

Lipid composition of juvenile mullet, *Liza aurata* acclimated to fresh and seawater

Etude de la composition lipidique des juvéniles de *Liza aurata* acclimatés à l'eau douce et à l'eau de mer

S. KHERIJI^{1*}, I. RABEH², M. EL CAFSI², N. BOURIGA¹, W. MASMOUDI¹, MS. ROMDHANE³

¹ Higher institute of Peach and the Fish farming of Bizerte

² Unit of Physiology and Aquatic Environment, University of Tunis El Manar

³ Research Unit for Ecosystems and Aquatic Resources (UR03AGRO1), National Agronomic Institute of Tunisia (INAT)

*Corresponding author: ksouhaila76@gmail.com

Abstract – *Liza aurata* is a mullet species very frequent in the Tunisian coasts. This species is known for its fragility with respect to the change in the medium salinity. In the other hand, in fish, lipids are energetically expended during osmoregulatory processes. We then suggested following their variation in the juveniles of *Liza aurata* according to the salinity of the environment. Our fish were acclimated to freshwater salinity (0.5 psu) and marine salinity (35 psu) for 30 days. The results showed that for the gills and skin the total fatty acid content was lower in fish acclimated to sea water (14, 35 and 4.05 mg / gww respectively) compared to those acclimated to sea water (21.65 and 5.06 mg / gww). The difference is sharper in the gills. While in the muscle, we have a very small difference in the content of these fatty acids in favour of fish acclimated to marine water. Concerning the fatty acid composition of the gills, the fatty acid majority in fish acclimated to fresh water is C16: 1 (n-7), while in sea water it is C16: 0. We also note that the content of the majority of them decreased as a result of the passage to sea water. Moreover, for the muscle, we note that the fatty acids are very weakly represented in marine water compared to the fresh water. The majority fatty acid is C16: 0 for the muscles of fish in both media. EPA (Eicosapentaenoic acid) and DHA (Docosahexaenoic acid) were detected at the gill and muscle level only in freshwater fish. At the level of the skin and unlike the gills and muscle, the fatty acids have increased due to the crossing to the sea water.

Keywords: *Liza aurata*, salinity, fatty acids, gills, muscle, skin

Résumé - *Liza aurata* est une espèce de muge très répandue dans les côtes tunisiennes. Cette espèce est connue par sa fragilité vis-à-vis du changement de la salinité du milieu. Chez les poissons, les lipides sont énergiquement dépensés lors des processus osmorégulateurs. Nous nous sommes proposé alors de suivre leur variation chez les juvéniles de *Liza aurata* en fonction de la salinité du milieu. Nos poissons ont été acclimatés à la salinité d'eau douce (0,5 psu) et à la salinité marine (35 psu) pendant 30 jours. Les résultats ont montré que pour les branchies et la peau la teneur en acides gras totaux est plus faible chez les poissons acclimatés à l'eau de mer (14, 35 et 4,05 mg/gMF respectivement) par rapport à ceux acclimatés à l'eau douce (21,65 et 5,06 mg/gMF). La différence est plus nette au niveau des branchies. Tandis qu'au niveau du muscle, nous enregistrons une très faible différence dans la teneur en ces acides gras en faveur des poissons acclimatés à l'eau marine. Concernant la composition en acides gras des branchies, l'acide gras majoritaire chez les poissons acclimatés à l'eau douce est le C16 :1 (n-7), alors qu'en eau de mer c'est le C16 :0. Nous remarquons également que la teneur de la majorité d'entre eux a diminué suite au passage à l'eau marine. Par ailleurs, pour le muscle, nous remarquons que les acides gras sont très faiblement représentés en eau marine par rapport à l'eau douce. L'acide gras majoritaire est le C16 :0 pour les muscles des poissons des deux milieux. L'EPA et le DHA ont été détectés au niveau branchial et musculaire uniquement chez les poissons d'eau douce. Au niveau



de la peau et à la différence des branchies et du muscle, les acides gras ont subi une augmentation suite au passage à l'eau marine

Mots clés : *Liza aurata*, salinité, acides gras, branchies, muscle, peau.

1. Introduction

En Tunisie, le secteur piscicole est en train de prendre une place de plus en plus importante. Outre les fermes aquacoles, la pisciculture continentale est devenue une pratique très courante. Le peuplement des retenues de barrage en poissons est une activité qui a commencé depuis les années 1960. Plusieurs espèces ont été introduites dans les différents plans d'eau douce ; certaines d'entre elles sont allochtones (carpes, sandre, blackbass...) d'autres sont autochtones comme le barbeau, l'anguille et les mulets. La production en mulot des différentes retenues de barrage concerne essentiellement deux espèces ; *Mugil cephalus* (Bouri) et *Liza ramada* (bouri bitouma). Les productions en *Liza aurata* (Safraya) sont de moindre importance bien qu'elle est concernée par les opérations de capture lors de sa présence à la côte au stade alevin. En effet, Cette espèce est considérée sensible à la basse salinité. Sensibilité, qui se traduit par la coloration jaune intense des flancs des alevins observée suite à leur transfert de l'eau de mer à l'eau douce. Cependant, les juvéniles sont présents de manière quasi constante au niveau de certains milieux d'eau douce tels que oued Khélij, oued Bouhnach, oued korba, ainsi qu'au niveau des embouchures d'oued. Ces constatations nous amènent à supposer que les capacités osmorégulatrices chez cette espèce deviennent plus performantes au stade juvénile par rapport au stade alevin. D'autre part, nous savons que les lipides constituent une source d'énergie essentielle chez les poissons utilisée lors des processus osmorégulateurs. Ce qui se traduirait par une diminution des lipides corporels du poisson. De plus certains acides gras tel que le DHA semble aider certains poissons à tolérer les changements de la salinité du milieu (Vite-García et al. 2014).

En se basant sur ces données, nous nous sommes proposé de suivre la variation les lipides corporels des juvéniles de *Liza aurata* en fonction de la salinité du milieu.

2. Matériel et méthodes

2.1. Lieu de capture

La collecte des juvéniles de *Liza aurata* a été effectuée au niveau de l'embouchure du canal Khelij (oued naturel aménagé) dans le golfe de Tunis pour des raisons d'accessibilité et d'abondance (photo 1).



Photo 1 : Embouchure de l'oued Khélij (a) [Plage de Raoued (b), Golfe de Tunis (c)]

2.2. Échantillonnage

La capture des juvéniles de *Liza aurata* a été pratiquée moyennant un filet à alevins « la senne italienne ». Les poissons sont par la suite transportés vivants jusqu'au laboratoire.

2.3. Acclimatation et conditions d'élevage des poissons

Les poissons ont été pêchés dans une eau douce (≈ 1 psu). Un premier lot de poissons a été gardé dans cette salinité. Le deuxième lot, a été transféré progressivement à l'eau de mer à l'ordre de 2 psu/heure.

Les poissons ont séjourné dans ces deux milieux pendant un mois suite au quel ils ont été prélevé pour effectuer les analyses lipidiques ultérieures.

Les bassins d'élevage sont disposés en exposition directe à la lumière du jour, de façon à leur assurer une photopériode naturelle.

2.4. Analyses lipidiques

Les poissons prélevés hors de l'eau sont immédiatement fixés pour être disséqués par la suite afin de prélever les différents organes, à savoir, le muscle, les branchies et la peau. L'extraction des lipides totaux est réalisée selon la méthode de Folch et al. (1957) modifiée par Bligh et Dyer (1959). La méthylation rapide des acides gras a été réalisée avec le méthylate de sodium selon la méthode de Cécchi et al. Les esters méthyliques d'acides gras sont séparés et quantifiés moyennant un gas-chromatographe de type Hewlett-Packard, Palo Alto, CA Modél à 5890 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne en silice de type HP-Innowax (60 m × 0.25 mm × 0.25 µm) avec l'azote comme gaz vecteur avec un débit de 1 ml/min; La température du détecteur est de 280°C; celle de l'injecteur est de 250°C; La température du four est programmée 180 à 250 °C. Les pics sont identifiés en comparant leur temps de rétention avec des acides gras polyinsaturés standards de SUPELCO. La qualification des acides gras a été réalisée moyennant un étalon interne (L'acide heptadécanoïque).

2.5. Analyse statistique des données

La comparaison des moyennes a été réalisée par analyse de la variance (ANOVA) et le test de Duncun.

3. Résultats et discussion

3.1. Acides gras totaux des branchies, du muscle et de la peau de *Liza aurata* en eau douce et en eau de mer :

Tableau 1 : Variation des acides gras totaux des muscles, des branchies et de la peau chez les juvéniles de *Liza aurata* en fonction de la salinité du milieu.

	Branchies	Muscle	Peau
Eau de mer	14,35 ±5,46	3,38±0,89	4,05±1,01
Eau douce	21,65±12,76	3,18±0,57	5,06±3,83

Pour les branchies et la peau la teneur en acides gras totaux est plus faible chez les poissons acclimatés à l'eau de mer par rapport à ceux qui sont acclimatés à l'eau douce. La différence est plus nette au niveau des branchies. Tandis qu'au niveau du muscle, nous enregistrons une très faible différence dans la teneur en AGT en faveur des poissons acclimatés à l'eau de mer. Toutefois, ces différences sont statistiquement non significatives. D'autre part, aussi bien en eau douce qu'en eau marine, la teneur en acides gras totaux des branchies est significativement plus élevée que celle du muscle et celle de la peau. Elle même plus élevée que celle du muscle mais de façon non significative. En effet, comme toutes les espèces euryhalines, *Liza aurata* est un poisson hyper-hypoosmotique, qui est donc capable d'inverser le sens de son mécanisme osmorégulateur selon qu'il est en eau de mer ou en eau douce. Dans cette dernière, le poisson va lutter contre l'hypervolumie ainsi que la perte de sel en activant le fonctionnement de son système excréteur et en absorbant activement les sels à partir du milieu extérieur. Alors qu'en eau de mer, il va lutter contre l'hypovolumie et l'excès de sel par la réduction du taux de filtration glomérulaire et par le rejet actif des sels vers le milieu extérieur. Dans les deux cas il va utiliser ses réserves lipidiques comme source d'énergie. D'où la diminution du taux des acides gras totaux que nous avons enregistré surtout au niveau des branchies en eau de mer. Dans notre cas, l'éventuelle participation des branchies dans la régulation osmotique par l'augmentation du taux de transport actif des ions et des sels nécessiterait une dépense d'énergie plus importante en eau de mer par rapport à l'eau douce. L'intervention des branchies lors des processus osmorégulateurs est généralement mise en évidence par la modification de leur structure. Ceci est confirmé chez de nombreuses espèces de poissons y compris *Liza aurata*. En effet, Khodabandeh en 2009, a démontré que les alevins de cette espèce sont capables de modifier le nombre et la taille des cellules à chlorure branchiales ainsi que leur activité en fonction de la salinité du milieu. Ce qui indique une grande capacité d'adaptation de cette

espèce à un large intervalle de salinité. De son côté, la sole sénégalaise, *Solea senegalensis*, montre une activité Na^+K^+ ATPase significativement plus importante suite à l'augmentation de la salinité du milieu (Herrera et al. 2012). De même, on note l'augmentation du nombre des cellules à chlorure dans les parties superficielles du filament épithélial branchial chez *Epinephelus itajara* (Garcia et al. 2013). Ces modifications à l'échelle membranaire ont été également mises en évidence chez le saumon durant la phase de transition entre le stade pré-smolt d'eau douce et le stade smolt marin. En effet, l'augmentation du contenu des membranes branchiales en cholestérol et sulfatides sont interprétées comme une pré-adaptation des branchies du saumon pour la sécrétion de sel, ce qui se traduit par une augmentation des microdomaines membranaires hébergeant les canaux et les pompes d'ion (Itokazo et al. 2014). Par ailleurs, des études ont montré que l'activité Na^+K^+ ATPase serait stimulée aussi bien en eau de mer qu'en eau douce comme ça a été démontré pour les juvéniles d'*Eleginops maclovinus*, chez qui on a démontré une allure en U de son activité Na^+K^+ ATPase, c'est-à-dire, une activité importante dans les salinités extrêmes (basse et élevée), mobilisant les lipides de réserve, et une activité moindre en eau saumâtre iso-osmotique (Vargas-Chacoff et al. 2015). Cette même allure a été mise en évidence chez *Mugil liza* chez qui l'activité Na^+K^+ ATPase branchiale ainsi que la consommation corporelle totale d'oxygène ont montré une réponse en forme type -d'U- dans les salinités extrêmes testées, mais avec des valeurs inférieures observées aux salinités intermédiaires. Ces résultats montrent que la demande d'énergie pour l'osmorégulation chez les juvéniles de *Mugil Liza* peut être minimisée dans les conditions isosmotiques (Lisboa et al. 2015). Ceci est confirmé par les travaux de Khodabandeh, 2009, qui a démontré que l'intensité de l' Na^+K^+ ATPase branchiale est élevée aussi bien dans les basses et les salinités élevées alors qu'elle diminue à 12 psu. Pour le muscle, nous n'avons pas enregistré d'importantes variations dans la teneur en lipides dans les deux milieux. Pourtant, dans la bibliographie, quelques études ont montré la participation des lipides musculaires comme source d'énergie dans les mécanismes de régulation osmotiques. Dans ce contexte, chez *Capoeta damascina*, on a essayé de déterminer la composition ainsi que le profil des acides gras des tissus comestibles de ce poisson acclimaté à l'eau douce et à l'eau saumâtre. L'étude a montré que les poissons transférés à une salinité de plus en plus saumâtre ont montré une teneur en lipides musculaires inférieure à celles des poissons acclimatés à l'eau douce (Fallah et al. 2013). Cependant, les différences que nous avons enregistrées n'étaient pas statistiquement significatives. Au fait, la capture de nos juvéniles a été effectuée en eau douce, et nous avons procédé par l'augmentation progressive de la salinité de l'eau douce à l'eau de mer. Il n'y a pas eu de choc osmotique qui aurait pu affecter l'homéostasie chez l'animal. De plus, nous avons laissé les poissons s'acclimater pendant tout un mois (période nécessaire à l'acclimatation des mulets) (cicotti et al. 1994) avant de commencer nos analyses. Les poissons semblent avoir pu retrouver leur équilibre physiologique au bout de cette période. Le moment critique pour ces poissons semble être le changement de la salinité lui-même. D'un autre côté, et à ce stade de développement, c'est-à-dire, le stade juvénile, certains poissons euryhalins acquièrent des capacités osmorégulatrices performantes ne demandant pas l'utilisation de beaucoup d'énergie. C'est le cas de *Seriola lalandi* dont l'osmolarité plasmatique ainsi que le nombre de cellules de chlorure branchiales n'ont pas changé suite à la variation de la salinité du milieu témoignant d'une forte capacité osmorégulatrice des juvéniles de cette espèce (Garcia et al. 2015). D'un autre côté, la variation d'une salinité élevée vers une basse salinité induit des adaptations des cellules à chlorures branchiales ainsi que de l'activité Na^+K^+ ATPase mais à court terme. Cependant, à long terme après exposition à une basse salinité, une importante activité Na^+K^+ ATPase n'est plus nécessaire (Sterzelecki et al. 2013).

3.2. Variation de la composition en acides gras des branchies, du muscle et de la peau des juvéniles de *Liza aurata*.

En fonction de la salinité du milieu, nous voyons que l'acide gras majoritaire au niveau des branchies des poissons acclimatés à l'eau douce est le C16 :1 (n-7), alors qu'en eau de mer, c'est le C16 :0. Nous remarquons également que la teneur de la majorité des acides gras a diminué suite au passage à l'eau de mer, à l'exception du C18 :0. De plus, les acides gras polyinsaturés et particulièrement, l'EPA et le DHA ont été détectés au niveau branchial uniquement chez les poissons d'eau douce. Nous remarquons également qu'en eau douce, le C18 :2(n-6) est bien représenté dans le spectre des acides gras branchiaux des poissons contrairement au C18 :3(n-3). Parallèlement, nous notons l'absence du C22 :5 (n-6) et la présence du C20 :5 (n-3) et du C22 :6 (n-3). Cela nous amène à supposer que le processus d'élongation et de désaturation enzymatique, à ce niveau, s'est déroulé à partir de l'acide linoléique C18 :3 (n-3).

Au niveau du muscle, nous remarquons que les acides gras sont très faiblement représentés en eau de mer par rapport à l'eau douce. L'acide gras majoritaire est le C16 :0 pour les muscles des poissons des deux milieux. Nous pouvons également constater la présence de l'EPA et du DHA en eau douce avec une faible représentation de leur précurseur (C18 :3 (n-3)) tandis que le précurseur des longues chaînes polyinsaturées de la série (n-6) (C18 :2) est bien présent avec une teneur importante. Au niveau de la peau, et parmi les différents acides gras, on constate que c'est toujours le C16 :0 qui représente l'acide gras majoritaire, quel que soit le milieu, marin ou d'eau douce. Cependant, et à la différence des branchies et du muscle, les acides gras détectés ont subi une augmentation suite au passage à l'eau marine à l'exception du C24 :0. Seulement, la présence, quoique faible, de certains acides gras (C18 :3 (n-3) et C22 :6 (n-3)) uniquement en eau douce ainsi que la teneur relativement importante du C20 :4 dans ce milieu a fait que la masse des acides gras totaux est plus importante en eau douce par rapport à l'eau de mer. Par ailleurs, à l'exception du C18 :2, tous les acides gras ayant augmenté suite au transfert à l'eau de mer sont soit des acides gras saturés (C14 :0, C16 :0 et C18 :0) soit des acides gras mono-insaturés (C16 :1 w7 et C18 :1 (n-9)) (fig.1). Il n'y a pas eu, donc, une augmentation du degré d'insaturation des acides gras au niveau de la peau suite au passage à l'eau marine. L'augmentation du degré d'insaturation des acides gras en eau douce que nous avons enregistré dans les trois organes étudiés est un résultat attendu du fait qu'il est admis que les poissons marins et d'eau douce présentent une dichotomie dans la biosynthèse des longues chaînes des acides gras polyinsaturés à partir de précurseurs à chaîne plus courte. Les espèces marines n'ont pas généralement cette capacité en raison du manque dans les enzymes de désaturation et d'élongation requis (Patterson et al. 2014). Plusieurs études ont confirmé l'augmentation de la teneur des acides gras polyinsaturés dans les basses salinité (Khérifi et al. 2000, 2003). Dans ce contexte, une étude ayant porté sur le suivi de la capacité osmorégulatrice chez le tilapia *Oreochromis mossambicus*, acclimatée à l'eau marine (34 psu), a montré que le changement de la salinité a provoqué une modification importante dans la composition en acides gras des tissus. En effet, on a enregistré une diminution des teneurs de l'EPA ainsi que du DHA au niveau des branchies et des reins. Cependant un résultat contradictoire a été enregistré dans les tissus musculaires de *Capoeta damascina*, où le contenu en acides gras polyinsaturés totaux tel que l'ARA et en acides gras polyinsaturés de la série n-3 particulièrement l'EPA, le DHA a été significativement (P 0.05) élevé, tandis que le contenu en acides gras monoinsaturés totaux a été significativement diminué (P 0.05) par l'augmentation de la salinité (Fallah et al. 2013). Le même résultat a été mentionné chez (*Chirostoma estor*) *Atherinopsidae*, chez qui, une capacité de biosynthèse endogène de longues chaînes d'AGPI à partir des acides gras précurseurs à 18 carbones a été mise en évidence, seulement cette voie de biosynthèse était active uniquement dans les conditions salines, aucune activité n'a été détectée dans les cellules isolées à partir des poissons d'eau douce (Fonseca-Madrigal et al. 2012). D'un autre côté, nous avons trouvé que les teneurs en EPA et en DHA, sont plus importantes au niveau du muscle, malgré sa faible teneur en lipides, suivi des branchies et enfin de la peau. Ceci est important du fait que les muscles constituent la partie comestible du poisson. Si ce résultat se confirme au stade adulte, il sera intéressant de point de vu santé humaine ; *Liza aurata* maintenue en eau douce pourra être considérée comme étant une source importante d'AGPI jouant un rôle important dans la prévention contre les maladies cardiovasculaires. La distribution des acides gras dans les différents tissus peut changer d'une espèce à une autre. Ainsi, chez l'esturgeon *Acipenser baerii*, les profils d'acides gras des reins et des branchies étaient relativement semblables, tandis que la graisse du muscle et de la gonade ressemble l'un à l'autre. Les AG qui ont caractérisé ces tissus le plus clairement sont le 22:6n-3, 20:5n-3, 18:0 et 18:1n-9. L'AGPI de la série (n-6) le plus abondant est 18:2n-6 avec des teneurs plus élevées dans la graisse de la gonade suivie de celle du muscle, puis de celle du foie, celle du rein, celle des branchies et enfin celle du cerveau. La somme des AGPI de la série (n-3) la plus élevée des a été observé dans le rein (presque un tiers des AG totaux) et les branchies et le plus bas (11.1 % mol) dans le foie (Nieminen et al. 2014).

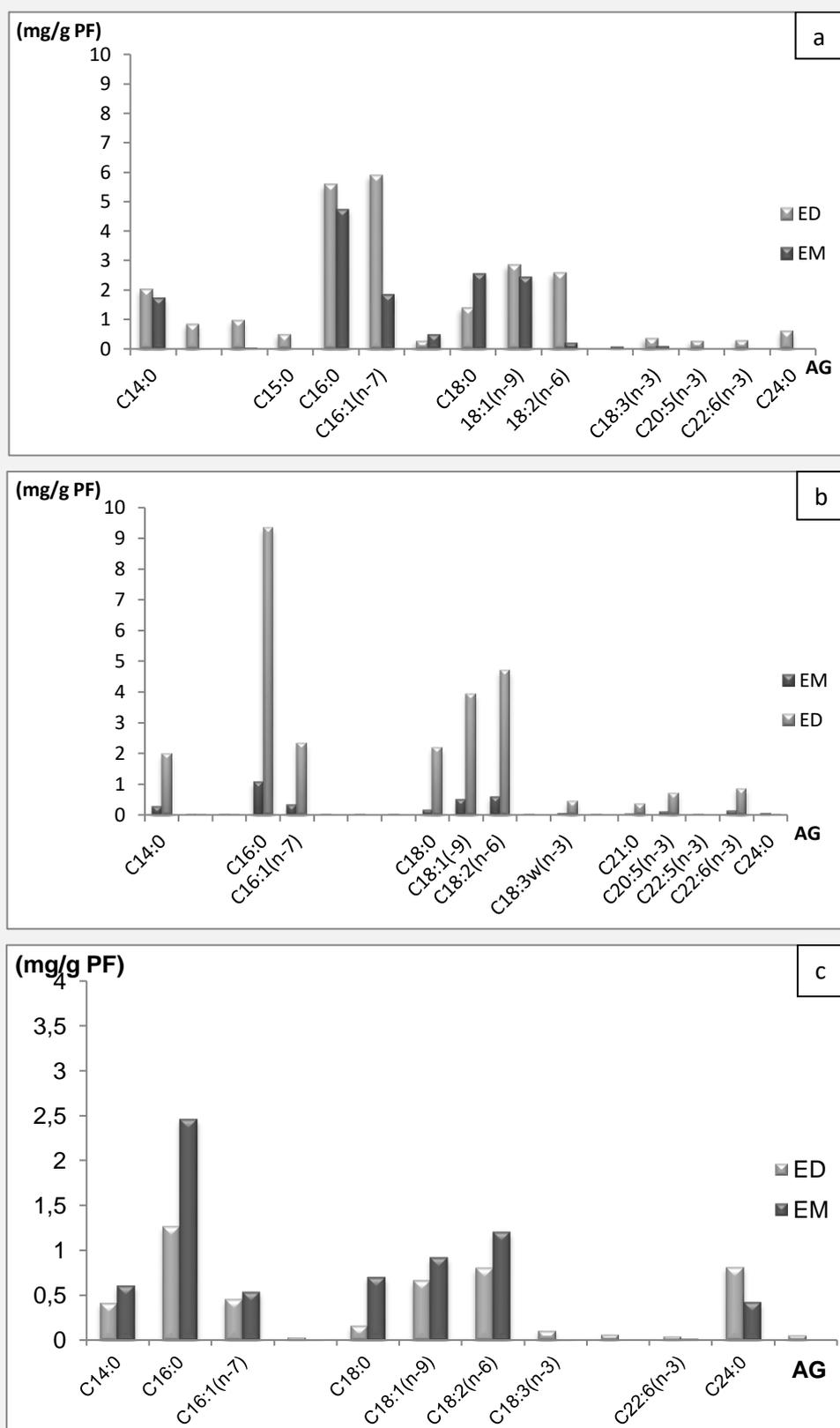


Figure 1 : Variation de la composition en acides gras des branchies (a), du muscle (b) et de la peau (c) des juvéniles de *Liza aurata* en fonction de la salinité du milieu.

4. Conclusion

Les résultats nous montrent que contrairement au muscle, les branchies et la peau présentent une teneur en AGT plus faible chez les poissons acclimatés à l'eau de mer par rapport à ceux acclimatés à l'eau douce. D'un autre côté, aussi bien en eau douce qu'en eau marine, la teneur en acides gras totaux des branchies est significativement plus élevée que celle du muscle et celle de la peau. Elle même plus élevée que celle du muscle mais de façon non significative. Du point de vue composition en acides gras, Pour les branchies et le muscle, les résultats montrent que la teneur de la majorité des acides gras détectés a diminué à salinité élevée. De plus, les acides gras polyinsaturés et particulièrement, l'EPA et le DHA ont été détectés uniquement chez les poissons d'eau douce. L'absence ou la faible présence du C18 :3 avec la présence du C20 :5(n-3) et du C22 :6(n-3) d'une part et la présence du C18 :2(n-6) avec l'absence du C22 :5(n-6) nous amène à supposer que le processus d'élongation et de désaturation enzymatique, à ce niveau, s'est déroulé à partir de l'acide linoléique C18 :3(n-3). Pour la peau, et à la différence des branchies et du muscle, les acides gras détectés et particulièrement les acides gras saturés (C14 :0, C16 :0 et C18 :0) et les acides gras mono-insaturés (C16 :1(n-7) et C18 :1(n-9)) ont subi une augmentation suite au passage à l'eau marine.

D'un autre côté, nous avons trouvé que les teneurs en EPA et en DHA, sont plus importantes au niveau du muscle suivi des branchies et enfin de la peau. Ceci est important du fait que les muscles constituent la partie comestible du poisson. Si ce résultat se confirme au stade adulte, il sera intéressant de point de vu santé humaine ; *Liza aurata* maintenue en eau douce pourra être considérée comme étant une source importante d'AGPI jouant un rôle important dans la prévention contre les maladies cardiovasculaires.

5. Références

- Bligh EG, Dyer WJ (1959)** A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37: 911-917.
- Cecchi G, Biasini S, Castano J (1985)** Méthanolyse rapide des huiles en solvant. Note de laboratoire. *Rev. Fr. Corps Gras*, 4 : 163-164.
- Ciccotti E, Marino G, Pucci P, Cataldi E, Cataudella S (1994)** Acclimation trial of *Mugil cephalus* juveniles to freshwater: Morphological and biochemical aspects. *Environmental Biology of Fishes*. 43: 163-170.
- Fallah AA, Nematollahi A, Saei-Dehkordi SS (2013)** Proximate composition and fatty acid profile of edible tissues of *Capoeta damascina* (Valenciennes, 1842) reared in freshwater and brackish water. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32: 150-154.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH (1957)** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226: 497-509.
- Fonseca-Madrigrá J, Pineda-Delgado D, Martínez-Palacios C, Rodríguez C, Tocher DR (2012)** Effect of salinity on the biosynthesis of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in silverside *Chirostoma estor*. *Fish Physiology and Biochemistry*. 38: 4, 1047-57.
- García LN, Sierra CL, Perez J, Esquivel F, Chapman FA (2013)** Osmoregulation of juvenile marine goliath grouper (*Epinephelus itajara*) in low-salinity water. *Rev. Colomb. Cienc. Pecuaria*. 26: 2, 127-135.
- Herrera M, Aragão C, Hachero I, Ruiz-Jarabo I, Vargas-Chacoff L, Mancera JM, Conceição LEC (2012)** Physiological short-term response to sudden salinity change in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 38: 6, 1741-1751.
- Itokazu Y, Käkälä R, Piironen J, Guan XL, Kiiskinen P, Vornanen M (2014)** Gill tissue lipids of salmon (*Salmo salar* L.) psmolts and smolts from anadromous and landlocked populations. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 172A: 39-45.
- Kheriji S (2000)** Contribution à l'étude des effets de la basse salinité et de la température du milieu sur la composition lipidique des alevins de *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758). DEA, Faculté des sciences de Tunis.
- Kheriji S, El Cafsi M, Masmoudi W, Castell JD, Romdhane MS (2000)** Effet de la salinité et de la température du milieu sur le degré de saturation des acides gras et sur les différentes catégories lipidiques des alevins de *Mugil cephalus*. *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*. 27: 61-68.
- Kheriji S, El Cafsi M, Masmoudi W, Castell JD, Romdhane MS (2003)** Salinity and Temperature Effects on the Lipid Composition of Mullet Sea Fry (*Mugil cephalus*, Linne, 1758). *Aquaculture International*, 11: 6, 571-582.
- Kheriji S, El Cafsi M, Masmoudi W, Romdhane MS (2004)** Salinity effects on the distribution of the lipid class FAs in *Mugil cephalus* fry. *Biol. Mar. Médit.* 11: 2, 670-674.
- Khodabandeh S, Moghaddam MS, Behroz Abtahi B (2009)** Changes in Chloride Cell Abundance, Na⁺, K⁺-ATPase Immunolocalization and Activity in the Gills of Golden Grey Mullet, *Liza aurata*, Fry During Adaptation to Different Salinities. *Yakhteh Medical Journal*, 11: 1, 49-54.

- Lisboa V, barcarolli IF, sampaio LA, bianchini A (2015)** Effect of salinity on survival, growth and biochemical parameters in juvenile Lebranch mullet *Mugil liza* (Perciformes: Mugilidae). *Neotrop. ichthyol.* 13: 2, 447-452 .
- Nieminen P, Westenius E, Halonen T, Mustonen AM (2014)** Fatty acid composition in tissues of the farmed Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Food Chemistry* , 159: 80–84.
- Patterson JT, Green CC (2014)** Diet-Induced Fatty Acid Variation in Critical Tissues of a Spawning Estuarine Fish and Consequences for Larval Fitness. *Physiological and Biochemical Zoology: Ecological and Evolutionary Approaches.* 87: 5, 612-622.
- Sterzelecki FC, Rodrigues E, Fanta E, Ribeiro CAO (2013)** The effect of salinity on osmoregulation and development of the juvenile fat snook, *Centropomus parallelus* (POEY) *Braz. J. Biol.*, 73: 609-615.
- Vargas-Chacoff L, Saavedra E, Oyarzún R, Martínez-Montaña E, Pontigo J P, Yáñez A, Ruiz-Jarabo I, Mancera J M, Ortiz E, Bertrán C (2015)** Effects on the metabolism, growth, digestive capacity and osmoregulation of juvenile of Sub-Antarctic Notothenioid fish *Eleginops maclovinus* acclimated at different salinities. *Fish Physiology and Biochemistry.* 41 : 6, 1369-1381.
- Vite-García N, Arjona O, Morales-Bojorquez E, Mascaro M, Simoes N, Palacios E (2014)** Assessment of lipid classes and fatty acid levels in wild newborn seahorses (*Hippocampus erectus*) (Perry 1810): implications for survival and growth in aquarium culture. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology,* 47: 6, 401–413.