

ETUDE DE LA TOLERANCE A LA TEMPERATURE ET A LA SALINITE CHEZ LE TILAPIA DU NIL *OREOCHROMIS NILOTICUS* (L.) ELEVE DANS LES EAUX GEOTHERMALES DU SUD TUNISIEN

Mohamed Salah AZAZA¹ et M.M. KRAÏEM^{1*}

¹Institut National des Sciences et Technologies de la Mer 2025 Salammbô –Tunisie.

med.azaza@instm.rnrt

* mejd.kraiem@instm.rnrt.tn

ملخص

طاقة تحمل الحرارة والملوحة لسماك البلطي النيلي المربي في المياه الجيوحرارية بالجنوب التونسي : تهدف هذه الدراسة إلى تقييم طاقة تحمل الحرارة العليا والملوحة لسماك البلطي النيلي المربي في المياه الجيوحرارية بالجنوب التونسي وذلك مع تأثير كل من حرارة تأقلم الأسماك وحجمها على طاقة تحملها للحرارة العليا الهالكة. بالنسبة لكل حرارة تأقلم وهي 20 و 30 درجة لمدة 10 أيام، وقع إخضاع عينات من هذه الأسماك إلى الدرجات الحرارية التالية 35، 36، 37، 38، 39، 40 و 41 درجة، بصفة منفصلة ووقع قياس معدل مدة الحياة بالنسبة لكل حرارة. فيما يخص تأثير طول الأسماك، وقع تقسيم الأسماك إلى 3 أقسام طولية مختلفة. بينت هذه الدراسة أن عامل تأقلم الأسماك للحرارة (20 و 30 درجة) لا يمكنها من ترفيع الحرارة القاتلة. حيث تبلغ هذه الحرارة 40,12 درجة بالنسبة للتأقلم في حرارة 20 درجة في حين تبلغ 40,73 درجة بالنسبة للأسماك التي وقعت أقلمتها في حرارة 30 درجة. كما بينت هذه الدراسة أنه لا يوجد أي تأثير لطول الأسماك على طاقة تحمل الحرارة العليا الهالكة للأسماك وذلك بالإعتماد على معدل مدة الحياة للأسماك. في ما يخص طاقة تحمل الملوحة، أظهرت النتائج قدرة هذه الأسماك على تحمل درجات ملوحة عالية (28 غ/ل) لكنها تتأثر بشكل واضح بحجم الأسماك، وذلك إلى حد طول 6 صم، حيث تستقر هذه الطاقة تدريجيا بعد ذلك، ليصبح عامل الحجم غير مؤثر. الكلمات المفتاحية : البلطي النيلي، طاقة تحمل، الحرارة، الملوحة.

RESUME

L'objectif de cette étude est de déterminer la capacité de tolérance à la température et à la salinité chez le tilapia, *Oreochromis niloticus*, dans des conditions contrôlées au laboratoire. L'influence de la taille et de la température d'acclimatation sur les températures létales chez *Oreochromis niloticus* ont été étudiées après une période d'acclimatation de 10 jours à 20°C et à 30°C ; en utilisant le temps de survie moyen (TSM) et la température létale 50% (TL₅₀) après 24, 48, et 72h. Pour une acclimatation à 20°C, les températures létales sont de 40,12 ; 38,35 et 36,59°C respectivement pour 24, 48, et 72h. Pour une acclimatation à 30°C, ces valeurs deviennent 40,73, 38,82, et 36,92°C. Les résultats de cette étude ont montré aussi que cette tolérance n'est pas influencée par la taille. En effet, en se basant sur le TSM, toutes les classes de tailles présentent la même capacité de résistance et que cette espèce manifeste une large marge de tolérance aux températures élevées comparées avec d'autres téléostéens.

Bien qu'il s'agisse d'un poisson d'eau douce, *Oreochromis niloticus* a montré une capacité de tolérer des concentrations élevées en sel (jusqu'à 28g l⁻¹). Cette tolérance semble être influencée par la taille. Ainsi, chez *Oreochromis niloticus* la tolérance à la salinité augmente avec la taille jusqu'à 6 cm, et elle a tendance à se stabiliser progressivement au-delà de cette taille. L'effet taille s'estompe pour les grands individus.

Mots-clés: *Oreochromis niloticus*, tolérance, température, salinité.

ABSTRACT

Study of temperature and salinity tolerance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) : The present study aims to investigate temperature and salinity tolerance of tilapia, *Oreochromis niloticus*, under controlled laboratory conditions. This by exposing fish to high temperatures and salinities in order to determine their tolerance to these factors. The effect of body size and acclimation temperature on the lethal temperature (LT) of *Oreochromis niloticus* is investigated after 10 days acclimation period at 20°C and 30°C. Indexes used as practical measures of tolerance temperature are: mean survival time (MST), defined as the mean survival time over 24h, 48h and 72h period, and lethal temperature (LT₅₀) 24, 48, and 72h defined as the temperature at which survival falls to 50% after 24h, 48h, and 72h. For the first acclimation (20°C), the LT₅₀ were 40.12°C, 38.35°C and 36.59°C respectively for 24, 48 and 72h. For the second one (30°C), these limits were 40.73°C, 38.82°C and

36.92°C. No significant effect of body size on temperature tolerance was observed. Compared to other teleostei, this species presented a wide range of temperature tolerance.

Despite its freshwater fish behavior, *Oreochromis niloticus* shows a high salinity tolerance (28g l⁻¹). Otherwise, results show that salinity tolerance was closely related to size and maximum tolerance may be acquired at a total body length of approximately 6cm and remained relatively unchanged beyond this length.

Key-world: *Oreochromis niloticus*, tolerance, temperature, salinity.

INTRODUCTION

Originaire d'Afrique, les tilapias constituent le fondement et la première ressource d'une aquaculture africaine. Sa rusticité d'élevage, sa large valence écologique et sa souplesse d'adaptation à des milieux extrêmement variés, ont encouragé son introduction dans plusieurs pays du monde. De ce fait, *Oreochromis niloticus* est considérée de loin l'espèce piscicole la plus intéressante, et la base de la pisciculture d'eau douce de la ceinture intertropicale du globe (Arrignon, 1998). En effet, selon les dernières statistiques de la production mondiale des poissons d'eau douce (FAO, 2005), les tilapias occupent le troisième rang après les Cyprinidés et les Salmonidés, avec une production passant de 1,25 Millions de tonnes en 2002 à 2,37 Millions de tonnes en 2005, dont 87,6 % de la production totale est représentée par l'espèce *Oreochromis niloticus*. Cette espèce a été introduite en Tunisie dans le but, d'une part, pour exploiter et valoriser l'énorme ressource en eau géothermale, douce et saumâtre, du sud tunisien et d'autre part pour la diversification des espèces d'élevage à haute valeur marchande.

Il est connu que les poissons sont poïkilothermes et que chaque espèce est adaptée à une zone thermique possédant un optimum vital et des limites en dehors desquelles la température a des effets néfastes pouvant entraîner la mort. De plus la température et la salinité présentent une action directe en affectant plusieurs processus métaboliques notamment la croissance et la reproduction. Etant donné que chaque milieu et chaque site offre des caractéristiques propres, ceci rend important de traiter les problèmes liés à la méconnaissance des caractéristiques biologiques précises de chaque espèce, voir même de chaque souche en relation avec son biotope. La notion de tolérance aux fluctuations des facteurs environnementaux (température, oxygène, salinité...), ne présente d'intérêt pratique que si elle est associée à la connaissance des limites tolérables en élevage. Il paraît donc évident que la maîtrise de l'élevage dans des conditions variées et parfois extrêmes, exige un approfondissement des connaissances de base de l'effet de ces facteurs sur la croissance et la survie des poissons.

La température et la salinité exercent un large spectre d'action sur la prise alimentaire, l'activité locomotrice, le métabolisme, la croissance et la survie

des poissons (Abucay et Mair, 2004; Chatterjee *et al.*, 2004; Manush *et al.*, 2004; Azaza et Kraïem, 2005; Das *et al.*, 2005; Perry *et al.*, 2005; Mora et Maya, 2006; Resley *et al.*, 2006; Kikuchi et Furuta, 2007; Azaza *et al.*, 2007) mais le but qui semble avoir le plus intéressé les scientifiques, est la détermination des limites létales de ces facteurs. Cette question a été étudiée sur le Barbeau (Kraïem et Pattee, 1980 ; Kraïem, 1994), l'Ombre (Kraïem et Duvernay, 1981), la Carpe (Das *et al.*, 2004; Chatterjee *et al.*, 2004), le Tilapia (Lemarie *et al.*, 2004; Kamal et Graham, 2005), le Sandre (Wilson et Nagler, 2006) et le poisson chat asiatique (Debnath *et al.*, 2006).

L'objectif de notre étude est de déterminer les seuils de survie de cette espèce ainsi que l'effet de la taille sur sa capacité de résistance vis à vis de la température et de la salinité.

MATERIEL ET METHODES

Les expériences ont été réalisées à la station de pisciculture expérimentale dans les eaux géothermales de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM) à Béchima, dans le sud tunisien, sur des tilapias appartenant à la souche égyptienne "maryout" importée de la Libye en 1999 (Turki et Kraïem, 2002).

Technique d'acclimatation

Avant d'entamer les expériences, et pour chaque température d'acclimatation (20°C et 30°C) des lots de 30 individus d'*Oreochromis niloticus* sont installés dans des aquariums de 125 l contenant de l'eau douce de salinité 1,8 g l⁻¹ qui alimente le parc aquacole de la station. Un thermoplongeur automatique de 300 watts de type Réna maintient l'eau à la température d'acclimatation voulue qui est atteinte progressivement à raison de 1°C j⁻¹. Une aération constante fournit un taux d'oxygène toujours voisin de la saturation, un filtre permettant de piéger les déchets et les déjections accumulés au fond des aquariums. L'acclimatation a lieu pendant au moins 10 jours durant laquelle les poissons sont nourris de granulés à base de farine de poisson, de tourteau de soja et de maïs. Un contrôle journalier de la température et de l'oxygène dissous au moyen d'un thermo-oxymètre de type (Oxi 96 WTW) est effectué.

Tolérance à la température

Pour chaque température d'acclimatation (20°C et 30°C), 12 lots de 6 poissons sont exposés à différentes températures test, 36, 37, 38, 39, 40, et 41°C. A chaque température test, 2 séries d'expériences sont simultanément réalisées dans des aquariums de capacité 25 l et ceci dans le but de limiter les risques éventuels de perturbation dus à l'expérience. Une aération constante maintient le taux d'oxygène voisin de la saturation. Un thermoplongeur de type "Réna" règle la température de l'eau à 0,5°C près. Le passage de la température d'acclimatation à la température du test se fait à raison de 1°C toutes les 5 mn. Il est à signaler que durant l'expérience les poissons ne sont pas nourris. On prend arbitrairement 72h comme temps de survie maximum et on note le temps de survie individuel tout le long de cette période (le contrôle de la mortalité se fait chaque demi-heure de jour et de nuit). Une deuxième expérience consiste à étudier l'effet de la taille sur le temps de survie à température constante ; pour cela, on expose 64 individus qui sont repartis en 4 catégories de taille (2 à 5; 6 à 9; 10 à 15; 16 à 20 cm) acclimatés à 30°C pendant 10 jours à la température de 40°C. Le passage à la température test se fait à raison de 1°C toutes les 10 mn et on note le temps de survie: le contrôle de la mortalité se fait chaque demi-heure jusqu'à la mort du spécimen le plus résistant.

Tolérance à la salinité

Les sujets d'expérience étaient de tailles différentes (2 à 20 cm) et sont acclimatés à une température variant de 26°C à 30°C. Ces individus sont installés dans des conditions identiques à celles où se sont déroulés les tests de la tolérance à la température. La seule différence concerne l'eau du test qui est maintenue à celle de la température d'acclimatation et qui est constituée d'eau douce, à laquelle on ajoute des quantités variables d'eau de mer provenant du Golfe de Gabès de salinité 36,60 g l⁻¹.

Pour atteindre les salinités tests (22, 24, 26, 28, 30 et 32 g l⁻¹), on ajoute progressivement à l'eau douce, des quantités d'eau de mer de façon à augmenter la salinité de 2 g l⁻¹ toutes les 30 mn. Pour chaque salinité test on a utilisé deux groupes de 6 poissons et on note le temps de survie des individus: le contrôle de la mortalité se fait chaque demi-heure de jour et de nuit, l'expérience dure jusqu'à 3 jours (72h).

Concernant l'effet de la taille sur la tolérance à la salinité, nous avons réalisé des tests comparatifs de la tolérance à la salinité pour différentes tailles. Pour cela on a utilisé 4 lots représentés par différentes classes de taille (2 à 5cm, 6 à 10cm, 12 à 16cm, et > à 16cm). Ces lots sont soumis progressivement à la salinité de 30g l⁻¹, et ce, en ajoutant à l'eau douce différentes quantités d'eau de mer, de façon à augmenter la salinité de 2g l⁻¹ toutes les 30 mn. Pour chaque classe de taille nous avons utilisé 2 lots de 8 poissons. Durant l'expérience la température est

stabilisée à 28°C qui est aussi celle de l'acclimatation. On note pendant l'expérience les temps de survie des poissons jusqu'à la mort de tous les individus. Le contrôle de la mortalité se fait chaque demi-heure.

Analyses statistiques

L'analyse statistique a été effectuée selon les méthodes standard de l'analyse de variance à un critère (ANOVA) au moyen du logiciel Statistica® version 5.1 (Statsoft, Tulsa) après vérification préalable de l'homogénéité des variances et de la normalité des données à analyser. Des seuils de probabilité significatifs de 5 et 1% ont été utilisés. Lorsque l'ANOVA se révélait significative, la comparaison multiple des moyennes par le test de Duncan est appliquée. Les comparaisons statistiques des tracés des courbes sont effectuées par le test t de student selon Schwartz (1963). Pour la détermination des valeurs létales (TL₅₀ et CL₅₀) nous avons adopté la méthode graphique de Hirshfield *et al.* (1980).

RESULTATS

Tolérance à la température

L'analyse de la figure 1 montre que pour les poissons acclimatés à 20°C, les températures létales TL 24h, 48h et 72h se situent respectivement à 40,12°C, 38,35°C et 36,59°C. Tandis que pour le lot acclimaté à 30°C les TL 24h, 48h et 72h se situent respectivement à 40,73°C, 38,82°C et 36,92°C. Ceci montre apparemment une meilleure tolérance à la température pour les poissons acclimatés à 30°C.

La comparaison statistique des résultats (tableau I et II) relatifs à ces deux tests montrent que les deux droites moyennes de régressions calculées et correspondantes aux deux lots sont statistiquement linéaires et parallèles (tpe = 1,024 < seuil 5% (2,365)), elles sont même confondues (tpo = 0,226 < seuil 5% (2,365)) traduisant une différence non significative de la tolérance à la température d'*Oreochromis niloticus* pour les deux températures d'acclimatation considérées. Cependant, les poissons acclimatés à 30°C paraissent plus tolérants à la température que ceux acclimatés à 20°C et ceci est d'autant plus remarqué pour une exposition aux températures élevées (> à 39°C).

Température létale 50% (TL₅₀)

L'analyse du nombre de survivants après 24h, 48h et 72h aux différentes températures tests (fig. 2) permet de localiser les températures létales 50% après 24h, 48h et 72h des deux lots d'*Oreochromis niloticus* acclimatés à 20°C (fig 2a) et à 30°C (fig 2b). Ainsi, on remarque que les poissons acclimatés à 20°C présentent une TL₅₀ (24h) qui se situe entre 39°C et 40°C. A 48h cette TL₅₀ se situe entre 38°C et 39°C et

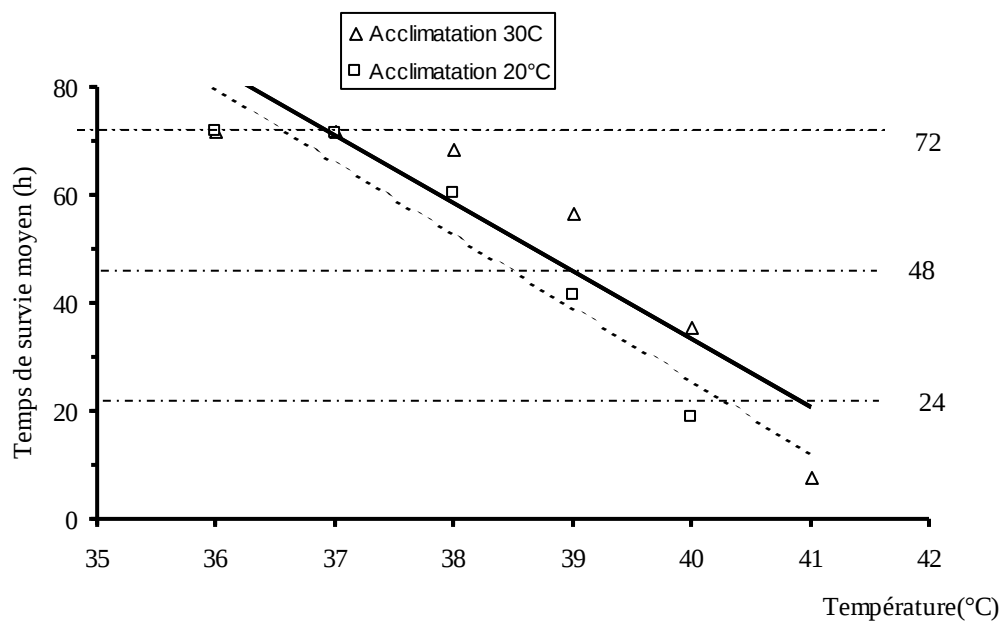


Fig. 1. Influence de l'acclimation sur la température létale 24h, 48h, et 72h. Chaque point représente la moyenne de 12 mesures. Les droites de régressions sont calculées par la méthode des moindres carrées.

----- Acclimation 20°C : TL 24h = 40,12°C; TL 48h = 38,35°C; TL 72h = 36,59°C.
(Mesures faites à 36, 37, 38, 39 et 40 °C sur 60 individus au total).

——— Acclimation 30°C: TL 24h = 40,73°C; TL 48h = 38,82°C; TL 72h = 36,92°C.
(Mesures faites à 36, 37, 38, 39, 40 et 41°C sur 72 individus au total).

Tableau I. test de linéarité par analyse de la variance des écarts sur la régression temps de survie-températures tests

Acclimation	ddl	Fcal	F 1%	F 5%	Conclusions
20°C	3 55	1,93	4,13	2,36	Linéarité acceptée à 5%
30°C	4 66	2,61	3,48	2,45	Linéarité acceptée à 1%

Tableau II. Comparaison des droites moyennes de régressions temps de survie-température pour les deux acclimations 20°C et 30°C, n = nombre de poissons; a = pentes des droites de régressions; b = ordonnées à l'origine; tpe = test de pente; tpo = test de position.

	Tests cal	ddl	Seuil		Conclusions
			1%	5%	
tpe	1,024	7	3,499	2,365	tpe calculé < au seuil: droites parallèles
tpo	0,226				tpo calculé < au seuil: droites confondues

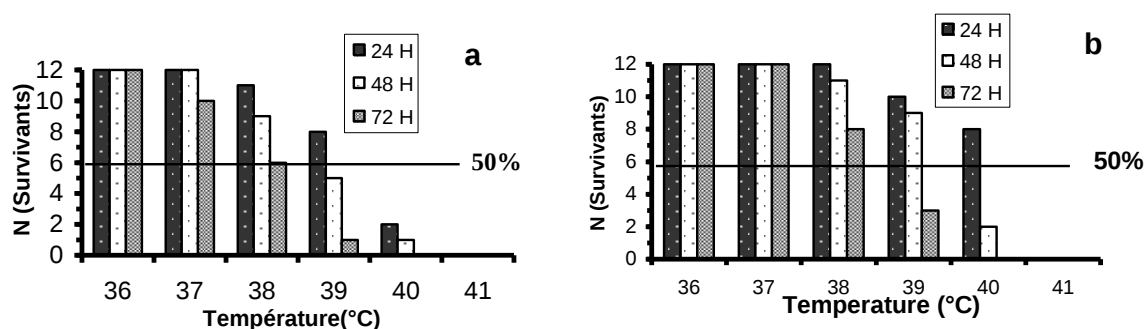


Fig. 2. Nombre des survivants après 24, 48 et 72h aux différentes températures tests.
a: acclimation 20°C; b: acclimation 30°C

à 72h elle est $\leq$ à 38°C. Pour le lot acclimaté à 30°C, il apparaît plus résistant à l'élévation de la température et les seuils de TL_{50} se situent entre 39 et 40°C après 48h et entre 38°C et 39°C à 72h. Il est à signaler que plus de 50% des poissons survivent à 40°C après 24h.

La détermination précise des TL_{50} par analyse de la mortalité moyenne en fonction des températures tests après 24h, 48h, et 72h (fig. 3) permet de situer, pour une acclimation de 20°C (fig. 3a) les TL_{50} (24h) à 39,30°C, TL_{50} (48h) à 38,70°C et TL_{50} (72h) à 38°C. En revanche pour une acclimation de 30°C (fig. 3b), les valeurs de la TL_{50} sont respectivement de 40,10°C, 39,40°C et 38,30°C après 24h, 48h et 72h.

Effet de la taille

Le tableau III montre l'effet des 4 classes de taille sur le temps de survie moyen (TSM) des individus testés à une température de 40°C après acclimation pendant 10 jours à une température de 30°C. L'analyse statistique (ANOVA) des résultats montre que la différence entre les TSM de différentes classes de taille n'est pas significative ($P > 0,05$).

Tolérance à la salinité

Salinité létale 50%

Les valeurs de salinité létales 50% (CL_{50}) ainsi que leurs intervalles de confiances sont illustrées par la figure 4 et le tableau IV; elles sont de: 27,70g l⁻¹, 26,40g l⁻¹, et 24,30g l⁻¹ respectivement pour 24h, 48h, et 72h. La comparaison des intervalles de confiances de ces valeurs montre qu'elles sont statistiquement différentes.

Effet de la taille

La figure 5 représente les variations du temps de survie moyen (TSM) en fonction de la taille. Cette variation est exprimée par l'équation suivante : $Y = 445,47 \ln(X) + 57,569$; avec $R^2 = 0,957$; $Y =$ TSM (mn) et $X =$ taille (cm)

La comparaison des TSMs des différentes classes de taille (tableau V), montre que les TSMs des poissons testés à une salinité de 30 g l⁻¹ sont influencés par la taille ($P < 0,01$, ANOVA). Le test de Duncan montre

que la différence entre les TSMs des trois dernières classes de tailles n'est pas significative ($P > 0,05$), alors que la première classe de taille (de 2 à 5 cm) présente une résistance plus faible que les autres. Ainsi, chez *Oreochromis niloticus* la tolérance à la salinité semble atteindre son maximum et a tendance à se stabiliser au-delà de 6 cm pour les tailles supérieures.

DISCUSSION

D'après les différents tests réalisés nous remarquons que l'acclimation thermique présente une légère influence, non significative, sur la tolérance aux températures tests élevées chez *Oreochromis niloticus*. Ainsi, pour un écart de 10°C dans la température d'acclimation, la température létale 24h varie de 0,61°C, soit une augmentation de 16,39°C de la température d'acclimation, pour une augmentation de 1°C dans la température létale 24h. Debnath *et al.* (2006) ont montré, chez le poisson chat asiatique, *Pangasius pangasius*, un effet significatif de la température d'acclimation sur la tolérance à la température. En effet, ces auteurs ont montré qu'une augmentation de 8°C dans la température d'acclimation entraîne une augmentation de 1,37°C dans la température létale. Des résultats similaires ont été démontrés par Das *et al.* (2005) chez la carpe, *Labeo rohita*; ces auteurs ont montré que pour un écart de 10°C de la température d'acclimation (26-36°C), la température létale augmente de 3,27°C (42,33-45,60°C).

Bien que nos expériences aient été faites selon une méthodologie différente, la comparaison montre une différence d'eurythermie en faveur de l'espèce que nous avons étudiée. Le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) qui est un Cichlidé thermophile et eurytherme semble moins affecté par ce facteur que les Cyprinidés et les Salmonidés qui occupent un

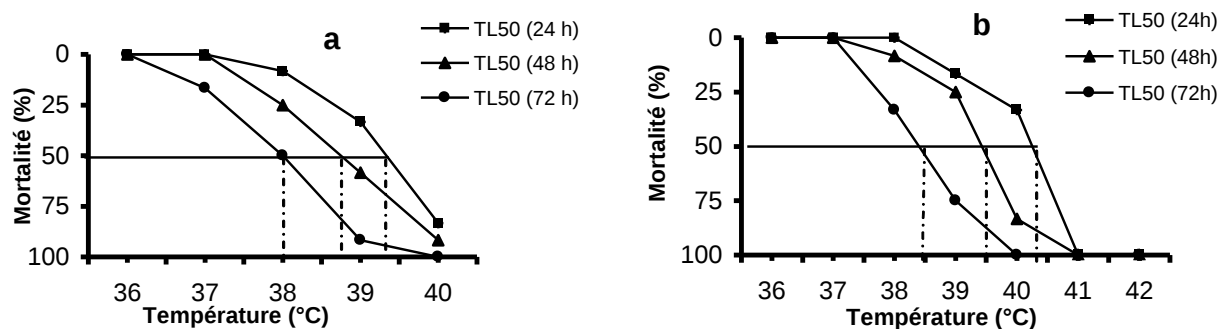


Fig. 3. Variation de la mortalité en fonction de la température durant 24h, 48h et 72h (a: acclimation 20°C; b: acclimation 30°C).

Tableau III. Comparaison des valeurs moyennes des temps de survie moyens (TSM) de différentes tailles d'*O. niloticus* testée à 40°C, après acclimation à 30°C durant 10 jours.

Taille (cm)	TSM (mn)	ddl	F _{cal}	F _{seuil} (5%)	Conclusions
2 à 5	1976,25	3	0,272	2,764	F _{cal} < F _{seuil} (5%): la différence n'est pas significative
6 à 9	1932,50				
10 à 15	2077,50				
16 à 20	2036,25	60			

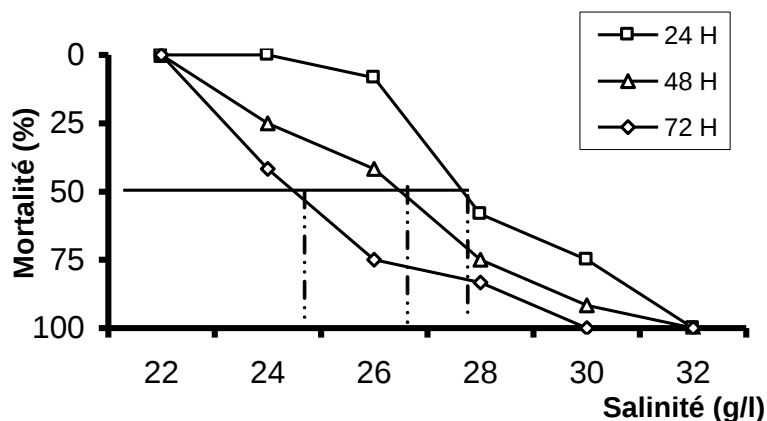
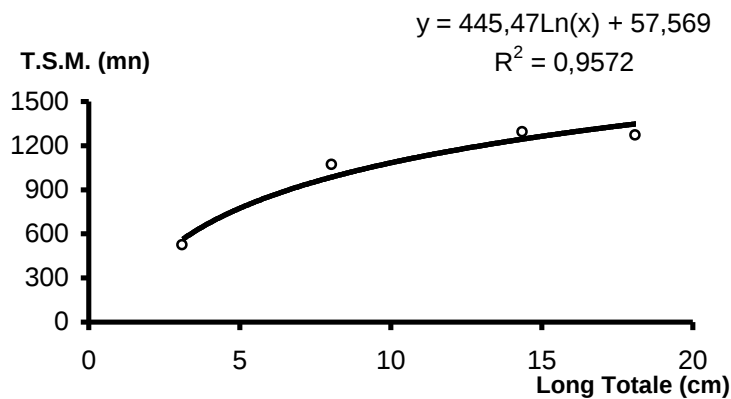


Fig. 4. Variation de la mortalité moyenne en fonction de la salinité, durant 24h, 48h, et 72h

Tableau IV. Concentration létale moyenne 50% 24h, 48h et 72h (CL₅₀) (Salinité g L⁻¹)

CL ₅₀ 24h		CL ₅₀ 48h		CL ₅₀ 72h	
Moyenne (g l ⁻¹)	Limite de confiance (95%)	Moyenne (g l ⁻¹)	Limite de confiance (95%)	Moyenne (g l ⁻¹)	Limite de confiance (95%)
27,70	27,11 – 28,28	26,40	25,61 – 27,18	24,30	23,71 – 24,88

Fig. 5. Effet de la taille sur la variation du temps de survie moyen chez *O. niloticus* exposés à une salinité de 30 g l⁻¹. Chaque point représente la moyenne de 16 mesures.Tableau V. comparaison des valeurs moyennes de temps de survie moyen (TSM) de différentes tailles d'*O. niloticus* soumis à une salinité de 30 g l⁻¹ et à une température de 26°C après acclimatation de 10 jours à l'eau douce et à la même température. Les valeurs des TSM repérées par des lettres différentes sont significativement différentes (P<0,05), test de Duncan.

Taille (cm)	TSM (mn)	ddl	F cal	F seuil (1%)	Conclusions
2 à 5	618,75 a	3	4,515	4,132	F cal > Fseuil (1%): les valeurs moyennes des TSMs sont significativement différentes (P<0.01)
6 à 12	1095,00 b				
12 à 16	1194,38 b				
		60			

milieu naturel entre la zone à truite et la zone à ombre caractérisant les espèces sténothermes d'eau fraîche (Huet, 1949).

Pour le tilapia (*Oreochromis niloticus*) les expérimentations en laboratoire de Denzer (1968) ainsi que celles de Fernandes et Ratin (1986), ont montré que ce poisson est indiscutablement l'espèce la plus tolérante aux températures élevées. En effet ces derniers auteurs, ont signalé que la température limite supérieure pour la survie de cette espèce est de

43,70°C. On retrouve dans nos résultats cette remarquable tolérance aux températures élevées, si l'on en juge de la température létale 24h correspondant à une acclimatation de 30°C où cette TL 24h dépassait 40°C. Toutefois, au-delà de 38°C, un stress métabolique s'installe entraînant la mort de ce poisson à long terme (Allanson et Noble, 1964; Gelastine, 1974).

Dans la littérature nous avons noté une variabilité des résultats de la tolérance à la température pour la

même espèce. Une telle variabilité, également rapportée par Fernandes et Ratin (1986) et par Beitinger *et al.* (2000) a souvent été expliquée par la grande ambiguïté des définitions et des indices utilisés par les auteurs lors de l'étude de la thermo-tolérance. La durée des expériences pour estimer les températures létales constitue aussi le facteur le plus important qui explique en grande partie l'hétérogénéité des résultats (Mora et Maya, 2006). Elle peut s'étaler de 1 à 7 jours (Cherry *et al.*, 1977; Beitinger *et al.*, 2000). Dans notre étude, pour déterminer les températures létales, nous avons choisi arbitrairement le temps 72 heures comme durée limite de l'expérience. Pour Barouday et Elliott (1994) la température létales 50% (TL₅₀) est la température où 50% de poissons peuvent survivre 10 mn, alors que pour Jobling (1981), c'est la température où 50% des individus peuvent survivre indéfiniment. Or, étant donnée que les temps de mesure sont variables, les capacités de résistances des poissons sont certainement influencées, ce qui pourrait sous-estimer les valeurs des températures létales (Mora et Maya, 2006).

Concernant l'effet de la taille, en se basant sur le temps de survie moyen comme indice de mesure de la tolérance thermique, l'effet taille s'estompe et les poissons de différentes tailles présentent une même capacité de résistance. Le même constat a été identifié chez le Barbeau (*Barbus barbus*) par Kraïem (1979) où il a montré que chez cette espèce, les TSMs de deux classes de tailles utilisées (de 5 à 12 cm et de 25 à 35 cm), testées à 32°C, ne sont pas différents de façon significative, quant à leur tolérance à la température. Pour les tilapias, Fernandes et Ratin (1986), ont montré que chez *Oreochromis niloticus* la taille n'a aucune influence sur les températures létales, ce qui confirme les résultats de la présente étude.

Les résultats relatifs à la tolérance à la salinité ont confirmé l'euryhalinité d'*Oreochromis niloticus*. En effet, malgré qu'elle est une espèce d'eau douce, elle manifeste une euryhalinité remarquable puisqu'on la rencontre en milieu naturel dans les eaux de salinité comprise entre 10 et 30 g l⁻¹ (Kirk, 1972), elle vit dans des hydrosystèmes de salinité différente aussi bien dans les cours d'eau et les lacs d'eau douce que dans les estuaires et les deltas, comme le delta du Nil (10 g l⁻¹) (Kraïem et Ben hamza, 2000).

les expérimentations en laboratoire nous ont montré que cette espèce tolère de fortes salinités allant jusqu'à 28 g l⁻¹ alors que Payne et Collinson (1983) ont montré que des salinités de 5 à 7 g l⁻¹ constituent un seuil limite à la survie de cette espèce en milieu naturel. Ceci pourrait être expliqué par l'intervention de plusieurs facteurs d'ordre technique, environnemental, et biologique qui peuvent influencer la capacité de résistance d'*Oreochromis niloticus* à la salinité.

La composition ionique du milieu externe est un facteur qui contrôle l'adaptabilité à la salinité (Hwang, 1987; Yada *et al.*, 1994). En effet, d'après Pora (1969), la présence des espèces en milieu saumâtre ne dépend pas seulement de leur capacité à supporter une certaine pression osmotique externe, déterminée par la salinité totale, mais elle est liée aussi aux rapports ioniques prévalant dans ces milieux. Dans ce même raisonnement, Doudet (1991) a montré qu'en conditions homogènes d'expérience, la tolérance à la salinité des tilapias acclimatés à l'eau de mer diluée est supérieure à celle des poissons acclimatés dans l'eau provenant d'un milieu saumâtre.

Il est également possible que les conditions d'adaptation en eau douce, et surtout la composition ionique de celle-ci, puissent jouer un rôle important dans l'acclimation lors du transfert en eau salée. Ainsi, les travaux d'Avella *et al.* (1987), réalisés sur *Oncorhynchus mykiss*, ont montré qu'en eau douce le calcium avait une influence sur la densité et la forme des cellules à chlorures de l'épithélium branchial. En effet Doudet (1991) a montré que les modifications structurales de l'épithélium branchial après transfert en eau de mer, en particulier l'apparition des cellules à chlorures inter-lamellaires et leur réorganisation dépendent immédiatement de la morphologie initiale acquise de l'épithélium en eau douce. De plus, les conditions expérimentales, surtout l'acclimation, peuvent influencer la tolérance à la salinité. L'effet de ce facteur a été montré par Kang (1986), qui a signalé que chez *Oreochromis niloticus*, une acclimation progressive et graduelle permet de tolérer une salinité de 35,10 g l⁻¹ sans aucune mortalité enregistrée, alors que la mortalité est évaluée à 50% pour une salinité de 52,70 g l⁻¹.

D'autre part nous avons relevé une influence de la taille sur la tolérance à la salinité des jeunes tilapias jusqu'à 6 cm. Au-delà de cette taille cette influence s'estompe et les poissons de tailles supérieures à 6 cm présentent une même tolérance. Ceci aussi été constaté chez *Oreochromis niloticus* par Chervinski (1961) et Watanabe *et al.* (1985). Ces derniers auteurs ont montré que chez les juvéniles d'*Oreochromis niloticus*, la tolérance à la salinité est en étroite relation avec la taille et le maximum de tolérance est atteint à partir d'une longueur totale de 5 cm, au-delà de laquelle l'effet taille n'a plus d'influence. Ceci confirme bien les résultats de cette étude.

Par ailleurs, Watanabe *et al.* (1985) ont montré que la résistance à la salinité des différentes classes de taille du stade juvénile suit une variation linéaire et a pour équation :

$$Y = 3,38 X - 0,72; \text{ avec: } R^2 = 0,88; Y = \text{TSM (mn)} \text{ et } X = \text{taille (mm)}$$

Les résultats de la présente étude ont montré que cette relation est logarithmique. Ceci est dû au fait que nos échantillons s'étalent sur toutes les classes de tailles

(de 2 à 20 cm) alors que celles de Watanabe *et al.* (1985) se limitent à la classe de taille de 1 à 7 cm. Leurs résultats correspondent, alors, à la première branche ascendante de notre courbe (fig. 6). Ce comportement d'acquisition de la résistance à la salinité au cours du développement chez *Oreochromis niloticus* a été observé aussi par Kang (1986), qui a signalé que des alevins d'*Oreochromis niloticus* de poids moyen de 0,5 à 3,5 g (2 à 4 cm) peuvent tolérer une salinité de 17,60 g l⁻¹ lors d'un transfert direct dans cette salinité. En revanche le même auteur a montré qu'à partir d'un poids moyen de 6,7 g (6 à 7 cm de longueur totale), les alevins peuvent survivre et supporter des eaux de salinité de 26,30 g l⁻¹.

L'effet de la taille sur la tolérance à la salinité a été identifié chez plusieurs espèces de tilapias du genre *Oreochromis* telles que *O. aureus*, *O. mossambicus* et leurs hybrides. La déficience de résistance observée chez les poissons de petites tailles semble être en relation avec le développement d'un système hypo-osmoregulateur (Clarke, 1982; Sardella *et al.*, 2004). Perez et Maclean (1976), expliquaient ce phénomène par l'acquisition au cours de l'ontogenèse d'une hémoglobine qui contrôle ce facteur. En effet, ces auteurs ont montré que chez *Oreochromis mossambicus* une deuxième hémoglobine apparaît au 47^{ème} jour du développement qui présente une grande affinité à l'oxygène dissous surtout dans les conditions de hautes pressions osmotiques et de hautes températures. Ceci permet aux individus adultes de tolérer à la fois de hautes températures et de hautes salinités. Dans notre étude l'acquisition de la tolérance commence à partir de 5 à 6 cm, qui correspond bien à un âge de 40 à 50 jours ce qui pourrait être en relation avec les changements signalés par Perez et Maclean (1976) évoqués précédemment. L'intérêt pratique de cette expérience est de déterminer la taille optimale pour laquelle les poissons acquièrent une tolérance maximale pour le transfert en eau salée lors d'un élevage dans des milieux saumâtres.

Ces résultats confirment celles de plusieurs auteurs indiquant qu'*Oreochromis niloticus* est une espèce eurytherme qui s'adapte à une large gamme de température (Chervinski, 1982), alors que pour la salinité, bien que cette espèce manifeste une remarquable tolérance, elle est considérée comme l'espèce de Cichlidé la moins tolérante à la salinité (Payne et Collinson, 1983; Watanabe *et al.*, 1985; Avella *et al.*, 1993). La présente étude pourrait, donc, également être poursuivie en testant d'autres espèces de tilapias telles que *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis aureus*, *Oreochromis spilurus* ou les hybrides rouges qui ont prouvé ailleurs leur bonne tolérance à la salinité et ont montré des performances aquacoles satisfaisantes en eau saumâtre à fin de valoriser l'eau géothermale saumâtre non utilisée

pour l'agriculture. Toutefois, comme nous l'avons vu, de nombreux facteurs peuvent influencer la capacité de tolérance de ces poissons à la salinité. Il semble, donc, plus utile de compléter cette étude par un travail plus approfondie traitant de la physiologie d'adaptation aux salinités modérées pour mettre en évidence leur capacité d'osmorégulation.

Outre ces deux facteurs (température et salinité) considérés dans notre étude, l'oxygène dissous constitue aussi un facteur primordial en aquaculture qu'il est nécessaire d'étudier dans une prochaine investigation et de combiner ce facteur avec la température et la salinité pour mieux simuler les conditions offertes par le milieu d'élevage et mieux encore le milieu naturel.

BIBLIOGRAPHIE

- Abucay J.S., Mair G.C., 2004. - Divergent selection for growth in the development of a female line for the production of improved genetically male tilapia (GMT). In: Bolivar, R.B., Mair, G.C., Fitzsimmons, K. (Eds.), Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Philippines, pp. 90–103.
- Allanson B.R., Noble R.G., 1964. - The tolerance of *Tilapia mossambica* (Peters) to high temperature. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 93: 323–332.
- Arrignon J., 1988. - Aménagement piscicole des eaux douces 5^{ème} éditions, Lavoisier, Paris. 589p.
- Avella M., Masoni A., Bornancin M., Mayer-Costan N., 1987. - Gill morphology and sodium influx in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) acclimated to artificial freshwater environments. *J. Exp. Zool.*, 241: 159–169.
- Avella M., Berhaut J., Bornancin M., 1993. - Salinity tolerance of two tropical fishes, *Oreochromis aureus* and *O. niloticus*. (L.) Biochemical and morphological changes in the gill epithelium. *J. Fish Biol.*, 42 (2): 243–254.
- Azaza M.S. et Kraïem M.M., 2005. - Effet de la température sur la croissance chez le Tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L., 1758). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer.*, N° spécial (9): 159–162. Acte des 7^{èmes} Journées Tunisiennes des Sciences de la Mer.
- Azaza M.S., Dhraïef M.N. and Kraïem M.M., 2007. - The effects of water temperature on growth and sex-ratio of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal water in the south of Tunisia. *J. Ther. Biol.*, doi:10.1016/j.jtherbio.2007.05.007.
- Barouday E., Elliott J.M., 1994. - The critical thermal limits for juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *J. Fish Biol.*, 45: 1041–1053.

- Beitinger T.L., Bennett W.A., McCauley R.W., 2000. - Temperature tolerance of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environ. Biol. Fish.* 58: 237-275.
- Hirshfield M.F., Feldmeth C.R., Soltz D.L., 1980. - Genetic differences in physical tolerances of Amargosa pupfish (*Cyprinodon nevadensis*) populations. *Science* 207: 999-1001.
- Chatterjee N., Pal A.K., Manush S.M., Das T., Mukherjee, S.C., 2004. - Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures. *J. Therm. Biol.* 29: 265-270.
- Cherry D.S., Dickson K.L., Cairns J.J., 1977. - Preferred, Avoided and lethal temperatures of fish during rising temperature conditions. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34: 239-246.
- Chervinski J., 1961. - Laboratory experiments on the growth of *Tilapia nilotica* in various saline concentrations. *Bamidgeh*, 13: 8-13.
- Chervinski J., 1982. - Environmental physiology of Tilapias. In: Pullin R.S.V., Lowe-Mc Connell R.H. (Eds.), *The Biology and Culture of Tilapia*, ICLARM Conf. Proc., 7, Manila, Philippines, 119-128.
- Clarke W.C., 1982. - Evaluation of the seawater challenge test as an index of marine survival. *Aquaculture* 18: 177-183.
- Das T., Pal A.K., Chakraborty S.K., Manush S.M., Chatterjee N., Mukherjee S.C., 2004. - Thermal tolerance and oxygen consumption of Indian major carps acclimated to four temperatures. *J. Therm. Biol.* 29: 157-163.
- Das T., Pal A.K., Chakraborty S.K., Manush S.M., Sahu N.P., Mukherjee S.C., 2005. - Thermal tolerance, growth and oxygen consumption of *Labeo rohita* fry (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. *J. Ther. Biol.*, 30: 378-383.
- Debnath D., Pal A.K., Sahu N.P., Baruah K., Yengkokpam S. Das, T. Manush S.M., 2006. - Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish *Pangasius pangasius* (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. *Aquaculture* 258: 606-610.
- Denzer H.W., 1968. - Studies on the physiology of young Tilapia. *F.A.O. Fish. Rep.*, 44 (4): 357-366.
- Doudet T., 1991. - Possibilités d'élevage d'espèces et d'hybrides d'*Oreochromis* en eau Saumâtre: Expérimentations en lagune Ebiré (Côte-d'Ivoire) et revue bibliographique. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 24 (4): 335-347.
- FAO, 2005. - Fishstat plus database (Fishstat Plus), December 2005, FAO, Rome, Italy (<http://www.fao.org>)
- Fernandes M.N., Ratin F.T., 1986. - Lethal temperatures of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae). *Rev. Bras. Biol.*, 46 (3): 589-595.
- Gelastine B.W., 1974. - A study of the Cichlid *Tilapia* in a thermally Modified Texas Reservoir, Master's thesis, Texas University, College Station, In: Stickney R. (Ed.), *Culture of nonsalmonid Freshwater*, 81-115.
- Huet M., 1949. - Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes, *Revu. Suisse Hydrolé.*, XI, 314p.
- Hwang P.P., 1987. - Tolerance and ultrastructural responses of branchial chloride cells to salinity changes in the euryhaline teleost. *Oreochromis mossambicus*. *Mar. Biol.*, 94: 643-649.
- Jobling M., 1981. - Temperature tolerance and the final preferendum rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures. *J. Fish Biol.*, 19: 439-455.
- Kamal A.M.M. Graham, C.M., 2005. - Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. *Aquaculture*, 247: 189-201.
- Kang S.J., 1986. - Acclimatization and tolerance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to various saline conditions. *Bull. Tong. Fish. Jr. Coll.*, 21: 33-36.
- Kikuchi K. and Furuta T., 2007. - Growth of Tiger Puffer, *Takifugu rubripes*, at different salinities. *J. World Aquacul. Soci.*, 38: 427-434.
- Kirk R.G., 1972. - A review of recent developments in *Tilapia* culture, with special reference to fish farming in the heated effluents of power station. *Aquaculture* 1 (1) : 45-60.
- Kraïem M.M., 1979. - Ecologie du Barbeau fluviatile *Barbus barbus* (L. 1758) (poissons cyprinidé) dans le Haut-Rhône français. Thèse de Doct. 3^{ème} cycle en Ecologie fondamentale et appliquée des eaux continentales. Univ. Claude-Bernard Lyon I, 65 p.
- KRAÏEM M.M., 1994- Systématique, biogéographie de *Barbus callensis* (valencienne), 1842 (poissons, cyprinidae) de Tunisie. Thèse Doctorat d'Etat Es. Sciences Biologiques. Fac. Sci. Tunis. 227 p.
- Kraïem M.M., Pattee E., 1980. - La tolérance à la température et au déficit en oxygène chez le Barbeau (*Barbus barbus* L.) et d'autres espèces provenant des zones piscicoles Voisines. *Arch. Hydrobiol.*, 2 : 250-261.
- Kraïem M.M., Duvernay J., 1981. - Comparaison des températures limites de nage chez deux populations d'Ombres Communs *Thymalus thymalus* (L.), d'origine différente (Bavière et Scandinavie). *Cybium*, 5, (3): 45-49.
- Kraïem M.M., Ben hamza C., 2000. - Sites descriptions, water, chemistry and vegetation

- transects of Tunisia Lakes. Fish populations. Study of the 9 North African investigated Lakes. Final Report, CASSARINA. Project, 74 p + Annexes.
- Lemarie G., Baroiller J.F., Clota F., Lazard J., Dosdat A., 2004. - A simple test to estimate the salinity resistance of fish with specific application to *O. niloticus* and *S. melanotheron* *Aquaculture* 240: 575–587.
- Manush S.M., Pal A.K., Chatterjee N., Das T., Mukherjee S.C., 2004. - Thermal tolerance and oxygen consumption of *Macro-brachium rosenbergii* acclimated to three temperatures. *J. Therm. Biol.* 29: 15-19.
- Mora C. and Maya M.F., 2006. - Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes *J. Ther. Biol.*, 31: 337-341
- Payne A.I., Collinson R.I., 1983. - Comparison of the biological characteristics of *Sarotherodon niloticus* (L.) With those of *S. aureus* (Steindachner) and other *Tilapia* of the delta and lower Nile. *Aquaculture* 30: 335–351.
- Perry G. M.L., Martyniuk C. M., Ferguson M. M., Danzmann R.G., 2005. - Genetic parameters for upper thermal tolerance and growth-related traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 250: 120– 128
- Perez J.E., Maclean, N., 1976. - The haemoglobins of the fish *Sarotherodon mossambicus* (Peters): functional significance and ontogenetic changes. *J. Fish Biol.*, 9: 447–455.
- Pora A.E., 1969- L'importance du facteur rapique (équilibre ionique) pour la vie aquatique. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 17, 970–978.
- Resley M.J., Webb K. A. and Holt G.J., 2006. – Growth and survival of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*, at different salinities in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 253, 398–407.
- Sardella B.A., Matey V., Cooper J., Gonzalez R.J., Brauner C.J., 2004. - Physiological, biochemical and morphological indicators of osmoregulatory stress in Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *O. urolepis hornorum*) exposed to hypersaline water. *J. Exp. Biol.* 207: 1399–1413.
- Schwartz D., 1963. - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Flammarion. Paris (3^{ème} édition), 318 p.
- Turki B., Kraïem M.M., 2002. - Séminaire international sur l'aquaculture en Tunisie. Thème: Pisciculture d'eau douce. APIA Tunis, mars 2002, 12 p.
- Watanabe W.O., Kuo C.M., Huang M.C., 1985. - The ontogeny of salinity tolerance in the Tilapias *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* and *O. mossambicus* X *O. niloticus* hybrid, spawned and reared in freshwater. *Aquaculture*, 47: 553–367.
- Wilson S. M., Nagler J. J., 2006. - Age, but not salinity, affects the upper lethal temperature limits for juvenile walleye (*Sander vitreus*). *Aquaculture* 257: 187-193
- Yada T., Hirano L., Grau E.G., 1994. - Changes in plasma levels of the two prolactins and growth hormone during adaptation to different salinities in the euryhaline Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Gen. Comp. Endocrinal.*, 93: 214–223