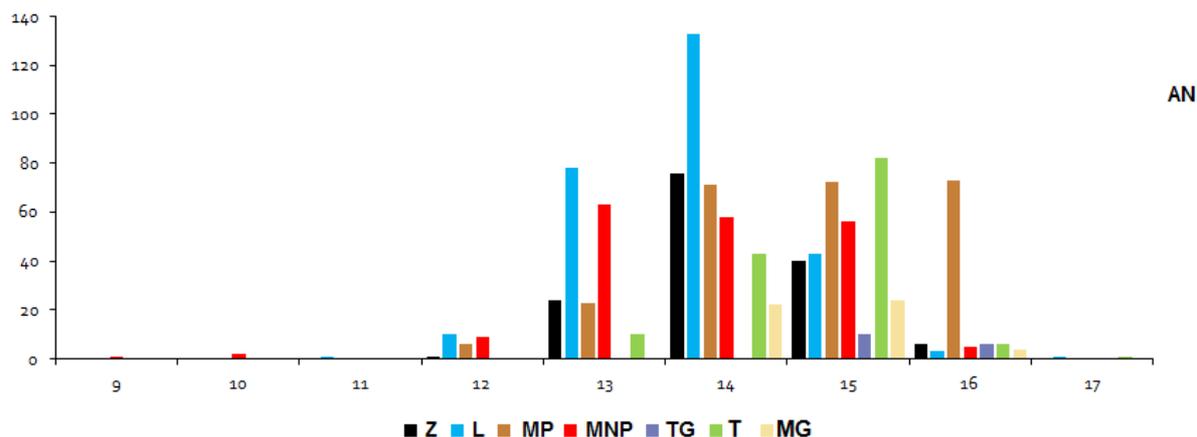


Figure 12. Fréquence du nombre de rayons sur la nageoire anale pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

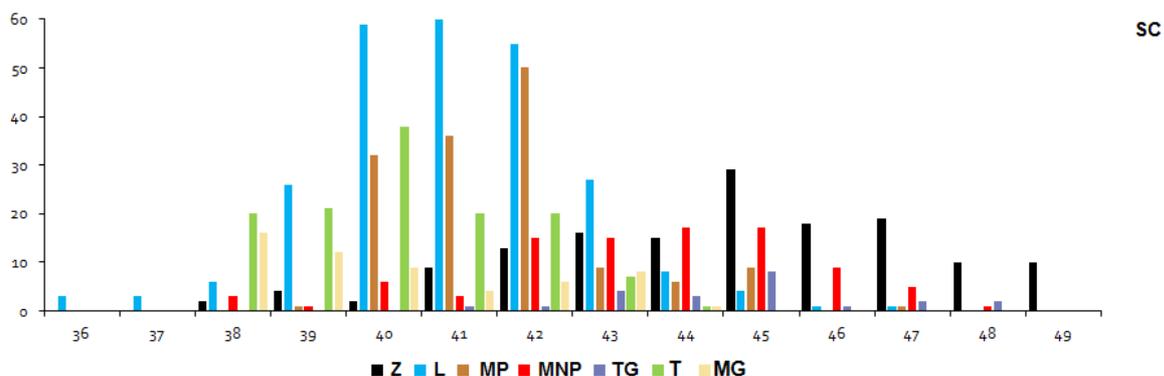


Figure 13. Fréquence du nombre d’écailles sur la ligne latérale pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

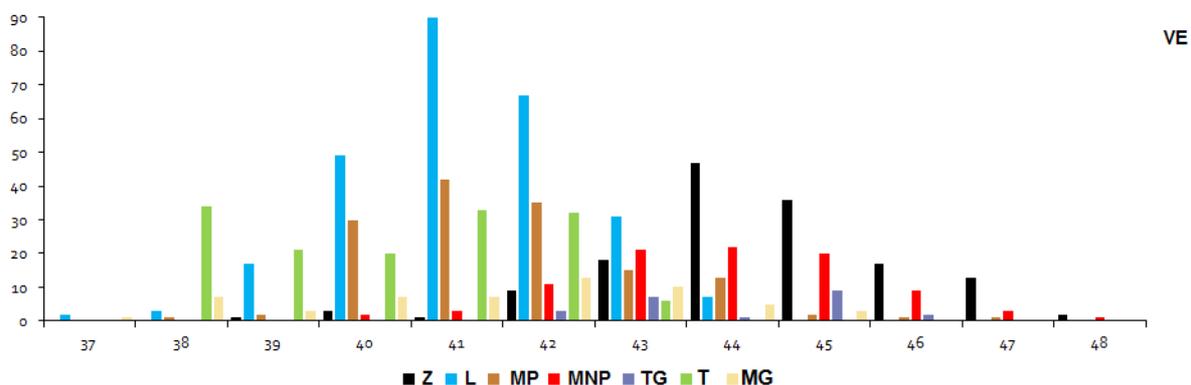


Figure 14. Fréquence du nombre de vertèbres pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

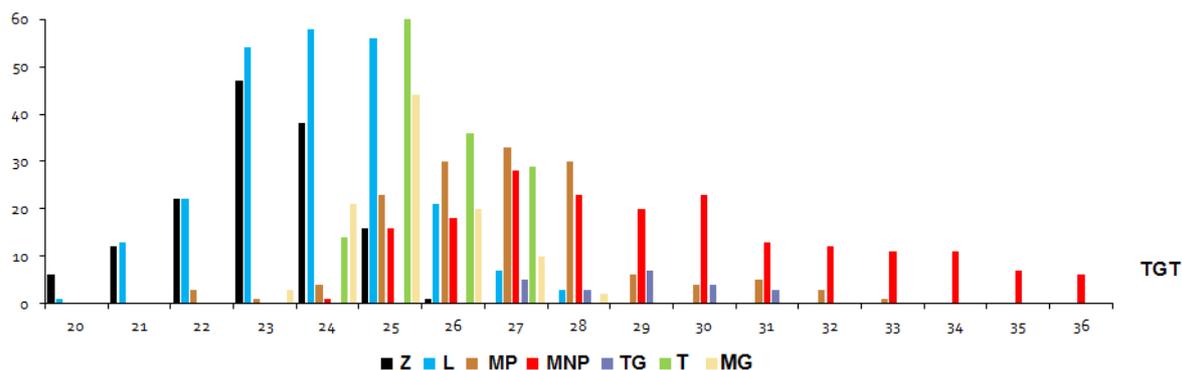


Figure 15. Fréquence du nombre total de branchiospines pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

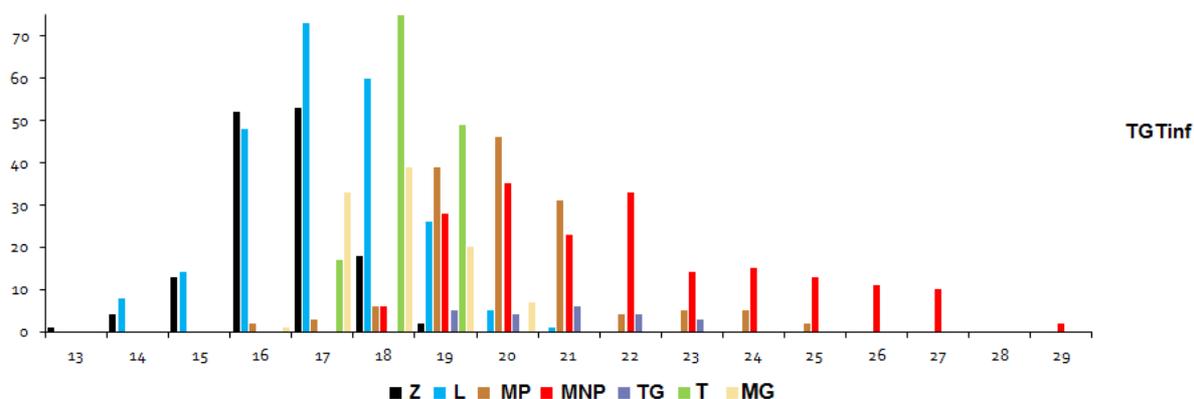


Figure 16. Fréquence du nombre de branchiospines inférieures pour les différentes populations d’*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

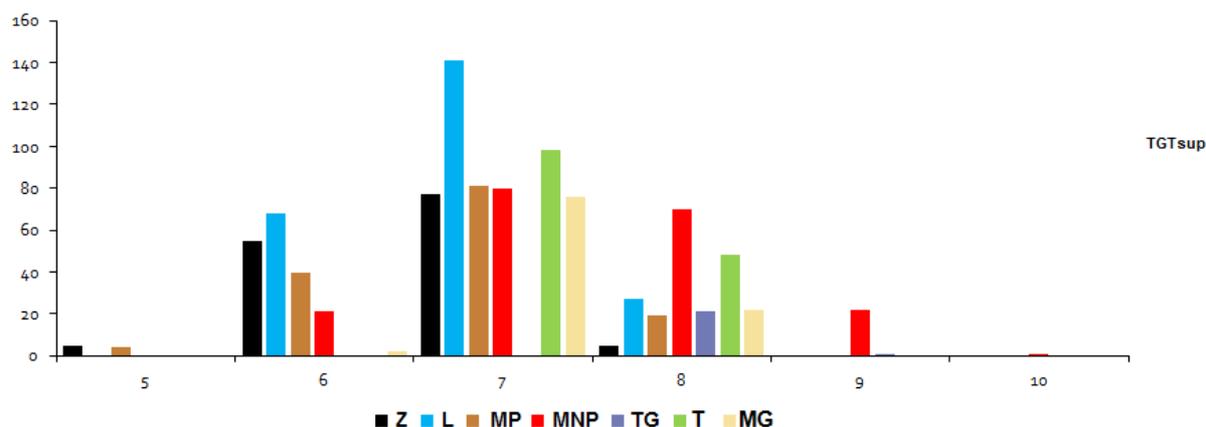


Figure 17. Fréquence du nombre de branchiospines supérieures pour les différentes populations d’*Atherine boyeri*. Z: Oued Ziama, L: Lagune Mellah, MP: Golfe de Annaba, MNP: Golfe de Annaba, TG: Étang de Thau, T: Lagune de Bizerte, MG: Étang de Mauguio.

Tableau 2. Comparaison multiples de moyennes des caractères méristiques entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*. Z: Oued Ziama; L: Lagune Mellah; MP: Golfe de Annaba; MNP: Golfe de Annaba; TG: Étang de Thau; T: Lagune de Bizert e; MG: Étang de Mauguio.

Paramètre	Code du Site	Effectif	Moyenne±SD	Groupe de moyennes	F	P
D1	LM	268	7,05±0,73	C	38.69	P<0.001
	Z	147	6,84±0,63	D		
	P	144	6,9±0,71	Cd		
	NP	194	7,84±1,02	A		
	TH	22	7,9±0,52	A		
	T	146	6,93±0,73	Cd		
	MG	56	7,32±0,6	B		
D2	LM	268	12,01±0,7	C	17.41	P<0.001
	Z	147	12,72±0,87	A		
	P	144	11,95±0,73	C		
	NP	194	12,26±0,86	Ab		
	TH	22	12,72±0,63	A		
	T	146	12,18±0,88	B		
	MG	56	12,51±0,95	A		
SC	LM	269	13,29±1,06	B	120.23	P<0.001
	Z	147	14,44±1,07	E		
	P	144	13,15±1,06	C		
	NP	193	15,01±1,25	D		
	TH	22	14,18±0,73	E		
	T	146	12,04±0,73	A		
	MG	56	13,69±0,78	A		
Pe	LM	269	13,81±0,82	D	136.73	P<0.001
	Z	147	14,17±0,77	B		
	P	144	14,12±0,89	D		
	NP	194	13,85±1,08	A		
	TH	22	15±0,75	Bc		
	T	146	14,54±0,82	E		
	MG	56	14,46±0,78	C		
AN	LM	265	41±1,63	D	18.71	P<0.001
	Z	147	44,7±2,56	C		
	P	144	41,65±1,43	C		
	NP	117	43,33±2,26	D		
	TH	22	44,68±1,8	A		
	T	146	39,9±1,56	B		
	MG	56	40±1,86	B		
TGsup	LM	266	41,18±1,25	D	50.71	P<0.001
	Z	147	44,41±1,57	E		
	P	142	41,6±1,45	D		
	NP	118	44,5±2,11	B		
	TH	22	44±1,3	A		
	T	146	40,17±1,59	C		
	MG	56	41,39±2,06	C		
TGinf	LM	236	6,82±0,61	E	270.43	P<0.001
	Z	143	6,58±0,62	F		
	P	144	6,79±0,69	C		
	NP	194	7,49±0,85	A		
	TH	22	8,04±0,21	B		
	T	146	7,32±0,47	D		
	MG	100	7,2±0,44	D		
VE	LM	235	17,13±1,3	B	140.1	P<0.001
	Z	144	16,48±1,01	C		
	P	143	20,11±1,55	B		
	NP	194	22,01±2,55	C		
	TH	22	20,81±1,36	C		
	T	146	18,21±0,63	A		
	MG	100	17,99±0,92	B		
TGt	LM	235	23,95±1,49	D	229.94	P<0.001
	Z	142	23,06±1,28	E		
	P	143	26,91±1,93	B		
	NP	194	29,5±3,17	A		
	TH	22	28,86±1,35	A		
	T	146	25,54±0,91	C		
	MG	100	25,19±1,04	C		

Tableau 3. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculées pour le nombre de rayons de la première nageoire dorsale entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
D1	L	0,15	0,1	0,45	<b>0,68*</b>	0,08	0,2
	Z		0,04	0,6	<b>0,92*</b>	0,06	0,39
	MP			0,54	<b>0,81*</b>	0,02	0,32
	MNP				0,03	0,52	0,32
	TG					<b>0,77*</b>	0,51
	T						0,29

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 4. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la deuxième nageoire dorsale entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
D2	L	0,45	0,04	0,16	0,53	0,1	0,3
	Z		0,48	0,26	0	0,3	0,11
	MP			0,19	0,56	0,14	0,33
	MNP				0,3	0,04	0,13
	TG					0,35	0,13
	T						0,18

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 5. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la nageoire pectorale entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
Pe	L	0,53	0,06	<b>0,74*</b>	0,49	<b>0,69*</b>	0,21
	Z		0,6	0,24	0,14	<b>1,33**</b>	0,4
	MP			<b>0,8*</b>	0,57	0,62	0,29
	MNP				0,41	<b>1,5**</b>	0,65
	TG					<b>1,46**</b>	0,32
	T						<b>1,09*</b>

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 6. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de rayons de la nageoire anale entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
AN	L	0,22	0,18	0,02	<b>0,75*</b>	0,44	0,4
	Z		0,03	0,17	0,54	0,23	0,18
	MP			0,13	0,53	0,24	0,2
	MNP				0,62	0,36	0,32
	TG					0,29	0,35
	T						0,04

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 7. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de vertèbres entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
VE	L	<b>1,14*</b>	0,15	<b>1,04*</b>	<b>1,1*</b>	0,35	0,06
	Z		<b>0,93*</b>	0,48	0,14	<b>1,34**</b>	<b>0,83*</b>
	MP			<b>0,94*</b>	<b>0,87*</b>	0,47	0,05
	MNP				0,57	<b>1,15*</b>	<b>0,89*</b>
	TG					<b>1,32**</b>	<b>0,77*</b>
	T						0,33

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 8. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre d'écaillés sur la ligne latérale entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
SC	L	<b>0,88*</b>	0,21	<b>0,89*</b>	<b>1,07*</b>	0,34	0,28
	Z		<b>0,76*</b>	0,39	0	<b>1,16*</b>	<b>1,06*</b>
	MP			<b>0,83*</b>	<b>0,93*</b>	0,58	0,5
	MNP				0,43	<b>1,04*</b>	<b>0,99</b>
	TG					<b>1,42**</b>	<b>1,27*</b>
	T						0,02

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 9. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de branchiospines inférieures entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
TGinf	L	0,28	<b>1,04*</b>	<b>1,26*</b>	<b>1,38**</b>	0,55	0,38
	Z		<b>1,41**</b>	<b>1,55**</b>	<b>1,82**</b>	<b>1,05*</b>	<b>0,78*</b>
	MP			0,46	0,24	<b>0,87*</b>	<b>0,85*</b>
	MNP				0,3	<b>1,19*</b>	<b>1,15*</b>
	TG					<b>1,3**</b>	<b>1,23*</b>
	T						0,14

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau10. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre de branchiospines supérieures entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
TGsup	L	0,19	0,02	0,45	<b>1,48**</b>	0,46	0,36
	Z		0,16	0,61	<b>1,75**</b>	<b>0,68*</b>	0,58
	MP			0,45	<b>1,38**</b>	0,45	0,36
	MNP				0,51	0,12	0,22
	TG					<b>1,05*</b>	<b>1,29**</b>
	T						0,13

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tableau 11. Valeurs du coefficient de différence (C.D) calculés pour le nombre total de branchiospines entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Sites	Z	MP	MNP	TG	T	MG
TGtotal	L	0,32	<b>0,86*</b>	<b>1,19*</b>	<b>1,72**</b>	0,66	0,49
	Z		<b>1,19*</b>	<b>1,44**</b>	<b>2,2**</b>	<b>1,13*</b>	<b>0,91*</b>
	MP			0,5	0,59	0,48	0,57
	MNP				0,14	<b>0,97*</b>	<b>1,02*</b>
	TG					<b>1,46**</b>	<b>1,53**</b>
	T						0,17

\* différences raciales; \*\* différences sub-spécifiques.

Tous les paramètres mesurés sont significativement corrélés à la longueur totale ou à la longueur céphalique ( $P < 0,001$ ): lagune Mellah ( $0,79 \leq r \leq 0,99$ ;  $P < 0,001$ ), oued Ziama ( $0,63 \leq r \leq 0,98$ ;  $P < 0,001$ ), les individus marins ponctués ( $0,70 \leq r \leq 0,99$ ;  $P < 0,001$ ) et non ponctués du golfe de Annaba ( $0,70 \leq r \leq 0,99$ ;  $P < 0,001$ ), lagune de Bizerte ( $0,68 \leq r \leq 0,98$ ;  $P < 0,001$ ), étang de Thau ( $0,79 \leq r \leq 0,99$ ;  $P < 0,001$ ) et étang de Mauguio ( $0,83 \leq r \leq 0,99$ ;  $P < 0,001$ ).

Les cas de croissance allométrique majorante sont les plus fréquents aussi bien pour les échantillons lagunaires que marins. Cependant, ce type de croissance, ne concerne pas toujours les mêmes caractères, prenant en considération le site d'échantillonnage.

Pour les individus de la lagune Mellah (tab. 12), l'allométrie majorante de croissance concerne neuf caractères (MD2, Dan, Eid, O - O, Hc, Hpc, BD1, MZ, Lpo), le cas d'allométrie minorante est observé pour 3 caractères (Do, Lc, MD1), alors que l'isométrie de croissance ne concerne qu'un seul caractère (Ls).

Pour la population d'oued Ziama (tab. 13), l'allométrie majorante de croissance concerne (Ls, Dan, Eid, O-O, Hc, Hpc, BD1, MZ, Lpo). L'allométrie minorante est mise en évidence pour Lc, alors que l'isométrie de croissance est observée pour les caractères Do, MD1 et MD2.

Pour la population de la lagune de Bizerte (tab. 14), l'allométrie majorante de croissance concerne les caractères DO, Eid, O-O, Hc, Hp, BD, MZ et Lpo. L'allométrie minorante est mise en évidence pour Ls, alors que l'isométrie de croissance est observée pour Lc, MD1, MD2 et Dan.

Pour la population de l'étang de Mauguio (tab. 15), l'allométrie majorante de croissance concerne Eid, O-O, Hc, Hpc, BD1, MZ et Lpo. L'allométrie minorante concerne Lc et MD1, alors que l'isométrie de croissance est mise en évidence pour les caractères Ls, Do, MD2 et Dan.

Pour les athérines ponctuées du golfe de Annaba (tab. 16), l'isométrie de croissance concerne les deux paramètres Do et Lc, le reste des caractères présente une allométrie majorante de croissance.

Pour les athérines non ponctuée du golfe de Annaba (tab. 17), l'isométrie de croissance concerne les trois paramètres MD1, Hc et Hpc. L'allométrie minorante concerne la longueur céphalique Lc, alors que le reste des caractères présente une allométrie majorante de croissance.

Les athérines de l'étang de Thau (tab. 18), présente un cas d'allométrie minorante (Ls) et deux cas d'allométrie majorante (Eid, Mz). Le reste des caractères présente une isométrie de croissance.

### 2.3. Dimorphisme sexuel

L'égalité des variances résiduelles entre les sexes séparés (mâles et femelles) est confirmée par le test F. La comparaison entre les sexes des caractères métriques d'*A. boyeri* pour chaque site étudié, montre l'existence de différences significatives ( $P < 0,05$ ) qui concernent:

- La taille du museau, les longueurs post-orbitaire et céphalique, les distances à la deuxième dorsale et à la nageoire anale, et l'espace inter-dorsal pour la population de la lagune Mellah (tab. 19).
- Les longueurs standard, post-orbitaire et de la première nageoire dorsale, le diamètre orbitaire et l'hauteur du pédoncule caudal pour la population de l'oued Ziama (tab. 19).
- Les longueurs post-orbitaire et de la première nageoire dorsale, la distance jusqu'à la deuxième dorsale, l'espace inter-dorsal, les hauteurs du corps et du pédoncule caudal pour la population de la lagune de Bizerte (tab. 20).
- La longueur standard, les distances jusqu'à la deuxième dorsale et inter-orbitaire ainsi que l'espace inter-dorsal pour la population de l'étang de Mauguio (tab. 20).
- Les distances jusqu'à la deuxième dorsale et inter-orbitaire et l'espace inter-dorsal pour la population marine ponctués du golfe de Annaba (tab. 21).
- Le diamètre orbitaire, la longueur céphalique, les hauteurs du corps et du pédoncule caudal pour la population marine non ponctués du golfe de Annaba (tab. 21).

Tableau 12. Coefficients de corrélation et relations d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	R	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
Ls = f(Lt)	0,99	0,849 Lt <sup>1,0009</sup>	Iso	2 ≤ Lt ≤ 8,3 1,8 ≤ Ls ≤ 7,2	0,99	0,882 Lt <sup>1,021</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 2,8 ≤ Ls ≤ 7,2	0,9 9	0,831 Lt <sup>1,011</sup>	Iso	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 3,06 ≤ Ls ≤ 6,4
MZ = f(Lc)	0,93	0,257 Lc <sup>1,065</sup>	A. maj	0,52 ≤ Lc ≤ 1,65 0,12 ≤ Mz ≤ 0,43	0,88	0,261 Lc <sup>0,994</sup>	Iso	0,67 ≤ Lc ≤ 1,65 0,16 ≤ Mz ≤ 0,43	0,9 0	0,257 Lc <sup>1,096</sup>	A. maj	0,72 ≤ Lc ≤ 1,6 0,16 ≤ Mz ≤ 0,41
DO = f(Lc)	0,96	0,343 Lc <sup>0,947</sup>	A. min	0,52 ≤ Lc ≤ 1,65 0,18 ≤ DO ≤ 0,57	0,95	0,343 Lc <sup>0,943</sup>	A. min	0,67 ≤ Lc ≤ 1,65 0,21 ≤ DO ≤ 0,57	0,9 3	0,341 Lc <sup>0,990</sup>	Iso	0,72 ≤ Lc ≤ 1,6 0,25 ≤ DO ≤ 0,54
Lpo = f(Lc)	0,96	0,397 Lc <sup>1,085</sup>	A. maj	0,52 ≤ Lc ≤ 1,65 0,19 ≤ Lpo ≤ 0,79	0,94	0,389 Lc <sup>1,171</sup>	Iso	0,67 ≤ Lc ≤ 1,65 0,22 ≤ Lpo ≤ 0,79	0,9 3	0,394 Lc <sup>1,131</sup>	A. maj	0,72 ≤ Lc ≤ 1,6 0,21 ≤ Lpo ≤ 0,67
Lc = f(Lt)	0,97	0,239 Lt <sup>0,907</sup>	A. min	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,52 ≤ Lc ≤ 1,65	0,95	0,216 Lt <sup>0,964</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 0,67 ≤ Lc ≤ 1,65	0,9 6	0,205 Lt <sup>0,994</sup>	Iso	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 0,72 ≤ Lc ≤ 1,6
MD1 = f(Lt)	0,99	0,403 Lt <sup>0,982</sup>	A. min	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,87 ≤ MD1 ≤ 3,26	0,98	0,368 Lt <sup>1,033</sup>	Iso	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 1,27 ≤ MD1 ≤ 3,26	0,9 7	0,388 Lt <sup>1,002</sup>	Iso	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 1,33 ≤ MD1 ≤ 2,87
MD2 = f(Lt)	0,99	0,548 Lt <sup>1,018</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 1,2 ≤ MD2 ≤ 4,84	0,99	0,504 Lt <sup>1,065</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 1,8 ≤ MD2 ≤ 4,84	0,9 8	0,537 Lt <sup>1,030</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 1,96 ≤ MD2 ≤ 4,24
Dan = f(Lt)	0,99	0,506 Lt <sup>1,037</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 1,11 ≤ DAn ≤ 4,5	0,98	0,476 Lt <sup>1,072</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 1,71 ≤ DAn ≤ 4,5	0,9 8	0,505 Lt <sup>1,036</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 2,01 ≤ DAn ≤ 4,1
Eid = f(Lt)	0,91	0,090 Lt <sup>1,178</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,24 ≤ Eid ≤ 1,3	0,89	0,061 Lt <sup>1,382</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 0,25 ≤ Eid ≤ 1,3	0,8 5	0,070 Lt <sup>1,332</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 0,3 ≤ Eid ≤ 1,02
O-O = f(Lc)	0,88	0,268 Lc <sup>1,101</sup>	A. maj	0,52 ≤ Lc ≤ 1,65 0,12 ≤ O-O ≤ 0,63	0,82	0,264 Lc <sup>1,132</sup>	A. maj	0,67 ≤ Lc ≤ 1,65 0,19 ≤ O-O ≤ 0,63	0,8 3	0,274 Lc <sup>1,050</sup>	Iso	0,72 ≤ Lc ≤ 1,6 0,2 ≤ O-O ≤ 0,42
Hc = f(Lt)	0,96	0,109 Lt <sup>1,153</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,29 ≤ Hc ≤ 1,42	0,94	0,096 Lt <sup>1,222</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 0,41 ≤ Hc ≤ 1,42	0,9 4	0,097 Lt <sup>1,220</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 0,24 ≤ Hc ≤ 1,14
Hpc = f(Lt)	0,94	0,041 Lt <sup>1,091</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,08 ≤ Hpc ≤ 0,42	0,92	0,037 Lt <sup>1,136</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 0,13 ≤ Hpc ≤ 0,41	0,8 9	0,037 Lt <sup>1,159</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 0,14 ≤ Hpc ≤ 0,42
BD1 = f(Lt)	0,79	0,023 Lt <sup>1,445</sup>	A. maj	2 ≤ Lt ≤ 8,3 0,06 ≤ BD1 ≤ 0,5	0,70	0,024 Lt <sup>1,410</sup>	A. maj	3,3 ≤ Lt ≤ 8,3 0,12 ≤ BD1 ≤ 0,5	0,6 2	0,019 Lt <sup>1,573</sup>	A. maj	3,66 ≤ Lt ≤ 7,6 0,13 ≤ BD1 ≤ 0,48

Tableau 13. Coefficients de corrélation et relations d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* de l'oued Ziama. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
Ls = f(Lt)	0,99	0,785 Lt <sup>1,034</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 2,5 ≤ Ls ≤ 8,8	0,99	0,770 Lt <sup>1,045</sup>	A. maj	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 2,9 ≤ Ls ≤ 8,8	0,99	0,782 Lt <sup>1,034</sup>	A. maj	2,87 ≤ Ls ≤ 6,9 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
MZ = f(Lc)	0,92	0,246 Lc <sup>1,223</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 2,1 0,15 ≤ Mz ≤ 0,55	0,91	0,242 Lc <sup>1,236</sup>	A. maj	0,75 ≤ Lc ≤ 2,1 0,16 ≤ Mz ≤ 0,55	0,90	0,248 Lc <sup>1,266</sup>	A. maj	0,15 ≤ MZ ≤ 0,43 0,69 ≤ Lc ≤ 1,68
DO = f(Lc)	0,94	0,331 Lc <sup>0,973</sup>	Iso	0,68 ≤ Lc ≤ 2,1 0,22 ≤ Do ≤ 0,65	0,95	0,322 Lc <sup>1,002</sup>	Iso	0,75 ≤ Lc ≤ 2,1 0,24 ≤ Do ≤ 0,65	0,92	0,336 Lc <sup>1,010</sup>	Iso	0,22 ≤ DO ≤ 0,59 0,69 ≤ Lc ≤ 1,68
Lpo = f(Lc)	0,96	0,385 Lc <sup>1,105</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 2,1 0,24 ≤ Lpo ≤ 0,88	0,96	0,378 Lc <sup>1,164</sup>	A. maj	0,75 ≤ Lc ≤ 2,1 0,24 ≤ Lpo ≤ 0,88	0,95	0,384 Lc <sup>1,096</sup>	A. maj	0,27 ≤ Lpo ≤ 0,69 0,69 ≤ Lc ≤ 1,68
Lc = f(Lt)	0,97	0,251 Lt <sup>0,882</sup>	A. min	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 0,68 ≤ Lc ≤ 2,1	0,98	0,254 Lt <sup>0,877</sup>	A. min	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 0,75 ≤ Lc ≤ 2,1	0,96	0,249 Lt <sup>0,881</sup>	A. min	0,69 ≤ Lc ≤ 1,68 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
MD1 = f(Lt)	0,97	0,379 Lt <sup>0,976</sup>	Iso	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 1,15 ≤ MD1 ≤ 3,8	0,98	0,401 Lt <sup>0,946</sup>	A. min	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 1,41 ≤ MD1 ≤ 3,8	0,94	0,347 Lt <sup>1,027</sup>	Iso	1,15 ≤ MD1 ≤ 3,07 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
MD2 = f(Lt)	0,98	0,526 Lt <sup>1,011</sup>	Iso	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 1,62 ≤ MD2 ≤ 5,68	0,99	0,549 Lt <sup>0,990</sup>	Iso	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 1,97 ≤ MD2 ≤ 5,68	0,98	0,510 Lt <sup>1,026</sup>	Iso	1,81 ≤ MD2 ≤ 4,38 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
Dan = f(Lt)	0,98	0,475 Lt <sup>1,043</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 1,53 ≤ DAN ≤ 5,34	0,98	0,499 Lt <sup>1,021</sup>	Iso	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 1,86 ≤ DAN ≤ 5,34	0,97	0,463 Lt <sup>1,053</sup>	A. maj	1,74 ≤ DAN ≤ 4,22 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
Eid = f(Lt)	0,92	0,069 Lt <sup>1,283</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 0,3 ≤ Eid ≤ 1,43	0,89	0,067 Lt <sup>1,303</sup>	A. maj	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 0,39 ≤ Eid ≤ 1,43	0,93	0,071 Lt <sup>1,260</sup>	A. maj	0,33 ≤ Eid ≤ 1,08 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
O-O = f(Lc)	0,92	0,314 Lc <sup>1,140</sup>	A. maj	0,69 ≤ Lc ≤ 2,1 0,19 ≤ O-O ≤ 0,68	0,90	0,307 Lc <sup>1,164</sup>	A. maj	0,75 ≤ Lc ≤ 2,1 0,23 ≤ O-O ≤ 0,68	0,92	0,319 Lc <sup>1,153</sup>	A. maj	0,23 ≤ O-O ≤ 0,56 0,69 ≤ Lc ≤ 1,68
Hc = f(Lt)	0,97	0,131 Lt <sup>1,074</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 0,48 ≤ Hc ≤ 1,63	0,98	0,140 Lt <sup>1,039</sup>	Iso	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 0,52 ≤ Hc ≤ 1,63	0,95	0,122 Lt <sup>1,111</sup>	A. maj	0,48 ≤ Hc ≤ 1,2 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
Hpc = f(Lt)	0,97	0,043 Lt <sup>1,149</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 0,16 ≤ Hpc ≤ 0,66	0,96	0,047 Lt <sup>1,099</sup>	A. maj	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 0,2 ≤ Hpc ≤ 0,66	0,95	0,040 Lt <sup>1,191</sup>	A. maj	0,16 ≤ Hpc ≤ 0,46 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2
BD1 = f(Lt)	0,84	0,028 Lt <sup>1,382</sup>	A. maj	2,9 ≤ Lt ≤ 10,2 0,08 ≤ BD1 ≤ 0,7	0,77	0,040 Lt <sup>1,185</sup>	A. maj	3,6 ≤ Lt ≤ 10,2 0,19 ≤ BD1 ≤ 0,7	0,84	0,024 Lt <sup>1,484</sup>	A. maj	0,13 ≤ BD1 ≤ 0,52 3,5 ≤ Lt ≤ 8,2

Tableau 14. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* de la lagune de Bizerte. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
LS = f(Lt)	0,98	0,906 Lt <sup>0,967</sup>	A. min	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 2,76 ≤ Ls ≤ 6,74	0,96	0,935 Lt <sup>0,955</sup>	Iso	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 3,16 ≤ Ls ≤ 6,6	0,99	0,896 Lt <sup>0,968</sup>	A. min	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 3,01 ≤ Ls ≤ 6,74
MZ = f(Lc)	0,76	0,244 Lc <sup>1,211</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 1,9 0,15 ≤ MZ ≤ 0,48	0,79	0,257 Lc <sup>1,277</sup>	A. maj	0,69 ≤ Lc ≤ 1,66 0,16 ≤ MZ ≤ 0,48	0,89	0,234 Lc <sup>1,220</sup>	A. maj	0,73 ≤ Lc ≤ 1,68 0,15 ≤ MZ ≤ 0,44
DO = f(Lc)	0,85	0,335 Lc <sup>1,024</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 1,9 0,21 ≤ DO ≤ 0,63	0,88	0,348 Lc <sup>0,970</sup>	Iso	0,69 ≤ Lc ≤ 1,66 0,24 ≤ DO ≤ 0,63	0,94	0,325 Lc <sup>1,097</sup>	A. maj	0,73 ≤ Lc ≤ 1,68 0,23 ≤ DO ≤ 0,54
Lpo = f(Lc)	0,86	0,366 Lc <sup>1,108</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 1,9 0,23 ≤ Lpo ≤ 0,78	0,91	0,379 Lc <sup>1,168</sup>	A. maj	0,69 ≤ Lc ≤ 1,66 0,28 ≤ Lpo ≤ 0,78	0,96	0,357 Lc <sup>1,104</sup>	A. maj	0,73 ≤ Lc ≤ 1,68 0,26 ≤ Lpo ≤ 0,66
Lc = f(Lt)	0,86	0,191 Lt <sup>1,054</sup>	Iso	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 0,68 ≤ Lc ≤ 1,9	0,90	0,177 Lt <sup>1,106</sup>	Iso	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 0,69 ≤ Lc ≤ 1,66	0,95	0,220 Lt <sup>0,961</sup>	Iso	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 0,73 ≤ Lc ≤ 1,68
MD1 = f(Lt)	0,86	0,360 Lt <sup>1,061</sup>	Iso	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 1,26 ≤ MD1 ≤ 4,04	0,95	0,408 Lt <sup>0,992</sup>	Iso	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 1,26 ≤ MD1 ≤ 3,18	0,92	0,366 Lt <sup>1,043</sup>	Iso	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 1,38 ≤ MD1 ≤ 3,87
MD2 = f(Lt)	0,97	0,589 Lt <sup>0,972</sup>	Iso	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 1,88 ≤ MD2 ≤ 4,51	0,95	0,624 Lt <sup>1,945</sup>	Iso	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 2,06 ≤ MD2 ≤ 4,42	0,99	0,565 Lt <sup>0,990</sup>	Iso	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 1,98 ≤ MD2 ≤ 4,51
Dan = f(Lt)	0,97	0,525 Lt <sup>1,009</sup>	Iso	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 1,79 ≤ DAN ≤ 4,32	0,95	0,521 Lt <sup>1,018</sup>	Iso	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 1,83 ≤ DAN ≤ 4,1	0,99	0,528 Lt <sup>1,002</sup>	Iso	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 1,86 ≤ DAN ≤ 4,32
Eid = f(Lt)	0,82	0,062 Lt <sup>1,330</sup>	A. maj	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 0,23 ≤ Eid ≤ 1,15	0,81	0,041 Lt <sup>1,522</sup>	A. maj	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 0,23 ≤ Eid ≤ 0,88	0,86	0,106 Lt <sup>1,048</sup>	Iso	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 0,4 ≤ Eid ≤ 1,15
O-O = f(Lc)	0,67	0,275 Lc <sup>1,394</sup>	A. maj	0,68 ≤ Lc ≤ 1,9 0,15 ≤ O-O ≤ 0,55	0,74	0,327 Lc <sup>1,084</sup>	Iso	0,69 ≤ Lc ≤ 1,66 0,20 ≤ O-O ≤ 0,55	0,87	0,244 Lc <sup>1,497</sup>	A. maj	0,73 ≤ Lc ≤ 1,68 0,15 ≤ O-O ≤ 0,52
Hc = f(Lt)	0,92	0,093 Lt <sup>1,231</sup>	A. maj	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 0,37 ≤ Hc ≤ 1,19	0,94	0,118 Lt <sup>1,129</sup>	A. maj	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 0,45 ≤ Hc ≤ 1,19	0,95	0,085 Lt <sup>1,255</sup>	A. maj	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 0,44 ≤ Hc ≤ 1,19
Hpc = f(Lt)	0,79	0,023 Lt <sup>1,443</sup>	A. maj	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 0,12 ≤ Hpc ≤ 0,44	0,85	0,041 Lt <sup>1,191</sup>	A. maj	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 0,19 ≤ Hpc ≤ 0,44	0,91	0,020 Lt <sup>1,471</sup>	A. maj	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 0,12 ≤ Hpc ≤ 0,42
BD1 = f(Lt)	0,68	0,010 Lt <sup>1,867</sup>	A. maj	3,29 ≤ Lt ≤ 8,01 0,09 ≤ BD1 ≤ 0,48	0,55	0,014 Lt <sup>1,740</sup>	A. maj	3,37 ≤ Lt ≤ 7,8 0,14 ≤ BD1 ≤ 0,48	0,84	0,009 Lt <sup>1,884</sup>	A. maj	3,48 ≤ Lt ≤ 8,01 0,09 ≤ BD1 ≤ 0,45

Tableau 15. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* de l'étang de Mauguio. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo	Valeurs limites (cm)
Ls = f(Lt)	0,99	0,871 Lt <sup>0,983</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 3,33 ≤ Ls ≤ 7,7	0,99	0,855 Lt <sup>0,993</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 3,33 ≤ Ls ≤ 7,7	0,99	0,893 Lt <sup>0,969</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 3,4 ≤ Ls ≤ 7,13
MZ = f(Lc)	0,92	0,241 Lc <sup>1,166</sup>	A. maj	0,79 ≤ Lc ≤ 1,74 0,18 ≤ MZ ≤ 0,48	0,93	0,238 Lc <sup>1,185</sup>	A. maj	0,86 ≤ Lc ≤ 1,74 0,18 ≤ MZ ≤ 0,48	0,89	0,248 Lc <sup>1,113</sup>	Iso	0,79 ≤ Lc ≤ 1,66 0,19 ≤ MZ ≤ 0,45
DO = f(Lc)	0,93	0,323 Lc <sup>0,961</sup>	Iso	0,79 ≤ Lc ≤ 1,74 0,25 ≤ DO ≤ 0,54	0,92	0,324 Lc <sup>0,955</sup>	Iso	0,86 ≤ Lc ≤ 1,74 0,25 ≤ DO ≤ 0,54	0,94	0,322 Lc <sup>0,973</sup>	Iso	0,79 ≤ Lc ≤ 1,66 0,25 ≤ DO ≤ 0,54
Lpo = f(Lc)	0,92	0,388 Lc <sup>1,077</sup>	A. maj	0,79 ≤ Lc ≤ 1,74 0,32 ≤ Lpo ≤ 0,72	0,95	0,383 Lc <sup>0,981</sup>	Iso	0,86 ≤ Lc ≤ 1,74 0,32 ≤ Lpo ≤ 0,66	0,94	0,398 Lc <sup>1,133</sup>	A. maj	0,79 ≤ Lc ≤ 1,66 0,33 ≤ Lpo ≤ 0,72
Lc = f(Lt)	0,96	0,234 Lt <sup>0,916</sup>	A. min	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,79 ≤ Lc ≤ 1,74	0,97	0,225 Lt <sup>0,939</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,86 ≤ Lc ≤ 1,74	0,96	0,245 Lt <sup>0,889</sup>	A. min	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 0,79 ≤ Lc ≤ 1,66
MD1 = f(Lt)	0,98	0,426 Lt <sup>0,956</sup>	A. min	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 1,55 ≤ MD1 ≤ 3,63	0,99	0,409 Lt <sup>0,977</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 1,55 ≤ MD1 ≤ 3,63	0,98	0,458 Lt <sup>0,918</sup>	A. min	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 1,62 ≤ MD1 ≤ 3,38
MD2 = f(Lt)	0,99	0,574 Lt <sup>0,999</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 2,25 ≤ MD2 ≤ 5,26	0,99	0,560 Lt <sup>1,010</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 2,25 ≤ MD2 ≤ 5,26	0,99	0,603 Lt <sup>0,974</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 2,35 ≤ MD2 ≤ 4,9
Dan = f(Lt)	0,98	0,555 Lt <sup>0,991</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 2,14 ≤ DAn ≤ 4,99	0,99	0,538 Lt <sup>1,009</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 2,14 ≤ DAn ≤ 4,99	0,97	0,576 Lt <sup>0,968</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 2,22 ≤ DAn ≤ 4,59
Eid = f(Lt)	0,92	0,090 Lt <sup>1,178</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,47 ≤ Eid ≤ 1,28	0,93	0,090 Lt <sup>1,180</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,47 ≤ Eid ≤ 1,28	0,89	0,089 Lt <sup>1,180</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 0,5 ≤ Eid ≤ 1,15
O-O = f(Lc)	0,88	0,249 Lc <sup>1,236</sup>	A. maj	0,79 ≤ Lc ≤ 1,74 0,19 ≤ O-O ≤ 0,48	0,91	0,241 Lc <sup>1,217</sup>	A. maj	0,86 ≤ Lc ≤ 1,74 0,19 ≤ O-O ≤ 0,45	0,86	0,266 Lc <sup>1,149</sup>	Iso	0,79 ≤ Lc ≤ 1,66 0,22 ≤ O-O ≤ 0,48
Hc = f(Lt)	0,96	0,108 Lt <sup>1,162</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,53 ≤ Hc ≤ 1,4	0,96	0,106 Lt <sup>1,167</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,57 ≤ Hc ≤ 1,4	0,96	0,116 Lt <sup>1,132</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 0,53 ≤ Hc ≤ 1,31
Hpc = f(Lt)	0,99	0,034 Lt <sup>1,176</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,17 ≤ Hpc ≤ 0,43	0,94	0,032 Lt <sup>1,195</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,17 ≤ Hpc ≤ 0,41	0,94	0,042 Lt <sup>1,080</sup>	Iso	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 0,19 ≤ Hpc ≤ 0,43
BD1 = f(Lt)	0,83	0,024 Lt <sup>1,397</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,12 ≤ BD1 ≤ 0,59	0,85	0,021 Lt <sup>1,448</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 9,15 0,12 ≤ BD1 ≤ 0,59	0,82	0,034 Lt <sup>1,237</sup>	A. maj	3,91 ≤ Lt ≤ 8,21 0,17 ≤ BD1 ≤ 0,53

Tableau 16. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* ponctuée du golfe de Annaba. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	R	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
Ls = f(Lt)	0,98	0,765 Lt <sup>1,047</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 4,6 ≤ Ls ≤ 8,9	0,97	0,748 Lt <sup>1,059</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 4,6 ≤ Ls ≤ 8,97	0,98	0,794 Lt <sup>1,028</sup>	Iso	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 4,84 ≤ Ls ≤ 8,6
MZ = f(Lc)	0,85	0,224 Lc <sup>1,175</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,27 ≤ MZ ≤ 0,69	0,82	0,218 Lc <sup>1,208</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,28 ≤ MZ ≤ 0,63	0,87	0,224 Lc <sup>1,21</sup>	A. maj	1,22 ≤ Lc ≤ 2,22 0,27 ≤ MZ ≤ 0,69
DO = f(Lc)	0,91	0,369 Lc <sup>1,024</sup>	Iso	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,37 ≤ DO ≤ 0,88	0,91	0,365 Lc <sup>1,039</sup>	Iso	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,37 ≤ DO ≤ 0,88	0,89	0,374 Lc <sup>1,016</sup>	Iso	1,22 ≤ Lc ≤ 2,22 0,45 ≤ DO ≤ 0,84
Lpo = f(Lc)	0,89	0,326 Lc <sup>1,191</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,30 ≤ Lpo ≤ 0,91	0,9	0,324 Lc <sup>1,195</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,3 ≤ Lpo ≤ 0,91	0,87	0,315 Lc <sup>1,274</sup>	A. maj	1,22 ≤ Lc ≤ 2,22 0,4 ≤ Lpo ≤ 0,89
Lc = f(Lt)	0,94	0,210 Lt <sup>1,021</sup>	Iso	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 1,13 ≤ Lc ≤ 2,29	0,93	0,214 Lt <sup>1,014</sup>	Iso	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 1,13 ≤ Lc ≤ 2,29	0,93	0,199 Lt <sup>1,047</sup>	Iso	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 1,22 ≤ Lc ≤ 2,22
MD1 = f(Lt)	0,97	0,340 Lt <sup>1,080</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,05 ≤ MD1 ≤ 4,43	0,97	0,339 Lt <sup>1,083</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,05 ≤ MD1 ≤ 4,43	0,97	0,351 Lt <sup>1,065</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 2,3 ≤ MD1 ≤ 4,39
MD2 = f(Lt)	0,98	0,454 Lt <sup>1,094</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,87 ≤ MD2 ≤ 5,98	0,98	0,429 Lt <sup>1,122</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,87 ≤ MD2 ≤ 5,98	0,98	0,484 Lt <sup>1,064</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 3,14 ≤ MD2 ≤ 5,8
Dan = f(Lt)	0,98	0,417 Lt <sup>1,122</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,88 ≤ DAn ≤ 5,94	0,98	0,395 Lt <sup>1,149</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 2,88 ≤ DAn ≤ 5,94	0,97	0,439 Lt <sup>1,097</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 2,9 ≤ DAn ≤ 5,66
Eid = f(Lt)	0,70	0,016 Lt <sup>1,846</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,38 ≤ Eid ≤ 1,34	0,65	0,009 Lt <sup>2,11</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,4 ≤ Eid ≤ 1,34	0,75	0,021 Lt <sup>1,745</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 0,38 ≤ Eid ≤ 1,15
O-O = f(Lc)	0,89	0,294 Lc <sup>1,151</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,30 ≤ O-O ≤ 0,77	0,86	0,292 Lc <sup>1,143</sup>	A. maj	1,13 ≤ Lc ≤ 2,29 0,3 ≤ O-O ≤ 0,77	0,92	0,315 Lc <sup>1,088</sup>	Iso	1,22 ≤ Lc ≤ 2,22 0,33 ≤ O-O ≤ 0,73
Hc = f(Lt)	0,93	0,114 Lt <sup>1,177</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,75 ≤ Hc ≤ 1,90	0,91	0,132 Lt <sup>1,111</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,81 ≤ Hc ≤ 1,84	0,94	0,120 Lt <sup>1,159</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 0,75 ≤ Hc ≤ 1,9
Hpc = f(Lt)	0,89	0,064 Lt <sup>0,993</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,31 ≤ Hpc ≤ 0,67	0,87	0,078 Lt <sup>0,905</sup>	Iso	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,33 ≤ Hpc ≤ 0,67	0,87	0,056 Lt <sup>1,068</sup>	Iso	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 0,31 ≤ Hpc ≤ 0,65
BD1 = f(Lt)	0,79	0,005 Lt <sup>1,058</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,16 ≤ BD1 ≤ 0,83	0,71	0,004 Lt <sup>1,176</sup>	A. maj	5,4 ≤ Lt ≤ 10,7 0,18 ≤ BD1 ≤ 0,83	0,72	0,004 Lt <sup>1,257</sup>	A. maj	5,71 ≤ Lt ≤ 10,2 0,16 ≤ BD1 ≤ 0,71

Tableau 17. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* non ponctuée du golfe de Annaba. T. Allo: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	R	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
LS = f(Lt)	0,99	0,789 Lt <sup>1,039</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 3,95 ≤ Ls ≤ 11,44	0,99	0,789 Lt <sup>1,040</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 3,95 ≤ Ls ≤ 11,44	0,97	0,819 Lt <sup>1,020</sup>	Iso	5,6 ≤ Lt ≤ 10 4,8 ≤ Ls ≤ 8,5
MZ = f(Lc)	0,88	0,259 Lc <sup>1,085</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,2 ≤ MZ ≤ 0,67	0,9	0,26 Lc <sup>1,065</sup>	Iso	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,2 ≤ MZ ≤ 0,67	0,73	0,243 Lc <sup>1,254</sup>	A. maj	1,16 ≤ Lc ≤ 2,04 0,29 ≤ MZ ≤ 0,61
DO = f(Lc)	0,94	0,319 Lc <sup>1,140</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,26 ≤ DO ≤ 0,9	0,94	0,328 Lc <sup>1,091</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,26 ≤ DO ≤ 0,9	0,9	0,291 Lc <sup>1,343</sup>	A. maj	1,16 ≤ Lc ≤ 2,04 0,35 ≤ DO ≤ 0,81
Lpo = f(Lc)	0,94	0,340 Lc <sup>1,164</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,31 ≤ Lpo ≤ 1,05	0,94	0,351 Lc <sup>1,119</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,32 ≤ Lpo ≤ 1,05	0,89	0,327 Lc <sup>1,239</sup>	A. maj	1,16 ≤ Lc ≤ 2,04 0,35 ≤ Lpo ≤ 0,79
Lc = f(Lt)	0,94	0,241 Lt <sup>0,922</sup>	A. min	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,88 ≤ Lc ≤ 2,55	0,95	0,267 Lt <sup>0,875</sup>	A. min	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,88 ≤ Lc ≤ 2,55	0,87	0,159 Lt <sup>1,129</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 1,16 ≤ Lc ≤ 2,04
MD1 = f(Lt)	0,98	0,387 Lt <sup>1,009</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 1,66 ≤ MD1 ≤ 5,13	0,98	0,405 Lt <sup>0,986</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 1,89 ≤ MD1 ≤ 5,13	0,95	0,329 Lt <sup>1,093</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 2,28 ≤ MD1 ≤ 4,26
MD2 = f(Lt)	0,99	0,471 Lt <sup>1,089</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 2,43 ≤ MD2 ≤ 7,77	0,99	0,479 Lt <sup>1,081</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 2,59 ≤ MD2 ≤ 7,77	0,97	0,480 Lt <sup>1,083</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 3,33 ≤ MD2 ≤ 5,8
Dan = f(Lt)	0,99	0,457 Lt <sup>1,087</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 2,37 ≤ Dan ≤ 7,64	0,99	0,463 Lt <sup>1,081</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 2,37 ≤ Dan ≤ 7,64	0,96	0,428 Lt <sup>1,119</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 2,98 ≤ Dan ≤ 5,56
Eid = f(Lt)	0,92	0,044 Lt <sup>1,480</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,31 ≤ Eid ≤ 2,23	0,93	0,039 Lt <sup>1,521</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,31 ≤ Eid ≤ 2,23	0,77	0,034 Lt <sup>1,612</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 0,61 ≤ Eid ≤ 1,41
O-O = f(Lc)	0,91	0,264 Lc <sup>1,138</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,25 ≤ O-O ≤ 0,8	0,9	0,262 Lc <sup>1,134</sup>	A. maj	0,88 ≤ Lc ≤ 2,55 0,27 ≤ O-O ≤ 0,8	0,89	0,254 Lc <sup>1,258</sup>	A. maj	1,16 ≤ Lc ≤ 2,04 0,31 ≤ O-O ≤ 0,66
Hc = f(Lt)	0,7	0,128 Lt <sup>1,032</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,46 ≤ Hc ≤ 1,86	0,69	0,136 Lt <sup>0,992</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,46 ≤ Hc ≤ 1,86	0,7	0,058 Lt <sup>1,446</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 0,65 ≤ Hc ≤ 1,7
Hpc = f(Lt)	0,9	0,049 Lt <sup>1,040</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,2 ≤ Hpc ≤ 0,69	0,9	0,059 Lt <sup>0,966</sup>	Iso	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,2 ≤ Hpc ≤ 0,69	0,83	0,027 Lt <sup>1,336</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 0,27 ≤ Hpc ≤ 0,57
BD1 = f(Lt)	0,73	0,011 Lt <sup>1,705</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,06 ≤ BD1 ≤ 0,83	0,7	0,013 Lt <sup>1,619</sup>	A. maj	4,63 ≤ Lt ≤ 13,14 0,06 ≤ BD1 ≤ 0,83	0,52	0,006 Lt <sup>1,974</sup>	A. maj	5,6 ≤ Lt ≤ 10 0,14 ≤ BD1 ≤ 0,68

Tableau 18. Coefficients de corrélation et relation d'allométrie entre les différents couples de longueurs chez la population totale, mâles et femelles d'*Atherina boyeri* de l'étang de Thau. T. allo.: type d'allométrie, A. maj: allométrie majorante, A. min: allométrie minorante, Iso: isométrie.

Fonction	Population totale				Femelles				Mâles			
	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	R	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)	r	Relation d'allométrie	T. allo.	Valeurs limites (cm)
Ls = f(Lt)	0,99	0,922 Lt <sup>0,951</sup>	A. min	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 4,23 ≤ Ls ≤ 7,67	0,99	0,929 Lt <sup>0,947</sup>	A. min	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 4,23 ≤ Ls ≤ 7,67	0,98	0,892 Lt <sup>0,969</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 6,31 ≤ Ls ≤ 7,35
MZ = f(Lc)	0,94	0,231 Lc <sup>1,357</sup>	A. maj	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,25 ≤ MZ ≤ 0,56	0,94	0,233 Lc <sup>1,316</sup>	A. maj	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,25 ≤ MZ ≤ 0,56	0,93	0,194 Lc <sup>1,740</sup>	A. maj	1,55 ≤ Lc ≤ 1,82 0,41 ≤ MZ ≤ 0,54
DO = f(Lc)	0,95	0,334 Lc <sup>0,983</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,35 ≤ DO ≤ 0,65	0,96	0,335 Lc <sup>0,983</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,35 ≤ DO ≤ 0,65	0,92	0,284 Lc <sup>1,286</sup>	Iso	1,55 ≤ Lc ≤ 1,82 0,50 ≤ DO ≤ 0,62
Lpo = f(Lc)	0,95	0,336 Lc <sup>1,009</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,37 ≤ Lpo ≤ 0,68	0,96	0,368 Lc <sup>0,979</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,37 ≤ Lpo ≤ 0,68	0,66	0,345 Lc <sup>1,157</sup>	Iso	1,55 ≤ Lc ≤ 1,82 0,57 ≤ Lpo ≤ 0,68
Lc = f(Lt)	0,97	0,207 Lt <sup>1,054</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 1,00 ≤ Lc ≤ 1,91	0,97	0,207 Lt <sup>0,994</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 1,00 ≤ Lc ≤ 1,91	0,96	0,198 Lt <sup>1,014</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 1,55 ≤ Lc ≤ 1,82
MD1 = f(Lt)	0,98	0,360 Lt <sup>0,994</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 1,94 ≤ MD1 ≤ 3,72	0,98	0,397 Lt <sup>0,998</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 1,94 ≤ MD1 ≤ 3,72	0,96	0,343 Lt <sup>1,070</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 3,04 ≤ MD1 ≤ 3,55
MD2 = f(Lt)	0,99	0,393 Lt <sup>1,003</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 2,80 ≤ MD2 ≤ 5,25	0,99	0,586 Lt <sup>0,982</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 2,80 ≤ MD2 ≤ 5,25	0,98	0,567 Lt <sup>1,004</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 4,33 ≤ MD2 ≤ 5,08
Dan = f(Lt)	0,99	0,575 Lt <sup>1,012</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 2,68 ≤ DAn ≤ 5,05	0,99	0,551 Lt <sup>0,994</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 2,68 ≤ DAn ≤ 5,05	0,97	0,470 Lt <sup>1,079</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 4,17 ≤ DAn ≤ 4,99
Eid = f(Lt)	0,93	0,078 Lt <sup>1,205</sup>	A. maj	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,55 ≤ Eid ≤ 1,15	0,94	0,091 Lt <sup>1,118</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,55 ≤ Eid ≤ 1,08	0,95	0,024 Lt <sup>1,777</sup>	A. maj	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 0,88 ≤ Eid ≤ 1,15
O-O = f(Lc)	0,88	0,252 Lc <sup>1,074</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,29 ≤ O-O ≤ 0,53	0,92	0,256 Lc <sup>1,077</sup>	Iso	1,00 ≤ Lc ≤ 1,91 0,29 ≤ O-O ≤ 0,53	0,73	0,152 Lc <sup>1,988</sup>	Iso	1,55 ≤ Lc ≤ 1,82 0,34 ≤ O-O ≤ 0,46
Hc = f(Lt)	0,92	0,156 Lt <sup>0,944</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,75 ≤ Hc ≤ 1,31	0,92	0,155 Lt <sup>0,948</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,75 ≤ Hc ≤ 1,31	0,67	0,115 Lt <sup>1,089</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 1,03 ≤ Hc ≤ 1,21
Hpc = f(Lt)	0,92	0,046 Lt <sup>1,016</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,25 ≤ Hpc ≤ 0,44	0,92	0,048 Lt <sup>0,988</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,25 ≤ Hpc ≤ 0,43	0,82	0,039 Lt <sup>1,103</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 0,37 ≤ Hpc ≤ 0,44
BD1 = f(Lt)	0,79	0,031 Lt <sup>1,195</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,22 ≤ BD1 ≤ 0,51	0,88	0,032 Lt <sup>1,184</sup>	Iso	4,89 ≤ Lt ≤ 9,28 0,22 ≤ BD1 ≤ 0,51	0,79	0,004 Lt <sup>1,160</sup>	Iso	7,54 ≤ Lt ≤ 8,82 0,31 ≤ BD1 ≤ 0,43

Tableau 19. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d'*Atherina boyeri* des lagunes Mellah et de Bizerte, de l'oued Ziama et de l'étang de Mauguio. (\*: différence significative).

Fonction	Oued Ziama					Lagune Mellah				
	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-<math>\alpha</math>/2</sub>	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-<math>\alpha</math>/2</sub>
	Mâles	Femelles				Mâles	Femelles			
Ls = f(Lt)	0,782 Lt <sup>1,034</sup>	0,770 Lt <sup>1,045</sup>	4,77	-	1,96	0,831 Lt <sup>1,011</sup>	0,882 Lt <sup>1,021</sup>	1,46	0,33	1,96
MZ = f(Lc)	0,248 Lc <sup>1,266</sup>	0,242 Lc <sup>1,236</sup>	1,41	1,97	1,96	0,257 Lc <sup>1,096</sup>	0,261 Lc <sup>0,994</sup>	6,74	-	1,96
DO = f(Lc)	0,336 Lc <sup>1,010</sup>	0,322 Lc <sup>1,002</sup>	0,40	5,39	1,96	0,341 Lc <sup>0,990</sup>	0,343 Lc <sup>0,943</sup>	2,70	-	1,96
Lpo = f(Lc)	0,384 Lc <sup>1,096</sup>	0,378 Lc <sup>1,164</sup>	6,82	-	1,96	0,394 Lc <sup>1,131</sup>	0,389 Lc <sup>1,171</sup>	16,47	-	1,96
Lc = f(Lt)	0,249 Lt <sup>0,881</sup>	0,254 Lt <sup>0,877</sup>	0,25	1,26	1,96	0,205 Lt <sup>0,994</sup>	0,216 Lt <sup>0,964</sup>	4,04	-	1,96
MD1 = f(Lt)	0,347 Lt <sup>1,027</sup>	0,401 Lt <sup>0,946</sup>	2,44	-	1,96	0,388 Lt <sup>1,002</sup>	0,368 Lt <sup>1,033</sup>	3,07	-	1,96
MD2 = f(Lt)	0,510 Lt <sup>1,026</sup>	0,549 Lt <sup>0,990</sup>	2,86	-	1,96	0,537 Lt <sup>1,030</sup>	0,504 Lt <sup>1,065</sup>	4,45	-	1,96
Dan = f(Lt)	0,463 Lt <sup>1,053</sup>	0,499 Lt <sup>1,021</sup>	1,95	1,23	1,96	0,505 Lt <sup>1,036</sup>	0,476 Lt <sup>1,072</sup>	5,54	-	1,96
Eid = f(Lt)	0,071 Lt <sup>1,260</sup>	0,067 Lt <sup>1,303</sup>	0,76	0,60	1,96	0,070 Lt <sup>1,332</sup>	0,061 Lt <sup>1,382</sup>	2,36	-	1,96
O-O = f(Lc)	0,319 Lc <sup>1,153</sup>	0,307 Lc <sup>1,164</sup>	0,25	2,93	1,96	0,274 Lc <sup>1,050</sup>	0,264 Lc <sup>1,132</sup>	2,67	-	1,96
Hc = f(Lt)	0,122 Lt <sup>1,111</sup>	0,140 Lt <sup>1,039</sup>	2,91	-	1,96	0,097 Lt <sup>1,220</sup>	0,096 Lt <sup>1,222</sup>	0,12	1,27	1,96
Hpc = f(Lt)	0,040 Lt <sup>1,191</sup>	0,047 Lt <sup>1,099</sup>	5,36	-	1,96	0,037 Lt <sup>1,159</sup>	0,037 Lt <sup>1,136</sup>	0,94	3,04	1,96
BD1 = f(Lt)	0,024 Lt <sup>1,484</sup>	0,040 Lt <sup>1,185</sup>	7,25	-	1,96	0,019 Lt <sup>1,573</sup>	0,024 Lt <sup>1,410</sup>	2,89	-	1,96

Tableau 20. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d'*Atherina boyeri* de la lagune de Bizerte et de l'étang de Mauguio. (\*: différence significative).

Fonction	Dimorphisme sexuel lagune de Bizerte					Dimorphisme sexuel étang de Mauguio				
	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-α/2</sub>	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-α/2</sub>
	Mâles	Femelles				Mâles	Femelles			
Ls = f(Lt)	0,896 Lt <sup>0,968</sup>	0,935 Lt <sup>0,955</sup>	1,21	0,07	1,96	0,893 Lt <sup>0,969</sup>	0,855 Lt <sup>0,993</sup>	3,49	-	1,96
MZ = f(Lc)	0,234 Lc <sup>1,220</sup>	0,257 Lc <sup>1,277</sup>	1,01	1,41	1,96	0,248 Lc <sup>1,113</sup>	0,238 Lc <sup>1,185</sup>	0,00	1,14	1,96
DO = f(Lc)	0,325 Lc <sup>1,097</sup>	0,348 Lc <sup>0,970</sup>	1,82	-	1,96	0,322 Lc <sup>0,973</sup>	0,324 Lc <sup>0,955</sup>	1,91	1	1,96
Lpo = f(Lc)	0,357 Lc <sup>1,104</sup>	0,379 Lc <sup>1,168</sup>	6,18	-	1,96	0,398 Lc <sup>1,133</sup>	0,383 Lc <sup>0,981</sup>	0,14	0,01	1,96
Lc = f(Lt)	0,220 Lt <sup>0,961</sup>	0,177 Lt <sup>1,106</sup>	0,68	1,19	1,96	0,245 Lt <sup>0,889</sup>	0,225 Lt <sup>0,939</sup>	0,88	0,24	1,96
MD1 = f(Lt)	0,366 Lt <sup>1,043</sup>	0,408 Lt <sup>0,992</sup>	1,94	0,35	1,96	0,458 Lt <sup>0,918</sup>	0,409 Lt <sup>0,977</sup>	0,58	1,31	1,96
MD2 = f(Lt)	0,565 Lt <sup>0,990</sup>	0,624 Lt <sup>1,945</sup>	2,37	-	1,96	0,603 Lt <sup>0,974</sup>	0,560 Lt <sup>1,010</sup>	2,37	-	1,96
Dan = f(Lt)	0,528 Lt <sup>1,002</sup>	0,521 Lt <sup>1,018</sup>	0,004	0,004	1,96	0,576 Lt <sup>0,968</sup>	0,538 Lt <sup>1,009</sup>	0,77	0,56	1,96
Eid = f(Lt)	0,106 Lt <sup>1,048</sup>	0,041 Lt <sup>1,522</sup>	3,65	-	1,96	0,089 Lt <sup>1,180</sup>	0,090 Lt <sup>1,180</sup>	13,16	-	1,96
O-O = f(Lc)	0,244 Lc <sup>1,497</sup>	0,327 Lc <sup>1,084</sup>	0,33	0,47	1,96	0,266 Lc <sup>1,149</sup>	0,241 Lc <sup>1,217</sup>	4,04	-	1,96
Hc = f(Lt)	0,085 Lt <sup>1,255</sup>	0,118 Lt <sup>1,129</sup>	8,42	-	1,96	0,116 Lt <sup>1,132</sup>	0,106 Lt <sup>1,167</sup>	1,09	1,42	1,96
Hpc = f(Lt)	0,020 Lt <sup>1,471</sup>	0,041 Lt <sup>1,191</sup>	2,51	-	1,96	0,042 Lt <sup>1,080</sup>	0,032 Lt <sup>1,195</sup>	1,87	0,49	1,96
BD1 = f(Lt)	0,009 Lt <sup>1,884</sup>	0,014 Lt <sup>1,740</sup>	3,07	-	1,96	0,034 Lt <sup>1,237</sup>	0,021 Lt <sup>1,448</sup>	0,79	0,29	1,96

Tableau 21. Comparaison de la pente et de la position des droites de régression entre les femelles et les mâles d'*Atherina boyeri* ponctuée et non ponctuée du golfe de Annaba. (\*: différence significative).

Fonction	Golfe de Annaba ponctuée					Golfe de Annaba non ponctuée				
	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-α/2</sub>	Equation de régression		tpe	tpo	t <sub>1-α/2</sub>
	Mâles	Femelles				Mâles	Femelles			
L <sub>s</sub> = f(Lt)	0,794 Lt <sup>1,028</sup>	0,748 Lt <sup>1,059</sup>	2,65	-	1,96	0,819 Lt <sup>1,020</sup>	0,789 Lt <sup>1,040</sup>	0,76	0,17	1,96
MZ = f(Lc)	0,224 Lc <sup>1,21</sup>	0,218 Lc <sup>1,208</sup>	0,02	2,49	1,96	0,243 Lc <sup>1,254</sup>	0,26 Lc <sup>1,065</sup>	1,92	1,81	1,96
DO = f(Lc)	0,374 Lc <sup>1,016</sup>	0,365 Lc <sup>1,039</sup>	0,47	1,53	1,96	0,291 Lc <sup>1,343</sup>	0,328 Lc <sup>1,091</sup>	4,01	-	1,96
Lpo = f(Lc)	0,315 Lc <sup>1,274</sup>	0,324 Lc <sup>1,195</sup>	1,05	1,42	1,96	0,327 Lc <sup>1,239</sup>	0,351 Lc <sup>1,119</sup>	1,94	1,09	1,96
Lc = f(Lt)	0,199 Lt <sup>1,047</sup>	0,214 Lt <sup>1,014</sup>	0,83	0,72	1,96	0,159 Lt <sup>1,129</sup>	0,267 Lt <sup>0,875</sup>	4,02	-	1,96
MD1 = f(Lt)	0,351 Lt <sup>1,065</sup>	0,339 Lt <sup>1,083</sup>	0,83	0,03	1,96	0,329 Lt <sup>1,093</sup>	0,405 Lt <sup>0,986</sup>	2,76	-	1,96
MD2 = f(Lt)	0,484 Lt <sup>1,064</sup>	0,429 Lt <sup>1,122</sup>	6,93	-	1,96	0,480 Lt <sup>1,083</sup>	0,479 Lt <sup>1,081</sup>	0,07	0,44	1,96
Dan = f(Lt)	0,439 Lt <sup>1,097</sup>	0,395 Lt <sup>1,149</sup>	1,9	0,15	1,96	0,428 Lt <sup>1,119</sup>	0,463 Lt <sup>1,081</sup>	1,11	0,11	1,96
Eid = f(Lt)	0,021 Lt <sup>1,745</sup>	0,009 Lt <sup>2,11</sup>	14,97	-	1,96	0,034 Lt <sup>1,612</sup>	0,039 Lt <sup>1,521</sup>	0,78	2,07	1,96
O-O = f(Lc)	0,315 Lc <sup>1,088</sup>	0,292 Lc <sup>1,143</sup>	3,17	-	1,96	0,254 Lc <sup>1,258</sup>	0,262 Lc <sup>1,134</sup>	2,25	-	1,96
Hc = f(Lt)	0,120 Lt <sup>1,159</sup>	0,132 Lt <sup>1,111</sup>	1,74	0,7	1,96	0,058 Lt <sup>1,446</sup>	0,136 Lt <sup>0,992</sup>	4,13	-	1,96
Hpc = f(Lt)	0,056 Lt <sup>1,068</sup>	0,078 Lt <sup>0,905</sup>	2,67	-	1,96	0,027 Lt <sup>1,336</sup>	0,059 Lt <sup>0,966</sup>	4,49	-	1,96
BD1 = f(Lt)	0,004 Lt <sup>1,257</sup>	0,004 Lt <sup>1,176</sup>	0,33	0,82	1,96	0,006 Lt <sup>1,974</sup>	0,013 Lt <sup>1,619</sup>	1,95	0,16	1,96

### 2.3. Analyse discriminante

Le test statistique F de Fisher montre que l'ensemble des variables sont discriminantes du moment que les valeurs de signification enregistrées sont inférieures au seuil de 5% (tab. 22). Ainsi, la classification des échantillons (tab. 23) sur ces critères donne un bon degré de fiabilité. Le pourcentage des individus totaux bien classés est de 71,45%. Le pourcentage des individus les mieux classés sont de 92,36% pour les spécimens marins ponctués du golfe de Annaba, suivie de ceux échantillonnés à oued Ziama (85,03%), les individus provenant de l'étang de Thau (68,18%), les individus de la lagune Mellah (65,79%), les individus provenant de l'étang de Mauguio (64,64%), les individus marins non ponctués du golfe de Annaba (63,21%), et enfin les individus de la lagune de Bizerte (60,95%), où le premier axe de l'analyse canonique discriminante absorbe 77,26% de la variation globale et le second 22,05%.

Le clustering effectué sur la base des groupes de moyennes des caractères étudiés (fig. 18), montre trois groupes différents, avec l'individualisation de la population de l'oued Ziama et celle marine ponctuée du golfe de Annaba en deux groupes distincts, le troisième groupe étant formé par la population de la lagune Mellah, l'étang de Thau, l'étang de Mauguio, la lagune de Bizerte et la population marine non ponctuée du golfe de Annaba, avec de légères disparités.

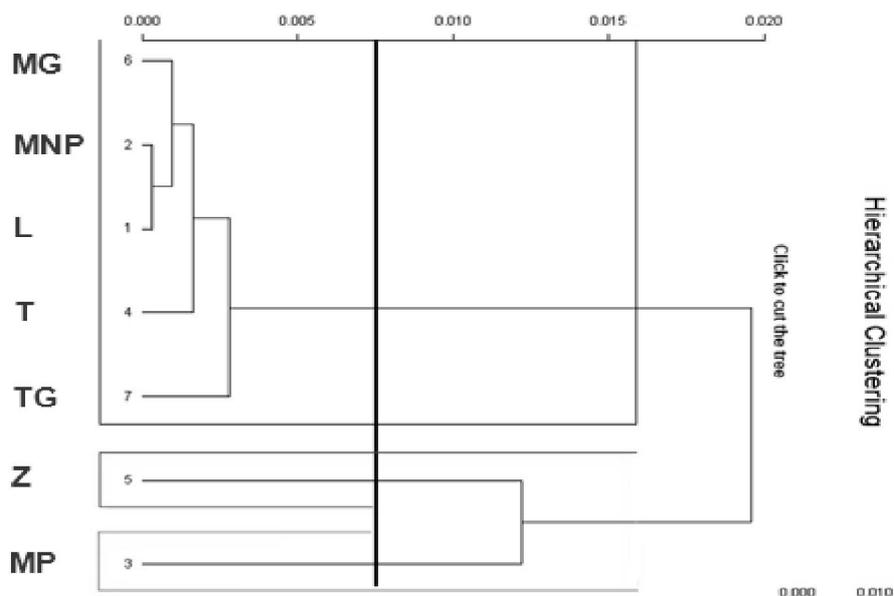


Figure 18. Classification hiérarchique réalisée avec les moyennes des caractères métriques des différentes populations d'*Atherina boyeri*. Le trait noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définie dans le tableau 28.

Tableau 22. Tests d'égalité des moyennes des variables métriques entre les différentes populations d'*Atherina boyeri*.

	Wilks' Lambda	F	Sig.
Ls	0,896	19,686	0
MZ	0,935	11,686	0
DO	0,612	107,055	0
Lpo	0,946	9,637	0
Lc	0,727	63,454	0
MD1	0,724	64,337	0
MD2	0,736	60,579	0
Dan	0,816	38,120	0
Eid	0,682	78,683	0
O-O	0,569	127,713	0
Hc	0,699	72,601	0
Hpc	0,527	151,693	0
BD1	0,953	8,297	0

Tableau 23. Pourcentage du bon taux de reclassement par validation croisée des individus au sein de chacun des sites de prélèvement utilisant les caractères métriques. Les rangés représentent les groupes actuels, alors que les colonnes les groupes prédits. Le pourcentage du bon taux de reclassement est donné en gras.

Matrice de confusion pour les résultats de la validation croisée								
Sites	LM	MNP	MP	T	Z	MG	TG	% correct
LM	177	20	0	26	4	31	11	<b>65,79%</b>
MNP	16	122	8	14	2	13	18	<b>63,21%</b>
MP	1	2	133	3	4	0	1	<b>92,36%</b>
T	10	21	2	89	8	3	13	<b>60,95%</b>
Z	6	3	1	10	125	2	0	<b>85,03%</b>
MG	14	6	0	2	0	64	13	<b>64,64%</b>
TG	2	0	0	1	0	4	15	<b>68,18%</b>

### 3. Discussion

Les analyses statistiques, comparées des caractères méristiques des populations d'athérines récoltées dans sept localités marines et lagunaires de la Mer Méditerranée, ont permis de mettre en évidence une nette individualisation des athérines marines non ponctuées. Pour l'ensemble des caractères TGinf, TGsup, TGt, SC, VE, D1, Pe, les athérines marines non ponctuées disposent de nombres moyens, statistiquement, plus élevés que toutes les autres athérines marines ponctuées ou lagunaires. Ces dernières présentent, pour ces mêmes caractères, des valeurs moyennes plus basses. Cependant les individus provenant de l'oued Ziama, présentent des valeurs moyennes élevées pour les caractères VE et SC, et les valeurs les plus basses en ce qui concerne les caractères TGinf, TGsup, TGt, et D1.

Les athérines marines ponctuées du golfe de Annaba se caractérisent des autres athérines par un nombre de branchiospines inférieures et totales intermédiaires entre les populations lagunaires et celles marines non ponctuées. La comparaison de l'étendue de quelques caractères méristiques d'*A. boyeri* selon différentes études et différents habitats est présenté dans les tableaux de A. 2 à A. 10 en annexe.

Pour le nombre de vertèbres (VE), les valeurs individuelles extrêmes mentionnées varient selon les auteurs et les localités. Pour les populations marines, le nombre de vertèbres varie entre 41 et 48 avec une valeur maximale (49) proche de celle que nous avons obtenu, alors que les minima sont supérieurs (min=38). Pour les populations lagunaires le VE varie de 38 à 47, ces valeurs sont très semblables aux valeurs obtenues (37 à 48). Les moyennes enregistrées à Veerse Meer (45,1) (Kierner et Spillmann, 1969), à Oldbury (44,48) (Palmer et Culley, 1979), ou en Tunisie (45,1) (Kartas et Trabelsi, 1990) sont similaires à celles obtenues chez la population d'athérines marines non ponctuées (44,5). En revanche, les valeurs enregistrés au Maroc (42,2) sont davantage plus proches de celles des athérines marines ponctuées du golfe de Annaba (41,6) ou celles lagunaire (41,78).

Pour le nombre d'écailles en ligne longitudinale (SC), les valeurs extrêmes signalées varient de 41 à 60 pour les populations marines, alors que celles obtenus dans le golfe de Annaba varient entre 38 et 48. Pour les populations lagunaires, il est compris entre 39 et 52 écailles, contre 36 à 49 écailles enregistrées dans notre étude. Les valeurs mentionnées par Kartas et Trabelsi (1990) sur les eaux littorales tunisiennes (45,4) sont proches de celles obtenues pour les athérines non ponctuées (44), cependant les valeurs enregistrées à Veerse Meer aux Pays Bas (46,2) par Kiener et Spillmann (1969), à Oldbury au Royaume Uni (46,12) par Palmer et Culley (1979) ou en France (47,4) par Marfin (1981) sont nettement supérieures. Les valeurs

enregistrées chez les populations lagunaires (42,6) ou insulaires (40,28) (Kartas et Trabelsi, 1990) sont proches de celles que nous avons enregistrées chez la population lagunaire (41,4) ou marine ponctuée du golfe de Annaba (41,65).

Le nombre total de branchiospines décrit par la littérature chez les populations d'athérines marines s'étend de 23 à 41. Il est proche de celui obtenu chez la population marine du golfe de Annaba (22 à 39). Pour les populations lagunaires, ces valeurs diffèrent (23 à 31) de celles enregistrées dans notre étude (20 à 28). Les valeurs moyennes mentionnées par Kartas et Trabelsi (1990) pour les athérines lagunaires (26,49), insulaires (26,88), ou par Marfin (1981) pour les athérines françaises (25,3), sont semblables aux valeurs que nous avons enregistrées pour les athérines lagunaires (24,43), ou celle de la population marine ponctuée du golfe de Annaba (26,91). Les valeurs les plus élevées enregistrées sont celles des athérines marines non ponctuées du golfe de Annaba (29,5), ou celles de l'étang de Thau (28,86). Les valeurs enregistrées par Kartas et Trabelsi (1990) sont nettement supérieures (36,57).

Les valeurs individuelles du nombre de rayons à la première nageoire dorsale (D1) disponibles dans la littérature s'étendent à l'unité près de 5 à 11, que ce soit pour les populations marines ou lagunaires. Ces valeurs sont similaires aux nôtres. Les moyennes enregistrées pour les individus marins non ponctués du golfe de Annaba (7,84) ou de l'étang de Thau (7,9) sont comparables à celles mentionnées à Oldbury (7,58) par Palmer et Culley (1979). Ces dernières sont supérieures à celles enregistrées pour les populations lagunaires (7,03) ou les athérines marines ponctuées du golfe de Annaba (6,9).

Pour le nombre de rayons sur la nageoire pectorale (Pe), les valeurs citées ou observées s'étendent de 12 à 18, avec une variation de un ou deux rayons. Les valeurs moyennes mentionnées à Oldbury (14,4) par Palmer et Culley (1979), ou pour les athérines marines tunisiennes (15,33) par Kartas et Trabelsi (1990) sont similaires à celles observées pour les athérines marines non ponctuées du golfe de Annaba (15,01), l'étang de Thau (14,18), ou encore l'oued Ziama (14,44). Les moyennes citées pour les athérines lagunaires (13,48) ou insulaires (13,47), sont remarquablement semblables à celles retrouvées pour les athérines lagunaires de nos régions (13,36), ou la population marine non ponctuée du golfe de Annaba (13,15).

Les valeurs extrêmes respectives du nombre de rayons de la nageoire dorsale (D2) (8-18) ou de l'anale (AN) (9-17) sont peu fluctuantes. Ces résultats sont confortés par ceux mentionnés dans la littérature pour différentes localités de Méditerranée ou d'Atlantique. Ainsi, ils permettent de séparer les populations lagunaires ou marines ponctués des populations marines non ponctuées; ces dernières présentent pour certains caractères des moyennes assez

singulières (Pe, SC, VE, TGinf, TGsup, TGt). Les différences observées concernent la plupart des 13 caractères étudiés, et selon le paramètre pris en considération, elles sont parfois prononcées et peuvent atteindre un niveau de différence raciale (24,8%) ou sub-spécifique (10,5%). Cependant les différences enregistrées entre les individus marins ponctués du golfe de Annaba et les populations lagunaires sont moins évidentes et concernent TGinf et TGt. L'échantillon de l'oued Ziama présente quant à lui des moyennes partagées, avec des valeurs moyennes élevées pour les caractères VE et SC, similaires à celles enregistrées pour la population marine non ponctuée; le reste des valeurs enregistrées pour les autres caractères ressemblent beaucoup plus à celles enregistrées ou mentionnées pour les athérines lagunaires. Toutefois, les données méristiques seules ne peuvent prétendre conduire à une certitude absolue des résultats, vu que pour chaque espèce, la probabilité n'est pas nulle de rencontrer des individus dont les caractères s'écartent des valeurs limites propre à l'espèce considérée. Des disparités observées au niveau de certains caractères numériques peuvent être dues aux aléas méthodologiques (limites de comptage) ou de la représentativité ou de la taille de l'échantillon dans certains cas. De plus, les résultats mentionnés dans la littérature pour les athérines marines ne font pas de distinction entre les athérines ponctuées et non ponctuées (voir travaux de: Bowers et Naylor, 1964; Kiener et Spillmann, 1969; Palmer et Culley, 1979; Marfin, 1981) qui font état de la présence d'une seule population en milieu marin. Ce n'est que plus tard que des auteurs font mention de la présence de deux ou trois groupes de populations marines (Kartas et Trabelsi, 1990; Trabelsi *et al.*, 2002a, 2002b, 2004; Astolfi *et al.*, 2005; Francisco *et al.*, 2008).

Pour conforter ces résultats, nous avons étudié la morphométrie somatique des populations d'*A. boyeri*. Trois groupes distincts sont mis en évidence. La population de l'oued Ziama et celle marine ponctuée du golfe de Annaba forment deux groupes distincts et différents des autres populations échantillonnées. Le troisième groupe, est formé par la population de la lagune Mellah, les étangs de Thau et de Mauguio, la lagune de Bizerte et la population marine non ponctuée du golfe de Annaba. La nette séparation mise en évidence, utilisant les caractères méristiques, entre les athérines marines non ponctuées et les athérines lagunaires, n'est pas observée en utilisant la morphométrie somatique. Ces résultats confirment les conclusions fondées sur des données morphométriques (Kartas et Trabelsi, 1990; Trabelsi *et al.*, 2002a; 2004), l'analyse du gène *Cyt b* (Trabelsi *et al.*, 2002b) et la région de contrôle CR de l'ADNmt (Astolfi *et al.*, 2005). Francisco *et al.*, (2008) a confirmé ces résultats avec d'autres fragments d'ADN mitochondrial (région de contrôle et 12S), ou encore dans une étude plus élargi, en utilisant trois marqueurs d'ADNmt (CR, 12S, 16S) et deux marqueurs

nucléaires (Rhodopsin et S7 introns 2). Selon Quignard (1978), toute variation d'un caractère morphologique, n'est peut être que l'amorce d'un phénomène de sous-spéciation ou de spéciation.

Les différences morphologiques sont observées chez d'autres espèces de poissons entre les eaux marines et de transition ou encore entre lagunes. Utilisant la morphologie somatique, Kara et Frehi (1997) et Chaoui *et al.*, (2001) ont différencié respectivement les populations de *Dicentrarchus labrax* et *Sparus aurata* entre la lagune Mellah et le golfe de Annaba. Bahri-Sfar et Ben Hassine (2009) ont par la suite appuyé les résultats antérieurs sur *Dicentrarchus labrax* recueillies tout au long des côtes tunisiennes Nord et Sud-est en utilisant les caractères méristiques. Hammami *et al.*, (2011) a également observé des différences entre dix populations marines et lagunaires de *Lithognathus mormyrus* le long de la côte tunisienne, en utilisant 27 éléments de truss, 14 caractères métriques classiques et huit caractères méristiques. Des différences notables des populations ichthyologiques ont été mises en évidence entre des populations lagunaires provenant de six lagunes méditerranéennes, dans une étude utilisant 23 éléments de truss et 11 caractères métriques classiques (Hammami *et al.*, 2013). Ces différences morphologiques peuvent être dues à un déterminisme génétique lié à un processus sélectif local (Lemaire *et al.*, 2000; Chaoui *et al.*, 2012). Cela peut également correspondre à la plasticité morphologique (Capoccioni *et al.*, 2011) ou à une combinaison d'effets environnementaux et génétiques. Très probablement, la raison pour laquelle *A. boyeri* se présente comme étant un clade si complexe est liée à son cycle de vie distinct qui est, parmi les autres espèces, le plus associé à des environnements fragmentés (lagunes, estuaires et masses d'eau douce). La combinaison entre cette fragmentation dans ses habitats et la faible capacité de dispersion de l'espèce est probablement responsable de sa structuration. L'étude de la morphologie somatique a abouti à la mise en évidence de trois groupes d'athérines en Méditerranée: deux formes marines (ponctuées et non ponctuées), une forme lagunaire et la population provenant de l'oued Ziama qui présente des différences morphométriques nettes. L'analyse de la forme des otolithes, objet du chapitre suivant, permettra de vérifier cette discrimination.

## Chapitre II.

### Différenciation otolithométrique

#### Introduction

L'analyse de forme est une technique développée par Kuhl et Giardana (1982) dans le cadre d'applications pour l'aviation militaire, elle permet de quantifier des contours fermés quel que soit leur degré de complexité morphologique en se basant sur le théorème de Fourier énonçant que toute fonction périodique peut être décomposée en une série de sinusoides ou harmoniques. L'étude des variations morphologiques et les comparaisons individuelles reposent ensuite sur l'analyse statistique des paramètres issus des développements en série de Fourier. Cette méthode présente l'avantage de prendre en compte toute l'information morphologique du contour.

Les otolithes sont utilisées dans un large éventail d'études, telles que l'identification des espèces (Aguirre et Lombarte, 1999; Parmentier *et al.*, 2001), l'âge et l'évaluations de la croissance (Cardinale *et al.*, 2004), l'évaluation des stocks (Friedland et Reddin, 1994; Gonzalez-Salas et Lenfant, 2007) ou encore dans l'étude du régime alimentaire de certains grands prédateurs (Lilliendahl et Solmundsson, 2006). En plus de leurs variabilités interspécifiques, elles présentent également des variations au niveau intra-spécifique. La forme des otolithes change durant l'ontogénie (Hüssy, 2008), Mais aussi change en réponse à des différences de taux de croissance (Smith, 1992; Campana et Casselman, 1993; Friedland et Reddin, 1994; Hüssy, 2008), selon les conditions environnementales, tels que la profondeur (Gauldie et Crampton, 2002; Morat *et al.*, 2012), a température et / ou la salinité (Cardinale *et al.*, 2004; Gonzales-Salas et Lenfant, 2007) ou des variations dans le régime alimentaire (Gagliano et McCormick, 2004). Leurs formes peut être associée à des niches à échelle spatiale, ou temporelle (Aguirre et Lombarte, 1999; Mérigot *et al.*, 2007).

L'analyse de Fourier est utilisé pour quantifier la variation des otolithes (taille et contour) entre les espèces, les populations ou encore des stocks (Castonguay *et al.*, 1991; Torres *et al.*, 2000; Megalofonou, 2006; Mérigot *et al.*, 2007; Morat *et al.*, 2012; Boudinar *et al.*, 2015; Bourehail *et al.*, 2015). Cependant, seules quelques études ont abordé la question de savoir si les différences entre la forme des otolithes sont génétiquement encodées ou le résultat des

différences de certains paramètres de l'habitat (Stransky *et al.*, 2008, Lombarte *et al.*, 2010, Vignon et Morat 2010; Annabi *et al.*, 2013).

## 1. Matériel et méthodes

L'analyse de la forme des otolithes a été réalisée sur six des huit localités échantillonnées, en utilisant les mêmes spécimens utilisés dans les analyses moléculaires.

Les échantillons du golfe de Lion et de l'oued Mafragh ont été exclus: dans le premier cas, l'effectif était insuffisant ( $N = 7$ ) et dans le second cas, l'échantillon était constitué d'alevins ne permettant pas des comparaisons avec les individus adultes. Afin d'éliminer le biais de la de taille du poisson sur la forme des otolithes, nous avons traité qu'une même catégorie de taille ( $5 < LT < 8,5$  cm). Au total, 362 spécimens ont été analysés: lagune Mellah (50), oued Ziama (56), golfe de Annaba "ponctuée" (61), golfe de Annaba "non-ponctuée" (60), lagune de Bizerte (57), l'étang de Thau (22) et étang de Mauguio (56). Les otolithes sagittales ont été prisent par paires, lavées avec de l'eau douce, séchées à l'air libre puis stockées dans des tubes Eppendorf. Les deux otolithes droite et gauche ont été numérisées avec le logiciel TNPC (Mahé *et al.*, 2011), le *sulcus acusticus* orienté vers l'observateur, à l'aide d'un microscope optique munie d'une caméra vidéo (Lumenera's INFINITY lite), reliée à un ordinateur. Un éclairage épiscopique par fibre optique a permis de régler la direction et l'intensité de la lumière afin d'obtenir l'image la plus contrastée possible, facilitant l'extraction du grand contour des objets par technique de seuillage d'image (fig. 19).

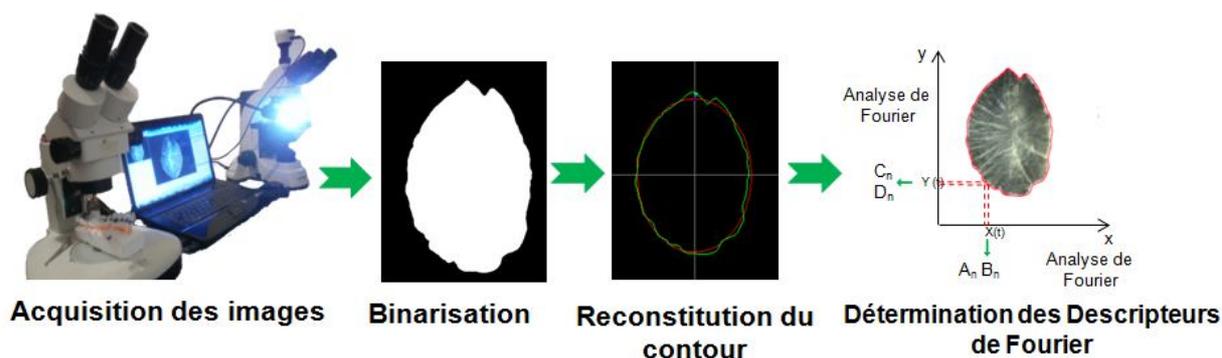


Figure 19. Méthodologie pour l'acquisition des images des otolithes d'*A. boyeri*

et détermination des descripteurs de Fourier.

### 1.1. Descripteurs de distance et indices de forme

Les descripteurs de distance (longueur, largeur, périmètre, surface) (fig. 20) ont été extraits automatiquement à partir de l'image binarisée utilisant le logiciel TNPC (Mahé *et al.*, 2011) pour chaque otolithe:

- $L_o$ : longueur maximale
- $W_o$ : largeur maximale
- $P_o$ : périmètre
- $A_o$ : surface projetée

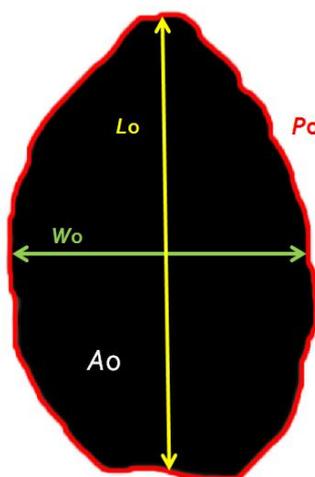


Figure 20. Descripteurs de distance mesurés sur l'image binarisée d'une *sagitta*.

Les indices de forme sont calculés à partir des descripteurs de distance combinés de manières différentes (tab. 24) (Tuset *et al.*, 2003).

Tableau 24. Descripteurs de distance pris en considération et formules de calcul des indices de forme.

Descripteurs de distance	Indices de forme
Surface ( $A_o$ )	Circularité = $P_o^2/A_o$
Périmètre ( $P_o$ )	Ellipticité = $(L_o - W_o)/(L_o + W_o)$
Longueur ( $L_o$ )	Rectangularité = $A_o/(L_o \times W_o)$
Largeur ( $W_o$ )	Facteur de forme = $(4A_o)/P_o^2$
	Rondeur = $(4A_o)/(\pi L_o^2)$

Ces indices estiment respectivement l'irrégularité de l'aire, donnent des informations sur la similarité des différentes caractéristiques du cercle parfait, décrivent les variations de la longueur et de la largeur par rapport à l'aire et indiquent les changements dans l'axe proportionnels. Les différences entre les indices de forme selon le site d'échantillonnage ont été testées par une analyse de variances (ANOVA) complétée par le test de comparaison des moyennes deux à deux (test de Newman-Keuls, SNK) utilisant le logiciel SPSS v. 13.0 (SPSS, 2004).

## 1.2. Description du contour

La forme d'un objet peut être décrite à divers degrés de précision en utilisant la décomposition de son contour par les transformées elliptiques de Fourier. Le contour de l'otolithe dans notre cas est décrit par l'utilisation de la méthode des ellipses de Fourier (Lestrel, 2008). Chaque ellipse est appelé harmonique et est décrite par une somme de fonctions trigonométriques de sinus et cosinus et dont les paramètres associés sont les coefficients ou descripteurs de Fourier (EFDs). Chaque harmonique est composée de 4 coefficients ( $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$  et  $D_n$ ) résultant de la projection de chaque point du contour sur l'axe des abscisses ( $x$ ) et l'axe des ordonnées ( $y$ ). Ils servent de variables descriptives de la forme de l'objet. La première harmonique est une simple ellipse, mais augmenter le nombre d'harmoniques accroît la complexité de la forme et donc la précision de sa description (Kuhl et Giardina 1982).

Les descripteurs de Fourier sont obtenus en utilisant le logiciel Shape v1.2 (Iwata et Ukai, 2002) après seuillage, qui permet la détection du contour des otolithes. Elles sont toutes alignées et présentent toutes le même point de départ et sens de rotation. Une normalisation par rapport à la longueur de la première ellipse a été utilisée pour que tous les otolithes aient la même taille quelle que soit la classe de taille des individus considérés.

En outre, le calcul de la puissance de Fourier (PF) permet de déterminer le nombre suffisant d'harmoniques représentant la meilleure reconstruction du contour de l'otolithe (Crampton, 1995; Pothin *et al.*, 2006) par la formule suivante:

:

$$PF_n = \frac{A_n^2 + B_n^2 + C_n^2 + D_n^2}{2}$$

où:  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$  et  $D_n$  sont les descripteurs de Fourier de  $n$ th harmonique.

Par la suite, on peut calculer le pourcentage de la puissance cumulé (PF<sub>c</sub>) comme suit:

$$PF_c = \sum_1^n PF_n$$

Pour se faire un sous-échantillon de 70 otolithes (10 échantillons  $\times$  7 populations) a été sélectionné aléatoirement. L'objectif étant le calcul du nombre d'harmoniques "EFDs" nécessaire pour expliquer 99,99% de la variance du contour observée, c'est-à-dire que la

forme du contour de l'otolithe soit reconstruite à 99,99% (Lestrel, 2008). Comme les 14 premières harmoniques atteignent 99,99% de la moyenne cumulé de la puissance de Fourier (fig. 21; A. 11), l'analyse de Fourier indique que la forme des otolithes d'*A. boyeri* peut être décrite avec 14 harmoniques. Cependant l'harmonique 1 doit être éliminée des analyses statistiques puisque'elle ne contient que l'information de la position du contour sur la table à digitaliser. Nous ne retenons donc que 13 harmoniques (52 coefficients de Fourier) pour l'analyse statistique.

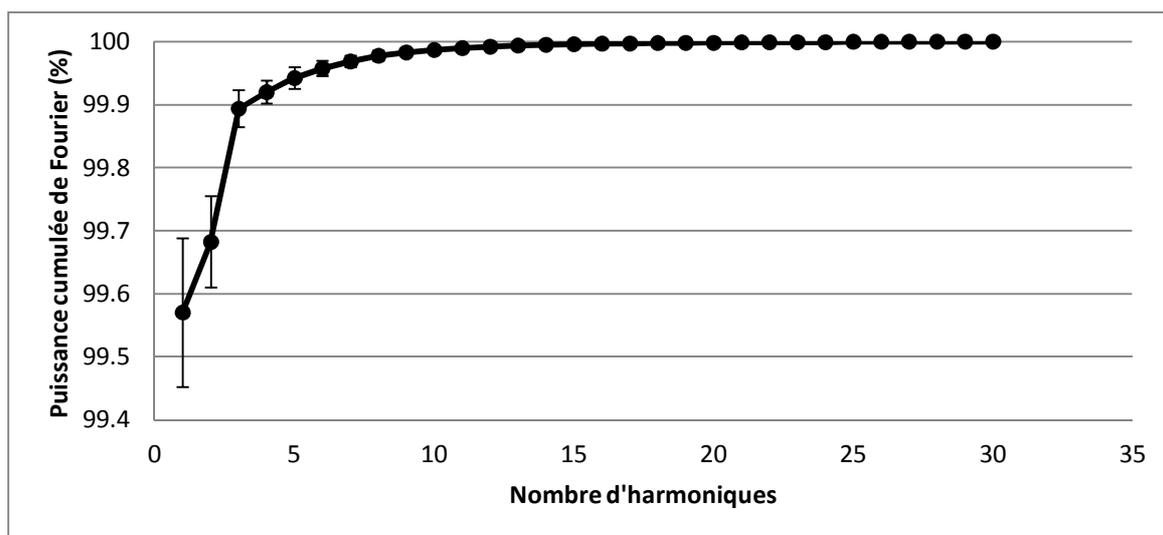


Figure 21. Variations du pourcentage de la moyenne cumulée de la puissance de Fourier en relation avec le nombre d'harmoniques décrivant la forme de l'otolithe d'*A. boyeri*.

Utilisant la version SPSS 13.0 logiciel statistique (SPSS, 2004), Une analyse factorielle discriminante (FDA) a été réalisée utilisant les coefficients de Fourier. La qualité et la validité de la discrimination ont été évaluées dans toutes les analyses par validation croisée (Jackknife).

De plus, une classification hiérarchique basée sur la méthode de Ward permettant d'observer la similarité de la forme des otolithes selon le site d'échantillonnage, a été réalisée avec le package FactoMineR avec le logiciel R® (R Development Core Team, 2014).

## 2. Résultats

### 2.1. Indices de forme

La comparaison des indices de forme (tab. 25) indique une différence significative entre les échantillons et pour l'ensemble des indices étudiés. Selon le paramètre considéré, les différences sont plus ou moins prononcées.

Pour le facteur de forme, une différence significative entre les populations selon le site d'échantillonnage est observée ( $F = 32,77$ ;  $P < 0,001$ ) avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (MNP), le groupe B (MP), le groupe C (Z) et le groupe E (T). Selon le facteur de forme, les otolithes de la lagune Mellah appartiennent aux groupes A et B, ceux de l'étang de Manguio aux groupes C et D et ceux de l'Étang de Thau aux groupes D et E.

En ce qui concerne la rondeur, une différence significative est observée ( $F = 97,98$ ;  $P < 0,001$ ) avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (L), le groupe B (MG), le groupe C (MNP, Z, TG), le groupe D (T), et le groupe E (MP).

De même pour la circularité, une différence significative est mise en évidence ( $F = 31,12$ ;  $P < 0,001$ ) avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (T, TG), le groupe B (Z), le groupe C (MP), le groupe D (MNP), avec la population de la lagune Mellah appartenant aux groupes C et D et celle de l'étang de Manguio appartenant aux groupes A et B.

Une différence significative est observée en comparant la rectangularité des otolithes ( $F = 33,57$ ;  $P < 0,001$ ), avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (L, MNP), le groupe B (MP), le groupe C (TG) et le groupe D (Z). La lagune de Bizerte appartient aux groupes C et D, et l'étang de Manguio aux groupes A et B.

L'ellipticité des otolithes, diffère d'une population à une autre ( $F = 133,20$ ;  $P < 0,001$ ), avec la distinction des groupes suivants: le groupe A (MP), le groupe B (MNP, T), le groupe C (TG), le groupe D (Z, MG) et le groupe E (L).

### 2.2. Descripteurs de Fourier

Le test statistique F de Fisher montre que toutes les variables sont discriminantes étant donné que les valeurs de signification sont inférieures au seuil de 5%. Ainsi, la classification des échantillons (tab. 26) sur ces critères donne un bon degré de fiabilité. Le pourcentage des individus totaux bien classés est de 74,5%. Le pourcentage des individus les mieux classés sont par ordre décroissant de: 84,03% pour les spécimens marins ponctuels du golfe de Annaba, suivis de ceux échantillonnés à oued Ziama (75,03%), les individus provenant de la lagune de Bizerte (71,92%), les individus provenant de l'étang de Manguio (66,07%), les

Tableau 25. Comparaison multiples de moyennes des indices de forme des otolithes, entre les différentes populations d'*A. boyeri* échantillonnées. Avec: Z: Oued Ziama; L: Lagune Mellah; MP: Golfe de Annaba; MNP: Golfe de Annaba; TG: Étang de Thau; T: Lagune de Bizerte; MG: Étang de Mauguio.

Indice	Site Code	Effectif	Moyenne±SD	Groupe de moyennes	F value	P value
Facteur de forme	L	105	0,751±0,029	AB	32,772	P < 0,001
	MNP	122	0,744±0,031	A		
	MP	119	0,756±0,035	B		
	T	120	0,784±0,019	E		
	Z	116	0,769±0,028	C		
	MG	116	0,774±0,021	CD		
	TG	43	0,782±0,018	DE		
Rondeur	L	105	0,584±0,033	A	97,983	P < 0,001
	MNP	122	0,618±0,026	C		
	MP	119	0,672±0,027	E		
	T	120	0,633±0,024	D		
	Z	116	0,619±0,033	C		
	MG	116	0,603±0,028	B		
	TG	43	0,62±0,03	C		
Circularité	L	105	16,738±0,675	CD	31,128	P < 0,001
	MNP	122	16,905±0,77	D		
	MP	119	16,656±0,806	C		
	T	120	16,021±0,389	A		
	Z	116	16,351±0,632	B		
	MG	116	16,232±0,461	AB		
	TG	43	16,068±0,384	A		
Rectangularité	L	105	0,711±0,016	A	33,574	P < 0,001
	MNP	122	0,712±0,013	A		
	MP	119	0,717±0,012	B		
	T	120	0,727±0,013	CD		
	Z	116	0,731±0,016	D		
	MG	116	0,715±0,014	AB		
	TG	43	0,723±0,011	C		
Ellipticité	L	105	0,215±0,021	E	133,202	P < 0,001
	MNP	122	0,188±0,017	B		
	MP	119	0,152±0,017	A		
	T	120	0,188±0,015	B		
	Z	116	0,201±0,02	D		
	MG	116	0,203±0,018	D		
	TG	43	0,195±0,019	C		

individus marins non ponctués du golfe de Annaba (64,75%), les individus de l'Étang de Thau (53,48%) et enfin les individus de la lagune Mellah (55%).

Les deux premières fonctions discriminantes de la FDA effectuées utilisant les descripteurs de Fourier représentent 89,40% de la variance. Les individus peuvent être différenciés en cinq groupes basés sur les deux premières fonctions ( $\lambda$  de Wilks = 0,07,  $P < 0,001$ ). Les individus ponctués et non ponctués du golfe de Annaba et ceux provenant de l'oued Ziama, forment trois groupes bien séparés. Les spécimens de la lagune Mellah et de l'étang de Mauguio forment le quatrième groupe. Le cinquième groupe comprend les individus de l'Étang de Thau et ceux de la lagune de Bizerte (fig. 22). Il n'existe aucune différence entre l'otolithe droit et gauche d'une même population, la classification hiérarchique réalisée utilisant les descripteurs de Fourier en prenant en considération le fait que l'otolithe soit droit ou gauche (fig. 23), montre que ces derniers se ressemblent chez une même population.

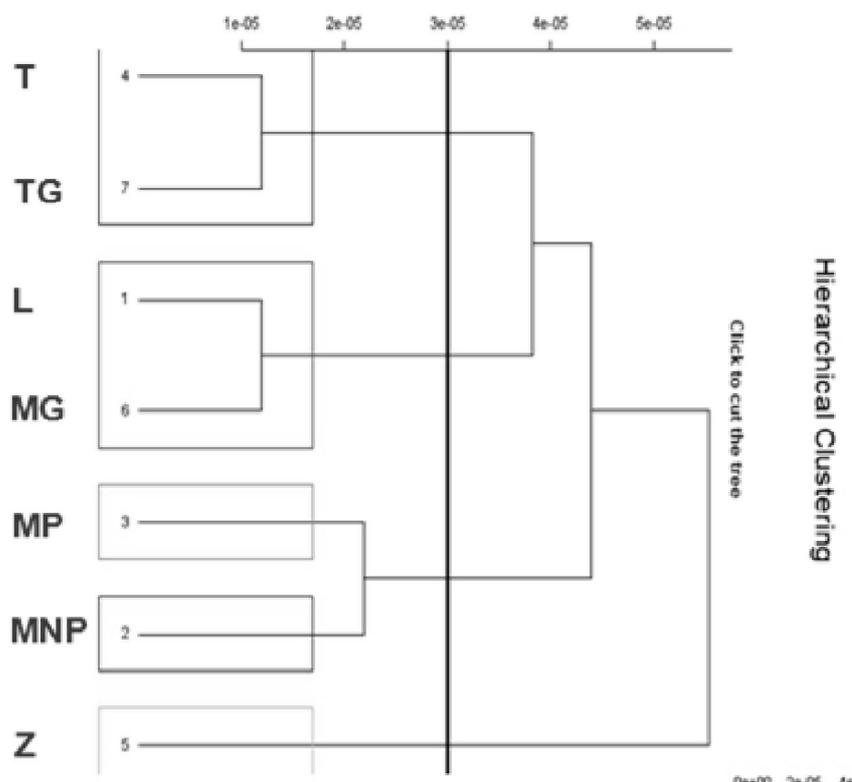


Figure 22. Classification hiérarchique réalisée utilisant les descripteurs de Fourier des différentes populations d'*Atherina boyeri*. Le trait vertical noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définie dans le tableau 28.

Tableau 26. Pourcentage du bon taux de reclassement par validation croisée des individus au sein de chacun des sites de prélèvement utilisant les descripteurs de Fourier. Le pourcentage du bon taux de reclassement est mentionné en gras.

Matrice de confusion pour les résultats de la validation croisée								
Sites	LM	MNP	MP	T	Z	MG	TG	%correct
LM	55	8	1	11	6	14	5	<b>55%</b>
MNP	5	79	9	0	11	10	8	<b>64,75%</b>
MP	1	8	100	3	3	1	3	<b>84,03%</b>
T	8	1	6	82	4	5	8	<b>71,92%</b>
Z	5	5	2	1	84	12	3	<b>75%</b>
MG	10	7	3	8	5	74	5	<b>66,07%</b>
TG	3	3	2	7	0	5	23	<b>53,48%</b>

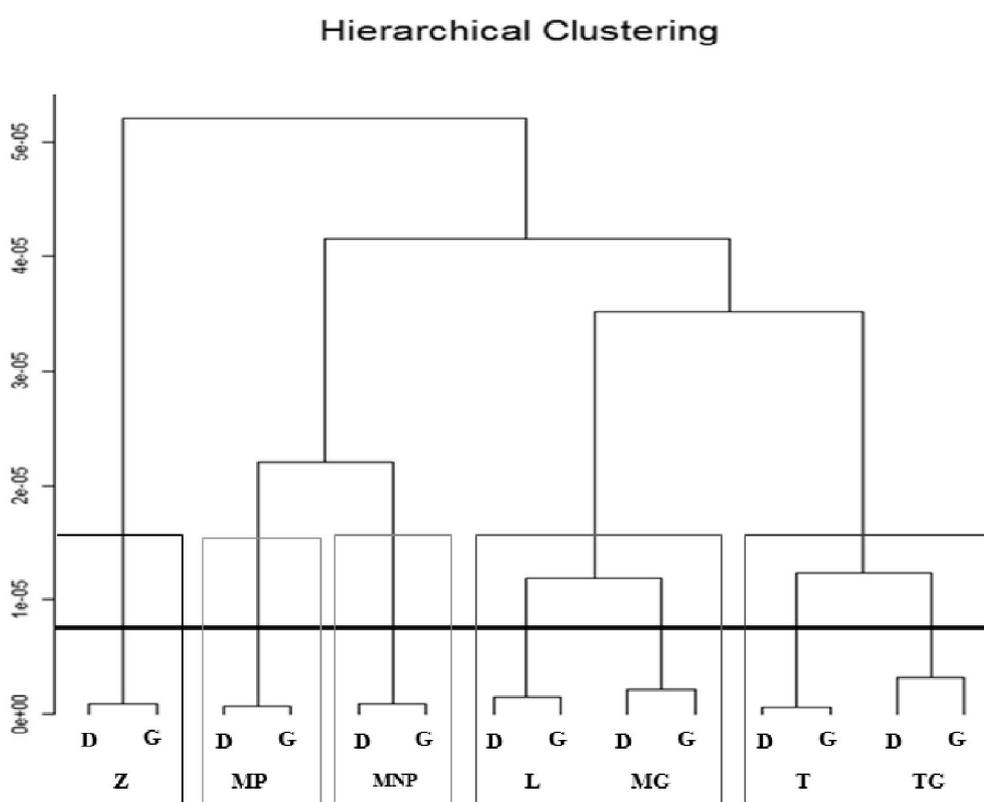


Figure 23. Classification hiérarchique réalisée utilisant les descripteurs de Fourier des différentes populations d'*Atherina boyeri* en prenant en considération le fait que l'otolithe soit droit (D) ou gauche (G). Le trait horizontal noir en gras correspond à la coupure arbitraire choisie. Les localités sont indiquées par leurs codes comme définis dans le tableau 28.

### 3. Discussion

L'analyse de la forme des otolithes est utilisée pour la première fois pour discriminer les populations d'*A. boyeri*. De part sa fiabilité, elle constitue un excellent outil de différenciation. Les otolithes sont utilisées dans un large éventail d'études, telles que l'identification des espèces (Aguirre et Lombarte, 1999; Parmentier *et al.*, 2001).

Aucune différence significative entre les 2 otolithes d'un même individu n'a pu être constatée, impliquant qu'elles peuvent, toutes les deux, être utilisées pour l'analyse de forme. Ce constat est observé chez d'autres espèces, comme le thon rouge *Thunnus thynnus* (Megalofonou, 2006), les barracudas *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis* (Bourehail *et al.*, 2015) et chez les Mullidae (Morat *et al.*, 2012).

Les résultats observés ne font que conforter ceux obtenus par l'analyse de la morphologie somatique. Ainsi, ils nous offrent plus de précision quant à la discrimination entre les différentes populations. L'analyse de la forme des otolithes nous a permis de distinguer cinq groupes: trois groupes bien distincts, la population marine ponctuée et non ponctuée du golfe de Annaba et la population de l'oued Ziama. De plus, on peut observer une structuration au sein des populations lagunaires, où deux groupes sont formés: le premier comprenant les populations de la lagune Mellah et l'Étang de Mauguio, le deuxième ceux de la lagune de Bizerte et de l'Étang de Thau.

L'analyse discriminante a mise en évidence une nette différenciation dans la forme des otolithes entre les différentes populations d'athérines avec plus de 74,5% des individus correctement classés. Friedland & Reddin (1994) considèrent les valeurs discriminantes supérieures à 75% comme étant acceptables. Une précision de 75% a été rapportée pour *Cynoscion nebulosus* (Cuvier, 1830) dans la baie de Galveston, en utilisant les écailles et la forme des otolithes (Colura et King, 1995). Simoneau *et al.* (2000) ont obtenu des valeurs allant jusqu'à 70% de bon taux de reclassement lors d'une étude de différenciation entre six populations de *Salvelinus namaycush* (Walbaum) du lac Trout dans les rivières canadiennes. Des différences significatives entre les classes d'âges de deux stocks d'aiglefin *Melanogrammus aeglefinus* (Linnaeus, 1758) de l'est et l'ouest de George Banks ont été observées, avec un succès de classification de 63 à 80% (Begg and Brown, 2000). Selon ces auteurs, ces différences sembleraient dépendre des différences de taux de croissance entre ces deux stocks. Dans une étude sur trois espèces de Mullidae (*Mullus barbatus barbatus*, *Mullus barbatus ponticus* et *Mullus surmuletus*), Morat *et al.* (2012) ont mis en évidence une forte discrimination spatiale entre les populations des côtes françaises du Nord-Ouest

méditerranéen, les côtes Roumaines de la Mer Noire, autour de l'île de Lesbos, en Grèce et en Mer Egée, ainsi qu'entre les différentes populations échantillonnées dans une même région, avec un taux de succès de classification entre 78 et 100% en fonction des sites pour *M. barbatus*, et un taux de 100% pour *M. surmuletus* pour l'ensemble des sites. Sur les côtes algériennes, deux espèces de barracudas (*Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*) du golfe de Annaba (Nord-est algérien) sont discriminées en utilisant la forme des otolithes, avec un pourcentage d'individus bien classés supérieur à 80% (Bourehail *et al.*, 2015). Ainsi, l'utilisation combinée de variables morphométriques (taille et forme) et des contours externes (analyse de forme à l'aide des séries de Fourier) montre l'importance de la forme des otolithes dans la discrimination inter/intraspécifique.

La forme des otolithes est spécifique aux espèces de poissons (L'Abée-Lund, 1988; Campana et Casselman, 1993) et peut varier au sein des espèces en fonction de leur taille, de l'habitat, ou encore de la qualité et ou de la quantité de nourriture disponible (Begg *et al.*, 2001; Tuset *et al.*, 2003b; Gagliano et McCormick, 2004; Stransky et MacLellan, 2005; Hüseyin, 2008). Plusieurs études ont également montré que l'analyse de forme des otolithes permettrait la discrimination entre les stocks ichtyologiques locaux en fonction de facteurs écologiques (Smith, 1992; Friedland et Reddin, 1994; Bolles et Begg, 2000; Cardinale *et al.*, 2004). Cela soulève la question de la génétique contre le déterminisme environnemental (*i.e.* plasticité) de la forme des otolithes. Dans notre cas, les influences environnementales sur les différences observées sont également susceptibles de jouer un rôle majeur, en termes de différences mer/lagune; la température et la salinité de l'eau sont autant de facteurs clés qui influent sur les propriétés physiologiques des poissons et du processus de biominéralisation des otolithes. La croissance des otolithes est étroitement couplée à la physiologie des poissons, et le métabolisme peut donc influencer sur les différences morphologiques entre les otolithes (Bang et Grønkjær, 2005; Stransky *et al.*, 2008).

L'étude de la forme des otolithes a abouti à la mise en évidence de cinq groupes d'athérines en Méditerranée: deux formes marines (ponctuées et non ponctuées) et la population originaire de l'oued Ziama qui constituent trois groupes bien distincts. Les deux autres groupes, constitués de milieux lagunaires, sont également structurés et laissent supposer une structuration inter-lagunaire. L'étude génétique réalisée dans le chapitre suivant pourrait élucider cette question.

### Chapitre III.

## Différenciation génétique

### Introduction

Les résultats des chapitres précédents font apparaître clairement, d'une part, une différence morpho-somatique et otolithométrique entre les populations marines et lagunaires d'*A. boyeri*, ou encore entre les populations lagunaires elles-mêmes (Boudinar *et al.*, 2015). Il nous a donc paru intéressant d'examiner la diversité génétique de ces populations.

Il est vrai que les stocks de poissons peuvent être discriminés, utilisant une large variété de méthodes, tels la morphométrie classique (Kara et Frehi, 1997; Chaoui *et al.*, 2001; Trabelsi *et al.*, 2002a; 2004; Bahri-Sfar et Ben Hassine, 2009; Hammami *et al.*, 2011; 2013) ou la forme des otolithes (Aguirre et Lombarte, 1999; Parmentier *et al.*, 2001; Cardinale *et al.*, 2004; Morat *et al.*, 2012; Bourehail *et al.*, 2015). Cependant ces traits sont fortement influencés par l'environnement et, par conséquent, ne permettent pas de mettre en évidence un isolement génétique formel entre populations distinctes. Pour une définition correcte d'un stock, il est donc recommandé, pour une même espèce, l'utilisation de différentes techniques complémentaires (holistic approach) (Begg et Waldman, 1999; Swain *et al.*, 2005; Chlada, 2009).

L'utilisation de marqueurs moléculaires dans les études phylogénétiques de divers organismes s'est généralisée durant les dernières décennies. C'est une méthode fiable qui permet de refléter directement l'isolement reproducteur qui constitue le mécanisme fondamental structurant les différences observées entre les populations. La génétique des populations naturelles d'*A. boyeri* a souvent été abordée. Trabelsi *et al.*, (2002b) s'est basée sur l'étude des variations intraspécifiques de séquence d'une portion du gène *cyt b* chez des populations marines et lagunaires des côtes françaises et tunisiennes. Kraitsek *et al.*, (2008) ont utilisé les marqueurs 12S, 16S et CR pour une étude phylogénétique entre des populations de milieux marins, lagunaire ou de lacs en Grèce. Francisco *et al.*, (2008) ont utilisé des fragments d'ADN mitochondrial (CR et 12S) d'athérines des côtes et rivières Atlantiques Européennes, de la Mer du Nord, des îles Canaries, des Açores, du Maroc, de la Méditerranée et de la Mer Noire, ainsi que le lac Spanca en Turquie. Francisco *et al.* (2011) ont utilisé des marqueurs d'ADNmt (CR, 12S et 16S) et des marqueurs nucléaires (rhodopsine et S7) d'athérines collectées d'une large variété de localités en Europe et en Afrique du Sud.

Mis à part les différences entre les populations marines et lagunaires, des auteurs ce sont intéressés à l'étude de la variabilité génétique des populations d'athérines provenant de zones de transitions, tels que les lagunes et les deltas. Nous pouvons citer l'étude de la variabilité de l'ADNmt d'athérines lagunaires tout le long de l'océan Atlantique, le nord Méditerranéen jusqu'à la Mer Noire (Astolfi *et al.*, 2005) ou l'utilisation des microsatellite par Milana *et al.*, (2011) pour une meilleure définition de la structure génétique de la forme lagunaire d'*A. boyeri* le long des côtes Italiennes et Albanaises.

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude de la variabilité génétique des populations d'*A. boyeri*, récoltés le long des côtes algériennes, tunisennes et méditerranéennes françaises. L'objectif, étant d'évaluer la diversité génétique, de connaître et analyser la structuration spatiale des populations lorsqu'elle existe, ainsi que de vérifier les résultats obtenus par l'étude de la morphométrie somatique et la forme des otolithes.

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1. Echantillonnage**

Neuf populations d'*A. boyeri* ont été recueillies à partir de huit emplacements dans les rives Nord et Sud de la Méditerranée occidentale, représentant une variété dans les types d'habitats et d'environnements (fig. 24).

### **1.2. Extraction de l'ADN**

Sur chaque individu, nous avons prélevé environ 40 mm<sup>3</sup> de muscle blanc située dans le tiers antérieur du tronc, au dessus de la ligne latérale. L'échantillon isolé, déposé dans un tube Eppendorf, est finement découpé à l'aide de ciseaux. Afin d'éliminer l'alcool imbibant le muscle, les tubes Eppendorf avec l'échantillon à l'intérieur sont laissés ouverts dans un thermo-cycler à 56°C pendant 10 à 15 min, les tubes sont par la suite remplis avec 500 µl de Chelex (10%). La digestion enzymatique des protéines se fait dans un thermo-cycler en présence de 20 µl de d'une solution de protéinase K pendant 2h30 à 56°C.

Après digestion, les tubes sont soumis à une agitation au vortex puis à une centrifugation (10000 tours/min pendant 5 min), suivie de 15 min à une température de 95°C au thermo-cycler. Au finale on aura dans le tube Eppendorf les billes de chelex qui piègent toutes les impuretés, et le surnageant contenant l'ADN.

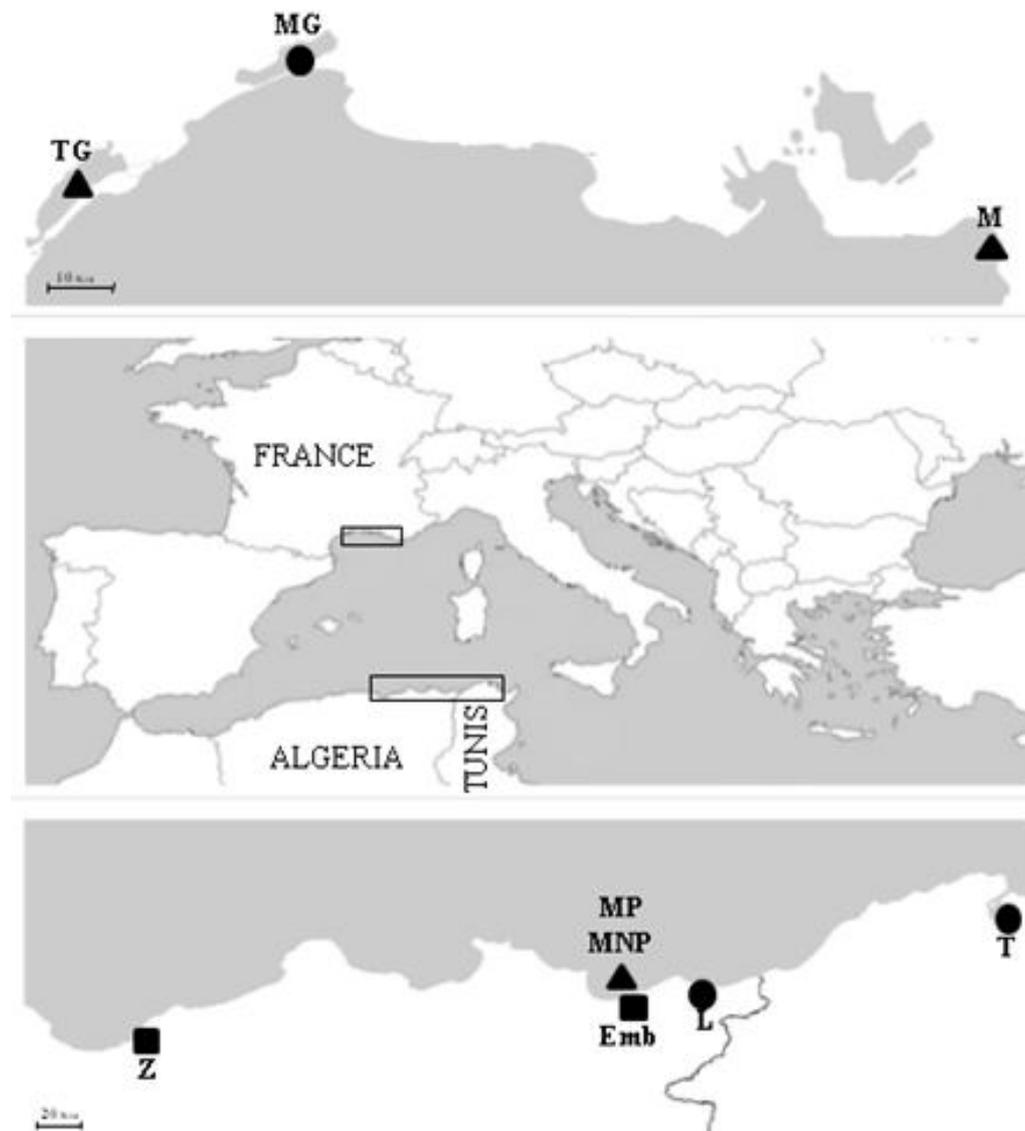


Figure 24. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage. Les huit points d'échantillonnage sont indiqués par leurs codes définis dans le tableau 28. (●) habitats lagunaires côtiers, (▲) habitats marins, (■) habitat eau douce/eau saumâtre. La zone d'échantillonnage au Nord de la Méditerranée est représentée en haut, et celle au Sud de la Méditerranée en bas.

### 1.3. Amplification par PCR et visualisation

La PCR (Polymerase Chain Reaction), mise au point par Mullis et Faloona (1987), est une technique permettant l'amplification enzymatique de fragments de matériel génomique à partir de faibles quantités d'ADN. Cette technique, basée sur les propriétés de dénaturation et renaturation rapides de la double hélice d'ADN, se fait en trois étapes décrites dans l'annexe A. 12:

- Dénaturation de l'ADN à une température supérieure à 90°C, permettant aux brins d'ADN matrice de se dissocier par rupture des liaisons hydrogènes.
- Hybridation ou appariement. En fonction des complémentarités, les deux oligonucléotides, servant d'amorces à l'activité enzymatique de la Taq DNA polymérase, s'hybrident aux séquences complémentaires de l'ADN matrice. La température d'hybridation est définie en fonction de la séquence des amorces (généralement entre 40 et 55°C).
- Polymérisation et élongation: c'est à dire « synthèse non stop » du fragment d'ADN à partir de chaque site de fixation de l'amorce. Cette étape s'effectue à 72°C température optimale d'activité de l'enzyme la Taq ADN polymérase.

Ces trois étapes constituent un cycle d'amplification. A la fin de ce cycle, le fragment cerné est présent deux fois. Le cycle est répété une trentaine de fois, ce qui permet d'obtenir, en théorie,  $2^{30}$  fragments pour deux copies initiales, mais en fait environ un million de fois la séquence cible amplifiée si celle-ci fait plus d'une centaine de paires de bases (350 dans le cas de la portion du gène codant le *cytochrome b*, gène choisi dans le cadre de cette étude).

La réaction PCR a été effectuée dans un volume total de 25 µl. Chaque réaction contient 5 µl du tampon 5X, 2,5 µl de MgCl<sub>2</sub> (25 mM), 2,5 µl de dNTP (5 mM), 0,1 µl de Taq Polymérase, 1,25 µl de chaque primer (10 mM), 9,9 µl d'eau et 2,5 µl d'ADN. Un témoin négatif constitué du mélange sans ADN est effectué pour chaque PCR, afin de vérifier l'absence de contamination. Les conditions PCR et les séquences des amorces sont données dans le tableau 27. L'ADN amplifié est ensuite vérifié par migration sur un gel d'agarose (2%) et comparé au témoin pour lequel il ne doit pas apparaître de bandes (sans ADN). Pour cela, on prépare un gel d'agarose, on dépose dans les puits du gel un mélange contenant 5 µl du produit PCR, et 1 µl de Bleu de Bromophénol pour visualiser la migration. On fait migrer dans une cuve contenant du TAE 1X à 110 volts pendant une heure et demie. Le résultat de la migration est lu sous lampe U.V. (fig. 25).

Les produits de PCR ont été envoyés pour séquençage par la méthode de Sanger *et al.*, (1977) à Eurofins MWG. Le nombre de séquences utilisées pour chaque marqueur dans chaque localité est donné dans le tableau 28.

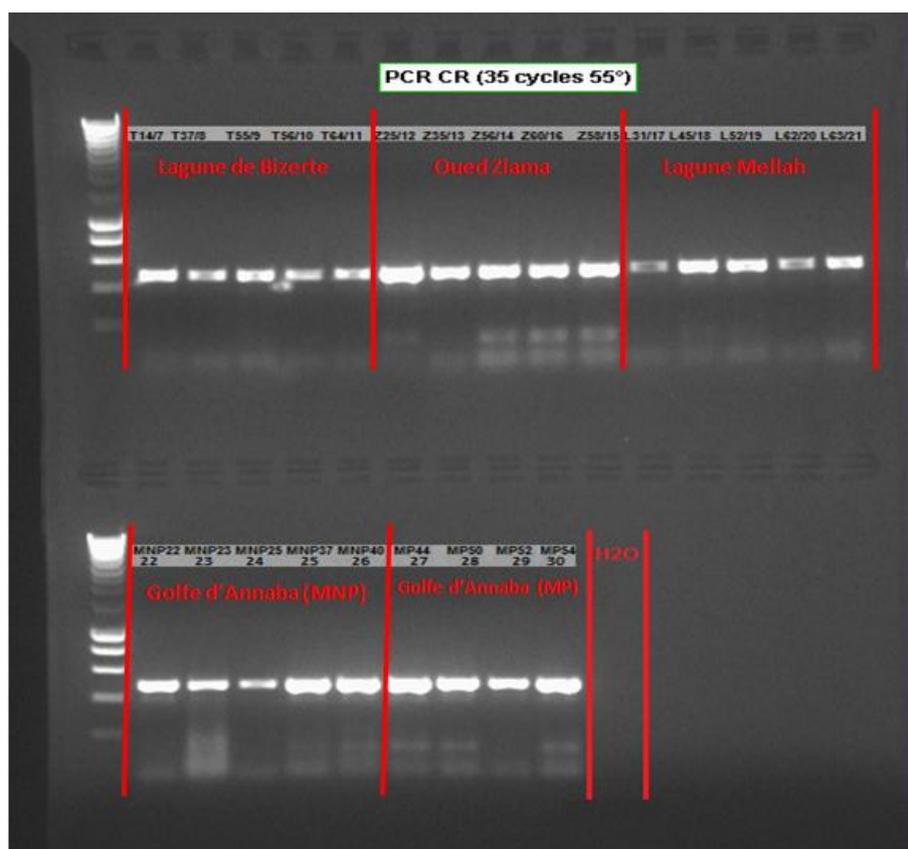


Figure 25. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour la région de contrôle (Mq: marqueur de taille, pb: paires de bases).

Tableau 27. Amorces et conditions de PCR pour chaque fragment.

Fragment	Non du primer	Séquence	Source	conditions PCR
Région de contrôle	L-pro1	5'-ACTCTCACCCCTAGCTCCCAAAG-3'	(Ostellari <i>et al.</i> , 1996)	35 x (94 °C 30", 55 °C 30", 72 °C 1') 72 °C 5'
	H-DL1	5'-CCTGAAGTAGGAACCAGATGCCAG-3'		
16S	16SFor	5'-AAGCCTCGCCTGTTTACCAA-3'	(Almada <i>et al.</i> , 2005)	94 °C 3' 35 x (94 °C 45", 50 °C 1', 72 °C 1') 72 °C 10'
	16SRev	5'-CTGAACTCAGATCACGTAGG-3'		
S7 intron 2	S7RPEX2F	5'-AGCGCCAAAATAGTGAAGCC-3'	(Chow et Hazama, 1998)	94 °C 2' 40 x (95 °C 45", 52 °C 1', 72 °C 45') 72 °C 10'
	S7RPEX3R	5'-GCCTTCAGGTCAGAGTTCAT-3'		
Rhodopsin	Rod-F2B	5'-GTCTGCAAGCCCATCAGCAACTTCCG-3'	(Sevilla <i>et al.</i> , 2007)	94 °C 30" 40 x (92 °C 30", 60 °C 1', 72 °C 30") 72 °C 7'
	Rod-5R	5'-GGTGGTGATCATGCAGTGGCGGAA-3'		
Cytochrome b	New-For	5'-AGCCTACGAAAACCCACCC-3'	(Meyer <i>et al.</i> , 1990)	92 °C 2" 30 x (92 °C 15', 52 °C 45', 72 °C 1.5") 72 °C 8"
	34-Rev	5'-AAACTGCAGCCCTCAGAATGATATTGTCCTCA-3'	(Cantatore <i>et al.</i> , 1994)	

Tableau 28. Description des échantillons d'*Atherina boyeri* incluant les lieux d'échantillonnage et coordonnées, les codes pour chaque échantillon, le type d'habitat et le nombre de séquences étudiées pour chaque fragment et échantillon.

Zones d'échantillonnage	Coordonnées	Codes	Habitat	S7 Seq	CR Seq	Cyt b Seq	16S Seq
Golfe de Annaba	36.91N 7.78E	MP	Mer	7	16	12	7
Golfe de Annaba	36.91N 7.78E	MNP	Mer	8	18	16	4
Lagune Mellah	36.89N 8.32E	L	Lagune	9	15	10	4
Lagune de Bizerte	37.19N 9.86E	T	Lagune	7	17	8	4
Oued Ziama	36.69N 5.52E	Z	Oued	8	24	28	6
Oued Mafragh	36.85N 7.95E	EMB	Oued	10	22	24	9
Étang de Thau	43.42N 3.63E	TG	Mer	11	15	7	6
Étang de Mauguio	43.58N 4.05E	MG	Lagune	9	21	20	8
Golfe du Lion	43.29N 5.37E	M	Mer	6	7	5	7

#### 1.4. Analyses phylogénétiques

Les séquences ont été alignées avec ClustalW (Thompson *et al.*, 1994). En plus des alignements pour chaque gène, un alignement concaténé a été effectué en combinant les marqueurs (CR et *Cyt b*) les plus représentatifs en termes de nombre de séquences communes et de diversité de localités/habitats. Les séquences de deux Atheriniformes ont été utilisées comme outgroups: *Leptatherina wallacei* appartenant à la famille Atherinidae (numéros d'accèsion GenBank AY326785.1 pour CR, AY313118.1 pour *Cyt b*) et *Iso natalensis* appartenant à la famille Isonidae (numéros d'accèsion GenBank HM855075.1 pour 16S). Nous avons également ajouté des séquences des deux seuls autres espèces congénères dans la région (*A. presbyter* et *A. hepsetus*), afin d'obtenir les outgroups les plus proches du complexe *A. boyeri*. Pour des analyses phylogénétiques et phylogéographiques plus poussées, nous avons ajouté des séquences de Genbank couvrant plusieurs localités (tab. 29, fig. 26).

Nous avons utilisé Jmodeltest 3.7 (Guindon et Gascuel, 2003; Posada, 2008) avec le Akaike Information Criterion, pour identifier le modèle d'évolution le mieux adapté pour chaque fragment. Avant de lancer l'analyse de maximum de vraisemblance (ML): TVM + G pour CR (distribution gamma de paramètre de forme  $G = 0,584$ ), TVM + I + G pour *Cyt b* ( $I = 0,252$ ,  $G = 0,649$ ), TPM3uf + G pour 16S ( $G = 0,171$ ), et TIM3 + G pour S7 ( $G = 1,221$ ), l'analyse de maximum de vraisemblance a été réalisée avec PhyML 3.0 (Guindon *et al.*, 2010). La robustesse des nœuds a été testée grâce à la réalisation de 1000 bootstraps (Felsenstein, 1985). De plus, des analyses bayésiennes (BA) ont été réalisées utilisant MrBayes 3.2 (Huelsenbeck et Rönquist, 2001; Rönquist et Huelsenbeck, 2003). Les topologies ont été échantillonnées

toutes les 1000 générations et un arbre de consensus majoritaire a été estimé après élimination des 2500 premiers.

Pour chaque marqueur, un réseau d'haplotypes a été construit pour évaluer les relations entre tous les haplotypes inter et intra spécifiques identifiés, en utilisant l'algorithme MedianJoining (MJ) intégré dans le logiciel Network v.4.6 (Bandelt *et al.*, 1999). Chaque cercle correspond à un haplotype et sa taille est proportionnelle à la fréquence de l'haplotype dans la population étudiée. La longueur des segments entre chaque haplotype est proportionnelle au nombre de mutations qui les sépare.

De plus, en utilisant DNAsp v5 (Librado et Rozas, 2009), le nombre moyen de substitutions de nucléotides par site, Dxy (Nei, 1987) a été utilisé pour estimer la différenciation entre les différentes populations.

L'analyse hiérarchique de la variance moléculaire (AMOVA) est l'un des outils utilisé pour l'étude de la structure hiérarchique des populations. Le test a été réalisé par le logiciel Arlequin v3.5 (Excoffier et Lisher, 2010). Ainsi, les niveaux de la structuration ont été testés soit selon la proximité géographique, le type d'habitat ou une combinaison des deux, résultant en cinq groupes différents (tab. 30). Le test a été appliqué pour l'ensemble des marqueurs mitochondriaux. Pour tester la significativité des valeurs obtenues, 10000 permutations des matrices de données ont été effectuées. Trois indices de fixation ont été utilisés dans le test AMOVA:

$F_{CT}$ : pour évaluer le niveau de structuration entre les groupes choisis;

$F_{SC}$ : pour évaluer le niveau de structuration entre populations à l'intérieur du groupe;

$F_{ST}$ : pour évaluer le niveau de structuration à l'intérieur des populations.

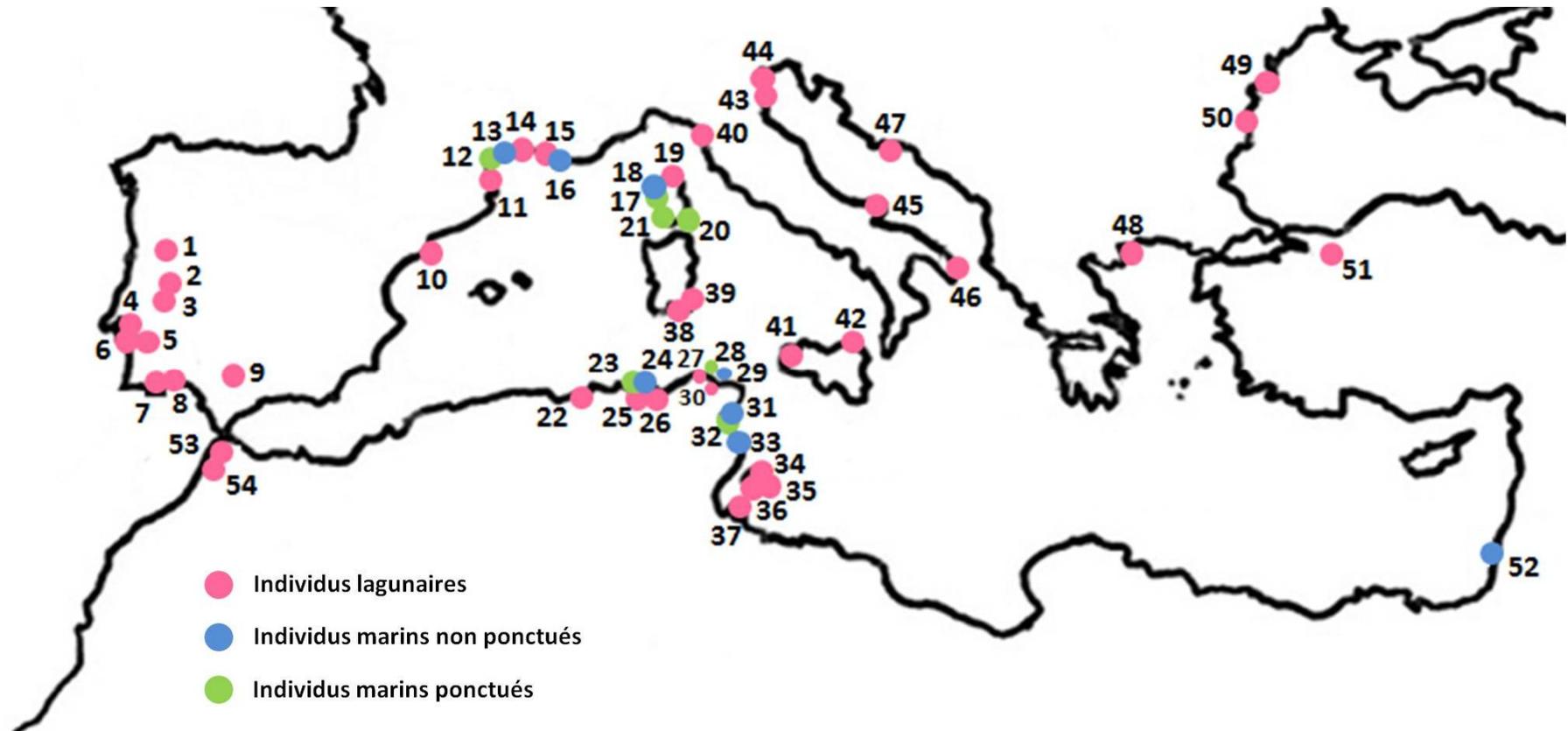


Figure 26. Zone d'étude et lieux d'échantillonnage. Les détails de chaque localité sont présentés dans le tableau 29.

Tableau 29. Zones d'étude et nombre de séquences étudiées par marqueur et par site.

Sites d'échantillonnage		N° fig.	N	<i>A. boyeri</i>			Non ponctués			Ponctués		
				<i>Cyt b</i>	16S	CR	<i>Cyt b</i>	16S	CR	<i>Cyt b</i>	16S	CR
Portugal	Mondego	1	28			28						
	Tagus	2	21			21						
	Boquilobo	3	1			1						
	Tago	4	2			2						
	Sado	5	4			4						
	Lagoa Albufeira	6	22			22						
	Ilha de Faro	7	6			6						
	Castro Marim	8	1			1						
Espagne	Zonar	9	2			2						
	Ebro	10	5			5						
	Barcelona		4		4							
France	Ayrolle	11	6	6								
	Agde	12	3							3	3	2
	Thau	13	20				20	3	17			
	Mauguio	14	23	18	8	23						
	Or	15	9			9						
	Marseille	16	7						7			
	Scandola	17	7				7					
	Scandola	18	2							2	2	2
	Biguglia	19	9	9		2						
	Lavezzi	20	3							3	2	2
	Corsica	21										2
Algérie	Oued Ziama	22	27	25	5	27						
	Golfe de Annaba	23	17							10	4	17
	Golfe de Annaba	24	13				2	1	13			
	Oued Mafragh	25	23	22	9	23						
	Lagune Mellah	26	16	6	5	16						
Tunisie	Lagune de Bizerte	27	12	5	3	12						
	Cap Zebib	28	4							4		
	Cap Zebib	29	8				8	3	2			
	Tunis	30	1	1		3						
	Hergla	31	10				10					
	Hergla	32	3							3		2
	Monastir	33	10				10					
	Karkennah Sidi Fraj	34	9	9								
	Karkennah El Attaya	35	7	7								
	Karkennah Sidi Youssef	36	6	6								
	Djerba	37	8	8								
Italie	Cagliari	38	4			4						
	Muravera	39	1	1		1						
	Fucecchio	40	7			7						
	Marsala	41	4			4						
	Faro	42	8			8						
	Scardovari	43	7			7						
	Chioggia	44	21		4	21						
	Varano	45	1	1		1						
	Acquatina	46	6			6						
Croatie	Spalato	47	10		4	10						
Grèce	Nea Peramos-Kavala	48	2	2								
Roumanie	Danube	49	9			9						
Bulgarie	Bulgaria	50	5		5							
Turquie	Turquie	51	3		3							
	Lac Sapanca		5			5						
Israël	Israël	52	3				3	2				
Maroc	Loukkos	53	4		4							
	Sebou	54	16			16						

## 2. Résultats

### 2.1. Extraction de l'ADN

Deux méthodes d'extraction ont été utilisées, l'extraction avec kit Qiagen et extraction au chelex 10%. Pour cela, nous avons utilisé un double de 2 individus de chaque population étudiée (les mêmes individus ont été utilisés pour les deux méthodes). Une amplification PCR et migration sur gel utilisant les marqueurs mitochondriaux (CR, *Cyt b*, 16S) a été réalisée pour des fins de comparaison. Les résultats de la migration sur gel utilisé pour les deux méthodes sont présentés dans la figure 27. Les deux méthodes d'extraction donnent des résultats satisfaisants avec la présence de bandes claires. Pour le reste des extractions, nous avons décidé d'utiliser la méthode d'extraction au chelex 10%, qui est rapide et économique.

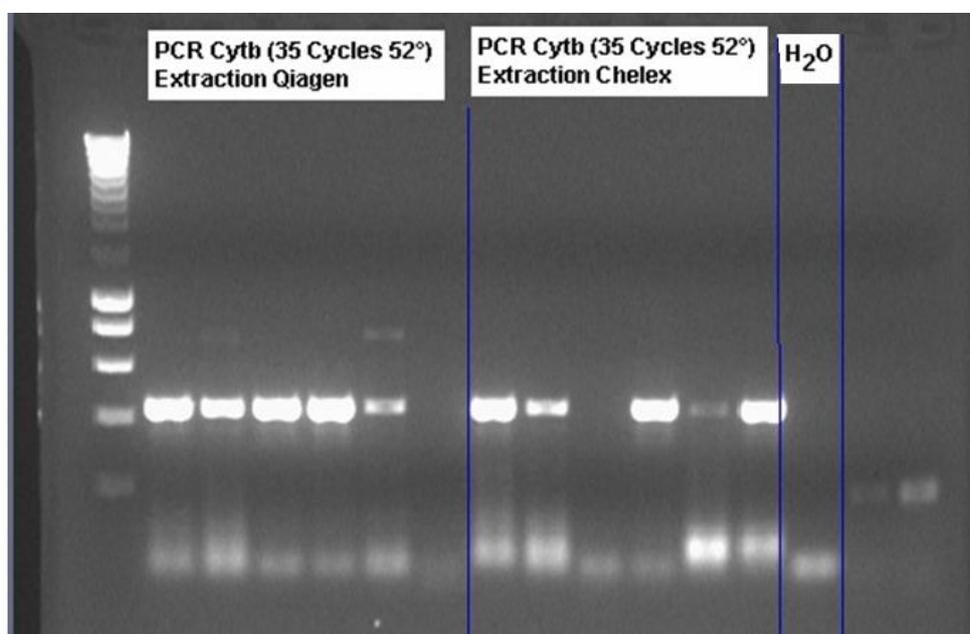


Figure 27. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR, utilisant deux méthodes d'extraction.

En ce qui concerne la Rhodopsine (responsable de la sensibilité de l'œil à la lumière, et qui présente une meilleure différenciation entre les athérines marine ponctuée et non ponctuée), plusieurs séries de PCR à différentes conditions ont été réalisées:

- Augmentation de la quantité d'ADN présente dans le mix.
- Réalisation de PCR à gradient de température.
- Refaire les alicots d'amorce.

Aucune amplification positive n'a pu être observée (fig. 28).

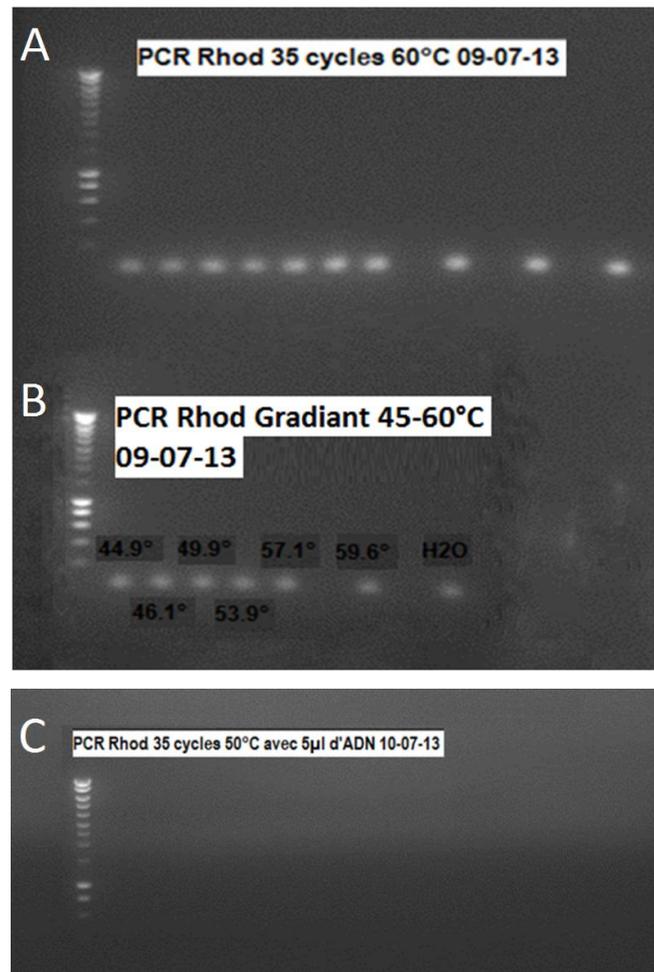


Figure 28. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour la Rhodopsine (A: Alicot d'amroce refait; B: PCR gradient 45-60°C; C: Augmentation de la quantité d'ADN dans le mix).

Pour les marqueurs nucléaires, nous avons donc opté pour garder le S7, qui après PCR et électrophorèse sur gel d'agarose, présente des bandes visibles et claires (fig. 29).

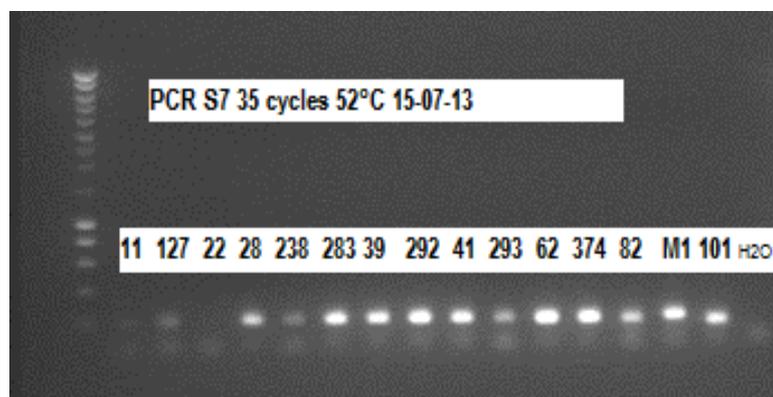


Figure 29. Visualisation après coloration au BET et électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %, des produits PCR pour le marqueur S7.

Au total, 373 paires de bases (379 séquences) ont été séquencées à partir de la CR, 464 paires de bases (81 séquences) à partir de 16S, 315 paires de bases (217 séquences) du *Cyt b* et 187 des S7 (149 séquences) (indels y compris), correspondant respectivement à 170, 35, 72 et 27 haplotypes pour *A. boyeri*. Le nombre de séquences utilisées pour les analyses phylogénétiques inclue les séquences de GenBank.

## 2.2. Arbres phylogénétiques

L'arbre phylogénétique utilisant le *Cyt b* (fig. 30) nous permet de distinguer cinq groupes séparés. Les premiers correspondent à des espèces déjà reconnues (*A. hepsetus* Ⓐ et *A. presbyter* Ⓑ), les trois autres clades correspondent au complexe *A. boyeri*: un clade regroupant les populations marines ponctuées (*A. punctata* Ⓒ), un autre regroupant les populations marines non ponctuées (*A. boyeri* Ⓓ), et le dernier qui regroupe les populations lagunaires (*A. lagunae* Ⓔ). Des différences au sein du clade *A. lagunae* sont observées et correspondent à des zones géographiques différentes: le premier clade regroupe les séquences d'individus de Grèce (Nea Peramos-Kavala), le deuxième regroupe exclusivement des séquences de spécimens provenant de lagunes tunisiennes, et le troisième clade regroupe le reste des populations lagunaires provenant de France, de Corse, d'Italie et d'Algérie. Quatre séquences de spécimens provenant de l'étang de Thau, ont été regroupées avec des séquences lagunaires, le reste des séquences (20) a été regroupé avec les séquences des individus marins non ponctués.

La figure 31 présente le réseau d'haplotype utilisant le *Cyt b*. Sur les 217 séquences étudiées, 124 sites variables ont permis de définir 72 haplotypes partagés par 1 à 38 individus. Aucun haplotype n'est partagé entre les différentes formes d'*A. boyeri*, à savoir: la forme lagunaire, marine ponctuée et marine non ponctuée. La diversité haplotypique était de 0,944.

L'arbre phylogénétique utilisant la CR (fig. 32) montre les mêmes clades principaux. Deux clades représentent deux espèces déjà reconnues (*A. hepsetus* Ⓐ et *A. presbyter* Ⓑ), ainsi que trois clades correspondant au complexe d'espèces *A. boyeri* avec un clade formé par les séquences des individus marins ponctués (*A. punctata* Ⓒ) (provenant d'Algérie, de Tunisie, de France et de Corse), un clade regroupant les séquences d'individus marins non-ponctués (*A. boyeri* Ⓓ) (provenant d'Algérie, de Tunisie, de France et d'Israël), et un clade rassemblant les séquences d'individus provenant de milieux lagunaires (*A. lagunae* Ⓔ). Ce dernier est constitué de trois clades qui correspondent à différentes zones géographiques: le premier regroupe les séquences d'individus provenant de Tunisie (lac de Tunis et lagune de Bizerte),

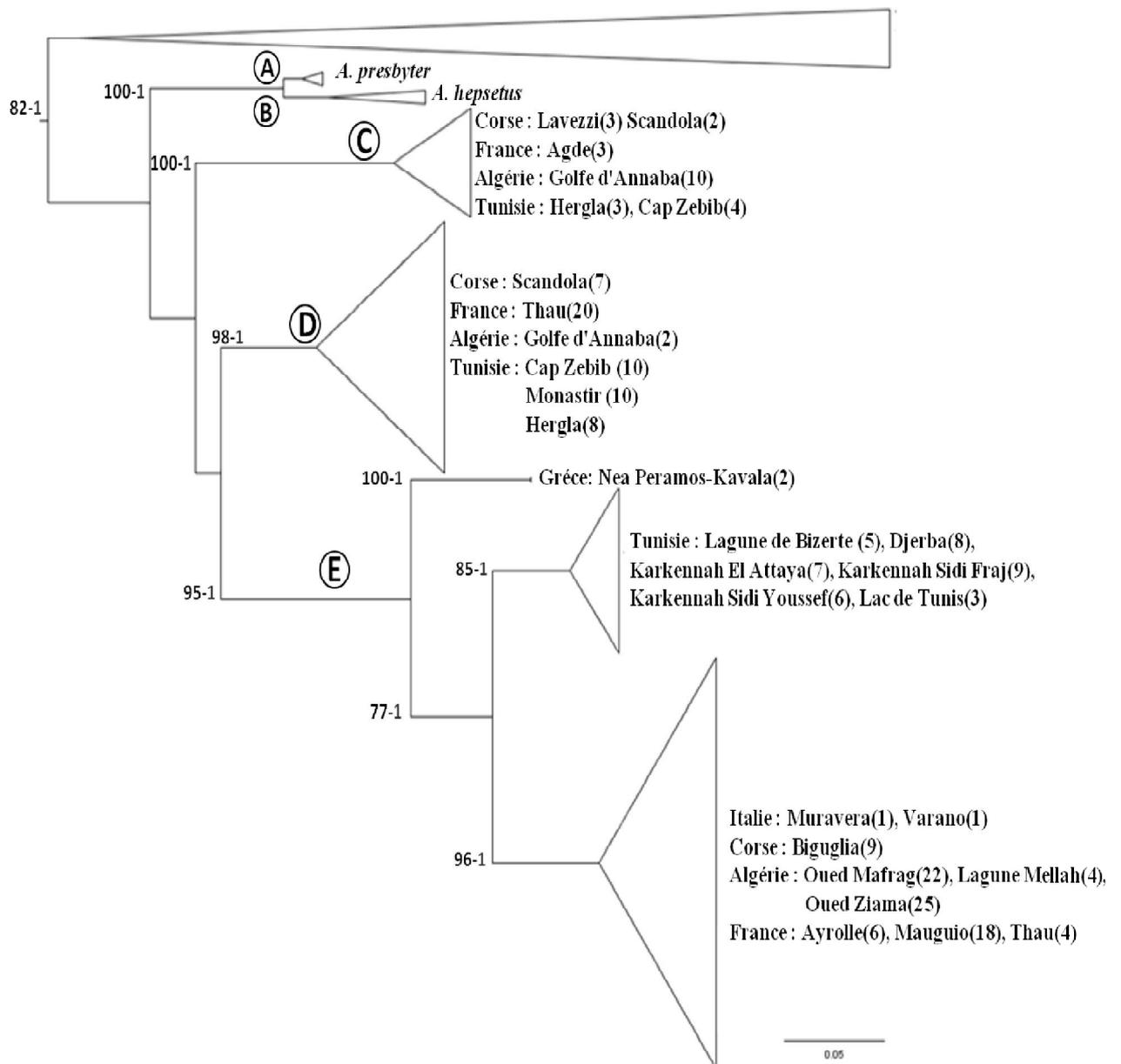


Figure 30. Relations phylogénétiques au sein d'*Atherina* pour les données du marqueur *Cyt b*. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encadrées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.

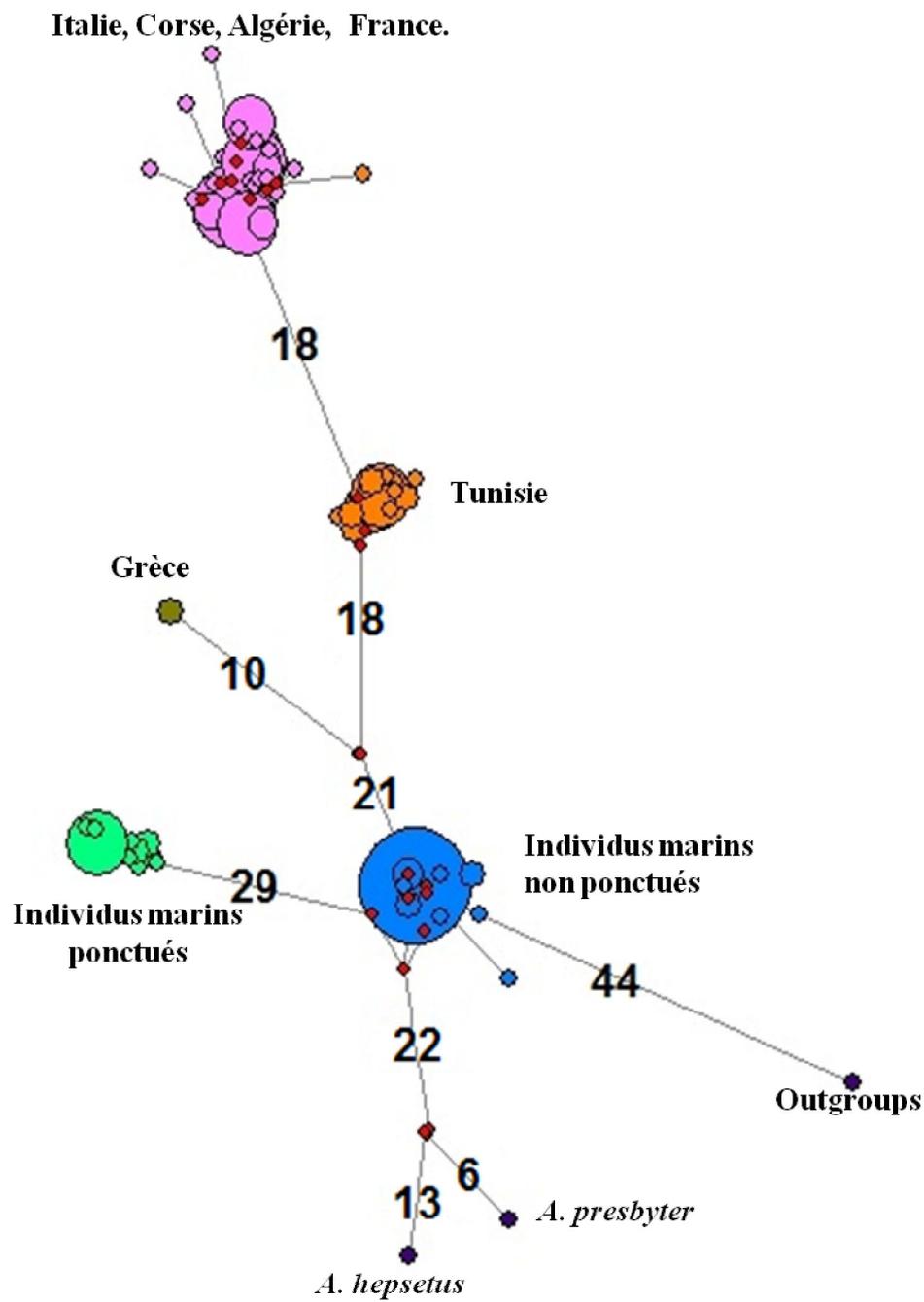


Figure 31. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d'*Athrina boyeri* utilisant le *Cyt b*.

et d'Italie (Marsala et un spécimen de Cagliari), le deuxième regroupe des séquences d'individus provenance de Turquie (lac Sapanca) de Roumanie (Danube) et un spécimen de Croatie (Spalato), et le troisième clade regroupe le reste des séquences des individus de milieux lagunaires.

Les quatre mêmes séquences d'individus provenant de l'étang de Thau ont été regroupées avec des séquences d'individus provenant de milieux lagunaires, le reste des séquences (13) a été regroupé avec les séquences des individus marins non ponctués.

La figure 33 présente le réseau d'haplotype utilisant le CR. Sur les 379 séquences étudiées, 202 sites variables ont permis de définir 170 haplotypes partagés par 1 à 52 individus. Aucun haplotype n'est partagé entre les différentes formes d'*A. boyeri*. La diversité haplotypique était de 0.972.

Pour le 16S (fig. 34), l'analyse phylogénétique montre la même tendance générale, avec la séparation d'*A. hepsetus* (A) et d'*A. presbyter* (B) en deux clades distincts, les trois restant correspondant au complexe d'espèces d'*A. boyeri*: les séquences des individus marins ponctués (*A. punctata* (C)) (provenant d'Algérie, de France et de Corse) forme le premier clade, les séquences des individus marins non-ponctués (*A. boyeri* (D)) (provenant d'Algérie, de Tunisie, de France et d'Israël) forme le deuxième clade, le troisième clade correspond à (*A. lagunae* (E)), il regroupe les séquences d'individus provenant de milieux lagunaires, et comme pour les autres marqueurs présente des différences au niveau intra-spécifique, ou trois clades fortement soutenus sont observés: le premier est exclusivement constitué de séquences d'individus de Tunisie (lagune de Bizerte), le deuxième regroupe les séquences d'individus en provenance de Bulgarie et de Turquie, le reste des séquences des individus de milieux lagunaires compose le troisième clade. Les différents clades sont soutenus par des valeurs bootstrap et de probabilités à posteriori élevées pour les trois marqueurs.

La figure 35 présente le réseau d'haplotype utilisant le 16S. Sur les 81 séquences étudiées, 94 sites variables ont permis de définir 35 haplotypes partagés par 1 à 24 individus. Comme pour le *Cyt b* ou le CR, aucun haplotype n'est partagé entre les différentes formes d'*A. boyeri*. La diversité haplotypique était de 0,896.

L'étude du marqueur nucléaire S7 n'a pas montré de pattern précis, avec des clades très faiblement soutenus pour la plupart. Mais il nous a permis de confirmer que le regroupement de certaines séquences de spécimens de Thau avec des séquences d'individus lagunaires (fig. 36). Les fragments concaténés CR et *Cyt b* 688 paires de bases (79 séquences) ont convergé sur un arbre de topologie similaire à celle observée utilisant les marqueurs à part (fig. 37).

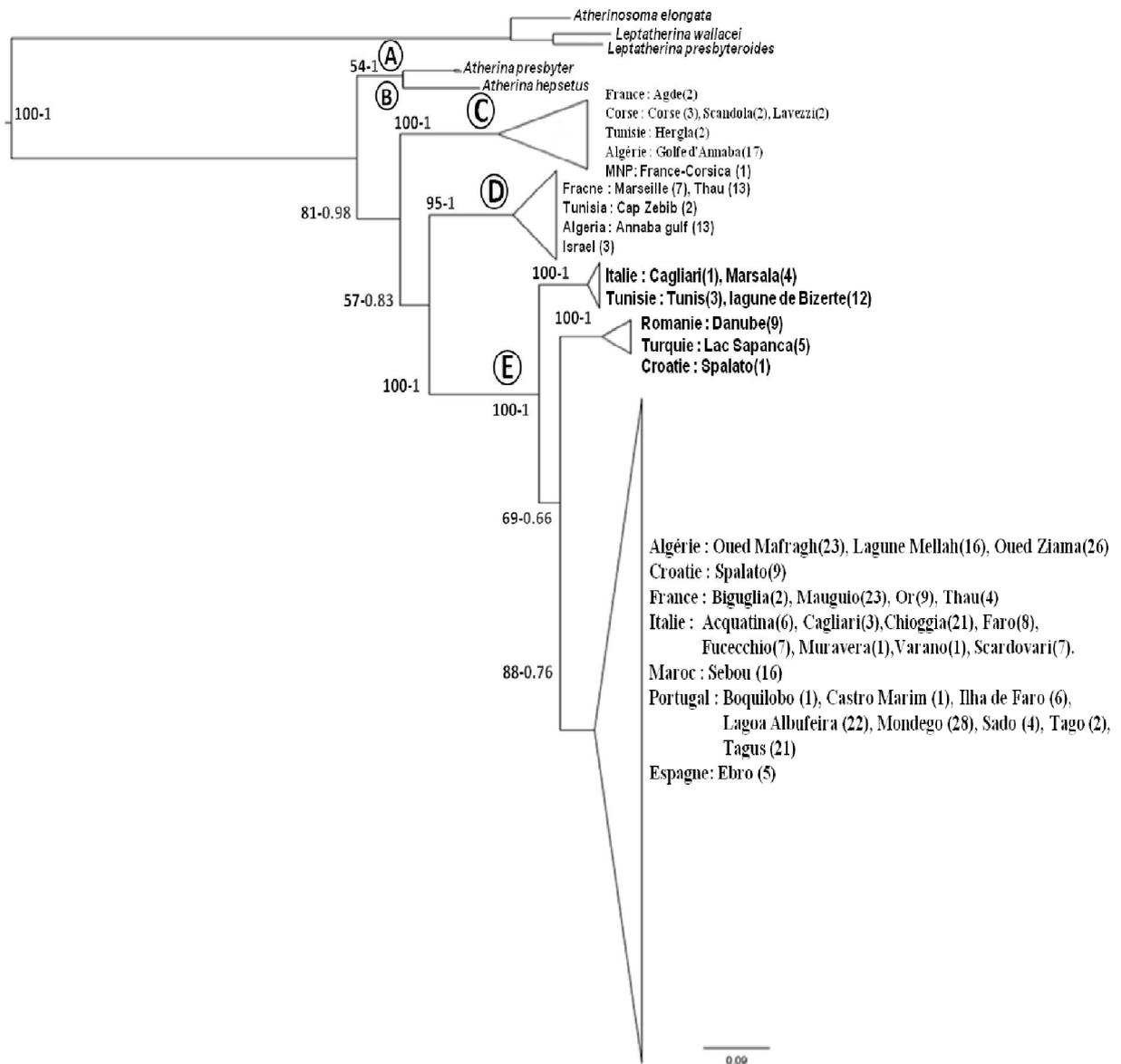


Figure 32. Relations phylogénétiques au sein d'*Atherina* pour les données du marqueur CR. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encadrées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.

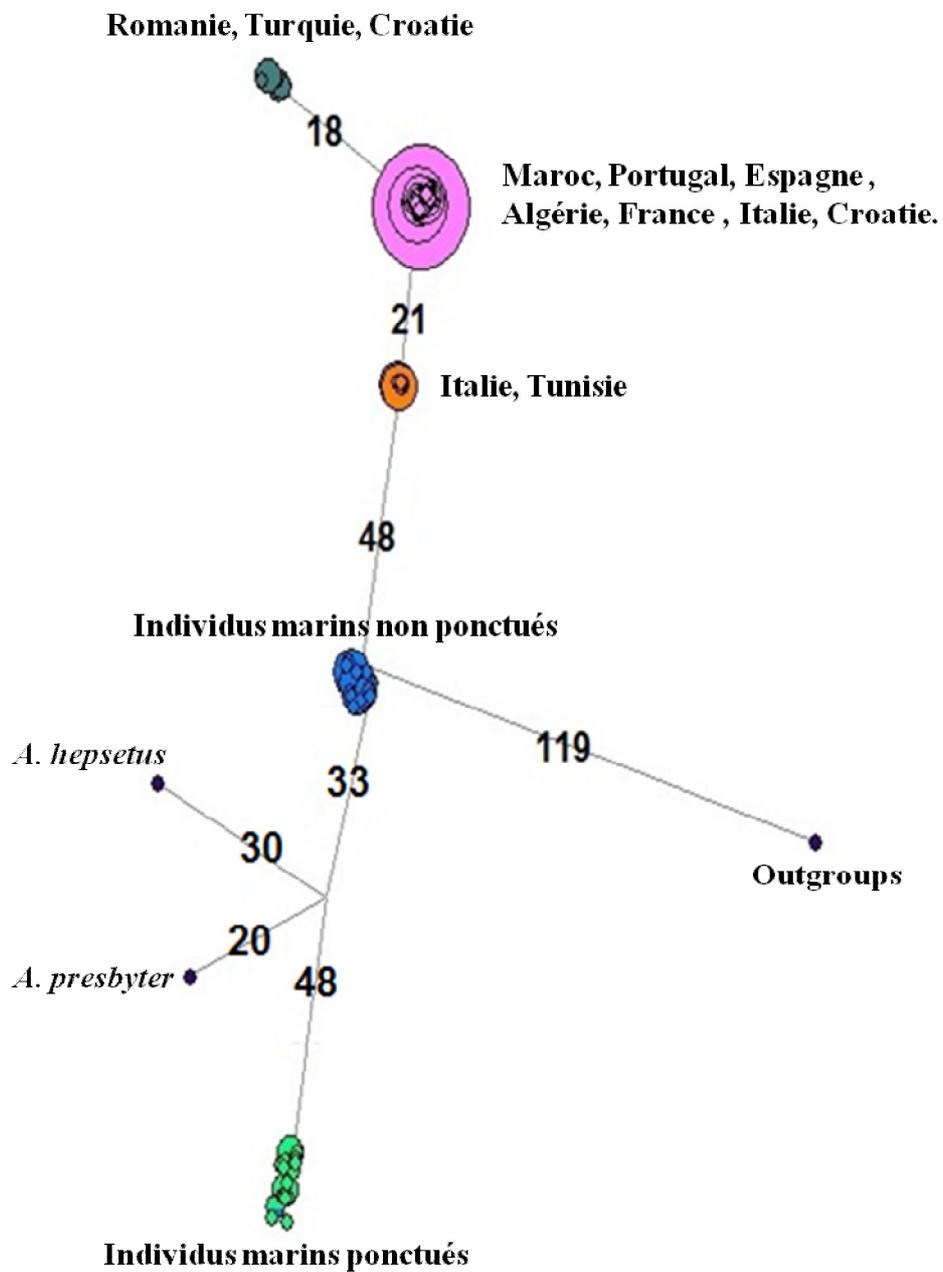


Figure 33. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d'*A. boyeri* utilisant le CR.

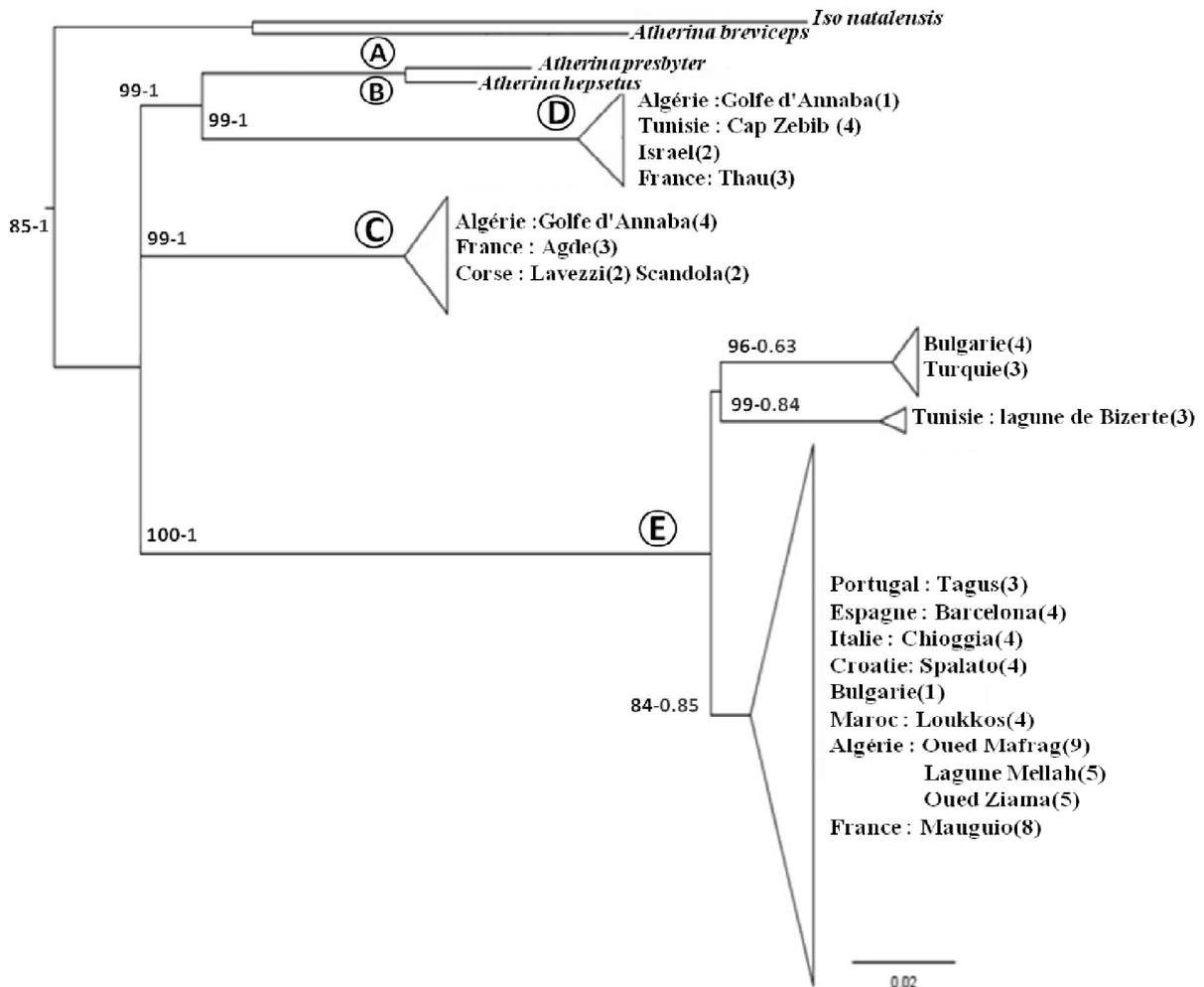


Figure 34. Relations phylogénétiques au sein d'*Atherina* pour les données du marqueur 16S. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encadrées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.

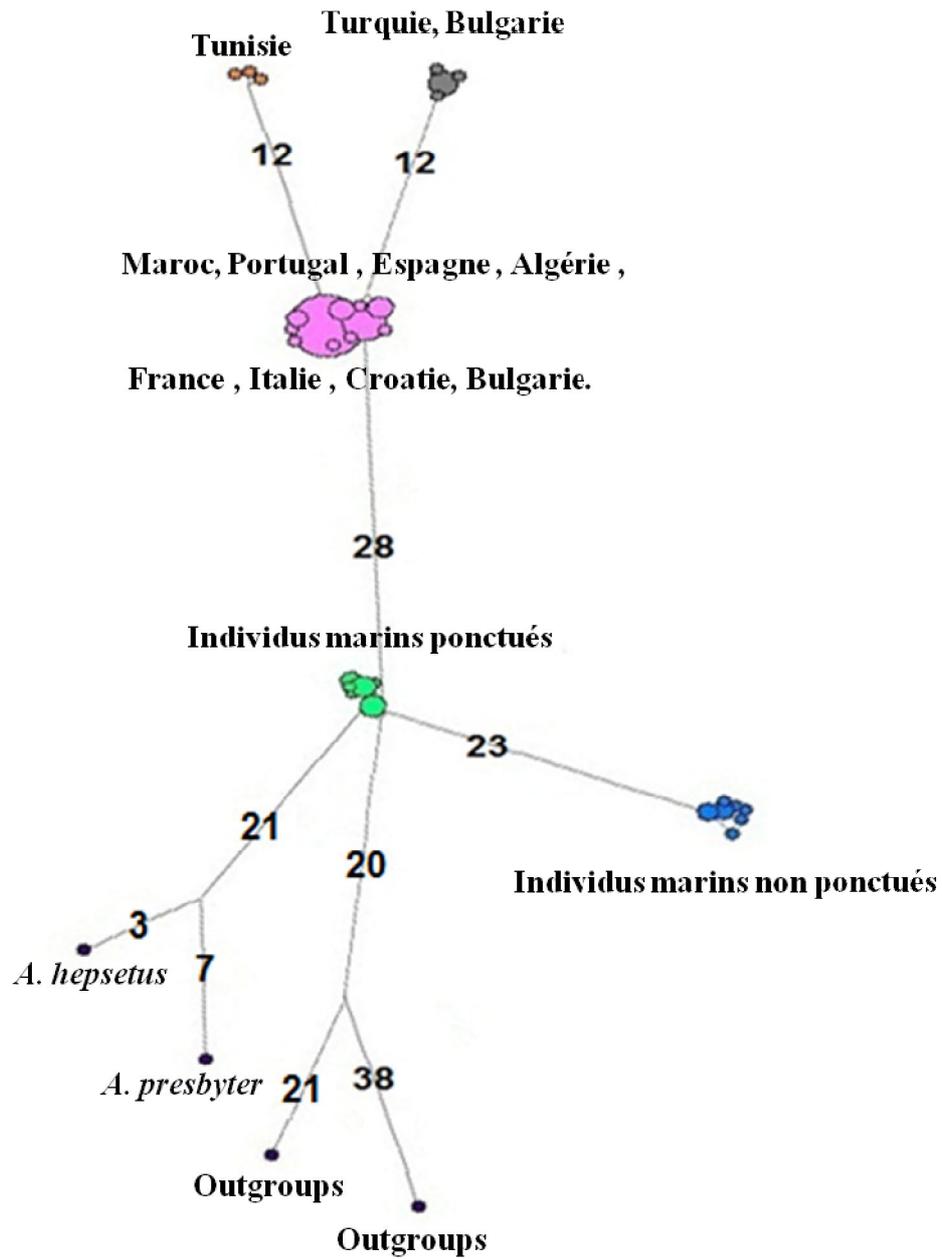


Figure 35. Arbre joignant les haplotypes définis dans les différentes populations d'*Atherina boyeri* utilisant le 16S.

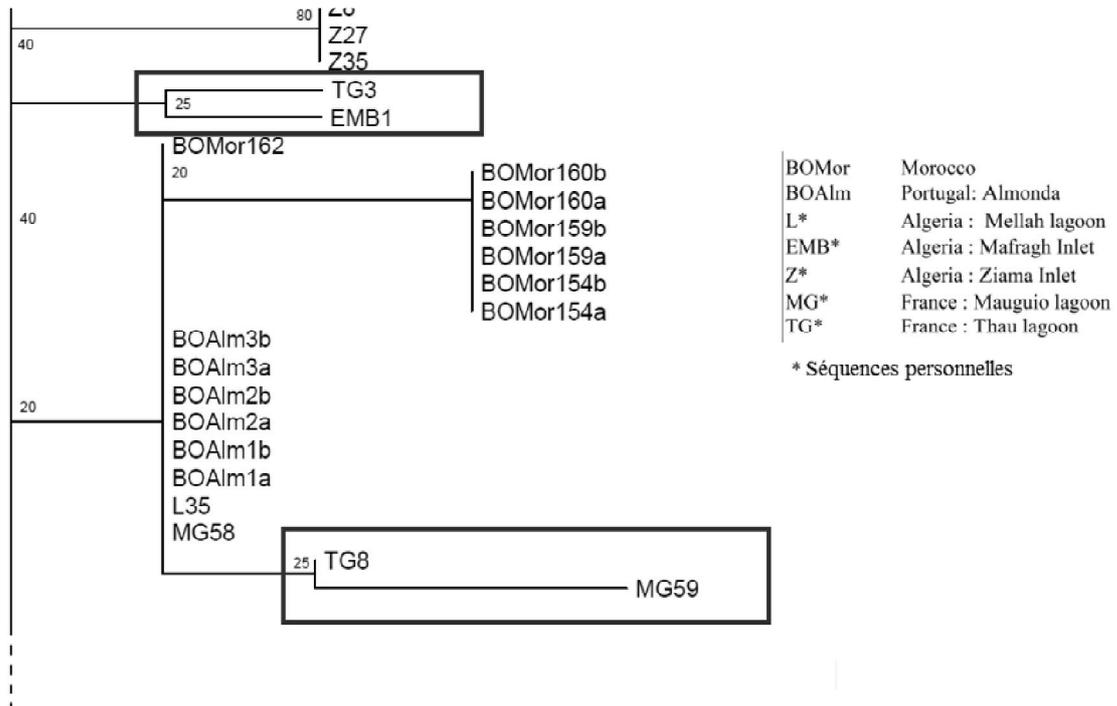


Figure 36. Fragment d'arbre construit selon la méthode du maximum de vraisemblance utilisant le S7.

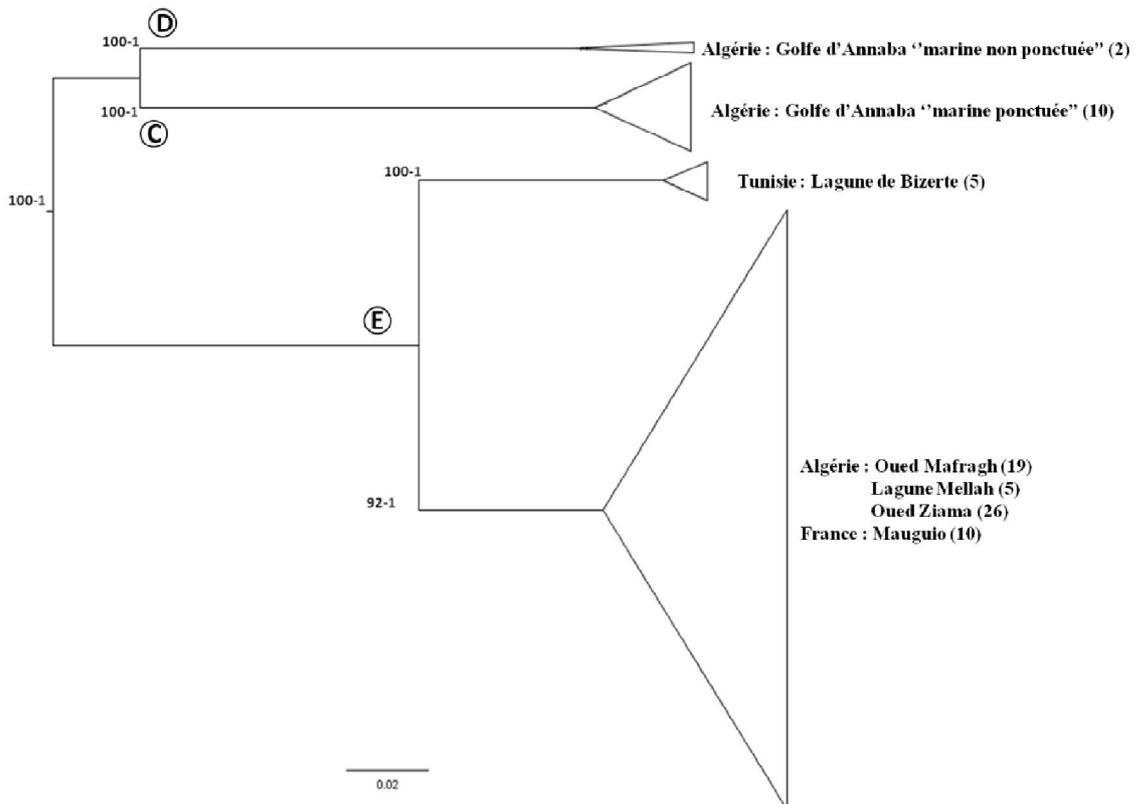


Figure 37. Arbre concaténé CR et *Cyt b* des populations d'*Atherina boyeri*. Chaque nœud principal est représenté par des lettres majuscules encadrées. ML - maximum de vraisemblance et BA - analyse bayésienne.

Les résultats de l'AMOVA (tab. 30) confirme l'existence d'une composante structurale spatiale/habitat sur la base des trois marqueurs et montre une structure globale très hautement significative lorsque l'on compare les populations lagunaires, marines ponctuées et marines non ponctuées (1), CR (FSC = 0,66; FST = 0,92; FCT = 0,78; P <0,001); *Cyt b* (FSC = 0,77; FST = 0,94; FCT = 0,76; P <0,001); 16S (FSC = 0,77; FST = 0,96; FCT = 0,82; P <0,001).

L'analyse des échantillons marins ponctués utilisant le *Cyt b* (2), montre une divergence significative entre les populations au sein des groupes (FSC = 0,06; P <0,001). Aucune différence n'est observée au sein des populations (FST = 0,61; p = 0,06) ou parmi les groupes (FCT = 0,58; P = 0,1).

Les comparaisons entre les échantillons marins non-ponctués utilisant le *Cyt b* (3), montrent des différences significatives entre les populations au sein des groupes (FSC = 0,14; p <0,001) et au sein des populations (FST = 0,38; P = 0,06), alors qu'aucune différence significative n'est observée entre les groupes (FCT = 0,28; P = 0,16).

La comparaison entre les échantillons lagunaires du Nord, Sud-ouest et Sud-est de la Méditerranée (4) révèle également des différences significatives, CR (FSC = 0,43; FST = 0,82; P <0,001; FCT = 0,68; p = 0,01); *Cyt b* (FSC = 0,16; FST = 0,83; FCT = 0,80; P <0,001); 16S (FSC = 0,17; P <0,001; FST = 0,83; P = 0,02). Sur la base du 16S aucune différence significative n'a été observée entre les groupes (FCT = 0,80; P = 0,38).

Des différences significatives ont également été observées en comparant des échantillons lagunaires selon la topologie de l'arbre phylogénétique utilisant le CR (FSC = 0,70; FST = 0,82; P <0,001; FCT = 0,41; P = 0,01).

Le nombre moyen de substitutions nucléotidiques par site ( $D_{xy}$ ) entre les populations (tab. 31) pour le *Cyt b* est respectivement de:  $D_{xy} = 0,14$ ,  $D_{xy} = 0,15$  lors de la comparaison des séquences d'individus lagunaires avec des séquences d'individus marins non ponctués et marins ponctués, et  $D_{xy} = 0,11$  en comparant les séquences d'individus marins non ponctués et marins ponctués. Lorsque nous comparons respectivement des séquences de *A.hepsetus* avec celles d'individus lagunaires, marins non-ponctués et marins ponctués, le nombre moyen de substitutions nucléotidiques est de:  $D_{xy} = 0,17$ ,  $D_{xy} = 0,13$ ,  $D_{xy} = 0,14$ . Ces valeurs sont inférieures lorsque l'on compare des séquences de *A.presbyter* avec celles d'individus lagunaires ( $D_{xy} = 0,14$ ), d'individus marins non ponctués ( $D_{xy} = 0,10$ ) et ponctués ( $D_{xy} = 0,13$ ).

Tableau 30. Résultats de l'AMOVA pour cinq différents regroupements, en fonction de la distance géographique, le type d'habitat, ou la combinaison des deux.

	CR				<i>Cyt b</i>				16S			
	ddl	Variation	F-statistique	<i>P</i>	ddl	Variation	F-statistique	<i>P</i>	ddl	Variation	F-statistique	<i>P</i>
<b>(1) MP/MNP/Lagune</b>												
Entre populations à l'intérieur du groupe	2	78,67	FSC=0,663	0	2	76,67	FSC=0,775	0	2	82,81	FSC=0,774	0
A l'intérieur des populations	38	14,16	FST=0,928	0	24	18,1	FST=0,947	0	16	13,31	FST=0,961	0
Entre les groupes	333	7,18	FCT=0,786	0	181	5,23	FCT=0,766	0	54	3,88	FCT=0,828	0
<b>(2) Entre MP</b>												
Entre populations à l'intérieur du groupe					2	58,94	FSC=0,061	0				
A l'intérieur des populations					3	2,52	FST=0,614	0,064				
Entre les groupes					19	38,54	FCT=0,589	0,109				
<b>(3) Entre MNP</b>												
Entre populations à l'intérieur du groupe					2	28,77	FSC=0,141	0				
A l'intérieur des populations					3	10,07	FST=0,388	0,0009				
Entre les groupes					51	61,16	FCT=0,287	0,163				
<b>(4) Lagunes: Med Nord/Med Sud Ouest/Med Sud Est</b>												
Entre populations à l'intérieur du groupe	2	68,17	FSC=0,438	0	2	80,02	FSC=0,162	0	2	80,12	FSC=0,175	0
A l'intérieur des populations	7	13,95	FST=0,821	0	8	3,25	FST=0,832	0	2	3,49	FST=0,836	0,028
Entre les groupes	114	17,88	FCT=0,681	0,0146	110	16,73	FCT=0,800	0	24	16,39	FCT=0,801	0,385
<b>(5) Populations lagunaires selon la topologie de l'arbre</b>												
Entre populations à l'intérieur du groupe	2	41,63	FSC=0,705	0								
A l'intérieur des populations	27	41,16	FST=0,827	0								
Entre les groupes	275	17,21	FCT=0,416	0,0176								

Le nombre moyen de substitutions nucléotidiques est au plus bas lorsque l'on compare des séquences *A. hepsetus* et *A. presbyter* ( $D_{xy} = 0,06$ ) (tab. 31).

Pour la CR, la comparaison des séquences d'individus lagunaires avec des séquences d'individus marins non-ponctués ou d'individus marins ponctués, montre que le  $D_{xy}$  est respectivement égal à 0,15 et 0,18, et à 0,17 en comparant les séquences d'individus marins non-ponctués à celles des individus marins ponctués. Lorsqu'on compare respectivement des séquences d'individus de *A. hepsetus* avec des séquences d'individus lagunaire, marins non ponctués et marins ponctués, le nombre moyen de substitutions nucléotidiques est  $D_{xy} = 0,21$ ,  $D_{xy} = 0,16$ ,  $D_{xy} = 0,18$ . Lorsque nous comparons respectivement des séquences de *A. presbyter* avec des séquences d'individus lagunaires, marins non ponctués et marins ponctués, le nombre moyen de substitutions nucléotidiques est  $D_{xy} = 0,20$ ,  $D_{xy} = 0,19$ ,  $D_{xy} = 0,16$ . La valeur la plus basse est enregistrée en comparant *A. hepsetus* avec *A. presbyter* ( $D_{xy} = 0,11$ ) (tab. 31).

En ce qui concerne les 16S, le  $D_{xy}$  est respectivement égal à 0,08 et 0,07 quand on compare les séquences d'individus lagunaires avec celles d'individus marins non ponctués ou d'individus marins ponctués, et  $D_{xy} = 0,07$  en comparant des séquences d'individus marins non ponctués à celles d'individus marins ponctués.

Lorsque nous comparons respectivement des séquences d'individus de *A. hepsetus* ou *A. presbyter* avec des séquences d'individus lagunaires, marins non ponctués et marins ponctués, le nombre moyen de substitutions nucléotidiques est  $D_{xy} = 0,08$ ,  $D_{xy} = 0,07$ ,  $D_{xy} = 0,07$ , et  $D_{xy} = 0,02$  lorsque l'on compare *A. hepsetus* et *A. presbyter* (tab. 31).

Tableau 31. Valeurs du  $D_{xy}$  par marqueur en comparant les trois formes d'*Atherina boyeri*. (Lag: Lagunaire, MNP: Marins non ponctués, MP: Marins ponctués, A. heps: *Atherina hepsetus*: A. presb: *Atherina presbyter*).

	<i>Cyt b</i>					CR					16S				
	Lag	MNP	MP	A. heps	A. pres	Lag	MNP	MP	A. heps	A. pres	Lag	MNP	MP	A. heps	A. pres
Lag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MNP	0,14	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-
MP	0,15	0,11	-	-	-	0,18	0,17	-	-	-	0,07	0,07	-	-	-
A. heps	0,17	0,13	0,14	-	-	0,21	0,16	0,18	-	-	0,08	0,07	0,07	-	-
A. pres	0,14	0,10	0,13	0,06	-	0,20	0,19	0,16	0,11	-	0,08	0,07	0,07	0,02	-

### 3. Discussion

Les résultats moléculaires pour les trois marqueurs d'ADNmt utilisant différentes méthodes de construction d'arbres sont consistants et nous permettent de distinguer cinq groupes séparés. Deux d'entre eux correspondraient à deux espèces déjà reconnues (*A. hepsetus* ① et *A. presbyter* ②) habitant le milieu marins. Les trois autres clades correspondraient au complexe *A. boyeri*, avec un clade ③ regroupant les populations lagunaires (Bizerte, Mauguio, Mellah) et d'eau douce (oueds Ziama et Mafragh), ainsi que deux autres clades, l'un regroupant les populations marines ponctuées ④ et l'autre les populations marines non ponctuées ⑤). Ces clades sont soutenus par des valeurs élevées de bootstraps et de probabilités à posteriori. Les valeurs de divergence des séquences (Dxy), quand on compare les trois groupes appartenant au complexe *A. boyeri*, sont supérieures à celles observées en comparant deux espèces du même genre (c'est à dire *A. presbyter* et *A. hepsetus*). Il est aussi à noter qu'aucun haplotype n'est partagé entre les différents groupes, suggérant ainsi l'absence de flux génique entre les poissons marins et lagunaires. En dépit du fait que les deux groupes marins sont sympatriques, ils sont génétiquement séparés. Ces résultats sont appuyés par la divergence observée entre ces trois formes utilisant la morphologie somatique ainsi que la forme des otolithes (Boudinar *et al.*, 2015).

Une variation intra-spécifique dans la forme lagunaire d'*A. boyeri* était évidente pour les trois marqueurs d'ADNmt. Les athérines lagunaires algériennes et françaises se ressemblent, et sont différentes génétiquement des tunisiennes. Ces différences entre populations lagunaires ont été rapportées par Trabelsi *et al.* (2002b), du moins entre les populations lagunaires tunisiennes et françaises. Ceci suggère l'existence d'une barrière à long terme empêchant le flux de gène entre ces populations. La différenciation entre populations lagunaires a également été rapportée par Astolfi *et al.* (2005) à plus grande échelle. L'étude comprenant des populations lagunaires de l'Atlantique, Méditerranée et de la Mer Noire, ou un pattern phylogéographique a été mis en évidence ainsi qu'une corrélation significativement positive entre les différences génétiques et la distance géographique, appuyant l'hypothèse du flux de gènes entre les populations. De même, Milana *et al.*, (2011) détectent le long des côtes italiennes et albanaises de la Mer Méditerranée, en utilisant les microsatellites, une structure génétique spatiale prononcée entre les populations lagunaires d'*A. boyeri*.

Selon le marqueur et la disponibilité de séquences d'autres localités, on observe un troisième groupe d'athérines lagunaires: de Grèce (Nea Peramos-Kavala) pour le *Cyt b*, ou d'individus

en provenance de Turquie (lac Sapanca) de Roumanie (Danube) et un spécimen de Croatie (Spalato) pour le CR, ou de Bulgarie et de Turquie pour le 16S.

Quatre séquences d'individus provenant de l'étang de Thau ont été regroupées avec des séquences d'individus provenant de milieux lagunaires utilisant le *Cyt b* le CR et le S7. Ceci peut être due à un échange occasionnel d'individus entre populations lagunaires voisines, favorisé par la migration annuel des adultes durant la saison froide, ou encore la présence d'individus marins, ayant des caractères génétiques correspondant à ceux d'individus lagunaires. Avec l'analyse de 87 paramètres biométriques et de la variation génétique du gène *cytochrome b*, Trabelsi *et al.* (2009) ont démontré que les populations des eaux peu profondes des îles tunisiennes (Kerkennah) ou de l'île de Djerba (Bouriga *et al.*, 2009), appartiennent, en dépit de leur habitat marin, au groupe lagunaire.

La variabilité génétique moléculaire entre populations d'athérines observées dans cette étude, confirme les conclusions fondées sur des données morphométriques (Kartas et Trabelsi, 1990; Trabelsi *et al.*, 2002a; 2004, Boudinar *et al.*, 2015), l'analyse du gène *Cyt b* (Trabelsi *et al.*, 2002b.), et la région de contrôle CR de l'ADNmt (Astolfi *et al.*, 2005), ou avec d'autres fragments d'ADN mitochondrial (région de contrôle et 12S) (Francisco *et al.*, 2008). Tandis que Milana *et al.* (2008) ont détecté dans leurs analyses de la partie du *Cyt b*, la présence d'une insertion commune aux formes: lagunaire et ponctuée d'*A. boyeri*. Francisco *et al.* (2011) ont confirmé et élargi les résultats précédents en utilisant trois marqueurs d'ADNmt (CR, 12S, 16S) et deux marqueurs nucléaires (Rhodopsine et S7 introns 2).

Ces différences peuvent potentiellement être dues à un déterminisme génétique lié à un processus sélectif local et/ou le choix de l'habitat (Lemaire *et al.*, 2000; Chaoui *et al.*, 2012) ou peut correspondre à la plasticité morphologique (*e.g.* Capoccioni *et al.*, 2011) ou à une combinaison d'effets environnementaux et génétiques. Très probablement, la raison pour laquelle *A. boyeri* se présente comme étant un clade si complexe est liée à son cycle de vie distinct qui est, parmi les autres espèces, la plus associée à des environnements fragmentés (lagunes, estuaires et masses d'eau douce). La combinaison entre cette fragmentation dans ses habitats liés à la faible capacité de dispersion de l'espèce et la présence de barrières géographiques, suggère un isolement partiel de ces populations, conditions qui peuvent accroître la divergence génétique entre ces populations et la structure hautement phylogéographique observée.

Avec des différences avérées, via la morphologie, l'analyse de forme des otolithes ou la variabilité génétique moléculaire, nos résultats montrent clairement que chez le complexe *A. boyeri*, il existe au moins trois groupes monophylétiques pouvant être largement reconnus

comme des espèces distinctes. Les noms proposés par Trabelsi *et al.* (2002b) pour ces trois espèces sont: *A. punctata* pour les individus marins ponctués, et *A. lagunae* pour les individus lagunaires. L'appellation *A. boyeri* étant conservée uniquement pour les individus marins non ponctués.

Une description formelle et une définition des limites de distribution géographiques pour cette espèce, devrait être considérée comme une priorité, avec d'autres études phylogéographiques poussées incluant un échantillonnage plus large et des marqueurs moléculaires supplémentaires.

## **TROISIÈME PARTIE**

# **BIOLOGIE DE L'ATHÉRINE *ATHERINA BOYERI* DE LA LAGUNE MELLAH**

---

## Chapitre I.

### Âge et croissance

#### Introduction

La connaissance de l'âge et du processus de croissance constitue un aspect fondamental pour une meilleure connaissance de la démographie, la dynamique des populations ichtyologiques et la gestion des stocks (Panfili *et al.*, 2002; Santana *et al.*, 2006). Sont étudiés l'établissement de clefs âge-taille et/ou âge-poids qui serviront généralement à évaluer la production. Plusieurs procédés sont susceptibles d'être employés pour l'étude de l'âge chez les poissons, chacun présentant des avantages et des inconvénients.

Les aspects de la biologie d'*A. boyeri* ont été étudiés dans l'estuaire de la rivière Guadalquivir en Espagne (Fernandez-Delgado *et al.*, 1988), les étangs d'eau saumâtre et lagunes d'Arcachon (Castel *et al.*, 1977), la lagune Aberthaw sur le canal de Bristol au Sud du Pays de Galles (Creech, 1992), et la Manche (Henderson et Bamber, 1987) en Atlantique, et dans les lagunes saumâtres du sud de la France (Marfin, 1982a; Tomasini *et al.*, 1996), de la lagune côtière Mar Menor du sud-est de la péninsule ibérique dans la Méditerranée occidentale (Andreu-Soler *et al.*, 2003). Dans l'Est de la Mer Méditerranée, les populations d'athérines ont été étudiées dans la lagune Bardawil sur la côte du Sinaï (Gon et Ben-Tuvia, 1983), dans la Mer Adriatique (Boscolo, 1970), dans le lac Trichonis (Leonardos, 2001), les lagunes Mesolongi et Etolikon de la Grèce occidentale (Leonardos et Sinis, 2000), dans le système estuarien du Nord de la Grèce (Koutrakis *et al.*, 2004), dans la lagune Pantana (Pallaoro *et al.*, 2002) et l'estuaire Mala Neretva (Bartulović *et al.*, 2004; 2006) dans le Sud-est et Moyen-Orient Adriatique, dans la Stagnone di Marsala au centre de la Méditerranée, et dans les zones humides de Gomisland dans le sud-est de la Mer Caspienne (Patimar *et al.*, 2009).

La pêche d'*A. boyeri* est parmi les plus importantes sur la côte méditerranéenne espagnole et représente l'une des principales ressources halieutique, avec *Sparus aurata* et les Mugilidae de la lagune Mar Menor (Guevara et Sautier-Casaseca, 1977; Cabo, 1979). En Grèce, l'athérine est devenue l'une des espèces commerciales les plus importantes dans certains lacs (Koutrakis, 2000). En Turquie, cette espèce est exportée dans le lac Iznik (Özeren, 2009).

Bien que cette espèce présente un intérêt économique important dans d'autres pays, il n'y a aucune information concernant sa biologie dans le Sud-ouest de la Méditerranée où son exploitation reste limitée (Kraïem *et al.*, 2003) ou absente (Chaoui *et al.*, 2006).

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Etude de l'âge

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

- Les méthodes de détermination collectives, dites indirectes, donnent statistiquement l'âge moyen d'un groupe d'individus ou l'âge le plus probable d'un individu de taille donnée (Daget et Le Guen, 1975b).

- Les méthodes de détermination individuelles, dites directes, donnent l'âge d'un individu à partir d'une marque naturelle ou expérimentale;

Les premières postulent que la distribution des tailles d'individus nées durant une même période est de type gaussien; leur but est la séparation, ou l'identification, des composants d'un mélange de distributions normales (Do Chi, 1977). Ces techniques sont les seules qui soient applicables aux invertébrés.

La méthode classique de détermination collective de l'âge des poissons est celle de Petersen (1892). Elle repose sur la recherche de modes présents dans les distributions des fréquences des tailles. Ces modes sont censés représenter des poissons de classes d'âges successives. Il existe plusieurs méthodes de décomposition des histogrammes de fréquence de longueur: Harding (1949), Cassie (1954), Tanaka (1962), Bhattacharya (1967), Gheno et Le Guen (1968).

La détermination individuelle de l'âge d'un poisson peut être abordée de deux façons distinctes:

- Par marquage-recapture. Cette méthode est souvent difficilement applicable chez les espèces de petite taille et suppose une pêcherie organisée pour permettre le retour des marques;

- Par interprétation des marques naturelles présentes sur les éléments squelettiques (rayons des nageoires, opercules, vertèbres) ou sur diverses structures dure, comme les otolithes ou les écailles.

L'étude de la croissance et de l'estimation de l'âge d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, a été réalisée en utilisant les méthodes directes (scalimétrie et otholithométrie) et indirecte (Bhattacharya, 1967).

### 1.1.1. Écailles

#### 1.1.1.1. Description des écailles

La morphologie des écailles du flanc est simple et très constante chez *A. boyeri*. Les écailles sont en forme de pentagone approximativement symétrique dont un coté, en position postérieure par rapport au poisson, est en arc de cercle. Mis à part les variations individuelles et/ou "accidents" les cotés dorsal et ventral sont sensiblement rectilignes. Les cotés antérieur est en forme d'angle très obtus et l'onglet généralement peu marqué (Marfin, 1981).

#### 1.1.1.2. Prélèvement et examen des écailles

Pour écarter les sources d'erreurs, les écailles doivent être toujours prélevées au même endroit. Ainsi, elles ont toujours été prélevées sur le flanc gauche, dans la rangée placée sous la bande argentée à partir de la septième en arrière de la nageoire pectorale (fig. 38), les six premières étant plus ou moins irrégulières (Marfin, 1981). Dans cette zone, les écailles sont de forme grossièrement pentagonale avec le côté postérieur en arc de cercle. Souvent dissymétriques, elles se composent de 4 champs: antérieur, postérieur, dorsal et ventral (fig. 39). Les radii sont absents; les circuli, bien marqués, sont concentriques au nucléus et couvrent le champ antérieur. Ils suivent le bord antérieur de l'écaille et leur extrémité s'incurve parfois vers l'arrière, envahissant alors légèrement les champs dorsal et ventral. Le champ postérieur correspond à la partie apparente de l'écaille en place. Il ne possède aucune ornementation superficielle et se prête aisément aux observations. Il convient de mentionner que la partie centrale des écailles présente parfois des lacunes superficielles. A leur niveau, les reliefs de l'écaille disparaissent; le nucléus, qui sert d'origine aux mesures, n'est cependant jamais totalement effacé (Marfin, 1981).

Après avoir essuyé soigneusement la zone de prélèvement, au moins une dizaine d'écailles sont prélevées sur un même individu dont la longueur totale est mesurée au millimètre près et dont le poids est déterminé au gramme près.

L'étude de l'âge utilisant les écailles a été effectuée sur un échantillon de 597 individus ( $2,3\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,5\text{cm}$ ,  $0,05\text{g} \geq \text{Pt} \geq 8,5\text{g}$ ) dont 250 mâles ( $2,9\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,4\text{cm}$ ,  $0,14\text{g} \geq \text{Pt} \geq 4,2\text{g}$ ) et 183 femelles ( $2,3\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,5\text{cm}$ ,  $4,42\text{g} \geq \text{Pt} \geq 8,5\text{g}$ ). La lecture a été réalisée utilisant un logiciel TNPC (Mahé *et al.*, 2011).



Figure 38. Localisation de la zone de prélèvement des écailles d'*Atherina boyeri* du Mellah.

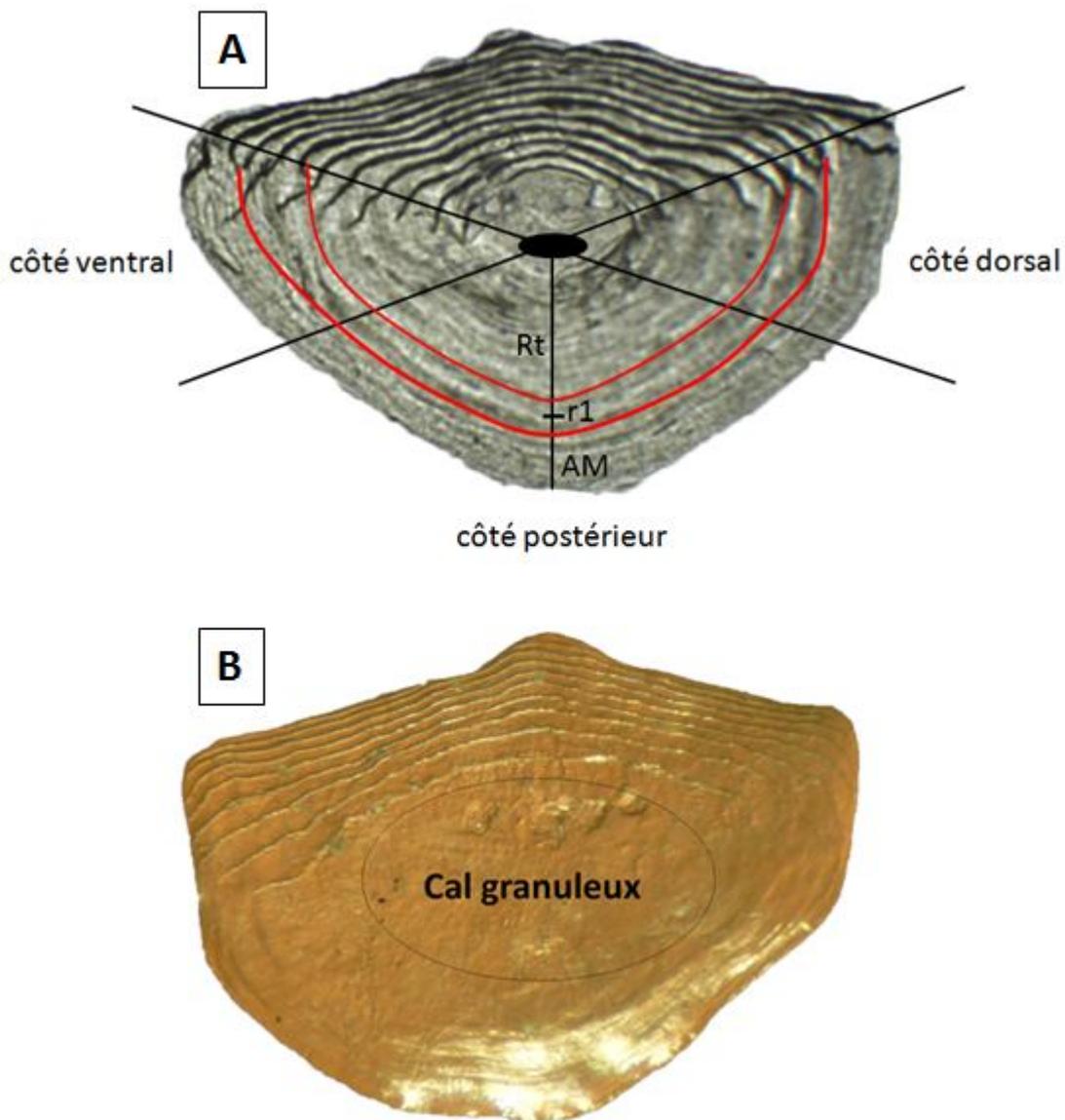


Figure 39. A: Définition des champs et emplacement des mesures prises sur l'écaille d'*Atherina boyeri* du Mellah. Rt: rayon totale de l'écaille; r1: rayon du premier annulus; AM: accroissement marginal; B: écaille régénérée.

### 1.1.2. Otolithes

Les otolithes (fig. 40) sont des concrétions calcaires qui communiquent les vibrations sonores, dans le labyrinthe de l'oreille interne des poissons osseux (Téléostéens). Ils interviennent dans l'audition et l'équilibre (permettant au poisson de se situer dans son milieu). Ils sont présents dès la fin du stade embryonnaire et s'accroissent ensuite avec le développement de l'organisme. Il en existe trois paires qui diffèrent en forme et en taille. Ces différents types d'otolithes se sont répartis dans différentes cavités cérébrales (Popper et Hoxter, 1981; Popper et Lu, 2000):

- Le lapillus dans l'utriculus
- L'asteriscus dans le lagena, et,
- La sagitta dans le sacculus.

Ces derniers sont les plus volumineux et les plus faciles à prélever. La majeure partie des études sur la formation des otolithes s'est focalisée sur la sagitt. Dans la littérature, le terme otolithe est souvent utilisé pour décrire une seule des trois paires, généralement la paire de sagittae (Fay, 1984; Panfili *et al.*, 2003).

L'étude de l'âge utilisant les otolithes a été effectuée sur un échantillon de 584 individus ( $2,3\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,5\text{cm}$ ,  $0,05\text{g} \geq \text{Pt} \geq 8,5\text{g}$ ) dont 250 mâles ( $2,9\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,4\text{cm}$ ,  $0,14\text{g} \geq \text{Pt} \geq 4,2\text{g}$ ) et 183 femelles ( $2,3\text{cm} \geq \text{Lt} \geq 8,5\text{cm}$ ,  $4,42\text{g} \geq \text{Pt} \geq 8,5\text{g}$ ). La lecture a été réalisée utilisant un logiciel TNPC (Mahé *et al.*, 2011).

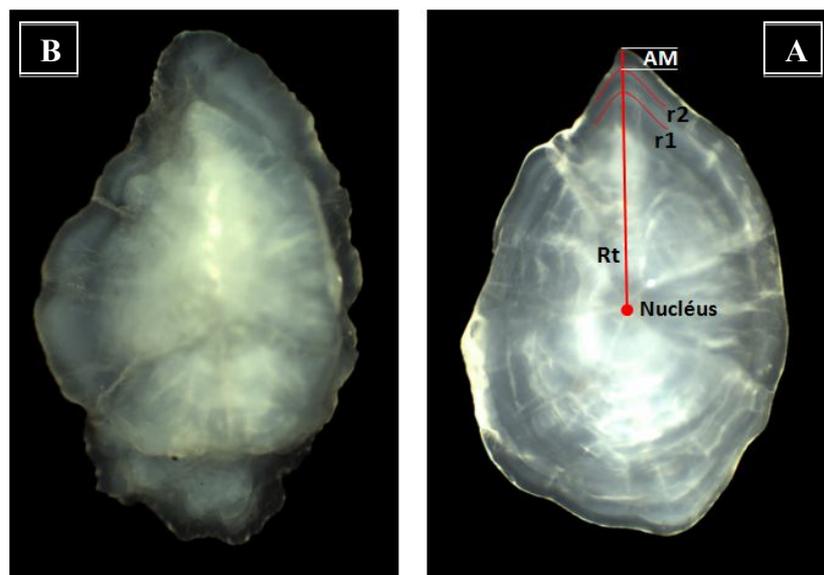


Figure 40. Otolithe sagitta d'*Atherina boyeri* du Mellah. A: définition des champs et emplacement des mesures prises sur l'otolithe. Rt: rayon total de l'otolithe; r1: rayon du premier annulus, r2: rayon du deuxième annulus; AM: accroissement marginal; B: otolithe mal formée.

### 1.1.3. Dépôt des anneaux d'arrêt croissance et accroissement marginal

La chronologie de l'apparition des anneaux d'arrêt de croissance sur les écailles et les otolithes a été déterminée par le suivi mensuel de l'accroissement marginal (AM) (fig. 39, 40) pendant un cycle annuel (mars 2010 - mars 2011). Son suivi permet de préciser, indifféremment des âges, la période de formation de l'anneau d'arrêt de croissance. Ces variations temporelles ont été également suivies afin de mettre en évidence d'éventuelles périodes de ralentissement de la croissance.

L'accroissement marginal est maximal immédiatement avant la formation du  $n + 1^{\text{ième}}$  anneau, nul pendant celle-ci, puis correspond à la plus faible des valeurs observées juste après la formation du  $n + 1^{\text{ième}}$  anneau, c'est à dire au moment de la reprise de la croissance. L'accroissement marginal est exprimé par la relation:

$$AM = \frac{(R - R_n)}{(R_n - R_{n-1})}$$

où:

AM: accroissement marginal de l'écaille ou de l'otolithe (mm).

R: rayon total de l'écaille ou de l'otolithe (mm).

$R_n$ : rayon du dernier anneau d'arrêt de croissance formé (mm).

$R_{n-1}$ : rayon de l'anneau qui précède  $R_n$  (mm).

Après avoir démontré l'existence d'une relation linéaire entre le rayon de l'écaille/otolithe et la longueur totale du poisson, les couples âge-longueur ont été rétrocalculés par la méthode de Lee (1920) qui stipule que chaque fois qu'une zone de moindre croissance s'inscrit sur l'écaille, la distance du nucleus à cette zone est proportionnelle à la longueur du poisson lors de la formation de cette dernière. Si  $e_i$  représente le rayon de l'écaille à l'époque "i" de formation de l'ième anneau hivernal, la taille  $l_i$  du poisson atteinte à cette époque lui est reliée par l'expression:

$$l_i = L \cdot \left( \frac{e_i}{E} \right) + b$$

## 1.2. Modélisation de la croissance

### 1.2.1. Croissance linéaire absolue

Les modèles mathématiques de croissance sont nombreux et présentent tous leurs avantages et leurs inconvénients. Les deux modèles les plus classiques et les plus anciens sont ceux de Gompertz (1825) et de von Bertalanffy (1938), de la forme:

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

Avec:

$L_t$ : longueur totale à l'âge  $t$  (cm).

$L_\infty$ : longueur asymptotique ou longueur théorique maximale (cm).

$K$ : taux de croissance ou coefficient instantané de la croissance ( $K > 0$ ).

$t_0$ : âge théorique (année) que le poisson aurait eu à la taille zéro ( $L_t = 0$ )

$t$ : âge.

Le modèle de Gompertz permet de bons ajustements sur des grands intervalles de temps mais son emploi est complexe. Le modèle de von Bertalanffy permet parfois de meilleurs ajustements. Dans la mesure où il est d'un emploi assez souple et où les ajustements qu'il permet sont souvent satisfaisants, ce dernier modèle est le plus utilisé. C'est donc celui-ci que nous avons retenu (Marfin, 1981).

L'expression mathématique de von Bertalanffy (1938) fait apparaître trois paramètres d'ajustement  $L_\infty$ , et  $K$  qui sont déterminés dans le cas présent à l'aide du logiciel FISAT II<sup>®</sup> (version 1.2.2) (Gayanilo et Pauly, 1997).

Quand au  $t_0$  il a été suivi par la formule:

$$t_0 = t + \frac{1}{K} \cdot \text{Ln} \left( 1 - \frac{L_t}{L_\infty} \right)$$

Pour comparer les paramètres de croissance obtenus dans différentes localités, nous avons utilisé l'indice de performance de croissance de Munro et Pauly (1983) qui s'écrit comme suit:

:

$$\phi = \text{Log}K + 2 \text{Log}L_\infty$$

### 1.2.2. Croissance relative ou relation taille-poids

L'expression mathématique de la croissance relative permet, pour sa part, de connaître l'embonpoint des poissons (Richter *et al.*, 2000) et constitue une donnée nécessaire pour l'estimation des biomasses ichtyologiques et l'analyse des changements ontogénétiques (Safran, 1992).

D'une manière générale, la croissance relative permet de vérifier l'existence d'une corrélation liant le poids à la taille du poisson et de modéliser la relation. Si le poisson garde la forme générale et le même poids durant toute son existence, son poids sera proportionnel au cube de sa longueur selon la relation suivante (Saila *et al.*, 1988):

$$P_t = aL_t^b$$

Avec:

Pt: poids total

Lt: longueur totale

a: constante.

b: coefficient d'allométrie.

Les paramètres a et b sont déterminés par le programme Fishparm<sup>®</sup> version 3 (Prager *et al.*, 1987).

Cette équation peut être linéarisée par transformation logarithmique des données:

$$\text{Log } P = b \text{ Log } L + \text{Log } a.$$

L'ajustement de ce modèle linéaire aux données longueur-poids observées est réalisé par la méthode des moindres rectangles. La valeur de coefficient b est comparée statistiquement à  $b_0 = 3$  au seuil  $\alpha = 5\%$  à l'aide du test t de Student (Dagnelie, 1975):

$$t_{obs} = \frac{\left( |b^2 - b_o^2| \cdot \sqrt{n-2} \right)}{\left( 2b \cdot b_o \sqrt{1-r^2} \right)}$$

Avec:

n: effectif;

b: pente;

$b_o$ : pente théorique ( $b_o = 3$ )

r: coefficient de corrélation.

La valeur de  $t_{obs}$  est comparée à celle de "t" théorique:  $t_{1-\alpha/2}$  (donnée par le test de Student) où  $\alpha$  représente le seuil de confiance au risque d'erreur de 5% pour  $n - 2$  degré de liberté. Trois cas peuvent alors se présenter: si  $b < 3$ , l'allométrie est minorante, si  $b = 3$ , il y a isométrie, si  $b > 3$ , l'allométrie est majorante.

### 1.2.3. Croissance pondérale absolue

Connaissant tous les paramètres de l'équation de von Bertalanffy et le coefficient d'allométrie "b", nous avons calculé le poids théorique pour chaque groupe d'âge. L'équation de la croissance pondérale absolue s'écrit de la manière suivante:

$$P = P_{\infty}(1 - e^{K(t-t_0)})^b.$$

Avec:

P: poids total du poisson à l'âge t (g).

$P_{\infty}$ : poids asymptotique ou poids théorique maximal (g).

b: pente de la droite exprimant la relation taille-poids.

K et  $t_0$  sont identiques à ceux de l'équation de la croissance linéaire absolue

## 1.3. Etude de l'âge par la méthode indirecte

### 1.3.1. Méthode de Petersen (1892)

On établit des hypothèses sur l'intervalle de temps qui sépare les différents pics d'une fréquence de taille, ces pics étant supposés représenter des groupes d'âge distincts, c'est-à-dire que chaque mode est assimilé à la moyenne d'une classe d'âge.

### 1.3.2. Méthode de Bhattacharya (1967) ou des différences logarithmiques

Le principe est basé sur une transformation logarithmique des effectifs regroupés en classes de tailles d'égale amplitude (h) et des centres de classe (x), tandis que le nombre de classes (NC) et l'amplitude (h) sont calculés par la formule de (Scherrer, 1984):

$$\text{Nombre de classes (NC)} = 1 + (3,3 \log_{10} N),$$

où:

N: nombre total de spécimens examinés.

$$h = \frac{L_{t \max} - L_{t \min}}{NC}$$

où:

I: amplitude, NC: nombre total de classes, Lt: longueur totale

L'amplitude calculée par la formule de Scherrer, (1984), n'a pas permis la bonne séparation des cohortes. Après synthèse des travaux portant sur la croissance des athérines, nous avons retenu une amplitude  $h = 0.2$  cm. Cette méthode est souvent soumise à deux conditions:

- L'histogramme ne doit pas comporter de classes vides, ces dernières peuvent être évitées par un lissage ou une moyenne entre les deux classes intermédiaires.
- L'intervalle  $I$  doit être petit par rapport à chacun des écarts types ( $I/s \leq 2,2$ ).

## 2. Résultats

### 2.1. Âge

#### 2.1.1. Relation entre la longueur totale du poisson et le rayon de l'écaille ou de l'otolithe

La relation entre la longueur totale du poisson ( $L_t$ ) et le rayon de l'écaille ( $R_e$ ) est exprimée par l'équation suivante:  $L_t = 1,22 R_e + 0,22$  (cm) ( $r = 0,889$ ;  $P < 0,05$ ), alors que celle qui exprime la relation entre la longueur totale du poisson ( $L_t$ ) et le rayon de l'otolithe ( $R_o$ ) est déterminée par l'équation suivante:  $L_t = 1,2 R_o + 0,12$  (cm) ( $r = 0,902$ ;  $P < 0,05$ ), où la valeur de l'ordonnée à l'origine correspond à la taille théorique (en cm) des poissons à l'apparition des premières écailles (0,22 cm) ou lorsque le rayon de l'otolithe est nul (0,12 cm), c'est-à-dire lors de l'apparition des otolithes.

#### 2.1.2. Accroissement marginal

La comparaison des valeurs moyennes mensuelles successives de l'accroissement marginal (AM) des écailles/otolithes (fig. 41; A. 13) montre des différences significatives ( $P < 0,001$ ) entre les mois d'avril et mai. Ces valeurs permettent de considérer qu'il n'apparaît qu'un seul anneau d'arrêt de croissance par an. La valeur de l'accroissement marginal est maximale lorsque l'anneau d'arrêt de croissance se forme en avril, et minimale juste après, en mai.

#### 2.1.3. Étude rétrospective de la taille par âge

En utilisant les écailles ou les otolithes, nous avons pu isoler quatre classes d'âge allant de  $0^+$  à 3 ans aussi bien chez les mâles que les femelles. Les couples âge-longueur rétrocalculés (tab. 32) ne montrent aucune différence avec les tailles moyennes observées par âge utilisant les écailles (tab. 33) ou les otolithes (tab. 34) représentées dans le Tableau 35

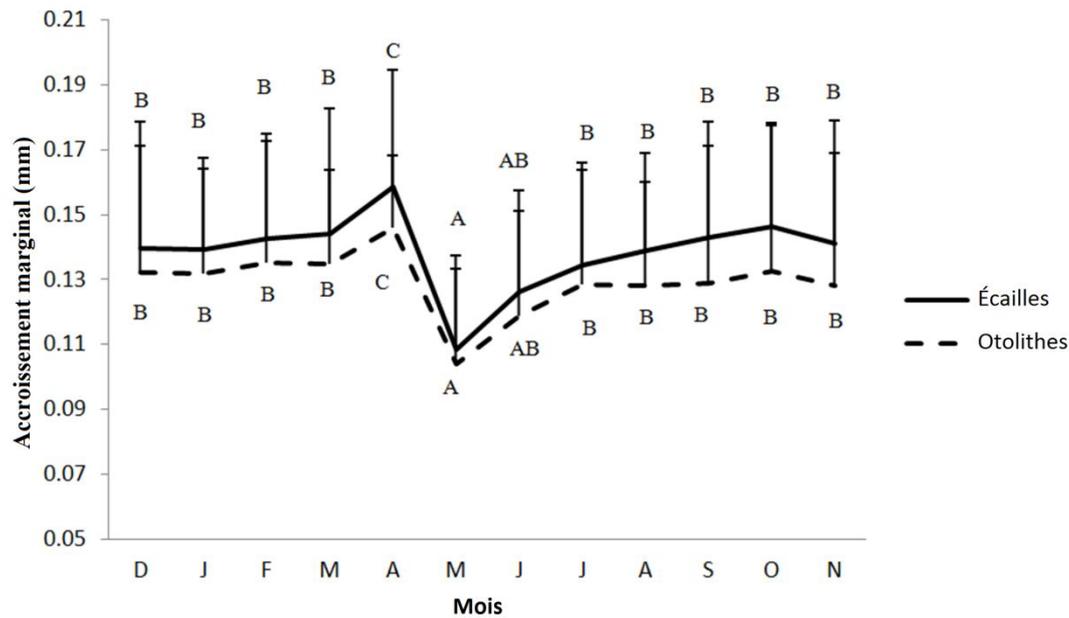


Figure 41. Variations mensuelles de l'accroissement marginal (AM) des écailles/otolithes d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah (les différentes lettres indiquent les différents groupes de moyennes).

Tableau 32. Longueurs rétrocalculées par âge, pour les mâles et les femelles d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant les écailles et les otolithes.

	Sexe	Âge	Lt1		Lt2		Lt3	
			N	$\bar{x} \pm SD$	N	$\bar{x} \pm SD$	N	$\bar{x} \pm SD$
Écailles	Mâles	1	152	4,23±0,43				
		2	64	4,28±0,46		5,9±0,56		
		3	7	4,19±0,47		5,89±0,48		7±0,34
	Total	223		71		7		
	Femelles	1	149	4,46±0,44				
		2	139	4,48±0,44		5,72±0,57		
3		33	4,36±0,54		5,76±0,55		7,06±0,63	
Total	321		172		33			
Otolithes	Mâles	1	145	4,17±0,47				
		2	69	4,35±0,49		5,92±0,64		
		3	6	4,3±0,45		5,9±0,45		7,09±0,82
	Total	220		75		6		
	Femelles	1	149	4,31±0,55				
		2	138	4,43±0,52		5,97±0,57		
3		31	4,32±0,51		5,93±0,52		7,17±0,91	
Total	318		169		6			

Lt = longueur totale,  $\bar{x}$  = moyenne, S = écart-type.

Tableau 33. Distribution des longueurs totales (en cm) pour les mâles et les femelles, d'après la lecture directe des écailles d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

Lt [cm]	Âge (ans)											
	0		1		2		3		I	N		
	M	F	M	F	M	F	M	F		M	F	
2,0-2,3												
2,3-2,6									2			
2,6-2,9									3			
2,9-3,2	3	5								3	5	
3,2-3,5	5	11								5	11	
3,5-3,8	7	3	2							9	3	
3,8-4,1	4	7	7	3						11	10	
4,1-4,4			24	5						24	5	
4,4-4,7			34	38						34	38	
4,7-5,0			34	33	3	1				37	34	
5,0-5,3			28	38	3	13				31	51	
5,3-5,6			13	17	8	26				21	43	
5,6-5,9			12	9	14	29				26	38	
5,9-6,2					10	24				10	24	
6,2-6,5					11	11		3		11	14	
6,5-6,8					5	22		5		5	27	
6,8-7,1					7	13	1	7		8	20	
7,1-7,4							3	6		3	6	
7,4-7,7							1	4		1	4	
7,7-8,0							1	2		1	2	
8,0-8,4							1	2		1	2	
8,4-8,7								1			1	
N	19	26	154	143	61	139	7	30	5	241	338	
Lt $\bar{x}$	3,49	3,54	4,41	4,52	5,93	6,03	7,16	7,27	3,36	5,42	5,48	
Lt S	0,32	0,32	0,48	0,48	0,56	0,53	0,9	0,64	0,41	0,56	0,49	
Pt $\bar{x}$	0,25	0,26	0,7	0,78	1,35	1,49	2,49	2,84	0,22	1,19	1,34	
Pt S	0,07	0,08	0,23	0,23	0,39	0,47	1,22	0,86	0,08	0,47	0,41	

Lt = longueur totale, I = immature, F = femelle, M = mâle,  $\bar{x}$  = moyenne, S = écart-type, Pt = poids totale, N = effectifs.

Tableau 34. Distribution des longueurs totales (en cm) pour les mâles et les femelles, d'après la lecture directe des otolithes d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

Lt [cm]	Âge (ans)										
	0		1		2		3		N		
	M	F	M	F	M	F	M	F	I	M	F
2,0-2,3											
2,3-2,6									2		
2,6-2,9	2								1		
2,9-3,2	3	2							3	3	2
3,2-3,5	8	5								8	5
3,5-3,8	5	5	1	1						6	6
3,8-4,1	8	7	5	3						13	10
4,1-4,4	3	3	24	19						27	22
4,4-4,7			32	32						32	32
4,7-5,0			33	26	4	1				37	27
5,0-5,3			25	40	4	5				29	45
5,3-5,6			13	19	9	18				22	37
5,6-5,9			12	8	14	23				26	31
5,9-6,2				1	10	31				10	32
6,2-6,5					17	19				17	19
6,5-6,8					5	29	1	3		6	32
6,8-7,1					7	12	2	6		9	18
7,1-7,4							2	5		2	5
7,4-7,7								8			8
7,7-8,0							2	4		2	4
8,0-8,4								3			3
8,4-8,7							1	3		1	3
<i>N</i>	29	22	145	149	70	138	8	32	6	250	341
Lt $\bar{x}$	3,66	3,67	4,41	4,52	5,93	6,03	7,16	7,27	3,52	5,47	5,55
S	0,4	0,39	0,48	0,44	0,57	0,52	0,65	0,56	0,48	0,53	0,48
Pt $\bar{x}$	0,3	0,3	0,69	0,75	1,33	1,47	2,78	2,93	0,26	1,27	1,37
S	0,1	0,1	0,22	0,2	0,4	0,46	0,91	0,91	0,11	0,41	0,42

Lt = longueur totale, I = immature, F = femelle, M = mâle,  $\bar{x}$  = moyenne, S = écart-type, Pt = poids totale, *N* = effectifs.

Tableau 35. Comparaison des longueurs observées avec les longueurs rétrocalculées par âge pour les individus d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

	Âge	Sexe	Longueurs observées	Longueurs rétrocalculées	T	P
Otolithes	1 <sup>+</sup>	M	4,41	4,27	1,05	0,140
		F	4,52	4,35		
	2 <sup>+</sup>	M	5,93	5,91	1,39	0,167
		F	6,03	5,95		
	3 <sup>+</sup>	M	7,16	7,09	0,52	0,608
		F	7,27	7,17		
Écailles	1 <sup>+</sup>	M	4,54	4,23	1,18	0,244
		F	4,67	4,44		
	2 <sup>+</sup>	M	5,96	5,89	1,06	0,292
		F	6,05	5,74		
	3 <sup>+</sup>	M	7,11	7	0,63	0,540
		F	7,18	7,06		

## 2.2. Croissance

### 2.2.1. Croissance linéaire absolue

La relation qui résulte de l'application du modèle de von Bertalanffy aux couples âge-longueur observés, s'exprime de la manière suivante:

Utilisant les écailles:  $L_t = 9,49 [1 - e^{-0,316(t+0,928)}]$  pour les mâles;

$L_t = 11,67 [1 - e^{-0,179(t+1,514)}]$  pour les femelles.

Utilisant les otolithes:  $L_t = 9,68 [1 - e^{-0,3(t+1,02)}]$  pour les mâles;

$L_t = 11,93 [1 - e^{-0,171(t+1,55)}]$  pour les femelles.

Les longueurs théoriques/observées correspondantes à chaque âge utilisant les écailles sont représentées graphiquement dans la figure 42. A, B, pour les mâles, et pour les femelles.

Quant à celles utilisant les otolithes, elles sont représentées dans la figure 43. A, B.

La taille maximale théorique pour les mâles est égale à 7 cm utilisant les écailles et 7,09 cm utilisant les otolithes. Pour les femelles elle est égale à 7,06 cm utilisant les écailles et 7,17 cm utilisant les otolithes. Ces valeurs sont sensiblement inférieures à celles observées (7,11 cm et 7,18 cm) respectivement pour les mâles et les femelles utilisant les écailles, et 7,16 cm et 7,27 cm utilisant les otolithes.

La valeur de la longueur asymptotique des femelles ( $L_{\infty\text{écailles}} = 11,67$  cm,  $L_{\infty\text{otolithes}} = 11,93$  cm) est supérieure à celle des mâles ( $L_{\infty\text{écailles}} = 9,49$  cm,  $L_{\infty\text{otolithes}} = 9,68$  cm).

Le taux annuel de croissance linéaire est relativement élevé durant la première année (4,23 cm pour les mâles, et 4,44 cm pour les femelles utilisant les écailles; et 4,27 cm pour les mâles, et 4,35 cm pour les femelles utilisant les otolithes, puis il tend à diminuer fortement entre la première et la deuxième année (fig. 42; Fig 43; A. 14) atteignant pour les mâles, 1,66 cm/an et 1,64 cm/an utilisant respectivement les écailles et les otolithes, et pour les femelles (1,30 cm/an, 1,6 cm/an) utilisant respectivement les écailles et les otolithes.

L'indice de performance pour les mâles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,34$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,33$ ) est sensiblement proche de celui des femelles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,19$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,24$ ).

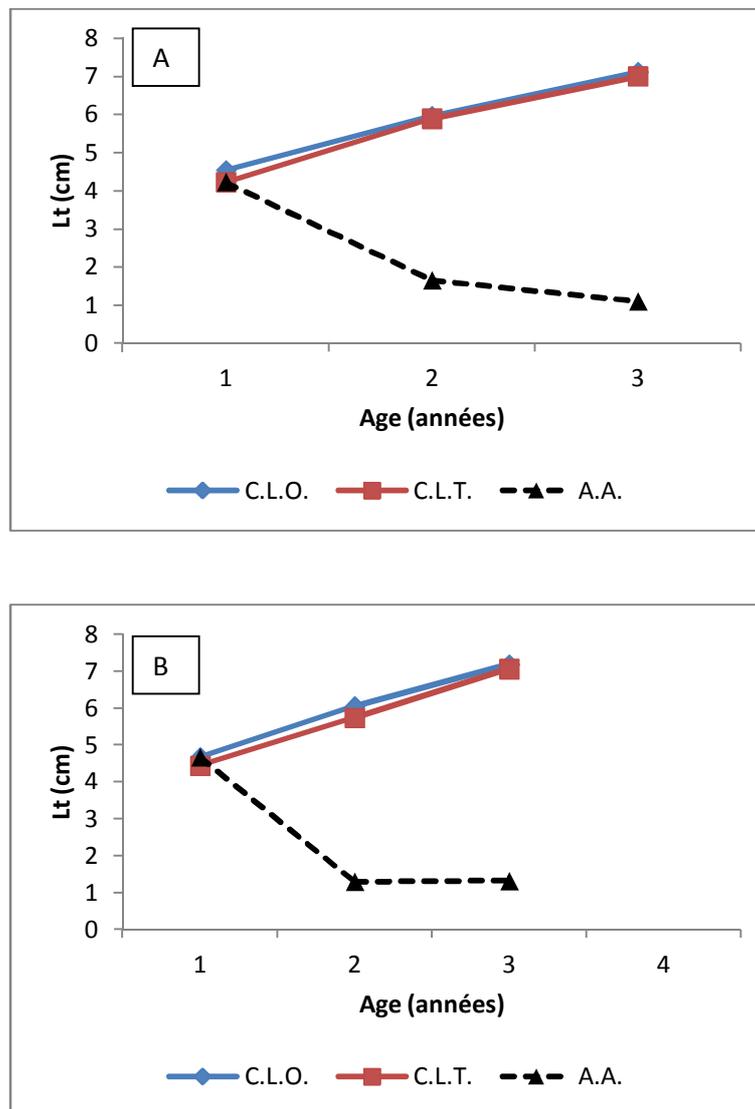


Figure 42. Croissance linéaire observée (C.L.O.), théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez les mâles (A), et les femelles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant les écailles.

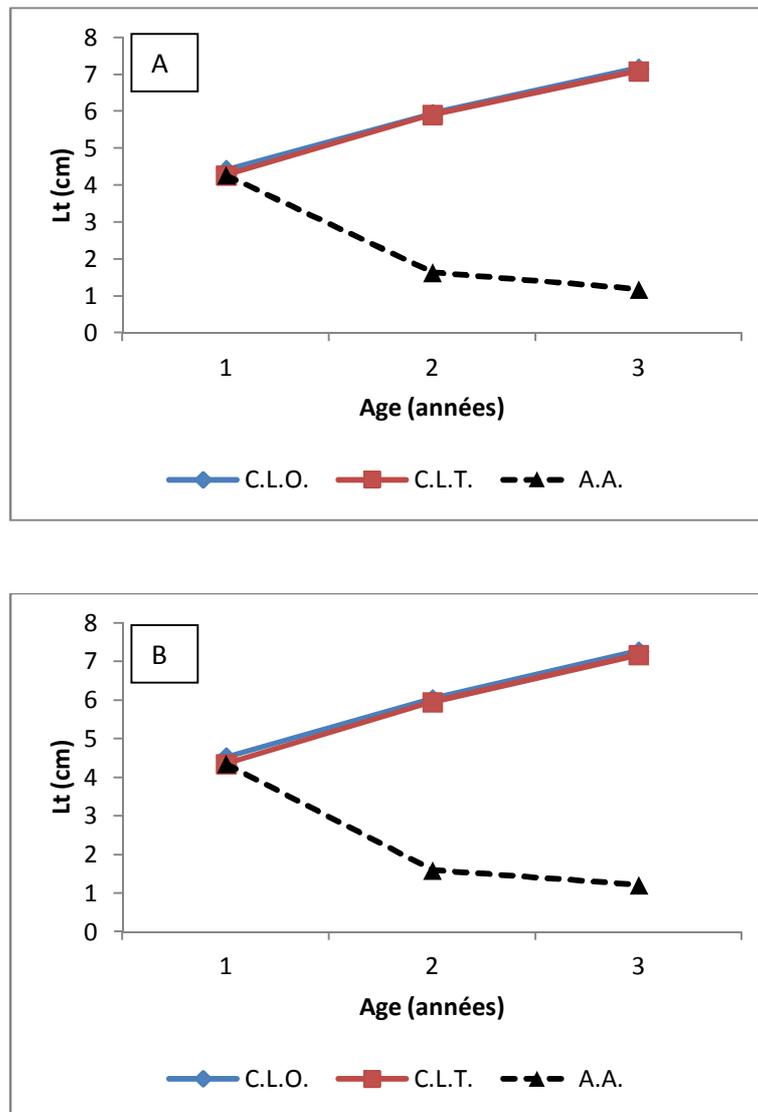


Figure 43. Croissance linéaire observée (C.L.O.), théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez les mâles (A), et les femelles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant les otolithes.

### 2.2.2. Relation taille-poids

La relation entre la taille et le poids d'*A. boyeri* est exprimée globalement (fig. 44) et mensuellement (fig. 45). La relation liant le poids total du poisson à sa longueur totale est exprimée par la relation:  $Pt = 0,0054 Lt^{3,077}$  ( $r^2 = 0,942$ ) pour les mâles,  $Pt = 0,0047 Lt^{3,176}$  ( $r^2 = 0,935$ ) pour les femelles et  $Pt = 0,0046 Lt^{3,179}$  ( $r^2 = 0,944$ ) pour la population totale. Une différence significative est observée entre les mâles et les femelles (ANCOVA,  $F = 101,82$ ,  $P < 0,05$ ). Le coefficient d'allométrie est significativement supérieur à 3 (test t,  $t_{\text{mâles}} = 97,41$ ,  $t_{\text{femelles}} = 113,01$ ,  $P < 0,05$ ). L'allométrie entre la taille et le poids est majorante, traduisant ainsi une croissance pondérale plus rapide que la croissance linéaire.

L'expression mathématique de la relation taille-poids a été établie mensuellement pour la population totale, ainsi que pour les mâles et femelles d'*A. boyeri* de la lagune Mellah (A. 15). Les résultats obtenus mettent en évidence une corrélation hautement significative entre la taille et le poids ( $0,88 \leq r^2 \leq 0,98$ ) pour la population totale (fig. 45 A), où l'analyse statistique révèle une allométrie majorante pour la population totale des mois d'octobre à mars. Deux cas d'allométrie minorante sont observés pour les mois de juillet et septembre. Tandis que l'isométrie de croissance concerne les mois restants. Chez les femelles (fig. 45 B), une forte corrélation existe entre la taille et le poids ( $0,88 \leq r^2 \leq 0,98$ ). Le type de croissance rencontré au cours des mois est le même que celui observé pour la population totale. De même pour les mâles, le poids est fortement corrélée à la taille ( $0,84 \leq r \leq 0,98$ ), quatre cas d'allométrie majorante sont observés, ces derniers concernent les mois de janvier, février, mars et octobre. Tandis que l'allométrie minorante de croissance est observée de juin à aout. L'isométrie de croissance concerne les mois restants (fig. 45 C).

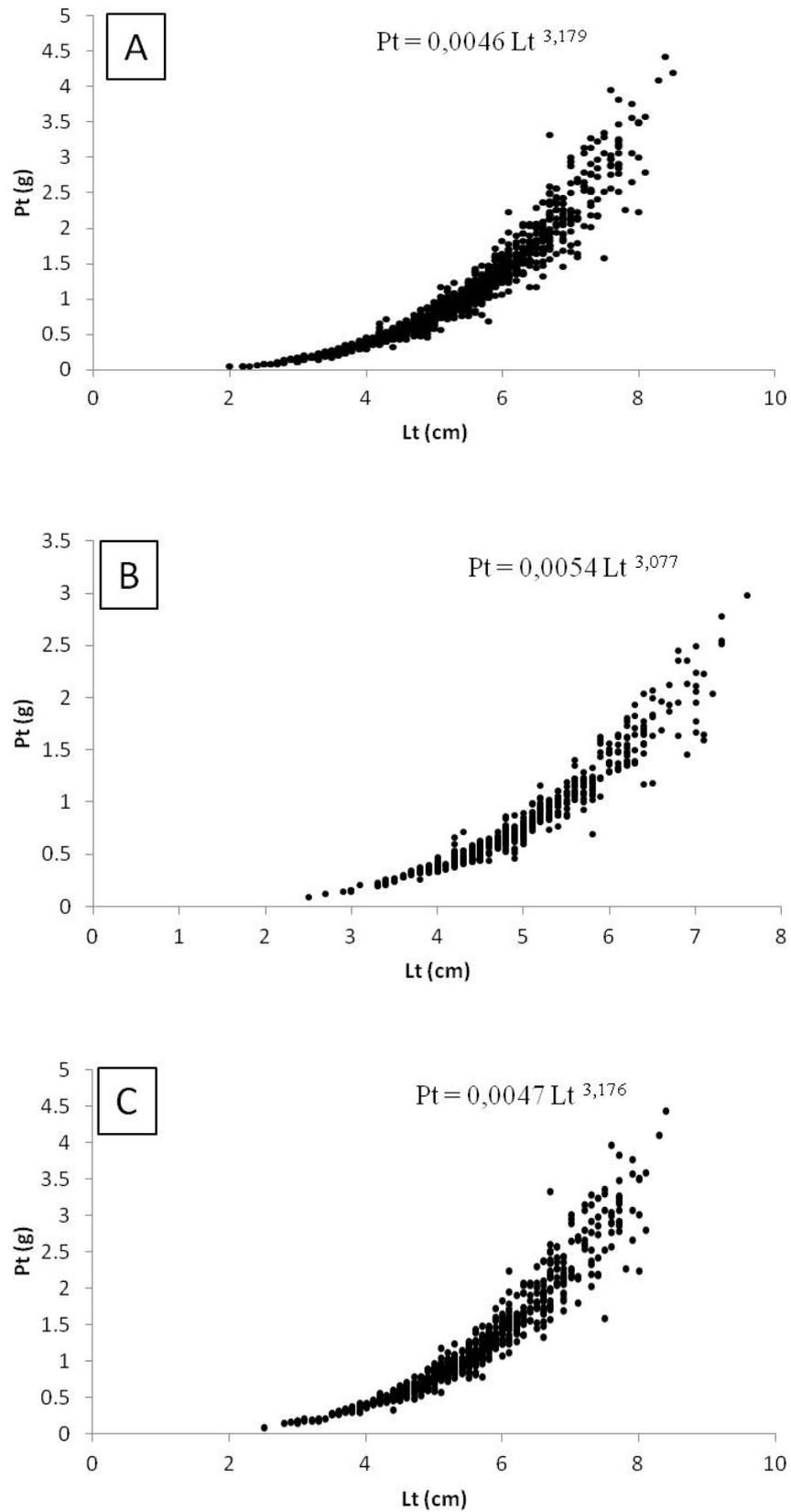


Figure 44. La relation taille-poids chez la population totale (A), les mâles (B) et les femelles (C) d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah.

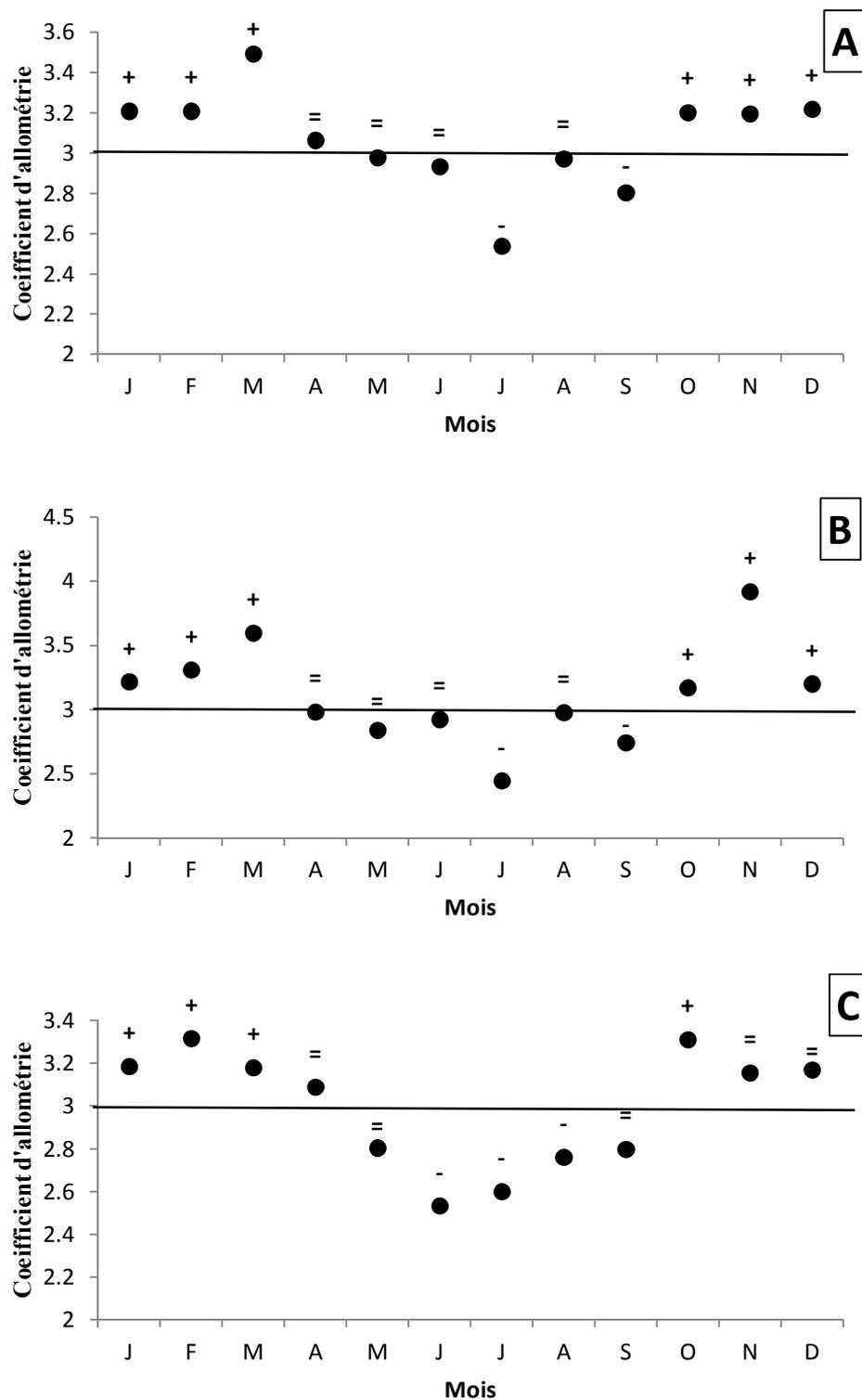


Figure 45. Variations mensuelles des coefficients d'allométrie de la relation taille-poids chez la population totale (A), les femelles (B) et les mâles (C) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

(-): allométrie minorante, (+): allométrie majorante, (=): isométrie.

### 2.2.3. Croissance pondérale absolue

Connaissant les principaux paramètres du modèle de von Bertalanffy ( $L_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$ ) et le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids, le modèle de la croissance pondérale absolue s'écrit comme suit:

Utilisant les écailles:  $P_t = 4,776 ([1 - e^{-0,31(t+0,92)}])^{3,077}$  pour les mâles;

$P_t = 13,225 ([1 - e^{-0,17(t+1,51)}])^{3,176}$  pour les femelles.

Utilisant les otolithes:  $P_t = 5,077 ([1 - e^{-0,3(t+1,02)}])^{3,077}$  pour les mâles;

$P_t = 14,184 ([1 - e^{-0,17(t+1,55)}])^{3,176}$  pour les femelles.

Les valeurs du poids théorique correspondant à chaque âge d'*A. boyeri* sont indiquées dans l'annexe (A. 16) et représentées par la figure 46 utilisant les écailles et la figure 47 utilisant les otolithes. L'accroissement pondéral théorique augmente progressivement avec des taux de plus en plus élevés, avec une moyenne annuelle de 0,53 g/an pour les mâles et 0,6 g/an pour les femelles utilisant les écailles, et de 0,56 g/an pour les mâles et 0,65 g/an pour les femelles utilisant les otolithes.

Le modèle de la croissance pondérale absolue utilisant les écailles ou les otolithes, présente une valeur du poids asymptotique des femelles supérieure à celle des mâles. Le poids des femelles est toujours légèrement supérieur à celui des mâles durant tous les âges.

## 2.3. Croissance par méthode indirecte

### 2.3.1. Structure de la population

L'effectif de la population totale, des mâles et des femelles, ainsi que les valeurs limites des longueurs totales sont résumées dans le tableau 36.

Tableau 36. Structure de la population pour l'étude de la croissance par méthode indirecte.

	NT	Population totale (cm)	NF	Femelles (cm)	NM	Mâles (cm)
Lagune Mellah	2085	$1,7 \leq L_t \leq 8,1$	932	$2,6 \leq L_t \leq 8,1$	1098	$2,8 \leq L_t \leq 7,6$

Avec: NT: effectif total; NM: effectif des mâles; NF: effectif des femelles.

### 2.3.2. Identification des cohortes

Afin de déterminer la clé âge-longueur nous avons utilisé la méthode de décomposition des fréquences des tailles de Bhattacharya (1967) à l'aide du logiciel FISAT II (Gayanilo et Pauly, 1997). Les résultats de l'identification des cohortes sont présentés dans la figure 48.

Quatre groupes d'âges sont définis que ce soit pour les mâles ou les femelles. Les couples âge-longueur, ainsi que l'effectif de chaque groupe d'âge est présenté dans le Tableau 37.

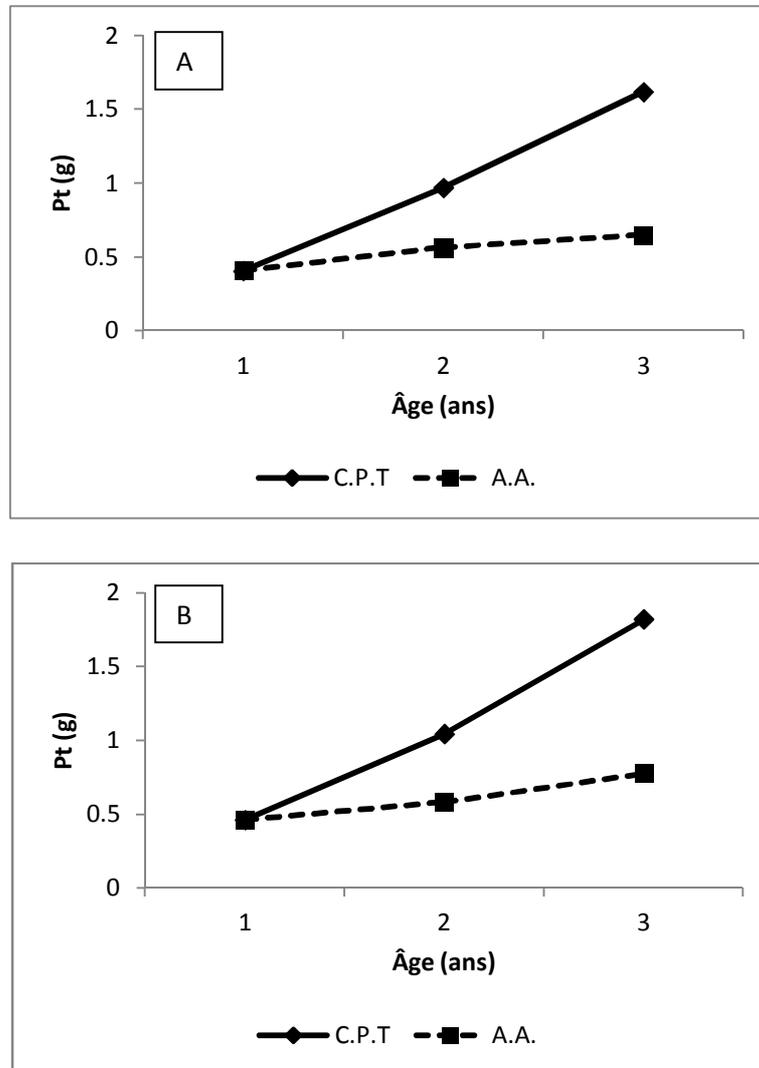


Figure 46. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (en g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez les mâles (A), et les femelles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant les écailles.

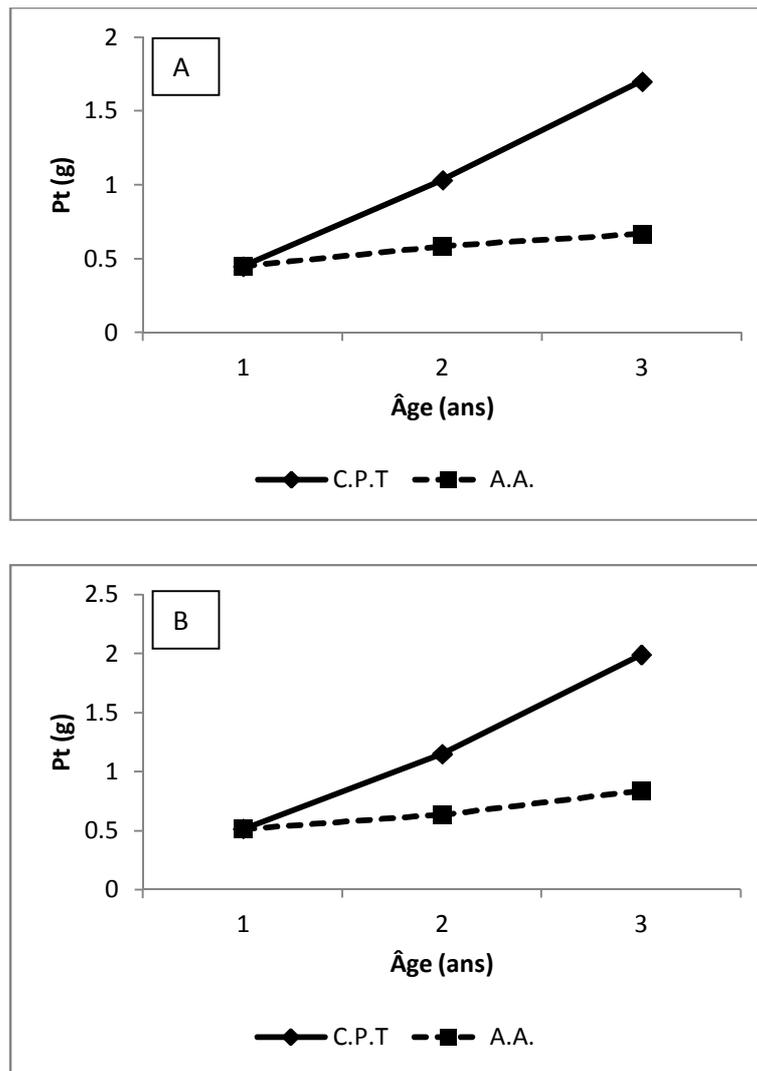


Figure 47. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez les mâles (A), et les femelles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant les otolithes.

Tableau 37. Clés âge-longueur de la population d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah obtenues par la méthode de Bhattacharya (1967).

		Âge (ans)			
		1	2	3	4
Population totale	Lt (cm)	2,27	4,23	5,36	6,95
	Effectif	40,01	1359,19	663	82,41
Mâles	Lt (cm)	3,4	4,14	4,91	6,3
	Effectif	40,16	707,84	255,95	45,78
Femelles	Lt (cm)	3,18	4,46	5,52	6,66
	Effectif	15,7	633,57	153,97	92,36

### 2.3.3. Croissance linéaire absolue

La relation qui résulte de l'application du modèle de von Bertalanffy aux couples âge-longueur obtenus par la méthode de Bhattacharya (1967), s'exprime comme suit:

Sexe	Equation
Mâles	$L_t = 6,409 (1 - e^{-0,61 (t + 0,525)})$
Femelles	$L_t = 7,688 (1 - e^{-0,61 (t + 0,046)})$
Sexes confondus	$L_t = 11,671 (1 - e^{-0,22 (t - 0,012)})$

Les longueurs théoriques correspondantes à chaque groupe d'âge sont représentées graphiquement dans la figure 49, et les valeurs dans l'annexe (A. 17).

La valeur de la longueur asymptotique des femelles ( $L_\infty = 7,688$  cm) est supérieure à celle des mâles ( $L_\infty = 6,409$  cm). Le taux annuel de croissance linéaire est important durant la première année où une taille de 2,27 cm, 3,18 cm, et 3,4 cm est atteinte respectivement par la population totale, les femelles et les mâles. Cette croissance tend à diminuer progressivement et respectivement de 1,96 cm/an, 1,27 cm/an, et 0,73 cm/an entre la première et deuxième année, (1,13 cm/an, 1,06 cm/an, 0,77 cm/an) entre la deuxième et troisième année, et (1,59 cm/an, 1,14 cm/an, 1,39 cm/an) entre la troisième et quatrième année. L'indice de performance  $\Phi$  est égal à 3,4 pour la population totale, à 3,3 pour les femelles, et à 3,22 pour les mâles.

### 2.3.4. Croissance pondérale absolue

Connaissant les principaux paramètres du modèle de von Bertalanffy ( $L_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$ ) et le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids, le modèle de la croissance pondérale absolue s'écrit comme suit:

Population totale	$P_t = 13,468 ([1 - e^{-0,22(t-0,012)}])^{3,274}$
Chez les femelles	$P_t = 3,220 ([1 - e^{-0,46(t+0,046)}])^{3,276}$
Chez les mâles	$P_t = 1,896 ([1 - e^{-0,61 (t+0,052)}])^{3,170}$

Les valeurs du poids théorique correspondant à chaque âge sont indiquées dans l'annexe (A. 18) et représentées graphiquement dans la figure 50.

Le modèle de la croissance pondérale absolue présente une valeur du poids asymptotique des femelles supérieure à celle des mâles. Le poids des mâles est supérieur à celui des femelles au cours de la première année. Cette situation tend à s'inverser avec le temps, ou des poids plus élevés pour les femelles sont enregistrés par rapport à ceux des mâles.

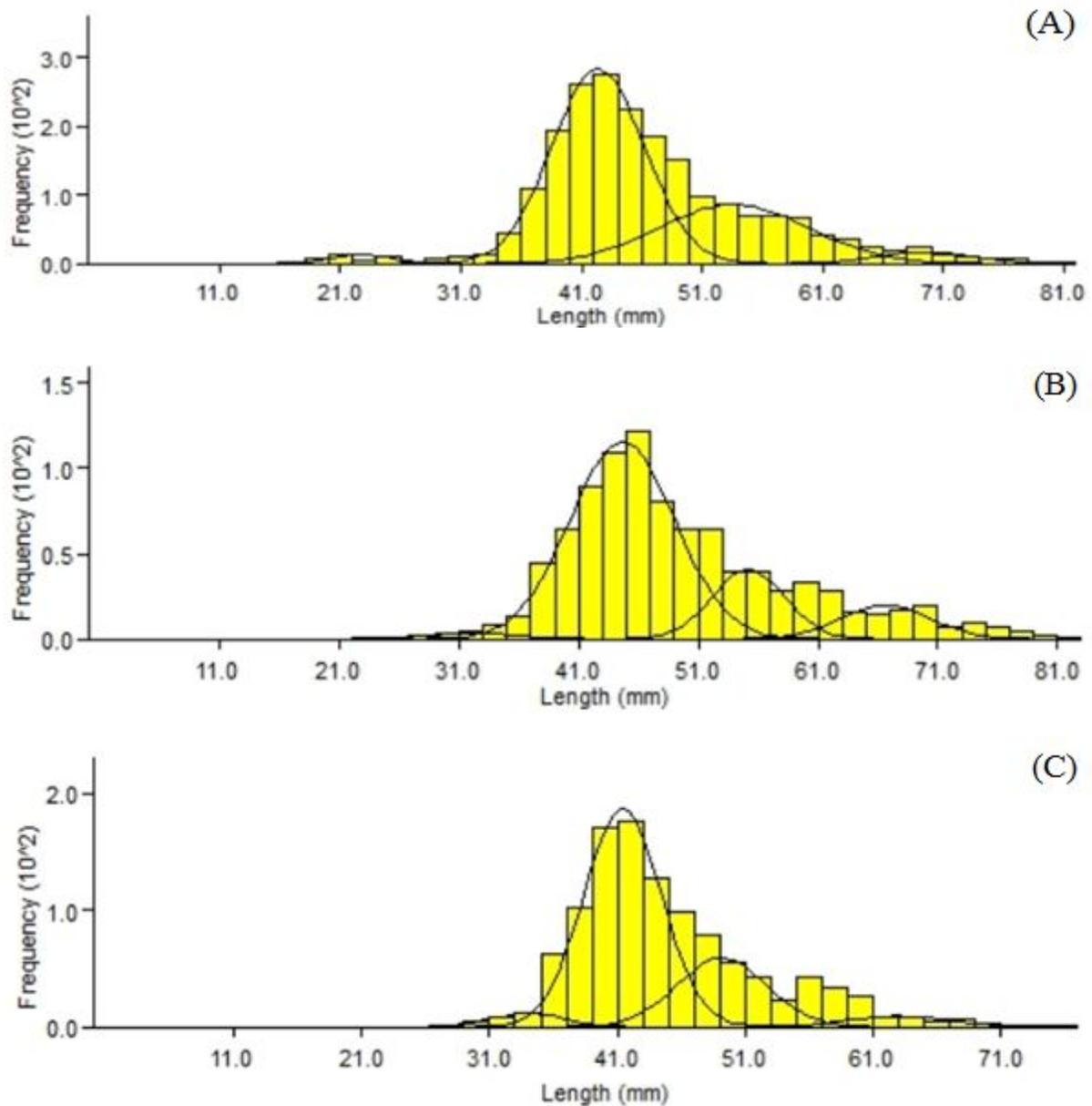


Figure 48. Décomposition de la distribution des fréquences des tailles de la population totale (A), femelles (B), et mâles (C) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, par la méthode de Bhattacharya (1967).

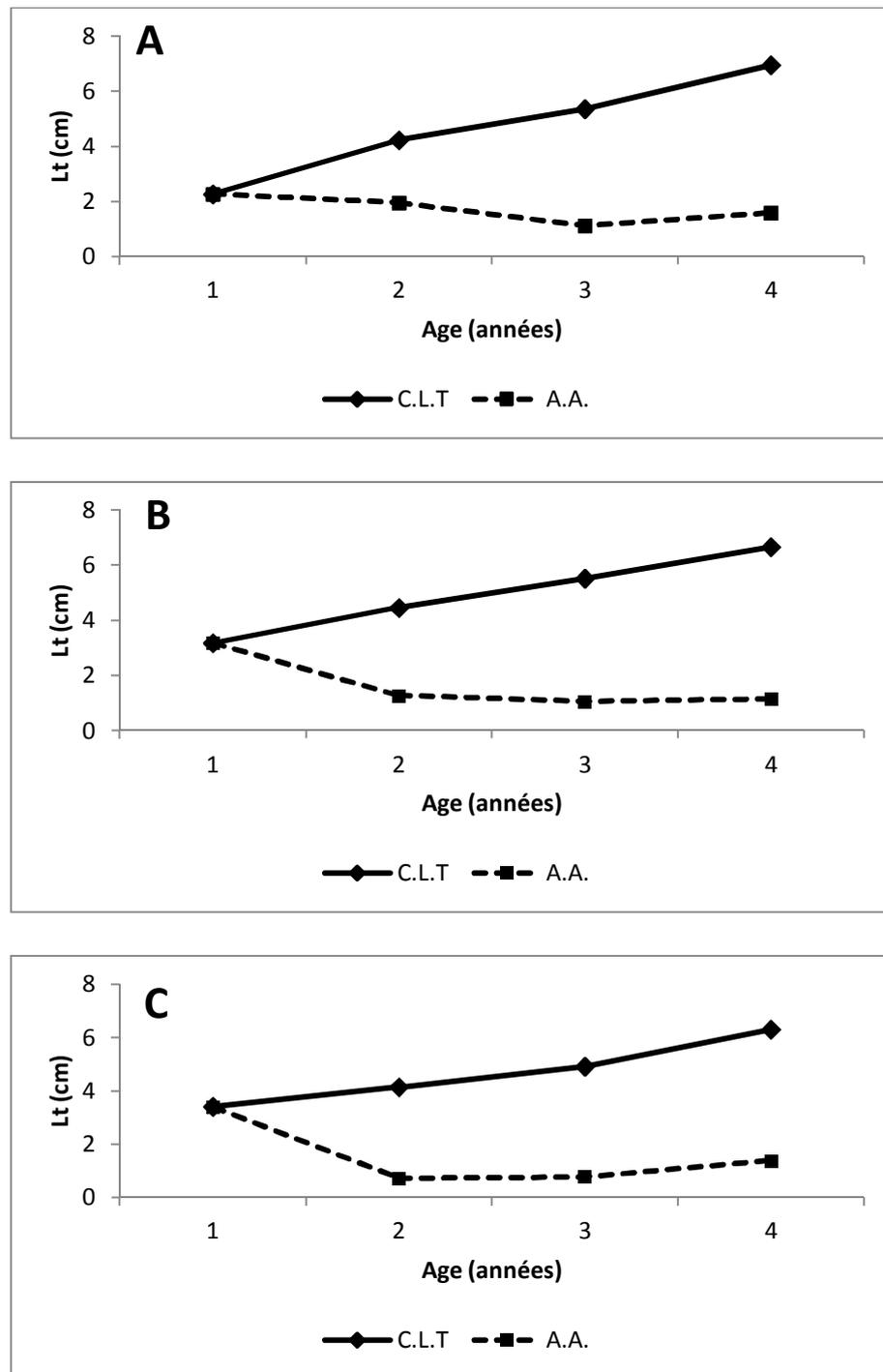


Figure 49. Croissance linéaire théorique (C.L.T.) et accroissement linéaire annuel (A.A.) chez la population totale (A), les femelles (B), et les mâles (C) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant la méthode de Bhattacharya (1967).

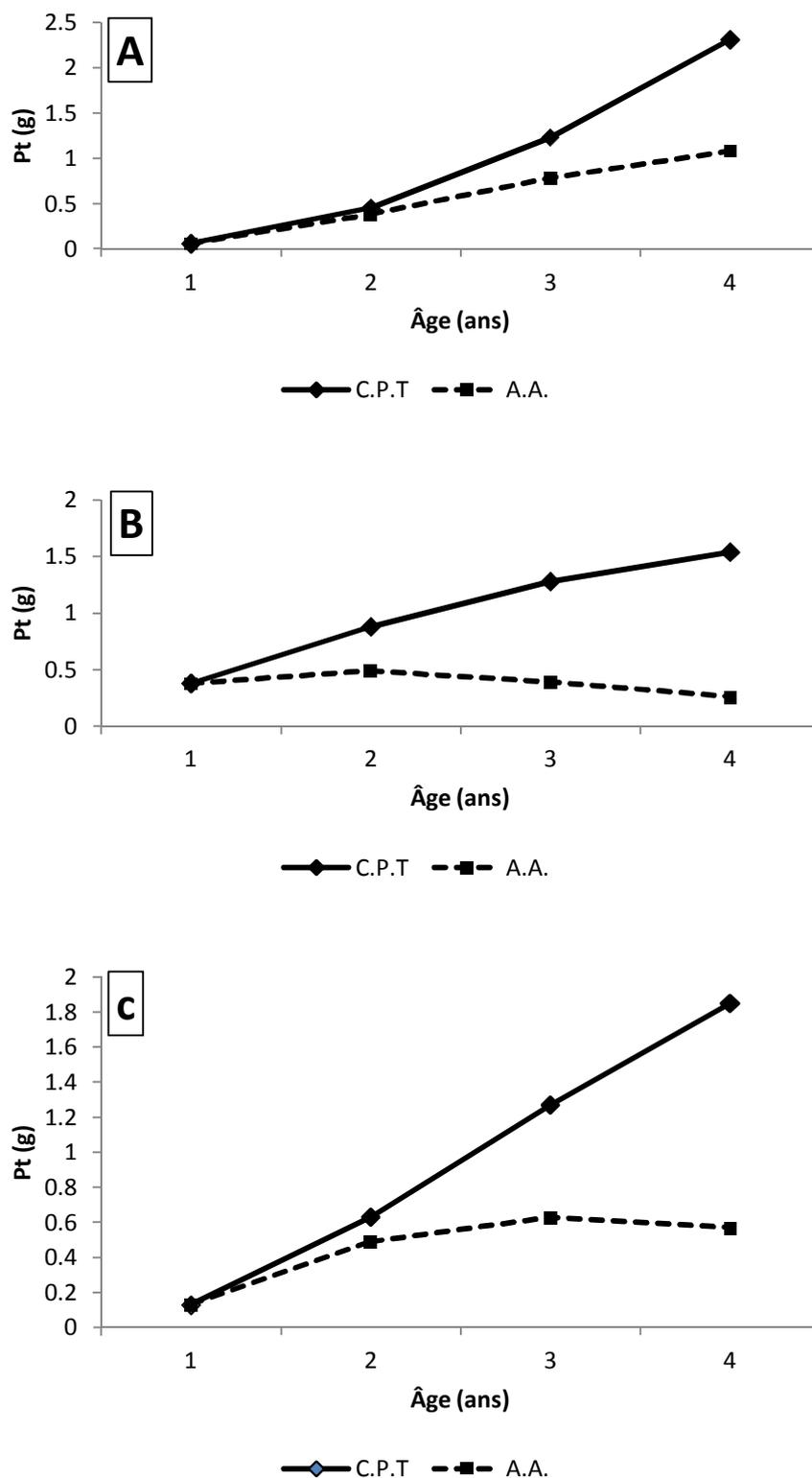


Figure 50. Croissance pondérale théorique (C.P.T) (g) et accroissement pondéral annuel (A.A) (g) chez la population totale (A), les mâles (B), et les femelles (C) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah, utilisant la méthode de Bhattacharya (1967).

Les différents paramètres de croissance et de la relation taille poids d'*Atherina boyeri* dans différentes régions de la Méditerranée et d'Atlantique sont présentés dans le tableau 38.

Tableau 38. Structure de l'âge, paramètres de la relation taille poids (a, b) et la croissance ( $L_{\infty}$ ,  $K$  et  $t_0$ ) chez *Atherina boyeri* dans différentes régions de la Méditerranée et d'Atlantique.

Localité et auteurs	Sexe	$L_{\infty}$ (cm)	$k$ ( $y^{-1}$ )	$t_0$ (ans)	$\Phi$	a	b	Âge
Bassin d'Arcachon, France (Castel <i>et al.</i> , 1977)	M+F	13,59	0,5		4,52	$4,58*10^{-3}$ - $8,24*10^{-3}$	2,89 - 3,21	(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Étang de Salses-Leucate, France (Marfin, 1982a)	M	8,37	0,85		4,08			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
	F	9,32	0,8		4,24			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Étang de Canet, France (Marfin, 1982a)	M	7,72	0,72		3,75			(0 <sup>+</sup> - 1 <sup>+</sup> )
	F	7,82	0,85		3,95			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Étang de Bourdigou, France (Marfin, 1982a)	M	9,33	0,59		3,93			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
	F	9,36	0,79		4,23			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Lagune Bardawil, Égypte (Gon et Ben-Tuvia, 1983)	M+F	42	2,93			$13,7*10^{-6}$	2,93	(0 <sup>+</sup> - 1 <sup>+</sup> )
Oldbury-upon-Severn, Angleterre (Palmer et Culley, 1983)	M+F	10,59	0,63		4,25	$2,48*10^{-6}$	3,36	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
English Channel (Henderson et Bamber, 1987)	M+F	13,8	0,7		4,89			(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Rivière Guadalquivir, Espagne (Fernandez-Delgado <i>et al.</i> , 1988)	M+F	8,98	1,19		4,56	$6,97*10^{-3}$ - $7,83*10^{-3}$	2,98	(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Lagune Aberthaw, Angleterre (Creech, 1992)	M+F	9,2	0,81		4,22			(0 <sup>+</sup> - 2 <sup>+</sup> )
Lac Trichonis, Grèce (Leonardos <i>et al.</i> , 1993)	M+F	12,32	0,374	0,017	4,03	$3,8*10^{-6}$	3,45	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Lagunes Mesolongi et Etolikon, Grèce (Leonardos et Sinis, 2000)	M	7,49	0,67	-0,46	3,62	$4,07*10^{-3}$	3,16	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
	F	11,99	0,23	-1,37	3,49	$4,26*10^{-3}$	3,11	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
	M+F	11,57	0,24	-1,27	3,46	$4,168*10^{-3}$	3,15	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
Lac Trichonis, Grèce (Leonardos, 2001)	M+F	11,24	0,42	-0,4	3,97	$3,6*10^{-3}$	3,18	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Lagune Mar Menor, Espagne (Andreu-Soler <i>et al.</i> , 2003)	M	8,19	0,91	-0,45	4,11	$6,25*10^{-6}$	3,11	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
	F	8,45	0,81	-0,61	4,05	$8,29*10^{-6}$	3,04	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
Estuaire de la rivière Mala Neretva, Croatie (Bartulović <i>et al.</i> , 2004)	M	9,91	0,97	-0,19	4,55	0,004	3,1	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	F	10,57	1,19	-0,006	4,88	0,003	3,26	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Système estuarien Vistonis, Grèce (Koutrakis <i>et al.</i> , 2004)	M+F	11,69	0,35	-0,99	3,86			(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	M	12,8	0,26	-1,64	3,75			(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	F	16,65	0,16	-1,9	3,79			(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Lac Iznik, Turquie (Özeren, 2009)	M	12,11	0,33	-0,28	3,87	0,004	3,06	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	F	15,53	0,21	-0,73	3,92	0,002	3,48	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	M+F	14,11	0,27	-0,49	3,98	0,004	3,20	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )

Suite Tableau 38.

Localité et auteurs	Sexe	$L_{\infty}$ (cm)	$k$ ( $y^{-1}$ )	$t_0$ (ans)	$\Phi$	a	b	Âge
Zones humides de Gomishan, Iran (Patimar <i>et al.</i> , 2009)	M	15,51	0,28	0,738	4,21	0,005	3,01	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
	F	16,27	0,27	0,727	4,26	0,005	3,06	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Lac Trasimeno, Italie (Lorenzini <i>et al.</i> , 2015)	M+F	10,03	0,18	-0,44	2,89	0,004	3,21	(0 <sup>+</sup> - 4 <sup>+</sup> )
Présente étude, lagune Mellah, Algérie <sup>a</sup>	M	9,49	0,31	-0,92	3,34	0,004	3,07	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
	F	11,67	0,17	-1,51	3,19	0,005	3,17	(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
Présente étude, lagune Mellah, Algérie <sup>b</sup>	M	9,68	0,3	-1,02	3,33			(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
	F	11,93	0,17	-1,55	3,24			(0 <sup>+</sup> - 3 <sup>+</sup> )
Présente étude, lagune Mellah, Algérie <sup>c</sup>	M+F	11,67	0,22	0,012	3,4			4
	F	7,68	0,61	-0,046	3,3			4
Présente étude, lagune Mellah, Algérie <sup>c</sup>	M	6,4	0,61	-0,525	3,22			4

a: Scalimétrie; b: otolithométrie; c: méthode indirecte de Bhattacharya

### 3. Discussion

Une des caractéristiques des athérines, est leurs courtes durées de vie. Il existe quatre groupes d'âge dans la lagune Mellah (0+ - 3+), comme c'est le cas pour les populations des Lagunes Mesolongi et Etolikon (Leonardos et Sinis, 2000) et la lagune Oldbury upon-Severn (Palmer et Culley, 1983). Cinq groupes d'âge (0+ - 4+) ont été observés dans le Lac Trichonis (Leonardos, 2001), dans le Lac Trasimène (Lorenzoni *et al.*, 2015) et par Henderson et Bamber (1987) dans certaines populations d'*A. boyeri* dans les eaux Anglaises, tandis que seulement trois classes d'âge (0+ - 2+) ont été observées dans la lagune Aberthaw (Crech, 1992) et dans le bassin d'Arcachon (Kiener et Spillmann, 1969; Castel *et al.*, 1977) (tab. 38). Les différents modes d'exploitation et/ou des conditions écologiques liées à la qualité de l'habitat, tels que la température, et la salinité pourraient expliquer ces variations.

Il se forme un seul anneau d'arrêt de croissance par an sur les écailles/otolithes d'*A. boyeri*. Sa formation a lieu en avril, il est visible en mai et est présent chez tous les spécimens capturés en juin. Ce résultat est similaire à ce qui a été trouvé pour les athérines de la lagune Aberthaw en Galles du Sud (Crech, 1992) et le Lac Trasimène (Lorenzoni *et al.*, 2015). Dans les lagunes Mesolongi et Etolikon (Leonardos et Sinis, 2000), la formation de l'anneau d'arrêt de croissance se produit entre février/mars, et l'anneau était présent dans tous les spécimens capturés en avril. Les mécanismes physiologiques spécifiques qui provoquent la formation des anneaux de croissance annuels sont mal compris, mais probablement incluent la température, la disponibilité de nourriture, et l'activité de reproduction (Weatherley et Gill, 1987). Dans notre cas, la formation de l'anneau de croissance annuel semble être associée principalement à la maturation des gonades qui se produit en mars et avril.

Le taux de croissance rapide et précoce d'*A. boyeri* observé dans la lagune Mellah au cours de la première année (60,6% de la longueur totale maximale) est typique de la plupart des athérines (Boscolo, 1970; Turnpenny *et al.*, 1981; Palmer et Culley, 1983; Henderson et Bamber, 1987; Fernandez-Delgado *et al.*, 1988; Creech, 1992). L'indice de performance de Munro et Pauly (1983) indique que les femelles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,19$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,24$ ) croît au même rythme que les mâles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,34$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,33$ ) dans la lagune Mellah. En comparant ces valeurs avec d'autres populations en Méditerranée et Atlantique (tab. 38), on peut voir que *A. boyeri* de la lagune Mellah peut être considérée comme étant celle qui croît le plus lentement, au même titre que la population du Lac Trasimène en Italie ( $\Phi = 2,89$ ) (Lorenzoni *et al.*, 2015). Ces différences peuvent être expliquées par la diversité de l'habitat, la quantité et la disponibilité de la nourriture, les facteurs climatiques et le contenu physico-chimique de l'eau, qui peuvent affecter directement la biologie des poissons (Özeren, 2009).

Le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids montre une croissance allométrique positive pour les mâles (3,077) et les femelles (3,176). Ceci va dans le même sens de ce qui a été trouvé dans de nombreuses études (Leonardos et Sinis, 2000; Leonardos, 2001; Andreu-Soler *et al.*, 2003; Bartulović *et al.*, 2004; Koutrakis *et al.*, 2004; Patimar *et al.*, 2009) (tab. 38). Cependant, Gon et Ben-Tuvia (1983) ont fait état d'une croissance allométrique négative d'*A. boyeri* dans la lagune Bardawil ( $b = 2,93$ ), ainsi que pour Bouriga *et al.*, (2011) dans les îles Kerkennah. Patimar *et al.*, (2009) ont mentionné que la variation de la valeur du coefficient d'allométrie parmi les populations d'une même espèce, peut être affectée par la situation géographique et les conditions environnementales.

## Chapitre II.

### Reproduction

#### Introduction

La reproduction des poissons est l'un des aspects les plus complexe de leur biologie. C'est un processus cyclique dont la périodicité est annuelle et souvent régie par les variations saisonnières des conditions environnementales qui agissent sur la maturation des gonades, sur le développement des caractères sexuels secondaires et sur le comportement reproducteur.

Les informations sur les caractéristiques et la stratégie de reproduction d'une espèce constituent les premières étapes d'évaluation de l'état de son stock et pour sa gestion (Hunter *et al.*, 1992; Campana et Thorrold, 2001; Marshall *et al.*, 2003; Joaquim *et al.*, 2008; Butler et Rowland, 2009; Reñones *et al.*, 2010).

Les aspects de la biologie d'*A. boyeri* ont été étudiés à divers endroits des côtes de la Méditerranée et de l'Atlantique Ouest de l'Europe (Castel *et al.*, 1977; Marfin, 1982a; Palmer et Culley, 1983; Henderson et Bamber, 1987; Fernandez-Delgado *et al.*, 1988; Creech, 1992; Andreu-Soler *et al.*, 2003). En Méditerranée orientale, les populations d'*A. boyeri* ont été étudiés seulement en Israël (Bardawil Lagoon: Gon et Ben-Tuvia, 1983); les côtes nord tunisiennes et les îles Kerkennah en Méditerranée occidentale (Bouriga *et al.*, 2011); dans l'Adriatique (Boscolo, 1970); le lac Trichonis en Grèce occidentale (Leonardos, 2001); les lagunes Mesolongi et Etolikon (Leonardos et Sinis, 2000). Aucune information n'est disponible concernant les populations d'athérines sur les côtes algériennes.

#### 1. Matériel et méthodes

##### 1.1. Indices utilisés

L'évolution des gonades s'appréhende, le plus souvent soit par l'étude d'échelles de maturation, ou par celles d'indices gonadiques. Nous avons opté pour cette seconde solution, les échelles de maturation semblant, dans le cas des mâles manquer de souplesse. L'étude de la variation saisonnière du rapport gonado-somatique (RGS) nous permet de suivre l'évolution des gonades des deux sexes et de préciser la période de reproduction (Marfin, 1981).

Pour cette étude, chaque poisson est mesuré au millimètre près. Après dissection, le foie et les gonades sont prélevés et pesés au centième de gramme près.

## 1.2. Distinction des sexes et apparition de la maturité sexuelle

*A. boyeri* ne présente pas de dimorphisme sexuel. En pleine période de reproduction, les femelles matures se distinguent aisément par leur abdomen dilaté. Le reste du temps l'observation directe de la gonade est nécessaire pour séparer les sexes.

Les athérines n'ont qu'une gonade: la droite. D'après Arru (1968), les embryons de 5mm de longueur totale possèdent deux crêtes génitales disposées symétriquement le long du mésentère dorsal. Seule, la crête droite évolue en gonade; l'extension de l'intestin ne permettant pas le développement de la crête gauche (fig. 51).

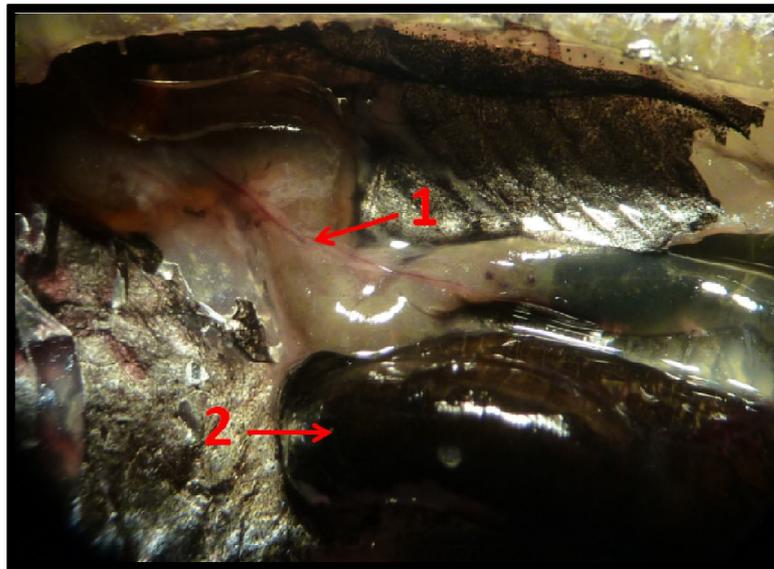


Figure 51. Photographie montrant une gonade gauche non développée (1), et une gonade droite développée (2) d'une femelle d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

Pour les juvéniles, la gonade est d'une apparence uniforme ressemblant à un fin cordon blanchâtre accolé à la partie latéro-dorsale droite du rectum. La gonade examinée par transparence au fort grossissement de la binoculaire, présente un aspect granuleux chez les femelles (à cause des ovocytes); les structures cellulaires ne sont, au contraire, pas discernables chez les mâles (Marfin, 1981).

Les gonades évoluent ensuite rapidement de manières différentes pour les deux sexes: alors que le testicule s'allonge, et conserve un aspect filamenteux de couleur blanchâtre, l'ovaire, lui, se renfle, tandis que sa paroi se pigmente progressivement.

A partir de la première reproduction, l'aspect de la gonade est fixé et, seul, varie son volume. La paroi de l'ovaire est d'un noir profond, alors que le testicule demeure d'un blanc laiteux en toute saison. A ce stade, l'examen macroscopique est suffisant pour distinguer les sexes.

Les différents stades du développement des gonades pour les deux sexes, sont présentés dans la figure 52.



Figure 52. Aspect des gonades chez les mâles et les femelles d'*A. boyeri* de la lagune Mellah; 1: aspect de la gonade femelle avant maturation (début de pigmentation); 2: aspect finale de la gonade femelle après maturation; 3: aspect finale de la gonade mâle après maturation.

### 1.3. Rapport gonado-somatique (RGS)

Le rapport gonado-somatique ou R.G.S. est défini par Bougis (1952) comme étant égal à « cent fois le poids des gonades divisé par le poids du corps éviscéré ». Il exprime le poids des gonades en pourcentage du poids du corps. Le RGS est calculé mensuellement pour chaque individu en utilisant l'expression suivante:

$$\text{RGS} = \frac{P_g}{P_e} \cdot 100$$

où:

$P_g$ : poids des gonades,  $P_e$ : poids éviscéré du poisson.

Ce rapport peut être considéré comme un véritable coefficient de maturation (Lahaye, 1972), dont la représentation graphique traduit correctement les différentes étapes de la maturation des gonades.

#### 1.4. Rapport hépato-somatique (RHS)

Le foie joue un rôle important dans les processus liés à l'élaboration des produits génitaux. Il a été démontré que chez les femelles de certains poissons, cet organe est responsable de la synthèse de vitellogénine, protéine qui est le principal précurseur du vitellus des œufs (Nunez, 1985). Le rapport hépato-somatique (RHS) est calculé pour chaque mois. Il est égal à cent fois le poids du foie sur le poids du corps (Bougis, 1952):

$$\text{RHS} = \frac{P_f}{P_e} \cdot 100$$

où:  $P_f$ : poids du foie,  $P_e$ : poids du corps éviscéré.

L'évolution saisonnière de ce rapport permet de quantifier les variations pondérales du foie au cours du cycle reproducteur. Bertin (1958) distingue deux types de poissons selon le mode de stockage et la mobilisation des substances de réserve au niveau de cet organe:

- les "poissons maigres", pour lesquels la maturation des gonades est précédée d'une importante accumulation de lipides dans le foie; ainsi, les valeurs maximales du RHS précèdent celles du RGS;
- les "poissons gras", pour lesquels l'accumulation de lipides s'effectue au niveau des muscles, le foie n'intervenant que dans la transformation de ces réserves lipidiques; dans ce cas le RHS évolue parallèlement au RGS.

#### 1.5. Sex-ratio

Le sex-ratio exprime la proportion en pourcentage d'individus mâles et femelles dans une population donnée. Il est donnée par la relation suivante:  $\text{SR} = (\text{nombre de mâles} / \text{nombre total}) \times 100$ . L'écart des valeurs observées du sex-ratio par rapport à la proportion théorique 50% est évalué par un test du chi-deux ( $\chi^2$ ) (Dagnelie, 1975); l'hypothèse nulle  $H_0$ : sex-ratio = 50% est testée par le calcul de la quantité:

$$\chi^2 = \left[ \frac{m^2}{F} + \frac{f^2}{F} \right] - n$$

où:

$m$ : nombre de mâles.

$f$ : nombre de femelles.

$n = m+f$ : nombre de mâles et de femelles dans l'échantillon.

$F = n/2$ : fréquence absolue théorique pour chaque sexe.

L'hypothèse nulle est rejetée au niveau de signification  $\alpha$  lorsque la valeur observée de  $\chi^2$  est supérieure ou égale à la valeur théorique  $\chi^2_{1-\alpha}$  de la distribution du  $\chi^2$  à  $n-1$  degré de liberté.

Le nombre d'individus étudiés pour la reproduction est de 1094 individus, les paramètres pris en considération sont: Lt = Longueur total; Pt = Poids total; Pf = Poids du foie; Pg = Poids des gonades; Pe = Poids éviscéré, et le Sexe.

### 1.6. Taille à la première maturité sexuelle

La taille à la première maturité sexuelle est estimée d'après l'évolution du pourcentage des poissons matures en fonction de leurs longueurs totales, en période de reproduction. Il s'agit de la taille à laquelle 50 % des individus présentent des signes d'activité sexuelle (gonades bien développées). Ces états sont définis macroscopiquement selon que la gonade fonctionne comme un testicule ou comme un ovaire. Les testicules contenant du sperme et les ovaires granuleux contenant des ovocytes indiquent le sexe et le stade de maturité sexuelle du poisson.

## 2. Résultats

### 2.1. Sex-ratio

Sur un total de 1402 poissons examinés, 523 (37,30%) sont des mâles ( $2,5 \text{ cm} \leq \text{Lt} \leq 8,5 \text{ cm}$ ,  $0,09 \text{ g} \leq \text{Pt} \leq 4,2 \text{ g}$ ), 770 (54,92%) sont des femelles ( $2,6 \text{ cm} \leq \text{Lt} \leq 8,5 \text{ cm}$ ,  $0,10 \text{ g} \leq \text{Pt} \leq 4,42 \text{ g}$ ) et 109 (7,77%) sont des juvéniles ( $2,3 \text{ cm} \leq \text{Lt} \leq 3 \text{ cm}$ ,  $0,05 \text{ g} \leq \text{Pt} \leq 0,16 \text{ g}$ ). Le sex-ratio global M: F est de 1: 1,6, il est significativement différente du rapport 1: 1 ( $\chi^2 = 47,18$ ,  $P < 0,05$ ).

L'étude des variations du sex-ratio en fonction des classes de tailles (A. 19; fig. 53), montre que les mâles sont plus fréquent dans les classes inférieurs de 1,5 cm à 4,5 cm avec une différence significative pour la classe 4,0 – 4,5 cm ( $\chi^2 = 4,165$ ,  $P < 0,05$ ) en faveur des mâles. Cependant pour les classes supérieures (de 4,5 cm à 8,5 cm), une nette domination des femelles est observée avec des valeurs significativement différentes pour les individus de plus 5 cm.

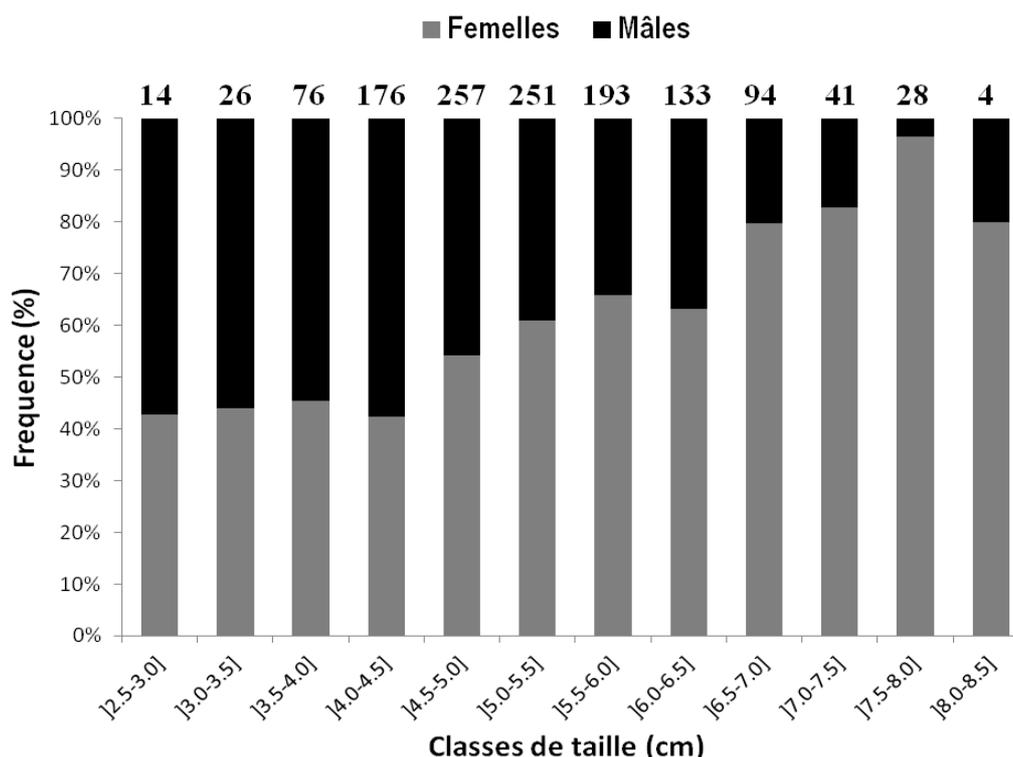


Figure 53. Evolution du sex-ratio en fonction de la taille d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

L'analyse de la variation du sex-ratio en fonction des saisons, pendant et hors période de reproduction (tab. 39, 40) montre qu'un certain équilibre est atteint au printemps (période de reproduction), alors que durant le reste des saisons, c'est les femelles qui dominent: hiver ( $\chi^2 = 4,64$ ,  $P < 0,05$ ), automne ( $\chi^2 = 57,60$ ,  $P < 0,05$ ) et en été ( $\chi^2 = 8,42$ ,  $P < 0,05$ ), ce qui correspond à la période hors reproduction.

Tableau 39. Variation du sex-ratio pendant et hors période de reproduction d'*Atherina boyeri* (N: effectif; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ ).

	Mâles (%)	Femelles (%)	N	$\chi^2_{\text{obs}}$
Période de reproduction	47,7	52,3	348	0,73
Hors période de reproduction	37,88	62,22	945	56,46***

Tableau 40. Evolution saisonnière du sex-ratio chez *Atherina boyeri* de la lagune Mellah. (N: effectif; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ )

Saison	Femelles (%)	Mâles (%)	N	$\chi^2_{\text{obs}}$
Hiver	56,27	43,73	295	4,64*
Automne	69,86	30,14	365	57,60***
Printemps	52,29	47,71	348	0,73
Été	58,59	41,41	285	8,42**
Annuel	59,55	40,45	100	47,18***

## 2.2. Rapport gonado-somatique

L'analyse de variance (ANOVA) des changements mensuelles du rapport gonado-somatique (fig. 54; A. 20) montre des différences significatives (Anova,  $F_{\text{mâles}} = 65,382$ ,  $F_{\text{femelles}} = 145,23$ ,  $P < 0,05$ ), les valeurs enregistrées chez les femelles sont supérieures par rapport à celles enregistrées chez les mâles. La période de reproduction se prolonge à partir de février (1,3% pour les mâles et 2,48% pour les femelles) à juin (2,2% pour les mâles et 1,95% pour les femelles). La période de repos commence en juillet avec de faibles valeurs de RGS (1,43% pour les mâles et 1,54% pour les femelles). Les gonades atteignent un taux maximum de développement pondéral en avril ( $RGS_{\text{femelles}} = 11,19\%$ ,  $RGS_{\text{mâles}} = 5,84\%$ ).

## 2.3. Rapport hépto-somatique

Les valeurs moyennes mensuelles du rapport hépto-somatique (fig. 55; A. 21) montrent des fluctuations sensibles liées au cycle de reproduction de l'espèce. Les valeurs du RHS sont supérieures chez les femelles, par rapport à celles observées chez les mâles.

L'analyse de variance des changements mensuelles du rapport hépto-somatique, montre des différences significatives (Anova,  $F_{\text{mâles}} = 14,15$ ,  $F_{\text{femelles}} = 51,19$ ,  $P < 0,05$ ) L'évolution du RHS suit le même pattern que celui du RGS. Chez les femelles le RHS augmente progressivement de septembre ( $RHS = 0,86\%$ ) jusqu'à avril ( $RHS = 3,49\%$ ), quand a celui des mâles de aout ( $RHS = 0,8\%$ ) jusqu'à mars ( $RHS = 2,72\%$ ) ou il atteint sont maximum. Ces variations sont plus faibles chez les mâles et plus perceptible chez les femelles.

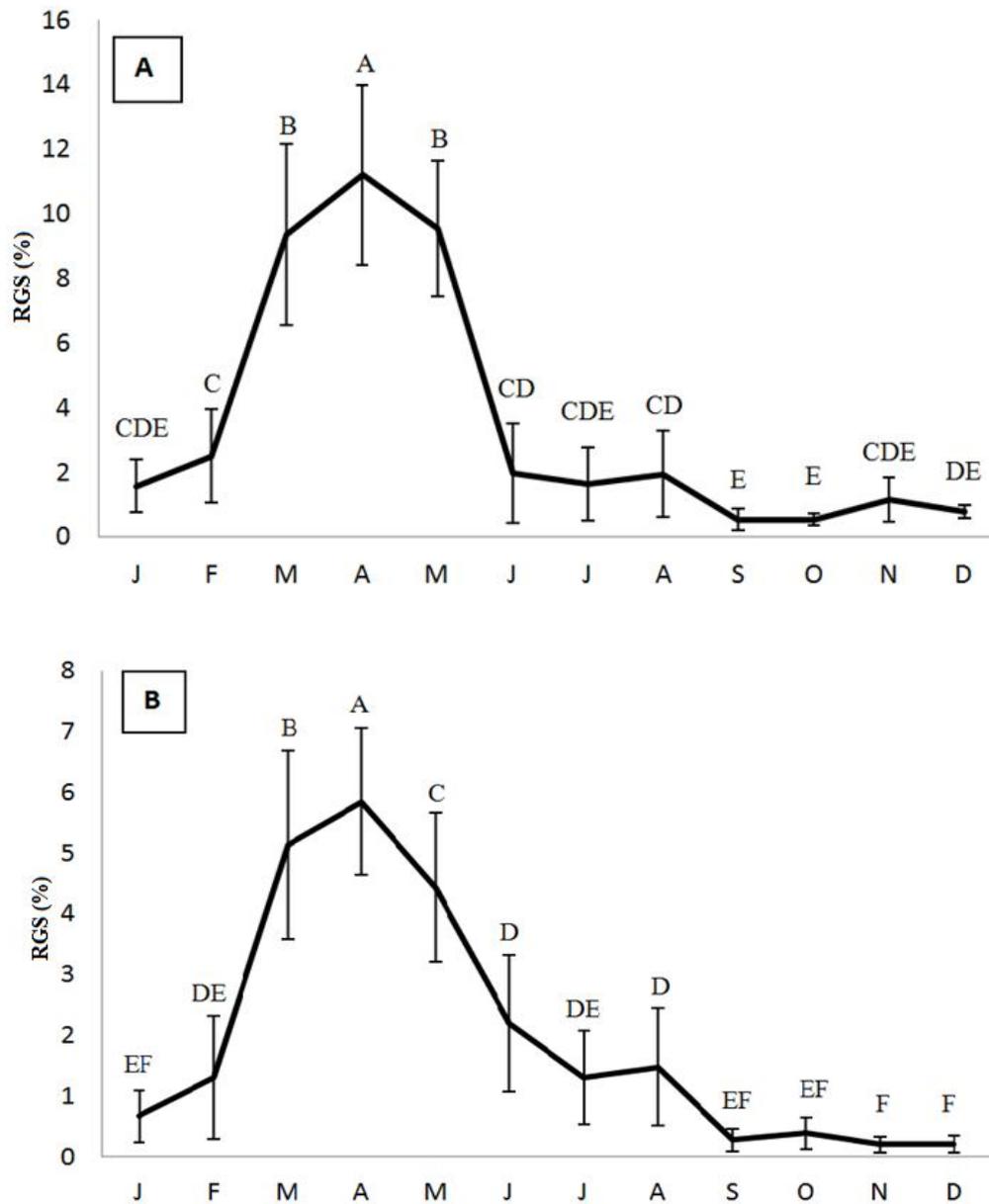


Figure 54. Évolution mensuelle du RGS, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

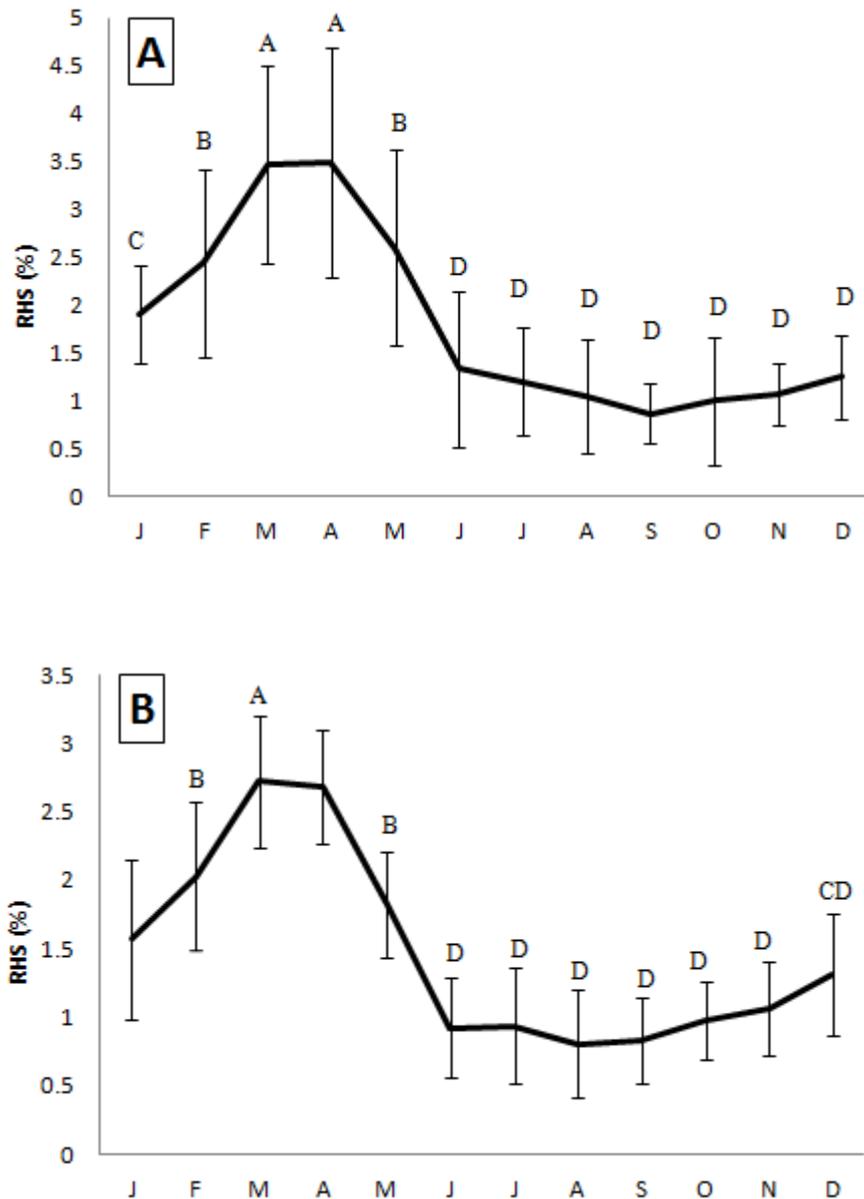


Figure 55. Évolution mensuelle du RHS, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah.

#### 2.4. Taille à la première maturité sexuelle

L'évolution de la fréquence des individus matures en fonction de la longueur totale nous a permis de situer la taille des poissons à leur première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) (fig. 56; A. 22). La taille à laquelle 50% de la population a atteint sa maturité sexuelle est de 4,35 cm pour les femelles (fig. 56 A), et au-delà de 6,7 cm tous les individus sont matures. Pour les mâles (fig. 56 B) la  $L_{50}$  est de 4,2 cm et au-delà de 6,2 cm tous les individus sont matures. Pour les deux sexes, les individus de moins de 3 cm, sont tous immature.

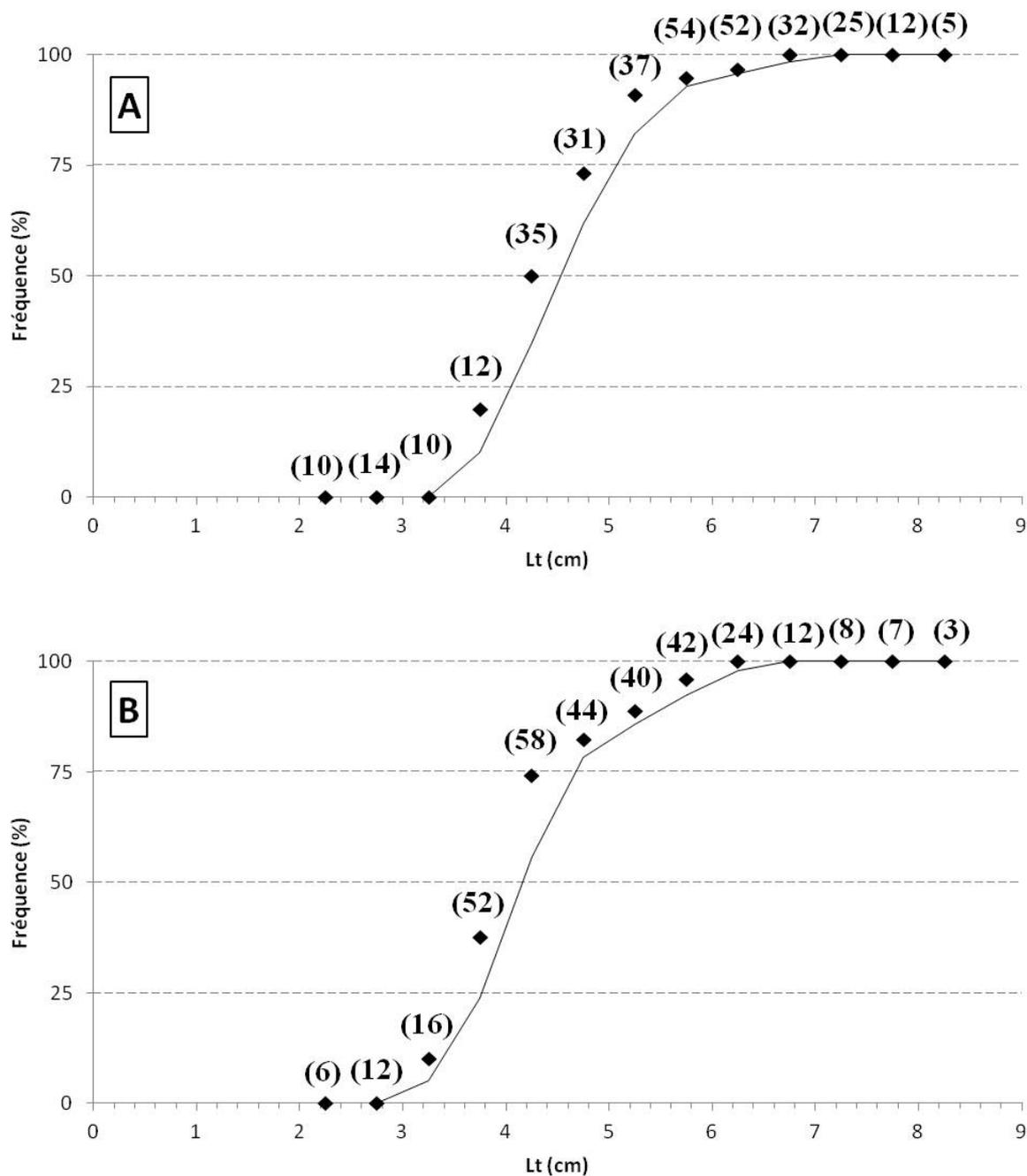


Figure 56. Evolution de la fréquence (%) des individus matures en fonction de la taille, chez les femelles (A), et chez les mâles (B) d'*A. boyeri* de la lagune Mellah. Le nombre entre parenthèse indique l'effectif.

### 3. Discussion

Le sex-ratio global (M: F, 1: 1,6) est significativement en faveur des femelles ( $P < 0,05$ ). Il est similaire à ce qui a été observé dans le Lac Iznik en Turquie (1: 1,7) (Özeren, 2009). La dominance des femelles a également été signalée dans les lagunes Mesolongi et Etolikon (1: 1,24, Leonardos et Sinis, 2000), dans le système Mala Neretva (1: 1,30; Bartulović *et al.*, 2004), dans le système estuarien du Nord de la Grèce (1: 2,5; Koutrakis *et al.*, 2004) et dans la lagune Gomishan (1: 1,30; Patimar *et al.*, 2009). Aucun écart significatif du sex-ratio n'a été observé dans la rivière Guadalquivir (Espagne) (Fernandez-Delgado *et al.*, 1988) ou le canal de Bristol (Creech, 1992). Un sex-ratio inégale a été observée en fonction des classes de taille où les mâles sont plus fréquents dans les classes inférieures de 1,5 cm à 4,5 cm, alors qu'une nette domination des femelles pour les classes supérieures, de 4,5 cm à 8,5 cm est observée. Cela peut indiquer que chez *A. boyeri* les mâles meurent à un âge plus jeune que les femelles. Un sex-ratio équilibrée est atteinte dans les mois de printemps, ce qui coïncide avec la période de reproduction. Pendant le reste de l'année, le sex-ratio est en faveur des femelles. Cela peut être dû à une tendance des individus d'*A. boyeri* à former des bancs sexuellement inégaux (Creech, 1992), ou indique l'existence de migrations de reproduction à petite échelle des mâles et des femelles. Il a été démontré que les femelles, en particulier dans des conditions environnementales extrêmes, ont un taux de survie plus élevé que les mâles (Leonardos et Sinis, 1999).

Selon la variation de l'indice gonado-somatique (RGS), la maturation des gonades a lieu entre février et avril, et la ponte a lieu en mai et juin. Des périodes similaires sont enregistrés dans les Lagunes saumâtres du sud de la France (Marfin, 1982a), l'Île-Kerkenah en Tunisie (Bouriga *et al.*, 2011), dans les lagunes Mesolongi et Etolikon en Grèce (Leonardos et Sinis, 2000) et dans la lagune Gomishan en Iran (Patimar *et al.*, 2009). Dans le Lac Trasimène (Italie), Lorenzoni *et al.*, (2015) a observé une période de reproduction prolongée, qui s'étend de mars à septembre. Fernandez-Delgado *et al.*, (1988) ont mentionné deux périodes de frai (d'avril à juillet et en septembre) pour les athérines Atlantique étudiée par Castel *et al.*, (1977). Ces différences peuvent être le résultat des différences en latitude et les conditions climatiques (Fernandez-Delgado *et al.*, 1988), il est connu que les propriétés de reproduction d'une espèce varient en fonction des caractéristiques écologiques des systèmes d'eau qu'elles habitent (Nikolsky, 1980). Le rapport hépato-somatique, montrent des variations liées au cycle reproducteur.

La longueur totale de la première maturité sexuelle des mâles et des femelles est de 4,20 cm et 4,35 cm respectivement, correspondant à l'âge 1 an. Cette taille a été signalé étant égale à 3,40 cm pour les femelles dans les lagunes Mesolongi et Etolikon (Leonardos et Sinis, 2000), 5,20 cm dans la rivière Mala Neretva (Bartulović *et al.*, 2006), et à un an pour les deux sexes dans le Lac Iznik en Turquie (Özeren, 2009). Gon et Ben-Tuvia (1983) ont rapporté que la population d'athérine de la côte méditerranéenne de la péninsule du Sinaï peut atteindre la maturité sexuelle à l'âge de 2-3 mois, en raison du comportement "batch spawner" d'*A. boyeri*.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

---

## Conclusion générale

*Atherina boyeri* est un poisson téléostéen peu longévif, eurytherme et euryhalin. Cette espèce habite les eaux côtières et estuariennes, y compris les lagunes côtières et plus rarement les eaux intérieures. Elle est commune dans la Méditerranée et les mers adjacentes, et est composée de populations locales semi-isolées, qui peuvent être différentes les unes des autres par rapports à leurs traits biologiques.

Le présent travail est en partie consacré à l'étude comparée des athérines appartenant au complexe *Atherina boyeri*, utilisant la morphologie somatique (14 paramètres métriques et neuf caractères numériques), la forme des otolithes ainsi que la génétique (trois marqueurs mitochondriaux: CR, *Cyt b*, 16S, et un marqueur nucléaire: S7) comme outils de différenciation. Elle aborde également et de manière ciblée la biologie d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah.

La différenciation entre les populations d'*Atherina boyeri* de milieux différents utilisant différents outils, nous a permis de mettre en évidence trois espèces différentes, une espèce exclusivement de milieux lagunaires et deux espèces marines (ponctuée et non ponctuée sur les flancs). Des différences entre les populations lagunaires sont également observées. L'étude de la morphométrie somatique d'*Atherina boyeri* met en évidence trois groupes distincts, où la population de l'oued Ziama et celle marine ponctuée du golfe de Annaba forment deux groupes distincts, le troisième groupe étant formé par la population de la lagune Mellah, l'étang de Thau, l'étang de Mauguio, la lagune de Bizerte et la population marine non ponctuée du golfe de Annaba. En outre, les caractères méristiques présentent des différences significatives entre ces populations et permettent la différenciation entre les individus des différents habitats, où nous avons été en mesure de séparer les individus marins non ponctués du golfe de Annaba des autres populations échantillonnées, présentant pour certains caractères des moyennes assez singulières. Ceci concerne le nombre de rayons de la nageoire pectorale, le nombre d'écailles de la ligne latérale, le nombre de branchiospines inférieures, supérieures et totale, ou encore le nombre de vertèbres. Les différences entre les différentes populations échantillonnées concerne la plupart des 13 caractères étudiés, et selon le paramètre pris en considération, elles sont plus ou moins prononcées et peuvent atteindre un niveau de différence raciale (24,8%) ou sub-spécifique (10,5%).

L'analyse de la forme des otolithes, nous offre plus de précision quant à la discrimination entre populations. Cinq groupes ont été mis en évidence: en plus des deux groupes distincts

déterminés avec la morphométrie somatique, un troisième groupe comprenant la population marine non ponctuée du golfe de Annaba est mis en évidence. De plus, on peut observer une structuration au sein des populations lagunaires, où deux groupes sont formés: le premier comprend les populations de la lagune Mellah et l'Étang de Mauguio, le deuxième ceux de la lagune de Bizerte et de l'Étang de Thau.

Les résultats moléculaires pour les trois marqueurs d'ADNmt, utilisant différentes méthodes de construction d'arbres, sont similaires et nous permettent de distinguer cinq groupes séparés. Deux d'entre eux correspondent à deux espèces déjà reconnues (*A. hepsetus* et *A. presbyter*), les trois autres clades correspondaient au complexe *A. boyeri*, avec un clade principal (*A. lagunae*) regroupant les échantillons lagunaires (Bizerte, Mauguio, Mellah) et d'eau douce (oued Ziama et oued Mafragh), ainsi que deux autres clades, l'un regroupant les populations marines ponctuées (*A. punctata*) et l'autre les populations marines non ponctuées (*A. boyeri*). Ces clades sont soutenus par des valeurs élevées de bootstraps et de probabilités à posteriori. La divergence observée entre les trois derniers clades est comparable à celle séparant *A. presbyter* et *A. hepsetus*, ceci est de même pour le nombre moyen de substitutions nucléotidiques qui est pour tous les marqueurs plus élevé lors de la comparaison entre les différentes espèces appartenant au complexe *Atherina boyeri*, soutenant ainsi le potentiel statut d'espèces pour ces différentes formes.

Nos résultats sur la différenciation entre les différentes populations d'athérines, renforcent le statu d'espèces des trois formes méditerranéens traditionnellement inclus dans le complexe *A. boyeri*, ceci en utilisant à la fois la morphologie somatique, la forme des otolithes et la génétique. Et mettent en évidence qu'une description formelle et une définition des limites de distribution géographiques pour cette espèce, devrait être considérée comme une priorité, avec d'autres études phylogéographiques poussées incluant un échantillonnage plus large et des marqueurs moléculaires supplémentaires.

L'étude de la variation mensuelle de l'accroissement marginal des écailles/otolithes nous a permis de démontrer la discontinuité de la croissance d'*Atherina boyeri* où un seul anneau d'arrêt de croissance est formé par an; ce dernier est évident en avril, visible en mai et est présent chez tous les spécimens capturés en juin. L'âge des poissons est déterminé par des méthodes directes scalimétrie/otolithométrie et par une méthode indirecte: Bhattacharya (1967). Il existe quatre groupes d'âge dans la lagune Mellah (0+ - 3+), avec une dominance des individus d'un an (50 %). Le rythme de croissance observé est parfaitement décrit par le modèle mathématique de von Bertalanffy. La comparaison des paramètres de croissance de

von Bertalanffy ( $L_{\infty}$ ,  $k$ ,  $t_0$ ) et de l'indice de performance de croissance ( $\phi$ ) démontre une croissance relativement lente de la population de la lagune Mellah par rapport à celles de la Méditerranée ou de l'Atlantique.

Le sex-ratio global (M:F, 1:1,6) est significativement en faveur des femelles, et est inégale en fonction des classes de taille, en faveur des mâles pour les individus inférieurs à 4,5 cm et en faveur des femelles pour ceux de plus de 4,5 cm. Le sex-ratio atteint un équilibre dans les mois de printemps, ce qui coïncide avec la saison de frai. Pendant le reste de l'année, le sex-ratio est en faveur des femelles.

D'après la variation de l'indice gonado-somatique (RGS), la maturation des gonades a lieu entre février et avril et la ponte a lieu en mai et juin. Les variations du rapport hépatosomatique (RHS) semblent liées à celles du RGS. La longueur totale à la première maturité sexuelle des mâles et des femelles est de 4,20 cm et 4,35 cm respectivement, correspondant à l'âge 1 an.

Ces résultats représentent les premières données sur la biologie d'*Atherina boyeri* dans le Sud-ouest de la Méditerranée occidentale. Une étude plus approfondie sur les habitudes alimentaires et l'écologie de cette espèce est nécessaire afin de rationaliser son exploitation éventuelle, à l'image de ce qui se pratique dans d'autres lagunes de Méditerranée. Par ailleurs, la reconnaissance du statut d'espèces d'*A. lagunae*, *A. punctata* et *A. boyeri*, implique inévitablement l'acquisition d'informations complètes et précises sur leurs traits biologiques, leur écologie et leur comportement. Ces données permettront d'appuyer nos conclusions relatives à la différenciation de ces espèces et seront la base nécessaire à une exploitation rationnelle des stocks disponibles et aux programmes de conservation à mettre en place.

## **BIBLIOGRAPHIE**

---

**Références bibliographiques**

- Aguirre H., Lombarte A., 1999. Ecomorphological comparisons of sagittae in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *Journal of Fish Biology*, 55: 105-114.
- Alheit J., Hagen E., 1997. Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fisheries Oceanography*, 6: 130-139.
- Almada F., Almada V., Guillemaud T., Wirtz P., 2005. Phylogenetic relationships of the north-eastern Atlantic and Mediterranean blenniids. *Biological Journal of the Linnean Society*, 86: 283-295.
- Andreu-Soler A., Oliva-Paterna F.G., Fernandez-Delgado C., Torralva M., 2003. Age and growth of the sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso 1810), in the Mar Menor coastal lagoon (SE Iberian Peninsula). *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 202-208.
- Annabi A., Said K., Reichenbacher B., 2013. Inter-population differences in otolith morphology are genetically encoded in the killifish *Aphanius fasciatus* (Cyprinodontiformes). *Scientia Marina*, 77: 269-279.
- Anonyme, 1996. Etude d'extension du port de la pêche de Stora. Avant projet sommaire. Rapport, juillet, 1996: 13 p.
- Anonyme, 2006. Atlas des parcs nationaux algériens ([www.asal.dz/files/atlas/Parcs%20nationaux1.pdf](http://www.asal.dz/files/atlas/Parcs%20nationaux1.pdf)).
- Arru E., 1963. Formazione della gonade unica e modalita del differenziamento sessuale in *Atherina mochon*. Cuv. *Bollettino di Zoologia*, 35: 421-441.
- Astolfi L., Dupanloup I., Rossi R., Bisol P.M., Faure E., Congiu L., 2005. Mitochondrial variability of sand smelt *Atherina boyeri* populations from north Mediterranean coastal lagoons. *Marine Ecology Progress Series*, 297: 233-243.
- Astraldi M., Balopoulos S., Candela J., Font J., Gacic M., Gasparini G.P., Manca B., Theocharis A., Tintore J., 1999. The role of straits and channels in understanding the characteristics of Mediterranean circulation. *Progress in Oceanography*, 44: 65-108.
- Bahri-Sfar L., Ben Hassine O.K., 2009. Clinal variations of discriminative meristic characters of sea bass, *Dicentrarchus labrax* (Moronidae, Perciformes) populations on Tunisian coasts. *Cybium*, 33: 211-218.
- Bailey K.M., 1997. Structural dynamics and ecology of flatfish populations. *Journal of Sea Research*, 37: 269-280.

- Bamber R., Henderson P.A., 1985. Morphological variation in British atherinids, and the status of *Atherina presbyter*, Cuvier (Pisces, Atherinidae), *Biological Journal of the Linnean Society*, 25: 61-67.
- Bandelt H.J., Forster P., Röhl A., 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular biology and evolution*, 16: 37-48.
- Bang A., Grønkjær P., 2005. Otolith size-at-hatch reveals embryonic oxygen consumption in the zebra fish *Danio rerio*. *Marine Biology*, 147: 1419-1423.
- Bartulović V., Glamuzina B., Conides A., Dulcic D., Njire D., Kozul V., 2004. Age, growth, mortality and sex ratio of sand smelt, *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces: Atherinidae) in the estuary of the Mala Neretva River (middle-eastern Adriatic, Croatia). *Journal of Applied Ichthyology*, 20: 427-430.
- Bauchot M.L. et Pras A., 1980. Guide des poissons marins. Delachaux et Niestlé Editeurs, Lausanne - Paris, 427 pp.
- Begg G.A., Overholtz W.J., Munroe N.J., 2001. The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks on George Bank. *Fishery Bulletin*, 99: 1-14.
- Begg G.A., Brown R., 2000. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank Based on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129: 935-945.
- Begg G.A., Waldman J.R., 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research*, 43: 35-44.
- Béjaoui B., Harzallah A., Moussa M., Chapelle A., Solidoro C., 2008. Analysis of hydrobiological pattern in the Bizerte lagoon (Tunisia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80: 121-129.
- Bertin L., Arambourg C., 1958. Super Ordre des Téléostéens (Teleostei), *Traité de zoologie*, 13: 2204-2500.
- Bhattacharya C.G., 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics* 23, 115-135.
- Bianchi C.N., Morri C., Chiantore M., Montefalcone M., Parravicini V., Rovere A., 2012. Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change. Life in the Mediterranean Sea: a look at habitat changes. Nova Science Publishers, New York, 1-55.

- Bolles K., Begg G., 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in US waters of the northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. *Fishery Bulletin*, 98: 451-462.
- Borsa P., Naciri M., Bahri L., Chikhi L., Garcia de Leon F.J., Kotoulas G., Bonhomme F., 1997. Zoogéographie infra-spécifique de la Mer Méditerranée: analyse des données génétiques populationnelles sur seize espèces atlanto-méditerranéennes (Poissons et Invertébrés). *Vie et Milieu*, 47: 295-305.
- Boscolo L., 1970. Osservazioni sulla biologia e sulla pesca dell' *Atherina boyeri* Risso 1810 (Osteichthyes Atherinidae) vivente nelle acque dell'alto Adriatico. *Bollettino di Pesca Piscicoltura e Idrobiologia*. 25: 61-79.
- Bouchereau J.L., Quignard J.P., Tomasini J.A., Joyeux J.C., Capape C., 1989. La population de *Pomatoschistus minutus* (Pallas, 1770) de l'étang de Manguio, France. Paramètres démographiques et croissance individuelle. *Cahiers de Biologie Marine*, 30: 487-514.
- Boudinar A.S., Chaoui L., Mahe K., Cachera M., Kara M.H., 2015. Habitat discrimination of big scale sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Atheriniformes: Atherinidae) in eastern Algeria using somatic morphology and otolith shape. *Italian Journal of Zoology*, 82: 446-453.
- Bougis P., 1952. Rapport hépato-somatique et rapport gonado-somatique chez *Mullus barbatus* L. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 74: 326-330.
- Bourehail N., Morat F., Lecomte-Finiger R., Kara M.H., 2015. Using otolith shape analysis to distinguish barracudas *Sphyraena sphyraena* and *Sphyraena viridensis* from the Algerian coast. *Cybium*, 39: 271-278.
- Bouriga N., Cherif M., Hajjej G., Selmi S., Quignard J.P., Faure E., Trabelsi M., 2011. Growth, reproduction and seasonal variation in the fatty acid composition of the sand smelt *Atherina sp.* from kerkennah islands, Tunisia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6: 322-333.
- Bouriga N., Selmi S., Trabelsi M., Aurelle D., Quignard J.P., Barthelemy R., 2009. Lagoonal sand smelts (*Atherina lagunaea*, teleostei, atherinidae) inhabit marine shallow waters of the coasts of djerba island (Tunisia). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer*, 36: 59-65.
- Bowers A.B., Naylor E., 1964. Occurrence of *Atherina boyeri* Risso in Britain. *Nature*, 202: 318.

- Butler G.L., Rowland S.J., 2009. Using underwater cameras to describe the reproductive behavior of the endangered eastern freshwater cod *Maccullochella ikei*. *Ecology of Freshwater Fish*, 18: 337-349.
- Cabo F.L., 1979. Ictiología del Mar Menor (Murcia): Los Fisóstomos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia, 229 pp.
- Cabral H.N., Marques J.F., Rego A.L., Catarino A.I., Figueiredo J., Garcia J., 2003. Genetic and morphological variation of *Synaptura lusitanica* Capello, 1868, along the Portuguese coast. *Journal of Sea Research*, 50: 167-175.
- Cadrin S.X., Friedland K.D., Waldman J.R., 2005. Stock identification methods: applications in Fishery Science. Elsevier Academic Press, 719 pp.
- Cammarata M., Mauro A., Mazzola A., Scilipoti D., Arculeo M., Parrinello N., 1996. A biochemical genetic study of isoenzyme polymorphism within and between two populations of *Atherina boyeri* Risso. *Genetika*, 32: 1220-1224.
- Campana S.E., Casselman J.L., 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50: 1062-1083.
- Campana S.E., Thorrold S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 30-38.
- Cantatore P., Roberti M., Pesole G., Ludovico A., Milella F., Gadaleta M.N., Saccone C., 1994. Evolutionary analysis of cytochrome b sequences in some Perciformes evidence for a slower rate of evolution than in mammals. *Journal of Molecular Evolution*. 39: 589-597.
- Capoccioni F., Costa C., Aguzzi J., Menesatti P., Lombarte A., Ciccotti E., 2011. Ontogenetic and environmental effects on otolith shape variability in three Mediterranean European eel (*Anguilla anguilla*, L.) local stocks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 397: 1-7.
- Cardinale M., Doering-Arjes P., Kastowsky M., Mosegaard H., 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 158-167.
- Cassie R.M., 1954. Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distributions. *Marine and Freshwater Research*, 5: 513-522.
- Castel J., Cassifour P., Labourg J., 1977. Croissance et modifications du régime alimentaire d'un téléostéen mugiliforme: *Atherina boyeri* Risso, 1810 dans les étangs saumâtres du bassin d'Arcachon. *Vie et Milieu*, 27: 385-410.

- Castonguay M., Simard P., Gagnon P., 1991. Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) stock discrimination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48: 296-302.
- Chambers C.L., Payne J.F., Kennedy M.L., 1979. Geographic variation in the dwarf crayfish, *Cambarellus puer* Hobbs (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, 36: 39-55.
- Chaoui L., Gagnaire P.A., Guinand B., Quignard J.P., Tsigenopoulos C., Kara M.H., 2012. Microsatellite length variation in candidate genes correlates with habitat in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Molecular Ecology*, 21: 5497-5511.
- Chaoui L., Kara M.H., Faure E., Quignard J.P., 2006. L'ichtyofaune de la lagune du Mellah (Algérie Nord-Est): diversité, production et analyse des captures commerciales. *Cybium*, 30: 123-132.
- Chaoui L., Kara M.H., Quignard J.P., Faure E., Bonhomme, F., 2009. Forte différenciation génétique de la daurade *Sparus aurata* (L., 1758) entre les deux rives de la Méditerranée occidentale. *Comptes Rendus Biologies*, 332: 329-335.
- Chaoui L., Quignard J.P., Kara M.H., 2001. Différenciation morphologique de deux populations marine et lagunaire de daurade *Sparus aurata* (Linné, 1785). Rapport de la Commission Internationale pour l'exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, 36: 371.
- Chikhaoui M.A., Sakka Hlaili A., Hadj Mabrouk H., 2008. Réponses saisonnières du phytoplancton aux rapports d'enrichissements N:Si:P dans la lagune de Bizerte (Sud-Ouest de la Méditerranée). *Comptes Rendus Biologies*, 331: 389-408.
- Chlaida M., 2009. Variabilité allozymique associée au flux migratoire des populations de sardine, *Sardina pilchardus*, le long de la cote nord ouest africaine. Thèse Doct., Univ. Mohammed V – Agdal, Rabat. 96 pp.
- Chow S., Hazama K., 1998. Universal PCR primers for S7 ribosomal protein gene introns in fish. *Molecular Ecology*, 7: 1247-1263.
- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Nike Bianchi C., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froggia C., Galil B.S., Gasol J.M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M.S., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., López-Fé de la Cuadra C.M., Lotze H.K., Martin D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J.I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R., Voultsiadou E., 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE*, 5: e11842.

- Colura R.L., King T.L., 1995. Using scale and otolith morphologies to separate spotted seatrout (*Cynoscion nebulosus*) collected from two areas within Galveston Bay. In: Recent Developments in Fish Otolith Research (Secor D.H., Dean J.M. & Campana S.E., eds), Univ. of South Carolina Press, Columbia. 617-628.
- Crampton J.S., 1995. Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves, practical considerations. *Lethaia*, 28: 179-186.
- Creech S., 1992. A study of the population biology of *Atherina boyeri* Risso, 1810 in Aberthaw Lagoon, on the Bristol Channel, in South Wales. *Journal of fish biology*, 41: 277-286.
- Daget J., Le Guen J.C., 1975b. Dynamique des populations exploitées de poissons. In : Problèmes d'écologie: la dynamique des populations de vertébrés. Lamotte M., Bourlière F. (eds.), Masson et Cie, Paris : 395-443.
- Dagnelie P., 1975. Théorie et méthodes statistiques, applications agronomiques: Vol. 2: Les méthodes de l'inférence statistique. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 463 pp.
- De Casabianca M.L., Samson-Kechacha F.L., Bone C., 1991. Etude spatiotemporelle des sels nutritifs et des principales variables hydrobiologiques dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie). *Mesogée*, 51: 15-23.
- Dieuzeide R., Novella M., Roland J., 1955. Catalogue des poissons des côtes Algériennes. Bull. Stn.Aquic. *Pêche Castiglione*, 3: 1-384.
- Do-Chi T., 1977. Détermination statistiques de l'âge: quelques méthodes de décomposition d'un échantillon en composantes gaussiennes. *Océanis*, 3: 503-527.
- Draredja B., 2007. Structure et fonctionnement d'un écosystème lagunaire méditerranéen: lagune Mellah (El Kala, Algérie). Thèse Doct. Etat, Univ. Annaba. 225 p.
- Draredja B., KARA M.H., 2004 a. Caractéristiques physicochimiques de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est). *Rapport de la Commission Internationale pour l'exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 37: 93.
- Eklossa-Kilia E., Prassa M., Papatotiropoulos V., Alahiotis S., Kiliass G., 2002. Mitochondrial DNA diversity in *Atherina boyeri* populations as determined by RFLP analysis of three mtDNA segments. *Heredity*, 89: 363-370.
- Elliott M., Dewailly F., 1995. The structure and components of European estuarine fish assemblages. *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, 29: 397-417.

- Erdoğan Z., Turan C., Torcu Koç H., 2009. Morphologic and Allozyme Analyses of European anchovy (*Engraulis encrasicolus* (L. 1758)) in the Black, Marmara and Aegean Seas. *Acta Adriatica*, 50: 77-90.
- Ergüden D., Turan C., 2005. Examination of genetic and morphologic structure of seabass (*Dicentrarchus labrax* L. 1758) populations in Turkish coastal waters. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29: 727-733.
- Essid N., 2008. Caractérisation de la pollution organique et minérale des sédiments de la lagune de Bizerte et impact écologique sur les peuplements de nématodes libres : Etude à grande échelle et au niveau d'un parc mytilicole. Thèse Doctorat, Université de Carthage, 346pp.
- Excoffier L., Lischer H.E.L., 2010. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10: 564-567.
- Fischer W., Schneider M., Bauchot M.L., 1987. Fiches F.A.O d'identification des espèces pour les besoins de la pêche (Révision I). Méditerranée et Mer Noire, Zone de pêche 37, II. Vertébrés. 761-1530.
- Fay R.R., 1984. The goldfish ear codes the axis of acoustic particle motion in three dimensions. *Science*, 225: 951-954.
- Felsenstein J., 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39: 783-791.
- Fernandez-Delgado C., Hernando J., Herrera M., Bellido M., 1988. Life-history patterns of the sandsmelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 in the estuary of the Guadalquivir RiveSpain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 27: 697-706.
- Focant B., Rosecchi E., Crivelli A.J., 1999. Attempt at biochemical characterization of sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces, Atherinidae) populations from the Camargue (Rhône delta, France). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 122: 261-267.
- Focant B., Trabelsi M., Kartas F., Quignard J.P., 1992. Caractérisation biochimique de trois populations d'*Atherina boyeri* des milieux lagunaires méditerranéens. Rapport de la Commission Internationale pour l'exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, 33: 94.
- Focant B., Trabelsi M., Vandewalle P., Kartas F., Quignard J.P., 1993. Apport de l'analyse biochimique à la caractérisation de populations d'*Atherina boyeri* des milieux

- lagunaires méditerranéens. Actes du colloque Okeanos, «Le système littoral méditerranéen», Montpellier, France, 22-23 Avril: 145-148.
- Francisco S.M., Congiu L., Stefanni S., Castilho R., Brito A., Ivanova P.P., Levy A., Cabral H., Kiliass G., Doadrio I., Almada V.C., 2008. Phylogenetic relationships of the North-eastern Atlantic and Mediterranean forms of *Atherina* (Pisces, Atherinidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 782-788.
- Francisco S.M., Congiu L., von der Heyden S., Almada V.C., 2011. Multilocus phylogenetic analysis of the genus *Atherina* (Pisces: Atherinidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 61: 71-78.
- Friedland K., Reddin D., 1994. Use of otolith morphology in stock discriminations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51: 91-98.
- Frisoni G.F., Guelorget O., Perthuisot J.P., 1986. Évaluation des potentialités aquacoles du lac de Bizerte. Projet régional méditerranéen de développement de l'aquaculture. *Rapport, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Salammbô, Tunisie*, 44 p.
- Gagliano M., McCormick M.I., 2004. Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*, 278: 291-196.
- Gauldie R.W., Crampton J.S., 2002. An eco-morphological explanation of individual variability in the shape of the fish otolith: comparison of the otolith of *Hoplostethus atlanticus* with other species by depth. *Journal of fish biology*, 60: 1204-1221.
- Gayanilo F.C., Pauly P., 1997. FAO-ICLARM Stock assessment Tools (FISAT). Reference Manual. FAO Computerized information Series (Fisheries). N° 8, Rome, FAO, 262pp.
- Géry J., 1962. Le problème de la sous-espèce et de sa définition statistique. *Revue Suisse de Zoologie*, 69: 521-541.
- Gheno Y., Le Guen J.C., 1968. Détermination de l'âge et de la croissance de *Sardinella eba* (Val.) dans la région de Pointe Noire. *Cahiers ORSTOM, serie Oceanographique*, 6: 70-82.
- Gomptertz B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 36: 513-585.
- Gon O., Ben-Tuvia A., 1983. The biology of Boyer's sand smelt, *Atherina boyeri* Risso in the Bardawil Lagoon on the Mediterranean coast of Sinai. *Journal of fish biology*, 22: 537-547.

- Gonzalez-Salas C., Lenfant P., 2007. Interannual variability and intraannual stability of the otolith shape in European anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay. *Journal of fish biology*, 70: 35-49.
- Grubišić F., 1988. Fishes, crustaceans and mussels of the Adriatic Sea. ITRO Naprijed, Zagreb–GRO Liburnija, Rijeka, 286 pp. (en Croate).
- Guelorget O., Frisoni G.F., Ximenes M.C., Perthuisot J.P., 1989. Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 22: 87-99.
- Guelorget O., Perthuisot J.P., 1983. Le domaine paralique: expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Travaux du Laboratoire de Géologie, Presses de l'ENS, Paris*, 136 pp.
- Guevara J., Sautier-Casaseca G., 1977. Datos sobre las condiciones ambientales y fauna ictiológica del Mar Menor, *CRIS*, 155: 18-20.
- Guindon S., Dufayard J.F., Lefort V., Anisimova M., Hordijk W., Gascuel O., 2010. New algorithms and methods to estimate maximum-likelihood phylogenies: assessing the performance of PhyML 3.0. *Systematic biology*, 59: 307-321.
- Guindon S., Gascuel O.A., 2003. Simple, fast, and accurate algorithm to estimate larg phylogenies by maximum likelihood. *Systematic Biology*, 52: 696-704.
- Hammami I., Bahri-Sfar L., Ben Hassine O.K., 2011. Morphological variations of striped seabream, *Lithognathus mormyrus*, populations along the Tunisian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91: 1261-1271.
- Hammami I., Bahri-Sfar L., Kaouèche M., Grenouillet G., Lek S., Kara M.H., Ben Hassine O.K., 2013. Morphological characterization of striped seabream (*Lithognathus mormyrus*, Sparidae) in some Mediterranean lagoons. *Cybium*, 37: 127-139.
- Hannachi, M.S., Boubekour, M. S., Derbal, F., Kara, M.H., 2015. Unusual presence of juveniles of the Indo-Pacific blackmouth splitfin *Synagrops japonicus* in the southwest Mediterranean coast. *Acta Adriatica*, 56: 297-303.
- Harding J.P., 1949. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 28: 141-153.
- Henderson P., Bamber R., 1987. On the reproductive biology of the sand smelt *Atherina boyeri* Risso (Pisces: Atherinidae) and its evolutionary potential. *Biological Journal of the Linnean Society*, 32: 395-415.

- Hoarau G., 2004. Population genetics of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in Northern Europe. Thèse Doct. UNIV of Groningen, *The Netherlands*, 1-136.
- Huelsenbeck J.P., Ronquist F., 2001. MRBAYES: Bayesian inference of phylogeny. *Bioinformatics*, 17: 754-755.
- Hunter J.R., Macewicz B.J., Lo N.C., Kimbrell C.A., 1992. Fecundity, spawning and maturity of female Dover sole *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *Fisheries Bulletin US*, 90: 101-128.
- Hüssy K., 2008. Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*): Ontogenetic and environmental effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 364: 35-41.
- Iglésias S.P., 2012. Actinopterygians from the North-eastern Atlantic and the Mediterranean (A natural classification based on collection of specimens, with DNA barcodes and standardized photographs), vol Volume I (plates & text). Muséum National d'Historie Naturelle, Paris, 245pp.
- Iwata H., Ukai Y., 2002. SHAPE: A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*, 93: 384-385.
- Jardas I., 1996. Jadranska ihtiofauna (Adriatic ichthyofauna). Školska Knjiga, Zagreb. 536 pp. (en Croate).
- Joaquim S., Matias D., Lopes B., Arnold W.S., Gaspar M.B., 2008. The reproductive cycle of white clam *Spisula solida* (L.) (Mollusca: Bivalvia): Implications for aquaculture and wild stock management. *Aquaculture*, 281: 43-48.
- Kara M.H., Frehi H., 1997. Etude biométrique du loup *Dicentrarchus labrax* du Golfe de Annaba. Différenciation d'une population lagunaire voisine. *Journal de Recherche Océanographique*, 22: 45-50.
- Kartas F., Trabelsi M., 1990. Sur le polymorphisme de l'athérine, *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Atherinidae) des eaux littorales tunisiennes, *Cybium*, 14: 295-311.
- Kiener A., Spillmann C.J., 1969. Contribution à l'étude systématique et écologique des athérines des côtes françaises. *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle -Série A: Zoologie*, 60: 33-74.
- Klossa-Kilia E., Papatotiropoulos V., Tryfonopoulos G., Alahiotis S., Kiliass G., 2007. Phylogenetic relationships of *Atherina hepsetus* and *Atherina boyeri* (Pisces: Atherinidae) populations from Greece, based on mtDNA sequences. *Biological Journal of the Linnean Society*, 92: 151-161.

- Klossa-Kilia E., Prassa M., Papatiroopoulos V., Alahiotis S., Kiliass G., 2002. Mitochondrial DNA diversity in *Atherina boyeri* populations as determined by RFLP analysis of three mtDNA segments. *Heredity*, 89: 363-370.
- Kottelat M., 1997. European freshwater fishes. *Biologia* 52, 1-271.
- Koutrakis E.T., 2000, Fishery management in the lagoons of North Greece. Problems and proposals. *Proc. 9th Panhellenic Congress of Ichthyologists, Mesolongi*, 133-136.
- Koutrakis E.T., Kamidis N., Leonardos I., 2004. Age, growth and mortality of a semi-isolated lagoon population of sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso, 1810) (Pisces: Atherinidae) in an estuarine system of northern Greece. *Journal of Applied Ichthyology*, 20: 382-388.
- Kraïem M.M., Ramdani M., Fathi A.A., Abdelzaher H.M.A., Flowe R., 2003. Analyse de la biodiversité et de la production ichtyques dans trois lacs nord Africains: Merja Zerga (Maroc), Garâat Ichkeul (Tunisie) et lac Edku (Egypte). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer-Salammbô*, 30: 5-13.
- Kraitsek S., Klossa-Kilia E., Papatiroopoulos V., Alahiotis S.N., Kiliass G., 2008. Genetic divergence among marine and lagoon *Atherina boyeri* populations in Greece using mtDNA analysis. *Biochemical Genetics*, 46: 781-798.
- Krijgsman W., Hilgen F.J., Raffi I., Sierro F.J., Wilson D.S., 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 400: 652-655.
- Kuhl F.P., Giardina C.R., 1982, Elliptic sources during the early larval development of the european sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 87: 361-372.
- L'Abée-Lund J.H., 1988. Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*. *Journal of fish biology*, 33: 899-903.
- Ladiges W., Vogt D., 1965. Die Süßwasserfische Europas. Verlag Paul Parey. Hamburg and Berlin: 250 pp.
- Lahaye J., 1972. Cycles sexuels de quelques poissons plats des côtes de bretonnes. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 36: 191-207.
- Langerhans R.B., Craig A.L., Langerhans A.K., DeWitt T.J., 2003. Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80: 689-698.
- Lee R.M., 1920. A review of the methods of age and growth determination in fishes by means of scales. *Fishery Investigations*, 2: 1-32.
- Lemaire C., Allegrucci G., Naciri M., Bahri-Sfar L., Kara M.H., Bonhomme F., 2000. Do discrepancies between microsatellite and allozyme variation reveal differential selection

- between sea and lagoon in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*)?. *Molecular Ecology*, 9: 457-467.
- Leonardos I., 2001. Ecology and exploitation pattern of a landlocked population of sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso 1810), in Trichonis Lake (western Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 17: 262-266.
- Leonardos I., Sinis A., 1999. Population age and sex structure of *Aphanius fasciatus* (Nardo, 1827) (Pisces: Cyprinodontidae) in the Mesolongi and Etolikon lagoons (W. Greece). *Fisheries Research*, 40: 227-235.
- Leonardos I., Sinis A., 2000. Age, growth and mortality of *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces: Atherinidae) in the Mesolongi and Etolikon lagoons (W. Greece). *Fisheries Research*, 45: 81-91.
- Leonardos J., Petridis D., Kokkinidou A., 1993. Population dynamics of *Atherina boyeri* (Risso 1810) in the Trichonis lake (W. Greece). 6<sup>th</sup> Pan-Hellenic Symposium of Ichthyologists, Chios. 19 p. (en Grec).
- Lestrel P.E., 2008. Fourier descriptors and their applications in biology. Cambridge University Press, Cambridge. 484 pp.
- Librado P., Rozas J., 2009. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25: 1451-1452.
- Lilliendahl K., Solmundsson J., 2006. Feeding ecology of sympatric European shags *Phalacrocorax aristotelis* and great cormorants *P. carbo* in Iceland. *Marine Biology*, 149: 979-990.
- Lombarte A., Palmer M., Matallanas J., Gómez-Zurita J., MoralesNin B., 2010. Ecomorphological trends and phylogenetic inertia of otolith sagittae in Nototheniidae. *Environmental Biology of Fishes*, 89: 607-618.
- Lorenzoni M., Giannetto D., Carosi A., Dolciami R., Ghetti L. Pompei L., 2015. Age, growth and body condition of big-scale sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 inhabiting a freshwater environment: Lake Trasimeno (Italy). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 416: 9.
- Louisy P., 2002, Guide d'identification des poissons marins, europe et méditerranée, *Les Editions Eugen Ulmer*, 430 pp.
- Mahé K., Fave S., Couteau J., 2011. TNPC: User guide. Version 5. Boulogne-sur-mer: Ifremer Institute. Computer Program. (<http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14288/>).
- Maltagliati F., Domenici P., Fosch C.F., Cossu P., Casu M., Castelli A., 2003. Smallscale morphological and genetic differentiation in the Mediterranean killifish *Aphanius*

- fasciatus* (Cyprinodontidae) from a coastal brackish-water pond and an adjacent pool in northern Sardinia. *Oceanologica Acta*, 26: 111-119.
- Marfín J.P., 1981. Biologie de l'athérine *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Poisson - Téléostéen) dans trois milieux saumâtres du Roussillon (Leucate, Canet, Bourdigou). Thèse 3ème Cycle, Université de Perpignan, 236 pp.
- Marfín J.P., 1982a. Croissance de l'Atherine *Atherina boyeri* Risso, 1810 dans trois milieux saumâtres du Roussillon. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche de Salammbô*, 9: 89-109.
- Marshall C.T., O'Brien L., Tomkiewicz J., 2003. Developing alternative indices of reproductive potential for use in fisheries management: case studies for stocks spanning an information gradient. *Journal of North west Atlantic Fishery Science*, 33: 161-190.
- Maugé L.A., 1990. Atherinidae. In: Quire, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (eds.), Check-List of the Fishes of the Eastern Tropical Atlantic (CLOFETA), vol. 2. Paris. 604-605 pp.
- Mauro A., Arculeo M., Mazzola A., Parrinello N., 2007. Are there any distinct genetic sub-populations of sand smelt, *Atherina boyeri* (Teleostei: Atherinidae) along Italian coasts? Evidence from allozyme analysis. *Folia Zoologica*, 56: 194-200.
- Megalofonou P., 2006. Comparison of otolith growth and morphology with somatic growth and age in young-of-the-year bluefin tuna. *Journal of fish biology*, 68: 1867-1878.
- Mérigot B., Letourneur Y., Lecomte-Finiger R., 2007. Characterization of local populations of the common sole *Solea solea* (Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis. *Marine Biology*, 151: 997-1008.
- Messerer Y., 1999. Etude hydrologique du lac Melah et du lac Oubeira (Algérie). –Thèse de Magister, Université d'Annaba (Algérie), 123 pp.
- Meyer A., Kocher T.D., Basasibawaki P., Wilson A.C., 1990. Monophyletic origin of Lake Victoria's cichlid fishes suggested by mitochondrial DNA sequences. *Nature*, 347: 550-553.
- Milana V., Franchini P., Sola L., Angiulli E., Rossi A.R., 2011. Genetic structure in lagoons: the effects of habitat discontinuity and low dispersal ability on populations of *Atherina boyeri*. *Marine biology*, 159: 399-411.
- Milana V., Sola L., Congiu L., Rossi A., 2008. Mitochondrial DNA in *Atherina* (Teleostei, Atheriniformes): differential distribution of an intergenic spacer in lagoon and marine forms of *Atherina boyeri*. *Journal of fish biology*, 73: 1216-1227.

- Morat F., Letourneur Y., Neri N.D., Banaru D., Bat Jakas I.E., 2012. Discrimination of red mullet populations (Teleostean, Mullidae) along multi-spatial and ontogenetic scales within the Mediterranean basin on the basis of otolith shape analysis. *Aquatic Living Resources*, 25: 27-39.
- Mullis K.B., Faloona, F.A., 1987. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. *Methods in enzymology*, 155: 335-350.
- Munro J., Pauly D., 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte*, 1: 5-6.
- Nei M., 1987. *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York: 512pp.
- Nikolsky G., 1980. *Theory of Fish Population Dynamics as the Biological Background for Rational Exploitation and Management of Fishery Resources*. Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein. 323 pp.
- Nunez J., 1985. Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction de la sole (*Solea vulgaris*, Quensel, 1806): approche ultrastructurale et physiologique. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Bordeaux I. 109 pp.
- Ostellari L., Barglloni L., Penzo E., Patarnello P., Patarnello T., 1996. Optimization of single-strand conformation polymorphism and sequence analysis of the mitochondrial control region in *Pagellus bogaraveo* (Sparidae, Teleostei): rationalized tools in fish population biology. *Animal Genetics*, 27: 423-427.
- 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: 1-13.
- Özeren S.C., 2009. Age, growth and reproductive biology of the sand smelt *Atherina boyeri* Risso 1810 (Pisces: Atherinidae) in Lake Iznik, Turkey. *Journal of Fisheries International*, 4: 34-39.
- Pajuelo J.G., 2001. Ciclo de vida del sargo blanco *Diplodus sargus cadenati* de la seiffa *Diplodus vulgaris* de las Islas Canarias. Research Project Report. University of Las Palmas de Gran Canaria, 47 p.
- Pallaoro A., Franicevic M., Matic S., 2002. Age, growth and mortality of big-scale sand smelt, *Atherina (Hepsetia) boyeri* Risso, 1810 in the Pantana Lagoon, Croatia. *Periodicum biologorum*, 104: 175-183.

- Palma J., Andrade J.P., 2002. Morphological study of *Diplodus sargus*, *Diplodus puntazzo*, and *Lithognathus mormyrus* (Sparidae) in the Eastern Atlantic and Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 57: 1-8.
- Palmer C.J., Culley M.B., 1983. Aspects of the biology of the sand smelt *Atherina boyeri* Risso 1810 (Teleostei: Atherinidae) at Oldbury-upon-Severn, Gloucestershire, England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16: 163-172.
- Palmer C.J., Culley M.B., Claridge P.N., 1979. A further occurrence of *Atherina boyeri* Risso 1810 in North-Eastern Atlantic waters. *Environmental Biology of Fishes*, 4: 71-75.
- Palumbi S.R., 1994. Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 25: 547-572.
- Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P.J. (eds.), 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition IFREMER-IRD, 464 pp.
- Pante E., Puillandre N., Viricel A., Arnaud-Haond S., Aurelle D., Castelin M., Chenuil A., Destombe C., Forcioli D., Valero M., Viard F., Samadi S., 2015. Species are hypotheses: avoid connectivity assessments based on pillars of sand. *Molecular ecology*, 24: 525-544.
- Parmentier E., Vandewalle P., Lagardère F., 2001. Morpho-anatomy of the otic region in carapid fishes: Eco-morphological study of their otoliths. *Journal of fish biology*, 58: 1046-1061.
- Patarnello T., Volckaert F.A.M., Castilho R., 2007. Pillars of Hercules: is the Atlantic Mediterranean transition a phylogeographical break?. *Molecular Ecology*, 16: 4426-4444.
- Patimar R., Yousefi M., Hosieni S.M., 2009. Age, growth and reproduction of the sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 in the Gomishan wetland–southeast Caspian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 457-462.
- Pergent G., Semroud R., Baba Ahmed R., Derbal F., khtal Y., Remili A., Robert P., Boudouresque C.F., 1993. Données préliminaires sur la répartition et l'état de l'herbier à *Posidonia océanica* de la région d'El- Kala (Algérie). *Scientific Reports of Port-Cros national Park*, 15: 253-263.
- Petersen C.G.G., 1892. Fiskensbiologiske forhold i Holbock Fjord, 1890-1891. *Beretning fra de Danske Biologiske Station*, 1.
- Popper A., Hoxter B., 1981. The fine structure of the sacculus and lagena of a teleost fish. *Hearing Research*, 5: 245-263.

- Popper A., Lu Z., 2000. Structure-function relationships in fish otolith organs. *Fisheries Research*, 46: 15-25.
- Posada D., 2008. JModeltest: phylogenetic model averaging. *Molecular Biology and Evolution*, 25: 1253-1256.
- Pothin K., Gonzalez-Salas C., Chabanet P., Lecomte-Finiger R., 2006. Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *Journal of fish biology*, 69: 38-53.
- Prager M.H., Saila, S.B., Recksiek, C.W., 1989. FISHPARM: a microcomputer program for parameter estimation of nonlinear models in fishery science. 2<sup>nd</sup> edition, Old Dominion University, Oceanography technical report 87-10, Norfolk, Virginia, 36pp.
- Puillandre N., Modica M.V., Zhang Y., Sirovich L., Boisselier M.C., Cruaud C., Samadi S., 2012. Large-scale species delimitation method for hyperdiverse groups. *Molecular ecology*, 21: 2671-2691.
- Quignard J.P., 1966. Recherches sur les Labridae (Poissons Téléostéens Perciformes) des côtes européennes, Systématique et biologie. *Naturalia Monspeliensia*, série Zoologie, 5: 1-247.
- Quignard J.P., 1978. Introduction à l'ichthyologie méditerranéenne: aspect général du peuplement. *Bulletin de l'Office National des pêches de Tunisie*, 2: 3-21.
- Quignard J.P., Pras A., 1986. Atherinidae. In: Whitehead P.J.P., Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielsen J., Tortonese E., (eds.). Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean. UNESCO, Paris, 1207-1210.
- Quignard J.P., Tomasini J.A., 2000. Mediterranean fish biodiversity. *Biologia Marina Mediterranea*, 7: 1-66.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available: <http://www.R-project.org/>. Accessed Apr. 2014 22.
- Reñones O., Grau A., Mas X., Riera F., Saborido-Rey F., 2010. Reproductive pattern of an exploited dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae) population in the western Mediterranean. *Scientia Marina*, 74: 523-537.
- Richter H.C., Luckstadt C., Focken U., Becker K., 2000. An improved procedure to assess fish condition on the basis of length-weight relationships. *Archive of Fishery and Marine Research*, 48: 255-264.
- Ronquist F., Huelsenbeck J.P., 2003. MRBAYES 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics*, 19: 1572-1574.

- Safran P., 1992. Théoretical analysis of the weight-length relationship in fish juveniles. *Marine Biology*, 112: 545-551.
- Saila, S.B., Recksiek C.W., Prager M.H., 1988. BASIC fishery biology programs: a compendium of microcomputer programs, and manual of operation. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 230 pp.
- Sanger F., Air G.M., Barrell B.G., Brown N.L., Coulson A.R., Fiddes C.A., Hutchison C.A., Slocombe P.M., Smith M., 1977. Nucleotide sequence of bacteriophage *phi X174* DNA., *Nature*, 265: 687-695.
- Santana F.M., Morize E., and Lessa R., 2006. Age and growth of the spotted goatfish, *Pseudupeneus maculatus* (Bloch, 1793) in Brazil, validated through marginal increment and oxytetracycline dyes in the sagitta. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 132-137.
- Santos R.S., Porteiro F.M., Barreiros J.P., 1997. Marine fishes of the Azores: annotated checklist and bibliography. *Bulletin of the University of the Azores*, 1: 244.
- Santos R.S., Porteiro F.M., Barreiros J.P., 1997. Marine Fishes of the Azores: annotated checklist and bibliography: a catalogue of the Azorean marine ichthyodiversity. Universidade dos Açores
- Scherrer B., 1984. Biostatistique. Gaetan Morin, Boucherville, Quebec, Canada, 850 pp.
- Semple J.C., Chmielewski J.G., Leeder C., 1991. A multivariate morphometric study and revision of *Aster* subg. *Doellingeria* sect. *Triplopappus* (Compositae: Astereae): The *Aster umbellatus* complex. *Canadian Journal of Botany*, 69: 256-276.
- Semroud R., 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens: le lac Mellah (El-Kala, Algérie). Thèse 3ème cycle, USTHB (Alger), 137 pp.
- Sevilla R.G., Diez, A., Norén, M., Mouchel, O., Jérôme, M., Verrez-Bagnis, V., van Pelt, H., Favre-Krey, L., Krey, G. The Fish Trace Consortium, Bautista, J.M., 2007. Primers and polymerase chain reaction conditions for DNA barcoding teleost fish based on the mitochondrial cytochrome b and nuclear rhodopsin genes. *Molecular Ecology Notes*, 7: 730-734.
- Silva A., 2003. Morphometric variation among sardine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 1352-1360.
- Simoneau M., Casselman J. M., Fortin R. 2000. Determining the effect of negative allometry (length/height relationship) on variation in otolith shape in lake trout (*Salvelinus namaycush*), using Fourier-series analysis. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1597-1603.

- Smith M.K., 1992. Regional differences in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49: 795-804.
- SPSS, 2004. SPSS for Windows, Version 13.0. Chicago, SPSS Inc. Computer Program.
- Stransky C., Baumann H., Fevolden S.E., Harbitz H.H., Nedreås K.H., Salberg A.B., Skartein T.H., 2008. Separation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod by outer otolith shape analysis. *Fisheries Research*, 90: 26-35.
- Stransky C., MacLellan S.E., 2005. Species separation and zoogeography of redbfish and rockfish (genus *Sebastes*) by otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62: 2265-2276.
- Svetovidov A.N., 1964. Ribyi Chernogo moria (Fishes of the Black Sea). *Nauka Publishers, Moscow, Leningrad*, 525 pp. (en Russe).
- Swain D.P., Hutchings J.A., Foote C.J., 2005. Environmental and Genetic Influences on Stock Identification Characters. In: *Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science*, Cadrin S.X., Friedland K.D., Waldmann J.R., (eds.). Academic Press, San Diego, 45-85.
- Tanaka S., 1962. A method of analysing a polymodal frequency distribution and its application to the length distribution of the porgy, *Taius tumifrons* (T. and S.). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 19: 1143-1159.
- Teissier G., 1948. La relation d'allométrie, Sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, 4: 14-53.
- Thomas J.P., Bougazelli N., Attender M., 1973. Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El-Kala, Annaba, Algérie, 64p.
- Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J., 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positions-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22: 4673-4680.
- Tomasini J., Collart D., Quignard J. P., 1996. Female reproductive biology of the sand smelt in brackish lagoons of southern France. *Journal of fish biology*, 49: 594-612.
- Torres G.J., Lombarte A., Morales-Nin B., 2000. Sagittal otolith size and shape variability to identify intraspecific differences in three species of the genus *Merluccius*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80: 333-342.
- Tortonese E., 1975. Fauna d'Italia. Osteichthyes (Pesci Ossei), Calderini, Bologna, Vol. 11: 636 pp.
- Tortonese E., 1985. Interesse scientifico e pratico di una famiglia di Pesci ossei: gli atherinidi. Quaderni dell'Ente Tutela Pesca, *Rivista di Limnologia*, 10: 1-40.

- Trabelsi M., Bouriga N., Aurelle D., Quignard J.P., Barthelemy R., Faure E., 2009. Some Marine Tunisian *Atherina boyeri* populations (Teleostei) have morphological and molecular characteristics of lagoon fishes. *The Open Marine Biology Journal*, 3: 59-68.
- Trabelsi M., Gilles A., Fleury C., Mâamouri F., Quignard J.P., Faure E., 2002a. *Atherina punctata* and *Atherina lagunae* (Pisces, Atherinidae), new species found in the Mediterranean Sea. 2. Molecular investigations of three Atherinid species. *Comptes rendus biologies*, 325: 1119-1128.
- Trabelsi M., Maamouri F., Quignard J.P., Boussaid M., Faure E., 2004. Morphometric or morpho-anatomal and genetic investigations highlight allopatric speciation in Western Mediterranean lagoons within the *Atherina lagunae* species (Teleostei, Atherinidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61: 713-723.
- Trabelsi M., Quignard J.P., Tomasini J.A., Boussaid M., Focant B., Maamouri F., 2000. Discriminative value of the meristic characteristics of the punctuated sand smelts marine populations. *Obelia*, 26: 75-88.
- Trabelsi M., Quignard J.P., Tomasini J.A., Boussaid M., Focant B., Maamouri F., 2002b. Discriminative value of the meristic characters of *Atherina boyeri*, lagoon populations. *Vie et Milieu*, 52: 77-84.
- Turan C., 1999. A note on the examination of morphometric differentiation among fish populations: the truss system. *Turkish Journal of Zoology*, 23: 259-263.
- Turan C., 2004. Stock identification of mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 774-781.
- Turnpenny A., Bamber R., Henderson P., 1981. Biology of the sand-smelt (*Atherina presbyter* Valenciennes) around Fawley power station. *Journal of fish biology*, 18: 417-427.
- Tuset V.M., Lombarte A., Gonzalez J.A., Pertusa J.F., Lorente M., 2003b. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp. *Journal of fish biology*, 63: 1491-1504.
- Tuset V.M., Lozano I.J., Gonzalez J.A., Pertusa J.F., Garcia-Diaz M.M., 2003. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber *Serranus cabrilla* (L. 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 88-93.
- Uglem I., Berg M., Varne R., Nilsen R., Mork J., Bjørn P.A., 2011. Discrimination of wild and farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*) based on morphology and scale-circuli pattern. *ICES Journal of Marine Science*, 68: 1928-1936.

- Vaissière R., Fredj G., 1963. Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. *Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco*, 60: 83.
- Vignon M., Morat F., 2010. Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*, 411: 231-241.
- von Bertalanffy L., 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human biology*, 10: 181-213.
- Watson J.D. and Crick F., 1953. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171: 737-738.
- Weatherley A.H., Gill H.S., 1987. The biology of fish growth. *London (UK), Academic Press*, 443 p.
- Winans G.A., 1984. Multivariate morphometric variability in Pacific salmon-technical demonstration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41: 1150-1159.
- [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org)
- Zaouali J., 1979. Etude écologique du lac de Bizerte. *Bulletin de l'Office National des Pêches, Tunisie*, 3: 107-140.
- Zaouali J., 1984. La pêche dans les lagunes tunisiennes: le Lac de Bizerte: Tunisie septentrionale, la Mer de Bou Grara: Tunisie méridionale. Données écologiques sommaire. Historique et méthodes actuelles de la pêche. Perspectives de développement. In: "Management of Coastal Lagoon Fisheries" (Kapetsky J.M. and Lasserre G., eds), 297-346 pp. *Studies and Reviews of the General Fisheries Council for the Mediterranean*, 61: 1-438.
- Zitari-Chatti R., Chatti N., Fulgione D., Caiazza I., Aprea G., Elouaer A., Said K., Capriglione T., 2009. Mitochondrial DNA variation in the caramote prawn *Penaeus (Melicertus) kerathurus* across a transition zone in the Mediterranean Sea. *Genetica*, 136: 439-447.

## **RÉSUMÉS**

---

## ملخص

هذا البحث العلمي مكرس لدراسة *Atherina boyeri* بحيرة الملاح (الجزائر شمال شرق)، وهي تشمل ثلاثة أجزاء. الجزء الأول هو استعراض ببيوغرافي على تصنيف، التوزيع الجغرافي، إيكولوجيا و المصالح الاقتصادية للنوع *Atherina* بشكل عام و فصيلة *Atherina boyeri* على وجه الخصوص.

الجزء الثاني يتكون من ثلاثة فصول مخصصة لدراسة التنوع بين مجموعات *Atherina boyeri* من بيئات مختلفة، وذلك باستخدام أدوات مختلفة. الفصل الأول يتناول دراسة التغيرات المورفولوجية بين سبع عينات: الجزائر: بحيرة الملاح، وادي زيامه، خليج عنابة (الأفراد المنقطة و الغير منقطة)؛ تونس: بحيرة بنزرت. فرنسا: بركة Mauguio، و بركة Thau.

سمحت لنا التحليلات بالتعرف على ثلاث مجموعات منفصلة من *Atherina boyeri*، حيث ان أفراد نهر زيامة و الأفراد المنقطة من خليج عنابة يشكلان مجموعتين مستقلتين، المجموعة الثالثة متكونة من طرف أفراد بحيرة الملاح، بركة Mauguio، بركة Thau، بحيرة بنزرت و الأفراد الغير منقطة من خليج عنابة.

خصص الفصل الثاني لدراسة تنوع *Atherina boyeri* باستخدام شكل الأوتوليت، الذي يعطي لنا المزيد من الدقة حيال التمييز بين المجموعات المدروسة، نلاحظ وجود خمس مجموعات. بالإضافة إلى المجموعتين المتعرف عليها باستخدام المورفولوجيا، تم إبراز مجموعة ثالثة تضم الأفراد الغير منقطة من خليج عنابة، ايضا يمكن أن نلاحظ هيكله داخل *A. boyeri* البحيرات، حيث يوجد مجموعتين: الأولى تضم افراد بحيرة الملاح و بركة Mauguio، والثانية تلك من بحيرة بنزرت و بركة Thau.

الفصل الثالث بدوره يتعلق بدراسة الخاصيات الجينية لـ *A. boyeri* في غرب البحر الأبيض المتوسط. دراسة قطع الجين (S7 و CR, Cyt b, 16S) تؤكد أن *A. boyeri* عبارة عن مجموعة من الفصائل. اثنين منها تعيشان في البحار (منقطة و غير منقطة) و فصيلة ثالثة تعيش في البحيرات، بالإضافة نلاحظ تواجد اختلافات بين المجموعات التي تعيش في البحيرات، مثل اختلاف افراد بحيرات الجزائر و فرنسا عن افراد بحيرات تونس.

الجزء الثالث هو مساهمة في دراسة بيولوجيا *A. boyeri* من بحيرة الملاح. يتم تحديد عمر الأسماك بواسطة القراءة المباشرة للحراشف و الأوتوليت باستخدام الحساب بالخلف و تعداد حلقات النمو. تتراوح أعمار أفراد العينة المدروسة بين 1 و 3 سنوات. الذكور (سنوات = 3،34، = 3،33) والإناث (سنوات = 3،19، = 3،24) تنمو بمعدل مماثل. نسبة الجنس هي 1:1،6 لصالح الإناث. العينة المدروسة تتكاثر ابتداءً من شهر فيفري الى جوان عن حجم يقدر بـ 4، 2 سم للذكور و 3،5، 4 سم للإناث.

الكلمات الدالة: بحيرة الملاح، *Atherina boyeri*، المورفولوجيا، علم الأحياء، علم الوراثة، Analyse de Fourier

**Abstract**

The aim of this work is to study *Atherina boyeri* from the Mellah lagoon (Algeria North-east), it includes three parts. The first part is a bibliographic review on the systematic, geographic distribution, ecology and the economic interest of the *Atherina* gender in general and that of *Atherina boyeri* in particular.

The second part includes three chapters dedicated to the study of diversity among *Atherina boyeri* populations from different habitats, using different tools. The first chapter deals with the morphological variability among seven samples: Algeria: Mellah lagoon, Ziama wadi, Annaba's Gulf (punctuated and unpunctuated individuals); Tunisia: Bizerte lagoon; France: Thau, Mauguio ponds. The analyzes allowed us to identify morphological variation among *A. boyeri* samples, with three separate groups. The population from Ziama wadi and marine punctuated individuals from Annaba's Gulf forms two distinct groups, the third group being formed by the populations of the Mellah lagoon, the Thau pond, the Mauguio pond, the Bizerte lagoon and marine unpunctuated individuals from Annaba's Gulf. The second chapter study of the diversity of *A. boyeri* populations using otolith shape, which gives us more precision regarding the discrimination between these populations. We observed five groups in addition to the two groups determined with somatic morphometry, a third group formed by the unpunctuated marine population of Annaba's Gulf is highlighted. Also we can observe a structure within the lagoonal populations, where two groups are formed: the first one includes the populations of the Mellah lagoon and Mauguio pond, the second those of the Bizerte lagoon and the Thau pond. The third chapter is a study of the genetic diversity of *A. boyeri* in the Western Mediterranean. The analyze of four Molecular markers (CR, *Cyt b*, 16S and S7), confirms that *A. boyeri* is can be divided into two marine species (punctuated and unpunctuated) and a lagoonal-type species. Differences between lagoon populations can be observed, as for thoses from Algeria and France on one side and those of Tunisia on the other.

The third part is a contribution to the biology of *A. boyeri* from the Mellah lagoon. The age of the fish was determined by scales and otoliths reading using back calculation method. The sampled population is aged between 1 and 3 years. Males ( $\Phi_{\text{scales}} = 3,34$ ,  $\Phi_{\text{otoliths}} = 3,33$ ) and females ( $\Phi_{\text{scales}} = 3,19$ ,  $= 3,24$   $\Phi_{\text{otoliths}}$ ) grow at a similar rate. The sex ratio is 1:1,6 in females favor. The studied population reproduction takes place from February to June at a size of 4.2 cm for males and 4.35 cm for females.

**Keywords:** Mellah lagoon, *Atherina boyeri*, morphology, biology, genetics, Fourier analysis.

## Résumé

Cette étude est consacrée à l'étude d'*Atherina boyeri* de la lagune Mellah (Algérie Nord-Est), elle comporte trois parties.

La première partie est une revue bibliographique sur la systématique, la distribution géographique, l'écologie et l'intérêt économique des espèces du genre *Atherina* en général, et celui d'*Atherina boyeri* en particulier.

La deuxième partie est composée de trois chapitres, dédiés à l'étude de la diversité entre les peuplements d'*Atherina boyeri* issus de milieux différents, utilisant différents outils. Le premier chapitre traite de la variabilité morpho-somatique, entre sept échantillons: Algérie: lagune Mellah, oued Ziama, golfe de Annaba (individus ponctués et non ponctués); Tunisie: lagune de Bizerte; France: Étang de Thau, Étang de Mauguio. Les analyses effectuées nous ont permis de mettre en évidence une variation morpho-somatique des échantillons d'*A. boyeri* avec trois groupes distincts, où la population de l'oued Ziama et celle marine ponctuée du golfe de Annaba forment deux groupes distincts, le troisième groupe étant formé par la population de la lagune Mellah, l'étang de Thau, l'étang de Mauguio, la lagune de Bizerte et la population marine non ponctuée du golfe de Annaba.

Le deuxième chapitre, est consacré à l'étude de la diversité des peuplements d'*A. boyeri*, utilisant la forme des otolithes, qui nous offre plus de précision quant à la discrimination entre ces populations. Nous avons pu observer cinq groupes: en plus des deux groupes distincts déterminés avec la morphométrie somatique, un troisième groupe comprenant la population marine non ponctuée du golfe de Annaba est mis en évidence, de plus on peut observer une structuration au sein des populations lagunaire, où deux groupes sont formés: le premier comprend les populations de la lagune Mellah et l'Étang de Mauguio, le deuxième ceux de la lagune de Bizerte et de l'Étang de Thau.

Le troisième chapitre quant à lui concerne l'étude de la diversité génétique d'*A. boyeri* en Méditerranée Occidentale. Les marqueurs moléculaires utilisés (CR, Cytb, 16S et S7), confirme que *A. boyeri* constitue un complexe d'espèce comportant deux espèces marines (ponctuée et non ponctuée) et une espèce de type lagunaire, et qu'au sein de cette dernière on peut observer des différences spatiales, avec les populations lagunaires d'Algérie et de France d'un côté et celles de Tunisie de l'autre.

La troisième partie est une contribution à la biologie d'*A. boyeri* de la lagune Mellah. L'âge des poissons est déterminé par scalimétrie et otolithométrie en utilisant la méthode du rétrocalcul. La population échantillonnée est âgée entre 1 et 3 ans. Les mâles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,34$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,33$ ) et les femelles ( $\Phi_{\text{écailles}} = 3,19$ ,  $\Phi_{\text{otolithes}} = 3,24$ ) croît à une vitesse similaire. La sex ratio est de 1:1,6 en faveur des femelles. La population étudiée se reproduit de février à juin à partir d'une taille de 4,2 cm pour les mâles et 4,35 cm pour les femelles.

---

**Mots-clés:** Lagune Mellah, *Atherina boyeri*, morphologie, biologie, génétique, analyse de Fourier.