



لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA

**FACULTE DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES**

**LABORATOIRE D'ECOBIOLOGIE DES MILIEUX MARINS ET LITTORAUX**

Thèse présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en Sciences biologiques

Option : Physiologie et Biologie Animale (PBA)

**Contribution à l'étude des facteurs physiologiques chez un poisson d'eau douce en milieu naturel**

Présentée par :

M<sup>lle</sup>. ABBACI Sameh

Directeur de thèse : BENSOUILAH Mourad (Prof. Univ. Badji-Mokhtar, Annaba)

Devant le Jury :

Président           OUAKID Mouhamed           (Prof. Univ. Badji-Mokhtar, Annaba)

Examineur        ZAOUI Lylia                       (MCA Univ. 20 aout, Skikda)

Examineur        BOUALLEG Chahinez           (Prof. Univ. Souk-Ahras)

- 2024 -



## Avant-propos

Faire une thèse, Un choix de vie, ça prend combien de temps ? Pourquoi s'engage-t-on dans une telle aventure ? Combien de temps faut-il pour finir une thèse ? Oui, le temps, dans une thèse, c'est LE sujet sensible. Il file toujours plus vite qu'il ne devrait, les semaines et les mois s'accumulent, et vous pouvez avoir l'impression de perdre le contrôle.

**Émilie Doré**

Ce projet de thèse a été réalisé de décembre 2012 à janvier 2018. Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et l'Université de Skikda ont participé au financement de certaines formations ainsi qu'à la participation aux différentes manifestations scientifiques.

La recherche est loin d'être un travail personnel, car elle fait appel aux collaborations et échanges de divers disciplines y compris les individus ; chose que j'ai eu la chance de le découvrir.

Ce travail a principalement été réalisé dans les laboratoires **EcoLab** (laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement) sous la direction du professeur Bensouilah, et les **laboratoires pédagogiques** de l'université de Skikda. Outre, cette recherche a été accomplie dans le cadre d'une **bourse PNE** (Programme national exceptionnel) 2016/2017, et a fait l'objet de plusieurs collaborations inter-laboratoire. Ainsi pour répondre aux objectifs de la thèse, les différentes tâches ont été réparties dans trois laboratoires différents situés en Tunisie. Les trois laboratoires d'accueil qui ont participé également au financement de certaines manipulations sont :

**L'Unité UR** (Matériaux, Nanomatériaux et écosystème), équipe d'Écophysiologie Végétale (UR05/13-01), Faculté des Sciences de Bizerte (Tunisie), a été le premier laboratoire d'accueil sous la direction de Monsieur **Noomen Sleimi** sur la partie toxicologie (eau, sédiment et poisson) ;

**Laboratoire de Biosurveillance de l'Environnement**, Faculté des Sciences de Bizerte (Tunisie) sous la direction du professeur **Hamouda Bayrem** sur la partie biomarqueurs (AChE, CAT, GPX, SOD et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ;

Une partie du travail a été réalisée à l'**École Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi Thabet** (Tunisie) au sein du **Service de Parasitologie** sous la direction du professeur **Mohamed Gharbi** sur la partie identification moléculaire (extraction d'ADN, la PCR et l'électrophorèse) des nématodes du poisson dulcicole *Luciobarbus callensis* dans un premier temps, puis le laboratoire de parasitologie de madame **Lahmar**; sous la direction de monsieur **Mokhtar Dhibi** pour la diagnose des parasites, et au sein du **Service d'Histologie et d'Anatomie Pathologique** (professeur **Ahmed Rejeb** ) depuis le 1er octobre jusqu'à le 8 novembre 2017.

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une publication (Annexe) et trois autres sont en cours de rédaction. Par ailleurs, plusieurs présentations ont été effectuées pendant plusieurs congrès et journées scientifiques durant 2014-2018, sans oublier l'apport de deux projets :

1. *Agriculture effects on inland saline water bodies and on Lake/Laguna hydrological complexes" AQUASALT. Projet ERANETMED N° 609475" ;*
  2. *Evaluation de l'état de deux lagunes méditerranéennes anthropisées moyennant des indicateurs chimiques et biologiques : lagune de Bizerte (Tunisie) et lagune El Mellah.*
-

## Remerciements

*Je débute d'abord par remercier sincèrement le professeur **Mourad Bensouilah**. Merci de votre disponibilité malgré votre emploi du temps surchargé, merci pour votre humour, et encore merci de m'avoir permis d'être en thèse et merci d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Merci surtout pour la confiance que vous m'avez apportée et de m'avoir accordé une grande liberté pour réaliser mes différentes expériences pendant la thèse, cela m'a permis d'apprendre et d'être autonome.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier les membres du jury ; veuillez recevoir l'expression de ma reconnaissance pour avoir accepté de juger mon travail mais aussi pour l'intérêt que vous lui portez :*

*J'exprime ma gratitude au professeur **Ouakid** (Université d'Annaba), pour l'hommage qu'il me fait en prenant la charge de rapporteur et en siégeant à ce jury.*

*Je tiens également à témoigner toute ma reconnaissance au maître de conférence **Zaoui** (Université de Skikda) pour les conseils judicieux qu'elle a su me donner, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'être rapporteur de ce travail de recherche et membre du jury.*

*Mes remerciements s'adressent aussi au professeur **Boualleg** (Université de Souk-Ahras), pour l'aide qu'elle m'a apportée en me donnant la documentation qui concernait mon premier projet de doctorat en 2001 sur les gastéropodes dulcicoles, et pour l'hommage qu'elle me fait en acceptant d'être rapporteur et participant à ce jury.*

*Mes remerciements vont également à mes enseignants en graduation et post graduation, notamment les professeurs **Nouredine Soltani** (Université d'Annaba et responsable de l'ouverture de la poste graduation, 1995/1996), et **Nadia Soltani** (Université d'Annaba, mon encadrant en DES sur un Insecte Coléoptère *Tenibrio molitor*, 1994/1995). Une pensée particulière pour le professeur **Mohamed Guellati** (Université d'Annaba, mon directeur de thèse de magister sur les Bovidés, les vaches laitières, 1996/1999), qui ont cru en moi et qui m'ont donné les ailes pour amorcer ma carrière en science au cours de ces années d'études. Mes sincères et profonds sentiments sont adressés au professeur **Mourad Bensouilah**, qui a largement contribué au développement de l'enseignement de la biologie au sein de l'Université de Badji Mokhtar (Annaba) et de la recherche dans les domaines de la biologie marine dans cet établissement.*

J'aimerais aussi remercier très chaleureusement monsieur **Noomen Sleimi**, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Bizerte (Université de Carthage, Tunisie), pour m'avoir grand ouvert les portes de son laboratoire et pour m'avoir donné tout son support au cours des années de mes inscriptions en thèse, cher confrère merci pour ton accueil et ta confiance, ainsi que toutes les doctorantes qui ont travaillé dans ce laboratoire pour leur précieuse aide, en particulier Melle. **Houda** « pourtant tu n'étais pas une amie proche, je n'oublierais jamais le temps précieux que tu me l'as accordé ». Ayant effectué un stage sur les techniques de dosage des biomarqueurs, j'exprime tout d'abord ma profonde gratitude au professeur **Bayrem Hamouda** qui a accepté de m'accueillir dans son équipe au sein du laboratoire de Biosurveillance de l'Environnement (Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie) et mes remerciements vont à son équipe, notamment **Amel Hanachi** (Diagnose des Nématodes libres), **Ali Mezni** (Biomarqueurs) et **Olfa Ben Saïd** (Projet *AQUASALT*) et **Mohamed** (Support bio-informatique). Je tiens également à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet, notamment **Dhibi Mokhtar** et **Mohamed El Jadidi** (Techniciens : manipulation des échantillons au laboratoire), **Safa** (analyse moléculaire par PCR), **Meoz Mhadhbi** (Achat des bases), **Raouf** (Amorce, coupes histologiques) et tous les autres membres des laboratoires de l'**École Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi Thabet, Tunisie**. Étant en milieu un peu éloigné, les sorties d'échantillonnage nécessitent une importante logistique. Conséquemment, elles ne pourraient pas être effectuées sans l'aide de précieux professionnels qualifiés sur le terrain. À cet égard, je tiens à remercier monsieur **Meftah Boussaha** et **Mrouan Saad Djaballah** (Sur le terrain), un grand merci de m'avoir fourni les échantillons biologiques par le biais de pêcheurs professionnels et **Makram** (Taxi Annaba-Bizerte). C'est grâce à vous le travail est devenu plus facile. Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué financièrement et administrativement à ce projet de thèse, notamment le **ministère de l'enseignement supérieur** (Bourse PNR) et l'**Université de Skikda**, faculté de sciences, département de SNV (Stages de formation, Séminaires et Congrès scientifiques).

*Ce n'est pas encore fini..., pour ceux qui ont eu la gentillesse de venir à mon aider je tiens à exprimer mes remerciements à mes étudiants de l'Université de Skikda, mes bougis : **Marouane, Fatiha, Saida, Zahra** et sans oublier **Amira** de l'université d'Annaba (Biométrie et dissection) que j'ai eu la chance de faire sa connaissance.*

Un grand merci à mes amies qui m'ont soutenues et encouragés, notamment **Saoussene** qui a partagé mon quotidien, mes joies, mes peines et mes difficultés. Merci pour ta patience et tout l'amour que tu m'as porté.

*Enfin je renouvelle mes remerciements, toute mon amitié et ma sympathie à ceux qui m'ont accordé du temps et m'ont témoigné un soutien constant dans ce long travail de recherche :*

La famille **El Kamel**, tata Naima, le défunt 3ami Hamadi, Olfa, Kais, ainsi que leur belle-sœur **Boutheina Zaiter** et sa petite famille (**Anis EL KAMEL**, **Nassim**, **Kenza**), qui m'ont apporté la chaleur d'une deuxième famille et qui ont compensé l'absence de ma famille en Algérie, et sans oublié monsieur **Cappapi** que j'ai eu la chance de faire sa connaissance à Bizerte.

Ma famille... ! À ma lumière élixir de longue vie, mes parents, **OUMI ZAHIA** et **ABI HOCINE**, qui ont toujours été là pour me soutenir et qui ont toujours su respecter mes choix, à mes bijoux : Amel, Soumaya, Rafik et Fouad, à mes beaux-frères Tarik et Kader, à mes neveux Mohamed : Amir, Ilyes et Badis, à mon oncle Ali bien aimé, l'éducateur compatissant, et à ceux qui nous ont quittés bien trop top, notamment **Oumi Djanette et ma tante Yamina**.

N°	Titre de la figure	Page
	<b>Introduction et synthèse bibliographique</b>	
1	Méthodologie d'évaluation des facteurs physiologiques chez le barbeau <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira.	6
1	Répartition générale de la famille des Cyprinidae y compris le genre <i>Barbus</i> en Afrique (Paugy <i>et al.</i> , 2011).	7
2	Origine et voies de dispersion des barbeaux (Doadrio,1990).	9
3	Les sites d'échantillonnage de <i>Barbus</i> , <i>Luciobarbus</i> . Les codes de couleur se réfèrent à l'aire de répartition géographique de l'espèce : Afrique du Nord, Anatolie, Moyen-Orient et Caucase, Grèce, Europe centrale et orientale, et Balkans, Italie et Iberia (modifié)	9
4	Répartition des espèces de <i>Luciobarbus</i> dans le bassin méditerranéen africain. L'Algérie : (A) <i>Luciobarbus leptopogon</i> ; (C) <i>Luciobarbus setivimensis</i> ; (E) <i>Luciobarbus mascarensis</i> ; (F) <i>Luciobarbus biscariensis</i> , non conservé ; (I) <i>Luciobarbus chelifensis</i> , le Maroc : (B) <i>Luciobarbus rifensis</i> ; (D) <i>Luciobarbus yahyaouii</i> ; (H) <i>Luciobarbus guercifensis</i> ; et la Tunisie : (G) <i>Luciobarbus callensis</i> (d'après Brahimi <i>et al.</i> , 2017, modifié).	10
5	Aspects morphologiques des barbeaux. A gauche : treize espèces du genre <i>Barbus</i> au niveau du lac Tana en Éthiopie (adapté d'après Nagelkerke, 1997 in Paugy <i>et al.</i> , 2011) au milieu, six espèces du genre <i>Luciobarbus</i> Algérien (A-E) au niveau de différents plan d'eau, à la droite Macocain (F-H) et Tunisien (I) (Brahimi <i>et al.</i> , 2017, modifié)	13
6	<i>Luciobarbus callensis</i> Valenciennes, 1842	13
7	Complexe de zones humides du PNEK	15
8	<i>Luciobarbus callensis</i> (Valenciennes, 1842) A: vue latérale B: vue dorsale C: vue ventrale de la tête	22
9	Distribution géographique du barbeau <i>Luciobarbus callensis</i> .	23
10	Répartition d'espèces de <i>Luciobarbus</i> en Algérie. (Les chiffres correspondent aux spécimens analysés par Brahimi <i>et al.</i> 2017).	24
11	Répartition géographique de <i>Luciobarbus callensis</i> .	24
	<b>Partie I : Démographie et physiologie de la reproduction de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira</b>	
1	Présentation du verveux et système de piégeage.	29
2	Schéma des différentes mensurations réalisées sur le barbeau	30
3	Distribution par classe de taille de la fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	43
4	Tailles moyennes des individus collectés mensuellement ( <i>L. callensis</i> du lac Oubéira).	44
5	Proportions par classe de taille du sexe des individus composant la fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	45
6	Proportion par classes de poids des individus composant la fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	45
7	Variation mensuelle du poids moyen des individus composant la fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	45

8	Proportions par classe de poids du sexe des individus composant la fraction de population de <i>L. callensis</i> (lac Oubéira 2012 - 2013)	46
9	Illustration graphique de la relation liant le poids et la taille chez <i>L. callensis</i> du lac Oubéira (a : Population, b : Mâles, c : Femelle, d : Indéterminés).	47
10	Droites de corrélations entre le poids (Pt en g) et la taille (Lt en cm) chez le barbeau (a : Population, b : Mâles, c : Femelle, d : Indéterminés).	48
11	Droites de régressions entre les longueurs standard/longueur totale et longueur à la fourche/longueur totale chez <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira (a : Population, b : Femelles, c : Mâles et d : Indéterminés).	49
12	Photographie montrant des gonades femelles du barbeau du lac Oubéira (S. Abbaci, 2013).	50
13	Estimation de la taille de la première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) en fonction de la longueur totale des mâles et des femelles de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	52
14	Variation mensuelle du sex-ratio (fraction de population de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira).	53
15	Distribution saisonnière du sex-ratio (fraction de population de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira). W : Hiver, SP : Printemps, SM : Eté et A : Automne.	53
16	Évolution mensuelle du RGS moyen chez <i>L. callensis</i> mâle du lac Oubéira.	54
17	Évolution saisonnière du rapport RGS moyen des mâles de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	54
18	Évolution mensuelle du RGS moyen chez les femelles de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	55
19	Évolution saisonnière du RGS moyen chez les femelles de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	55
20	Évolution mensuelle du RHS moyen de la population de <i>L. callensis</i> mâle et femelle échantillonnée au niveau du lac Oubéira.	56
21	Variation saisonnière du RHS moyen de la fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	57
22	Évolution mensuelle des RGS et RHS moyens chez la population du <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira. SC : sexe confondu, M : mâles, F : femelles et Ind : indéterminés.	58
23	Évolution saisonnière des valeurs moyennes des RGS et RHS (%) chez <i>L. callensis</i> mâles et femelles du lac Oubéira.	59
<b>PARTIE II : “code pathologie” et état de santé de <i>L. callensis</i> de l’Oubeira</b>		
1	<b>Figure 1.</b> Effectifs des barbeaux sains et présentant une altération (lac Oubéira)	89
2	<b>Figure 2.</b> Proportions des pathologies recensées chez le barbeau du lac Oubéira	89
3	<b>Figure 3:</b> Individus présentant différents types d’anomalies pigmentaires au niveau de la tête (fraction de population de <i>L. callensis</i> du lac Oubeira)	90
4	<b>Figure 4:</b> Différents types d’hémorragies rencontrés chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira	91
5	<b>Figure 5:</b> Diverses atteintes par érosions ou nécroses tissulaires (corps et nageoires) chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira	92
6	<b>Figure 6:</b> Différents types de déformations chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira	93
7	<b>Figure 7.</b> Tumeur au niveau du pédoncule de <i>L. callensis</i> du lac Oubeira	93
8	<b>Figure 8.</b> <i>Argulus foliaceus</i> (à gauche) et <i>Ichtyophthirius</i> (à droite)	94
<b>PARTIE II : Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de <i>L. callensis</i> de l’Oubeira</b>		
9	Parasitofaune de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira	97
10	Distribution des taxons selon le sexe de l’hôte	97

<b>11</b>	Effectifs de barbeaux non parasités (NP) et parasités (P) de <i>L. callensis</i> de l'Oubéira	<b>98</b>
<b>12</b>	Distribution des parasites selon le sexe et la taille de l'hôte <i>L. callensis</i> de l'Oubeira (NB FP : Nombre Femelles Parasitées, NB MP : Nombre Mâles Parasités et NB P : Nombre de Parasites).	<b>99</b>
<b>13</b>	Courbes de croissances relatives chez <i>L. callensis</i> au niveau du lac Oubéira. A : individus non parasités (NP), B : individus parasités (P), A1 : Mâle NP, B1 : Mâle P, A2 : Femelle NP ; B2 : Femelle P ; A3 : Indéterminé NP ; B3 : Indéterminé P.	<b>100</b>
<b>14</b>	Variations saisonnières du facteur de condition moyen chez <i>L callensis</i> parasités et non parasités dans l'Oubéira. PP : Population parasitée, PNP: Population non parasitée ; MP : Mâle parasité, MNP : Mâle non parasité, FP : Femelle parasitée et FNP : Femelle non parasitée.	<b>101</b>
<b>15</b>	Variations mensuelles du RGS et du RHS chez les femelles parasitées (FP) et non parasitées (FNP) de <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	<b>102</b>
<b>16</b>	Variations mensuelles du RGS et du RHS des mâles parasités (MP) et non parasités (MNP) de <i>L. callensis</i> de l'Oubéira.	<b>103</b>
<b>Partie II : Réponse physiologique et biochimique de <i>L. callensis</i> à la présence du parasite Anisakis</b>		
<b>17</b>	Activité de la catalase tissulaire (CAT) : dans (a) le foie, (b) la rate, (c) le cœur, (d) l'intestin et (e) le muscle de <i>Luciobarbus callensis</i> d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne $\pm$ SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par * P <0,05.	<b>105</b>
<b>18</b>	Niveau de Peroxyde d'hydrogène tissulaire (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) : dans le foie (a), la rate (b), le cœur (c), l'intestin (d) et le muscle (e) de <i>Luciobarbus callensis</i> d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne $\pm$ SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par * P <0,05.	<b>105</b>
<b>19</b>	Activité de l'acétylcholinestérase tissulaire (AChE) : dans le foie (a), la rate (b), le cœur (c), l'intestin (d) et le muscle (e) de <i>Luciobarbus callensis</i> d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne $\pm$ SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par * P <0,05.	<b>106</b>

N°	Titre du tableau	Page
1	Effectifs des espèces ensemencés au niveau du lac Oubéira entre 1985 et 1991.	16
2	Liste des espèces de l'ichtyofaune peuplant le lac Oubéira (d'après Meddour, 2009 ; modifié).	19
<b>Partie I : Démographie et physiologie de la reproduction de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira</b>		
1	Echelle de maturité sexuelle chez <i>Luciobarbus callensis</i> (d'après Djoudad-Kdji et al., 2012 et 2013, modifiée).	36
2	La composition de la fraction de population de <i>L. callensis</i> collectée dans le lac Oubéira. Longueurs totale (Lt), valeurs extrêmes (minimum et maximum) et moyennes et écart-type (X et SD).	42
3	Poids des individus de la fraction de population de <i>L. callensis</i> peuplant le lac Oubéira. Poids total (Pt), valeurs extrêmes (min et max) et moyennes (moy).	44
4	Croissance relative (taille-poids) et valeurs des paramètres (a et b) chez <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	46
5	Équations de régression le poids /longueur chez <i>L. callensis</i> du lac Oubéira	47
6	Équations de régression entre le poids total (g) et la longueur totale (cm) chez <i>L. callensis</i> du lac Oubéira.	47
7	Echelle de maturité sexuelle des gonades de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira	50
8	Longueur totale maximale et classe d'âges observés dans différentes études sur le barbeau <i>L. callensis</i> (Valencienne, 1842). M : mâles ; F : femelles ; IND : Indéterminés, Lt : Longueur totale et CA : Classe d'âge.	61
9	Comparaison des paramètres (a et b) de la relation taille/poids de la fraction de population de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira avec les données de la littérature. SC : Sexe confondu, M : mâle, F : femelle et IND : indéterminé.	63
10	Croissance relative taille totale/ taille standard et les valeurs des paramètres (a et b) enregistrées dans d'autres travaux chez le barbeau. R2 : coefficient de corrélation.	64
11	Relations allométriques entre la longueur à la fourche (Lf) et la longueur totale (Lt) et les valeurs des paramètres (a et b) rapportées chez le barbeau. R <sup>2</sup> : coefficient de corrélation.	64
12	Calendrier des périodes de reproduction chez le barbeau dans différentes régions. (RGS maximum en bleu).	70
<b>Partie II : matériel et Méthodes</b>		
1	Grille de désignation des codes pour les types d'altérations et leur localisation (d'après Elie et Girard, 2014).	82
2	Grille de désignation de la sévérité des altérations (d'après Elie et Girard, 2014).	83
3	Correspondance entre la prévalence globale (P%) et les classes de qualité de l'eau établies par les agences de l'eau (d'après Elie et Girard, 2014).	84
4	Relation entre la prévalence des lésions de type DELT et l'état de santé (condition) des populations de poissons (d'après Karr et al., 1986).	85
5	Grille d'interprétation de l'état de santé des poissons (d'après Elie et Girard, 2014). Ipg : indices de prévalences globaux.	85
<b>PARTIE II : "code pathologie" et état de santé de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira</b>		
6	Fréquence (%) des différentes anomalies inventoriées chez le barbeau du lac Oubéira.	94
7	Prévalences globale (P) des pathologies recensées chez le barbeau de l'Oubeira	95
8	La prévalence des lésions de type DELT et l'état de santé des poissons	95

9	Interprétation des indices du « Code pathologie » appliqué sur les barbeaux du lac Oubéira (Ipg : Indice de prévalence global, Ipgm : Indice de prévalence global majoré).	96
<b>Partie II : Réponse physiologique et biochimique de <i>L. callensis</i> à la présence du parasite Anisakis</b>		
10	Différents indices morphophysiologique mesurés (Longueur, Poids, FC, ISS, IHS et IVS) chez des barbeaux adultes sauvages ( <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubéira). Poissons parasités (P), n = 11 et poissons non parasités (NP), n = 8. Les données sont exprimées en moyenne ± SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par * P < 0,05.	104



## Résumé

Les travaux entrepris dans le cadre de cette thèse ont porté, d'abord, sur la structure démographique et le cycle de reproduction d'une fraction de population du barbeau *L. callensis* du lac Oubeira, ensuite, sur l'évaluation de l'état de santé du barbeau et de son habitat et de l'impact de bioagresseurs sur le poisson par le suivi et l'évaluation de certains indices morphoanatomique, physiologique et biochimique.

Les résultats montrent que les individus composant la fraction de population de barbeau de l'Oubeira sont de taille comprise entre 12 et 35 cm (taille moyenne =  $22.78 \pm 4,5$  cm) et de poids variant de 16 à 450g (poids moyen =  $141,36 \pm 78,92$  g). Les mâles sont majoritaires dans les tailles comprises entre 20 et 30cm et les femelles dans les classes de taille 15-20 et 30-35 cm. Les individus de poids compris entre 30 et 270g sont en grande partie des mâles et ceux de plus de 270g sont en majorité des femelles

Chez le barbeau de l'Oubeira l'évaluation de l'intensité de la relation entre la longueur totale et le poids total révèle l'existence d'une allométrie majorante ( $b > 3$ ) ; toutefois une allométrie minorante ( $b < 3$ ) est notée entre les paramètres linéaires (Lt, Ls et Lf), comparés deux à deux. La taille de première maturité sexuelle est atteinte à 16.5cm pour le mâle et 19.5 cm pour les femelles.

Chez les individus des deux sexes, les valeurs moyennes saisonnières du RHS et du RGS les plus élevées sont enregistrées en automne et au printemps respectivement et les pics du RHS précèdent toujours ceux du RGS. Chez *L. callensis*, l'activité de reproduction (maturation des gonades et ponte) a lieu en hiver et au printemps et la phase de repos en été et en automne. Les valeurs du facteur de condition sont plus élevées chez les femelles. Les valeurs de l'indice pathologique global majoré (Ipgm) et de l'indice pathologique global lésionnel (Ipg) plaident en faveur de la précarité de l'état de santé du barbeau ; Par ailleurs, une prévalence globale des lésions et des ectoparasites cumulée (proche de 52%), traduit une altération d'importance très forte ( $P > 35\%$ ) et serait la conséquence d'une mauvaise qualité de l'eau et de l'habitat.

La recherche sur les parasites de la fraction de population du barbeau *L. callensis* de l'Oubeira a fait apparaître que les barbeaux immatures sont les plus infestés (74% des effectifs) ; les taux d'infestation des mâles et des femelles atteignent respectivement 34 et 44% des effectifs. Chez les individus des deux sexes, les nématodes sont fortement présents.

Chez les deux sexes, les valeurs du RGS sont nettement plus élevées chez les non parasitées que chez les parasitées; En revanche, les valeurs du RHS des femelles parasitées sont nettement plus élevées que celles des femelles non parasitées. Chez les mâles parasités, les pics apparaissent en mars et en avril ; en revanche, ces pics persistent de mars à mai chez les individus non parasités

Les résultats des travaux portant sur la réponse morphophysiologique et biochimique de *L. callensis* à la présence de *Anisakis sp.* ont révélé une baisse significative ( $P < 0,05$ ) de l'activité AChE au niveau du cœur (68,39 %) et des muscles (81,55%) des poissons parasités ; en revanche, l'activité AChE dans la rate de poissons parasités a montré une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) par rapport ) celles notées chez les poissons sains.

Des études similaires devraient être entreprises dans divers plans d'eau peuplés par le barbeau *L. callensis* afin d'obtenir beaucoup plus de données sur sa bio écologie et pouvoir établir un programme de suivi et de gestion des populations de barbeaux dans son aire de répartition.

**Mots clés : Marqueurs physiologiques et biochimiques, *Luciobarbus callensis*, lac Oubeira, Parasitisme, croissance ; reproduction ;**



## Abstract

The work undertaken as part of this thesis focused, firstly, on the demographic structure and reproductive cycle of a population fraction of the barbel *L. callensis* in Lake Oubeira, and secondly, on assessing the state of health of the barbel and its habitat and the impact of bio-aggressors on the fish by monitoring and assessing certain morphoanatomical, physiological and biochemical indices. The results show that the individuals making up the barbel population fraction of the Oubeira are between 12 and 35 cm in size (mean size =  $22.78 \pm 4.5$  cm) and weigh between 16 and 450 g (mean weight =  $141.36 \pm 78.92$  g). Males predominate in the 20-30 cm size range and females in the 15-20 and 30-35 cm size classes. Individuals weighing between 30 and 270g are mostly males and those weighing more than 270g are mostly females.

In the Oubeira barbel, evaluation of the intensity of the relationship between total length and total weight reveals the existence of a major allometry ( $b > 3$ ); however, a minor allometry ( $b < 3$ ) is noted between the linear parameters (Lt, Ls and Lf), compared two by two. First sexual maturity was reached at 16.5 cm for males and 19.5 cm for females.

In individuals of both sexes, the highest seasonal mean values for RHS and RGS are recorded in autumn and spring respectively, and peaks in RHS always precede those in RGS. In *L. callensis*, reproductive activity (gonad maturation and oviposition) takes place in winter and spring and the resting phase in summer and autumn. Condition factor values are higher in females.

The values of the major global pathological index (I<sub>pgm</sub>) and the lesion global pathological index (I<sub>pg</sub>) argue in favour of the precarious state of health of the barbel. In addition, a cumulative global prevalence of lesions and ectoparasites (close to 52%) indicates a very significant alteration ( $P > 35\%$ ) and would be the consequence of poor water and habitat quality.

In both sexes, the RGS values are significantly higher in non-parasitized females than in parasitized females. On the other hand, the RHS values of parasitized females are significantly higher than those of non-parasitized females. In parasitized males, peaks appear in March and April; in contrast, these peaks persist from March to May in non-parasitized individuals.

The results of work on the morphophysiological and biochemical response of *L. callensis* to the presence of *Anisakis sp.* revealed a significant decrease ( $P < 0.05$ ) in AChE activity in the heart (68.39%) and muscles (81.55%) of parasitized fish; in contrast, AChE activity in the spleen of parasitized fish showed a significant increase ( $P < 0.05$ ) compared with that observed in healthy fish.

Similar studies should be undertaken in various bodies of water populated by the barbel *L. callensis* in order to obtain much more data on its bioecology and to be able to establish a monitoring and management programme for barbel populations in its range.

**Key words** : Physiological and biochemical markers, *Luciobarbus callensis*, Lake Oubeira, Parasitism, growth; reproduction ;



### خلاصة

ركز العمل الذي تم تنفيذه كجزء من هذه الأطروحة، أولاً، على التركيبة الديموغرافية والدورة الإنجابية لجزء من سكان البريل *L. callensis* في بحيرة أوبرا، وثانياً، على تقييم الحالة الصحية للباربل وموائله وظروفه البيئية. تأثير الكائنات الحية الضارة على الأسماك من خلال مراقبة وتقييم بعض المؤشرات التشريحية والفيولوجية والكيميائية الحيوية. أظهرت النتائج أن الأفراد الذين يشكلون الجزء السكاني من الأوبرا يتراوح حجمهم بين 12 و 35 سم (متوسط الحجم =  $22.78 \pm 4.5$  سم) ويزنون ما بين 16 و 450 جم (متوسط الوزن =  $141.36 \pm 78.92$  جم). يسود الذكور في نطاق حجم 20-30 سم والإناث في فئات حجم 15-20 و 30-35 سم. الأفراد الذين يتراوح وزنهم بين 30 و 270 جراماً هم في الغالب ذكور، أما أولئك الذين يزيد وزنهم عن 270 جراماً فمعظمهم من الإناث.

ظحو، كالمعتاد، 3 ب (ب) سيئر سابق دوجو ن عي لامجلال ن زلواو ي لامجلال لوطلا ن بيد تقلاعا ددش مبيقت فشكي، اريبوأ لبراب ي ف لولأ يسنجل جسنلا لحر م بلا لوصولا مت. نينثاب نينثا تقراقم، (L<sub>t</sub>، L<sub>s</sub> و L<sub>f</sub>)، تيطخلا تاملعلا ن بيد (b < 3) طيسب سابق دوجو ثانلا ددس 19.5 و روكدلا ددس 16.5 ددع.

أمادو، ي لاوتلا ي ل ع بيرلاو فيرخلا ي ف RGS و RHS ل تيمسوما تفسوتما ميقلا ي ل ع ليجست متيد، ن يسنجل ل ا ك ن م دار فلأ ي ف عضوو تيلسانتلا ددغلا جسن (بياجنلا طاشنلا ثدحي، *L. callensis*، ي ف RGS. ي ف دوجوما كالت RHS ي ف قورنلا ق بست ام ثانلا ددع ي ل ع ل ا ل ا ل ماع ميق. فيرخلاو فيصلا ي ف تحارلا ل ا ل حر مو ع بيرلاو ا تاشلا ي ف) ضيبلا

رطاخملا ب تفسو فحما تيحصلا ل ا ل ا ديوت (Ipg) تفلأ ي ماعلا ي ضرما رشؤماو (Ipgm) قرهاقلا ي ماعلا ي ضرما رشؤما ميق ن ا ا دج ريبك ريغت ي ل ا) 52% ن م برقي ام (تيجراخلا تايليفلاو تافلأ ي مكارنلا ي ماعلا راشنتلا ريشي، كالت ي ل ا تفاضلأ ب ل برابلا ل. ثاوماو مايملا تيعودن عوسا تيجيتت نو كيسو (P > 35%)

RHS ميق ن ا ف، ي رخأ تيجان ن م. تلافطنلا ثانلا ب ا تقراقم تلافطنلا ريغ ثانلا ي ف ريبكي ي ل ع ل RGS ميق نوكت، ن يسنجل ل ا ك ي ف ي ف؛ ل برباو سرام ي رهش ي ف تلافطنلا روكدلا ي ف قورنلا رهظت. تلافطنلا ريغ ثانلا ميق ن م ريبكي ي ل ع ل تلافطنلا ثانلا ب ن يلفطنلا ريغ دار فلأ ي ف ويام ي ل ا سرام ن م ميقلا مدهر متست، ل باقملا

ضافخنا ن ع تفسك *Anisakis sp.* رطف دوجو *L. callensis* تابلنل تيويحلا تينايميكلاو تيجولوفروملا تباجتسلا ي ل ع ل ماعلا جئاتن رهظأ، ل باقملا ي ف؛ تلافطنلا كاسلأ ي ف) 81.55% (تلاضلاو) 68.39% بالقلأ ي ف AChE طاشن ي ف (P < 0.05) طوحلم. تيميلسا كاسلأ ي ف تظلاملا كالت عم تقراقم (P < 0.05) تيونعم دبايز تلافطنلا كاسلأ ل ا ل ا طاشن

ديزما ي ل ع ل وصال ل جأ ن م *L. callensis* ل برابلا رئا اهنكسي ي تلا تينااملا تاحطسما فالتخم ي ف تلتامم تاسارد ا رجا ي غينيد. مفاظن ي ف ل براب تاعومجلا قرا د ا و تقارم جمانرب عاشن ن م ن كمتللو تيويحلا تينيد ل و د تانايبلا ن م

الكلمات الدالة: رثاكتلا، ومنا، ل فطنلا، اريبوأ قريجب، س يسنيلاك سوبرابويسوللا، تيويحلا تينايميكلاو تيجولويسفلا تاملاعلا :

## Table des matières

1-INTRODUCTION GENERALE	1
2- Synthèse bibliographique	7
2-1 Les Cyprinidés	7
2-1.1 Les barbeaux	8
2-1.2 En Algérie	10
<b>Partie I : Démographie et physiologie de la reproduction de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira</b>	
1-Introduction	27
2-Méthodes d'étude	11
2-1 Engin de pêche	29
2-2 Examen macroscopique des individus	29
2-3 Mesure de la taille et du poids des individus	30
2-4 Fréquences de taille et de poids	31
2-5 Condition physique et croissance	31
2-6 Détermination du Sexe ratio	34
2-7 Maturité sexuelle et reproduction de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	34
2-8 Rapport gonadosomatique (RGS)	38
2-9 Rapport hépatosomatique (RHS)	37
2-10 Rapport viscérosomatique (RVS ou IVS)	38
2-11 Rapport splénosomatique (RSS ou ISS))	38
2-12 Facteur de condition	39
2-13 Détermination de la période de ponte	40
<b>3-2. Résultats</b> Cycle de reproduction du barbeau <i>L. callensis</i> du lac oubeira	50
3-2.1 Stades de maturité sexuelle	50
3-2.2 Taille de la première maturité sexuelle	51
3-2.3 Sex-ratio global	52
3-2.4 Variation des indices somatiques	53
3-2.4.1 Rapport gonadosomatique	54
3-2.4.2 Rapport hépatosomatique	56
3-2.4.3 Evolution des RGS et RHS	57
4-Discussion	60
4-1 Démographie de la fraction de population de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	60
4-2 Cycle de reproduction de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	64
<b>Partie II : Statut sanitaire du barbeau <i>L. callensis</i> de l'Oubeira</b>	
1-Introduction	76
2- Matériel et Méthodes	80
2-1. Traitement des barbeaux capturés	80

2-2 Indices épidémiologiques	81
2-3. Anomalies et "Codes pathologie"	82
2-4. Indices d'évaluation de l'état de santé des barbeaux	83
2-5. Indices pathologiques	85
2-6. Paramètres biochimiques mesurés	86
2-6.1 Traitement des barbeaux capturés	86
2-6.2 Recherche et identification des parasites	86
2-6.3 Paramètres physiologiques calculés	86
2-6.4 Marqueurs biochimiques	87
<b>3-1 Résultats</b> "Structure de la fraction de population de Barbeau de l'Oubeira"	42
3-1.1 Taille des individus de <i>L. callensis</i>	42
3-1.2 Poids des individus de <i>L. callensis</i>	44
3-1.3 Croissance pondérale relative	46
3-1.4 Croissance linéaire relative	48
<b>3-1 Résultats</b> "Code pathologie" et état de santé de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira"	89
3-1.1 Proportions des individus atteints de lésions	89
3-1.2 Types de pathologie	89
3-1.3 Pathologies recensées	90
3-1.4 Fréquence et sévérité des altérations	94
3-1.4.1 Prévalence globale des altérations et qualité de l'habitat	95
3-1.4.2 La prévalence des lésions DELT	95
3-1.4.3 Indices pathologiques	95
<b>3-2 Résultats</b> : Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	97
3-2.1 Parasites recensés chez le barbeau <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	97
3-2.2 Effectifs de barbeaux parasités et non parasités	98
3-2.3 Intensité d'infestation par sexe et par taille	98
3-2.4 Parasitisme et relation taille-poids	99
3-2.5 Parasitisme et Facteur de condition absolu	101
3-2.6 Parasitisme et indices somatiques	102
3-3. Résultats : Réponse physiologique et biochimique de <i>L. callensis</i> à la présence du parasite <i>Anisakis</i>	103
3-3.1 Paramètres morphophysiologiques calculés	104
3-3.2 Indices de stress oxydatif	105
3-3.3 Paramètres neurotoxiques	106
4-Discussion Partie II	107

4-1. 'code pathologie'' et état de santé de <i>L. callensis</i> de l'Oubeira	107
4-2. Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de <i>L. callensis</i> de l'oubeira	111
4-3 Réponse physiologique et biochimique de <i>L. callensis</i> à la présence du parasite <i>Anisakis</i>	112
5-CONCLUSION GENERALE	116
6-REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	120

## 1-Introduction générale

Le Poisson est la classe la plus diversifiée des vertébrés. Il existe approximativement 27977 espèces réparties en 515 familles et 62 ordres (Nelson, 2006) ; dont 58% d'espèces marines, 41,2 % d'espèces dulcicoles et 1% d'espèces amphihalines au cours de leur cycle de vie (Skelton 1988 ; Helfman *et al.*, 2009). Toutefois, les poissons téléostéens sont responsables d'une grande partie de la production primaire et se trouvent ainsi à la base des réseaux trophiques pélagiques. Ils sont de plus en plus utilisés en tant que sentinelle de l'environnement, car ils sont de bons indicateurs de la qualité des eaux et de bons témoins des potentialités trophiques des écosystèmes aquatiques (Bruslé et Quignard, 2004). D'ailleurs, de nombreuses méthodes, fondées sur l'étude des communautés, sur les réponses physiologiques des individus et sur les réactions métaboliques et cellulaires, font appel aux poissons (Girard, 1998). Compte tenu de l'état actuel des connaissances, les études sur les espèces de poissons ont été davantage axées sur la dynamique des populations afin de mieux cerner les cycles bioécologiques des espèces rentables présentant un intérêt économique. Leur étude permet cependant, d'évaluer si la croissance, la reproduction, l'état et la survie de la population diffèrent selon que celle-ci vit dans un milieu naturel ou artificiel, exposé ou de référence.

Certes, la connaissance et la maîtrise du cycle de reproduction d'une espèce de poisson peuvent conduire à des applications diverses, tant dans le domaine éco-biologique que pour son exploitation à des fins économiques, une connaissance par ailleurs, plus précise de ces exigences physiologiques est primordiale. En fait, l'état physiologique des animaux est un outil d'interprétation de données écologiques, puisqu'il exige une adaptation entre les degrés de tolérance et de réponse de ces individus dans leur environnement ; ce qui explique, l'accroissement considérable des connaissances en écophysiologie des populations de poissons au cours de ces 25 dernières années (Bruslé et Quignard, 2004). C'est ainsi que la caractérisation physiologique de poissons s'avère très importante parce que ceux-ci sont reconnus comme indices de la qualité du milieu aquatique (Boulton, 1999). En tout état de cause, ces études de physiologie sont d'autant plus nécessaires et intéressantes pour valoriser et exploiter au maximum les ressources, notamment le milieu naturel.

Dans un autre ordre d'idées, il est également important de prêter attention aux Poissons à l'égard de leur importance dans le contexte socio-économique. Le poisson possède des qualités nutritionnelles précieuses qui en font un aliment particulièrement intéressant pour

l'Homme. Il contient des protéines, des minéraux, des vitamines, ainsi que des omégas 3 présents dans les poissons gras. Par ailleurs, si la chair du poisson est bonne pour la santé du consommateur, elle peut également être contaminée par des polluants, des microorganismes pathogènes ou des parasites. En effet, des études récentes ont montrées des effets toxiques importants des polluants et des parasites sur les organismes aquatiques via une altération des traits physiologiques et immunitaires (**Marcogliese, 2001**). Néanmoins, dans les populations naturelles, il existe une grande variabilité de réponses physiologiques à ces stress toxiques dont les causes évolutives et les conséquences épidémiologiques sont encore mal connues, car en milieu naturel, il est souvent difficile de faire une relation de cause à effet. Toutefois, la détermination et l'évaluation des indicateurs de santé à l'échelle des communautés (richesse spécifique, abondance, structure démographiques) et des individus (réactions comportementales, fécondité, réponses physiologiques, métaboliques et cellulaires) sont devenue fondamentales pour évaluer la qualité des milieux aquatiques (**Girard, 1998 ; Boulton, 1999**).

En Algérie, les études sur l'ichtyofaune limnique n'ont pas connu un grand progrès, en comparaison avec ceux consacrés aux poissons marins. Cette faune dulcicole cependant, caractérisée par la prédominance de la famille des Cyprinidae, comporte le plus grand nombre d'espèces utilisées dans la pisciculture notamment *Luciobarbus callensis* (**Valencienne, 19842**), modèle de choix pour ce projet de thèse. Malgré son abondance et son importante répartition dans nos eaux douces, reste un poisson très peu recherché pour la consommation, et ce, à cause de la qualité très moyenne de sa chair, mais apprécié par la population locale. Dans les pays européens le barbeau a, cependant suscité beaucoup de travaux notamment comme modèle intéressant dans les études de biogéographie méditerranéenne (**Gante, 2011**). En Algérie en revanche, son utilisation dans la recherche est récente, et date plus d'une vingtaine d'années seulement. Sa répartition géographique, sa place dans la classification systématique, son écologie, sa biologie et sa parasitofaune, sont les premiers thèmes de recherche qui ont été abordés. Toutefois, sa physiologie reste encore très peu et/ou partiellement étudiée. Méconnaître par ailleurs, les risques des introductions d'espèces exotiques, ainsi que les risques de l'emprise croissante de l'Homme sur les zones humides et leurs bassins versants, suscitent des craintes pour ce poisson autochtone inscrit d'ailleurs sur la liste rouge de l'*IUCN* en tant que préoccupation mineure (**Crivelli, 2006**).

Afin de combler ce manque de données, en 2012 et dans le cadre d'un projet de thèse, fut émise l'idée d'étudier les facteurs physiologiques de l'espèce autochtone *Luciobarbus callensis* dans son milieu naturel le lac Oubéira (Nord-est algérien). Les résultats obtenus apporteraient des indications précieuses quant aux relations entre les facteurs physiologiques et ceux de l'environnement. C'est ainsi qu'en milieu naturel la détermination des facteurs physiologiques vise d'une part à accroître les connaissances vis-à-vis d'un ensemble d'indices bruts (directs et indirects) essentiels au bon fonctionnement des organismes et d'autre part à identifier les dysfonctionnements observés, de mettre en lumière les causes de ces dysfonctionnements et de proposer des outils permettant de faire un diagnostic pertinent qui pourrait servir à la gestion des risques identifiés. Or, l'orientation que nous avons voulu donner à ce travail nous a amené également à étudier sa parasitofaune et son incidence sur certains paramètres morphophysiologique et biochimique.

### **Contexte et objectif de l'étude**

L'originalité de notre étude est multiple : la spécificité de la zone étudiée, située dans une région hydrographique classé site Ramsar « théoriquement protégée », l'abondance du barbeau algérien *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) dans nos plans d'eau, son utilisation en pisciculture, ainsi que son statut préoccupant. Or, notre recherche est une étude holistique préalable de la situation de *L. callensis* Valencienne, 1842 au niveau d'un écosystème naturel lentique, le lac Oubéira, qui contribuera à étudier les facteurs physiologiques de cette espèce, et tentera par la suite de mettre en évidence le rôle de ces marqueurs dans l'évaluation de la condition et l'état de santé du barbeau peuplant ce plan d'eau.

*L'approche de terrain traduit une triple intention rédactionnelle, et permettra :*

- 1/ **D'**enrichir les connaissances déjà acquises sur les Cyprinidés et d'apporter des connaissances fondamentales sur les facteurs physiologiques et leur variabilité chez une espèce de poisson autochtone *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842), peuplant un hydrosystème endoréique. Pour ce faire, une description des principales caractéristiques physiologiques du poisson a été réalisée à travers l'évaluation d'indices bruts ;
- 2/ **Le** développement d'un réseau de surveillance et de veille sanitaire des populations de barbeaux et du milieu aquatique pour identifier des zones « à risque », et ce, par l'utilisation du "code pathologie", un outil de surveillance de l'état de santé des populations de poissons

sauvages, et une mise au point relative à l'évaluation de la biodiversité parasitaire de cette population indigène et de son état de conservation avec des propositions pour sa protection ;

**3/ De** déterminer et d'anticiper les causes et les conséquences physiologiques et sanitaires (charge parasitaire) des perturbations environnementales anthropiques (pollution chimique) sur *Luciobarbus callensis* afin de voir la possibilité de son utilisation comme indicateur de la qualité des eaux et des écosystèmes continentaux. Pour cela, l'état de santé de cette espèce a été déterminé via des biomarqueurs morphophysiological et biochimique, afin de tester les variabilités de réponses physiologiques d'une fraction de population de barbeaux adultes soumise à un stress biologique.

Cette importante contribution vient combler une lacune, étant donné que ce projet de thèse s'articule autour d'une approche intégrant des champs d'investigation croisés (morphoanatomie, physiologie, et biochimie). Pour cela, notre manuscrit est organisé autour de *six chapitres* renfermant les méthodes, décrivant les résultats, définissant et expliquant les enjeux liés aux milieux naturels, tout en mettant en discussion les résultats analysés avec ceux trouvés par d'autres auteurs et dans diverses régions où ce genre et/ou espèce est présent :

Le **premier volet** comprend un aperçu historique : un complément d'informations succinctes, éclairées de cartes et de photos, concernant l'intérêt et la synthèse des connaissances relatives à la répartition géographique et à la systématique de *Luciobarbus callensis*.

Le **second volet** est un bilan de connaissances entièrement consacrée d'une part à la présentation de l'espèce qui abordera la biologie, la physiologie et l'écologie de l'espèce *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) en se référant aux résultats de travaux réalisés en Europe, Tunisie et Maroc, et d'autre part à la description des conditions générales et l'état des lieux de l'aire d'étude, le lac Oubéira, en essayant de rassembler de façon non exhaustive la majorité des données existantes sur le milieu prospecté.

Le **volet 3** est relatif à la caractérisation de la population du barbeau *Luciobarbus callensis* dans son milieu de vie naturel, qui exposera les éléments de base de la dynamique des populations (structure de la population et les paramètres de condition physique).

Le **volet 4** est dédiée à l'étude des principaux facteurs physiologique par la détermination et l'analyse de l'évolution temporelle des indices brutes, considérant que certains indicateurs physiologiques déterminés (indices somatiques, la condition, la taille, le poids et le sexe) sont cruciaux pour le bon fonctionnement des organismes ; les travaux menés dans le cadre de cette thèse se focaliseront sur un suivi annuel de ces indices.

Le **volet 5** en revanche, traitera l'état de santé du barbeau dans le lac Oubéira. Il est scindé en deux volets dont l'un se rapporte à l'utilisation de "codes pathologies", le second se focalisera sur la biodiversité de la faune parasitaire chez le barbeau du lac Oubéira.

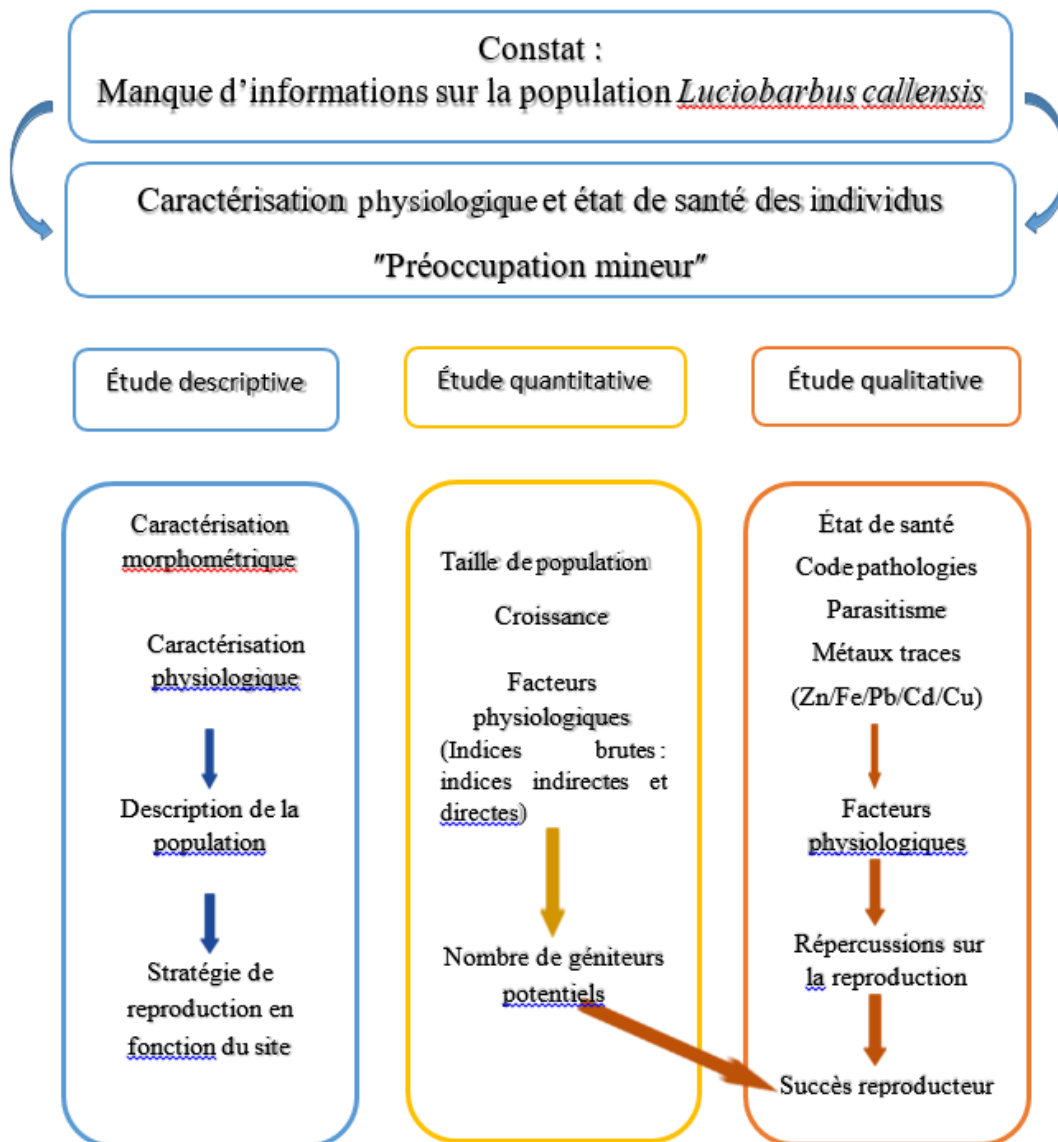
Le **volet 6** toutefois, synthétisera les *réponses physiologiques* du *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) du lac Oubéira aux contraintes environnementales (biologique). Pour répondre à la question « les poissons ont-ils subi des modifications à cause de ces stress », il fallait analyser les données qui résument l'impact du parasitisme, l'ampleur des effets du nématode *Anisakis sp* sur les facteurs physiologiques du barbeau Algérien.

*Et enfin*, ce manuscrit s'achèvera par une **conclusion générale** et les références bibliographiques qui ont servi de support pour la réalisation de ce travail.

La conclusion générale reprendra les principaux résultats et interprétations et dégagera les perspectives futures qui permettront de compléter ce travail (dosage des hormones sexuelles et de stress) et d'établir certaines corrélations utiles, pour l'instant peu connues, entre tout ce qui est facteurs physiologiques, parasitisme au niveau de notre plan d'eau afin de protéger et préserver notre patrimoine.

## Contexte et objectifs de l'étude

La démarche présentée dans la figure permet d'identifier les données à réunir pour l'évaluation des facteurs physiologiques chez un poisson endémique le barbeau algérien *Luciobarbus callensis* Valenciennes, 1842 (Téléostéens, Cyprinidés) au niveau de son milieu naturel le lac Oubéira (site Ramsar).



**Figure 1.** Méthodologie d'évaluation des facteurs physiologiques chez le barbeau *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira.

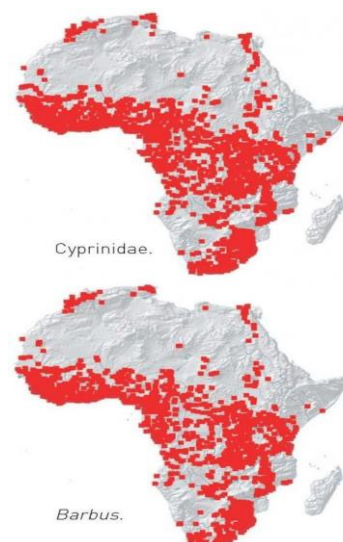


## 2- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

### 2-1 Les Cyprinidés

L'ichtyofaune dulcicole est caractérisée par la prédominance de la famille Cyprinidae. Le nom de cette dernière, est un dérivé du grec ancien Kyprinos semble à carpe. Cette famille devait probablement exister avant la séparation des continents puisque nous la retrouvons actuellement en Eurasie (78 % des genres) et en Amérique du Nord (14 % des genres). Absente d'Amérique du Sud, d'Australie et de Madagascar mais a fait l'objet de multiples introductions volontaires par l'homme. Dans le monde 210 à 275 genres, 1600 à 2015 espèces ont été recensés, dont 41 genres, notamment *Barbus* (fig. 1), et 526 espèces en Afrique, (Bruslé et Quignard, 2001 ; Lévêque et Paugy, 2006). Sa présence en Afrique (8 % des genres) serait selon plusieurs auteurs la conséquence d'une colonisation plus récente, lorsque le continent africain est venu en contact avec le continent asiatique. Cette migration d'Asie vers l'Afrique aurait touché de façon indépendante les différents ancêtres des groupes actuels de Cyprinidae.

Le plus ancien cyprinidé « africain » est connu en Arabie il y a environ 18 Ma. Ces poissons vont rapidement coloniser les eaux africaines car, à cette époque, la mer Rouge n'existait pas encore et l'actuel Sahara était vert. Dans la partie nord du continent, y compris le Maghreb et l'Arabie, c'est donc la faune caractéristique de la zone nilo-soudanienne. À partir de la fin du Miocène, le Sahara se développe et le climat s'aridifie. Le nombre alors d'espèces d'eau douce africaines diminue au Maghreb et en Arabie pour laisser place à une faune d'origine européenne, à dominance de Cyprinidés, notamment dans le Maghreb (fig.2).



**Figure 1.** Répartition générale de la famille des Cyprinidae y compris le genre *Barbus* en Afrique (Paugy *et al.*, 2011).



Par conséquent, certaines espèces étant même devenues carnivores comme le *Barbus truttiformis* du lac Tana en Éthiopie. En revanche, d'autres espèces étaient capables de vivre dans des conditions extrêmes, vivant dans des grottes ou sous les pierres des zones de rapides (Paugy *et al.*, 2011) ou se rencontre parfois en eau saumâtre, tolérant ainsi des concentrations salines de 14g/l comme *Barbus callensis* (Kraiem, 1989).

### 2-1.1 Les Barbeaux

En Afrique du nord, l'ichtyofaune dulcicole est caractérisée par la prédominance de deux genres de barbeaux *Barbus* et *Luciobarbus* (Doadrio, 1990). Quelques formes de grands *Barbus* ont colonisé le nord de l'Afrique depuis l'Europe (fig. 4 et 5) lors de la régression de la mer Méditerranée, mais il semble que ces formes se soient confinées au nord du Sahara (Paugy *et al.*, 2011). Toutefois, les premiers travaux réalisés sur les barbeaux intéressaient beaucoup plus le Maroc. Pellegrin (1921, 1930) cite 13 espèces de barbeaux du genre *Barbus*. En 1939, Pellegrin considère qu'il a lieu de séparer la var. *figuigensis* de *Barbus callensis* et de lui attribuer un rang spécifique (Almaça, 19). Estève (1947) puis Bertin (1951) considèrent que seules sont valides les deux espèces, *Barbus callensis* et *B. nasus*, les autres taxons n'étant que des variétés de ces deux Cyprinidés. En 1984, Lévêque et Daget considèrent que *B. ksibi*, *B. pallaryi*, *B. massaenensis*, *B. issenensis*, *B. figuigiensis*, *B. moulouyensis* et *B. lepineyi* sont des synonymes de *B. callensis*, *B. magniatlantis*, et de *B. nasus* pour Berrebi *et al.* (1994). En 1994, Melhaoui signale que plusieurs espèces sont confondues avec leurs hybrides ou leurs variétés locales. Doadrio (1994) considère que 11 des 13 espèces décrites par Pellegrin (1930) sont valides.

Après avoir décrit le statut taxonomique et précisé l'origine asiatique du genre cette étude synthétique présente deux hypothèses décrivant les voies de dispersion de *Barbus* "sensu stricto", depuis l'Asie occidentale jusqu'à l'Europe de l'ouest et l'Afrique du Nord. Ce genre très diversifié au Maroc, avec 11 espèces. Cette diversité va en décroissant à l'Est vers l'Algérie avec 4 espèces parmi elle figure *Barbus callensis* et la Tunisie avec 2 espèces seulement : *Barbus callensis*, abondant et très répandu du nord au centre et *Barbus antinorii*, espèce désertique, rare et limitée à une oasis du sud tunisien (Kraiem, 1989). En revanche, Doadrio (1990) a émis l'hypothèse que le genre *Barbus* tétraploïdes serait constitué de deux sous genres *Barbus* et *Luciobarbus*. Selon cet auteur le genre *Barbus* du nord-africain provient du sous-genre ouest-asiatique *Luciobarbus* qui aurait emprunté la voie sud méditerranéenne pour atteindre l'Afrique du Nord et passer en Péninsule Ibérique par le Maroc (Kraiem, 1998).

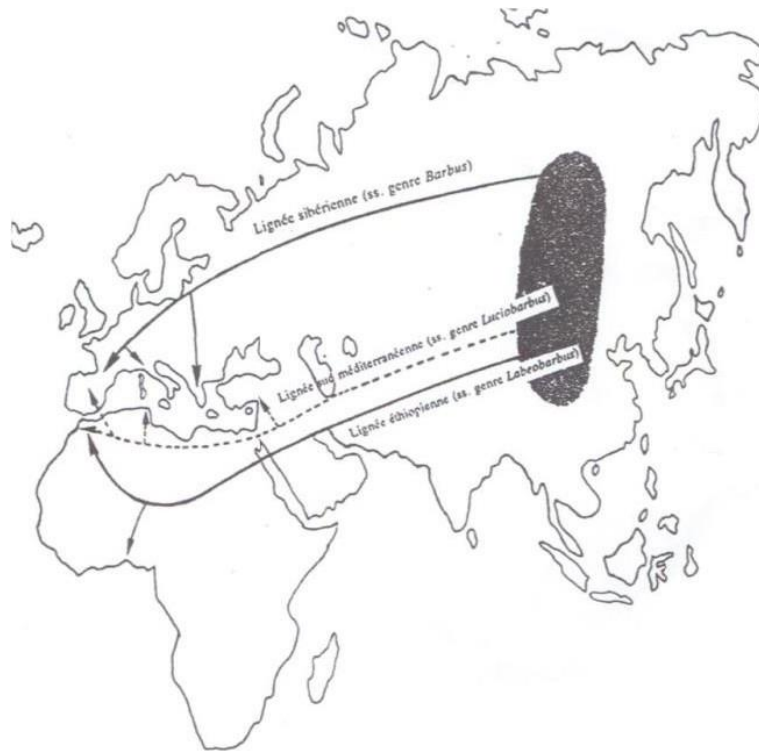


Figure 2. Origine et voies de dispersion des barbeaux (Doadrio,1990).

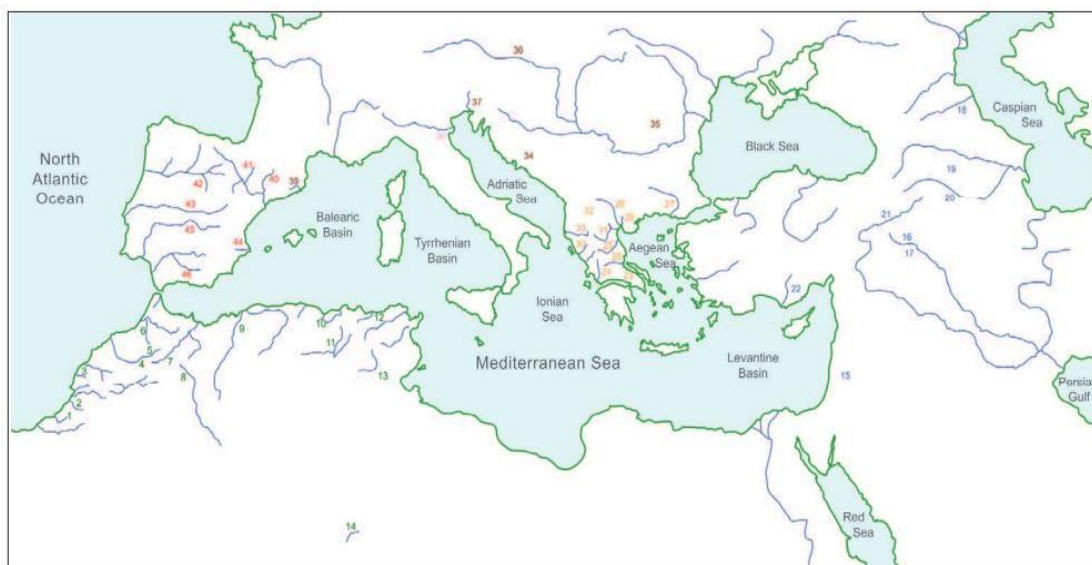
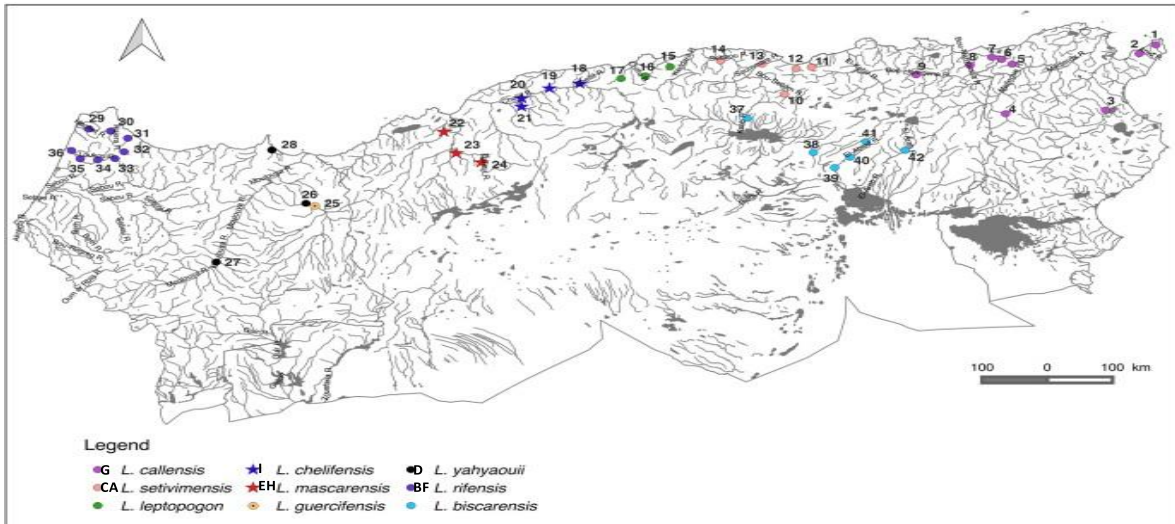


Figure 3. Les sites d'échantillonnage de *Barbus*, *Luciobarbus*. Les codes de couleur se réfèrent à l'aire de répartition géographique de l'espèce : Afrique du Nord, Anatolie, Moyen-Orient et Caucase, Grèce, Europe centrale et orientale, et Balkans, Italie et Iberia (modifié)



**Figure 4.** Répartition des espèces de *Luciobarbus* dans le bassin méditerranéen africain. L’Algérie : (A) *Luciobarbus leptopogon*; (C) *Luciobarbus setivimensis*; (E) *Luciobarbus mascarensis*; (F) *Luciobarbus biscariensis*, non conservé ; (I) *Luciobarbus chelifensis*, le Maroc : (B) *Luciobarbus rifensis*; (D) *Luciobarbus yahyaouii*; (H) *Luciobarbus guercifensis*; et la Tunisie : (G) *Luciobarbus callensis* (d’après Brahim *et al.*, 2017, modifié).

### 2-1.2 En Algérie

Les premiers travaux sur ichthyofaune en Algérie ont été menée dans l’Oranie (Algérie occidentale) sur des poissons fossiles marins. Les premières observations sur des Vertébrés fossiles notamment de Poissons étaient l’œuvre de Rozet en 1831 dans les argiles schisteuses puis de Duvernoy en 1837 dans les calcaires grossiers à brèches (Hadjouis, 2018). Entre 1840 et 1842, plus de 100 échantillons de poissons des marnes d’Oran provenait des importantes collections du Muséum national d’Histoire



naturelle (MNHN) de Paris, constituées par Émilien Renou au cours de la mission d'exploration géologique de l'Algérie. Il s'agit, selon Sauvage (1873) de Clupeidae fossiles, qui composent presque exclusivement la masse des Poissons, appartenant, presque toutes à l'espèce *Alosa elongata* Agassiz, 1843. Pour des raisons économiques en revanche, l'intérêt de l'étude des poissons d'eau douce n'a pu connaître un grand essor comme celui des poissons marins. Les écosystèmes limniques ont été étudiés par quelques auteurs durant leurs séjours en Algérie (XIX<sup>ème</sup> siècle et début du XX<sup>ème</sup>). Parmi eux Blanchard (1888) en Oranie et à Biskra, Gurney à Biskra en 1909, Gauthier (1928) sur la faune des eaux continentales d'Algérie et de Tunisie (Navas, 1929 ; Seurat (1930), Parrot (1949). Les études d'hydrobiologie n'ont été reprises que vers les années 1980 par les équipes des Universités d'Alger, Tizi-Ouzou et Tlemcen (Arab, 1989). Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie

L'ichtyofaune de nos eaux continentales est représentée par 65 espèces appartenant à 22 familles et 46 genres (37 espèces sont autochtones dont 6 endémiques), et depuis 1924, nos plans d'eau, notamment lac Oubeira (Nord-est algérien), ont connus de nombreuses introductions d'espèces de poissons (Bacha et Amara, 2007), et ce, dans un but écologique et socio-économique. Selon Almaça (1970), Pellegrin en 1939 a distingué 5 sous genres de *Barbus* en Afrique du nord : *Barbus*, *Labeobarbus*, *Enteromius*, *Capoeta* et *Puntius*. Esteve (1947), a rajouté que dans le genre *Barbus* il y a deux espèces bien distinctes *Barbus callensis* (Valencienne, 1842) et *Barbus nasus* (Günther, 1874). Le genre *Barbus* cependant, prédomine, et il est représenté par dix-sept espèces dont cinq sont très répandues en Algérie : *Barbus setivimensis* (Cuvier et Valenciennes, 1842), *Barbus biscarensis* (Boulenger, 1911), *Barbus antinorii* (Boulenger, 1911), *Barbus ksibi* (Boulenger, 1905) et *Barbus callensis* (Valencienne, 1842). Ce dernier selon Arab (1989), a été signalée en 1927 dans l'oued Reghaia par Dieuzede, dans l'oued Sebaou (Bouton, 1957) et dans le cours inférieur de l'oued Mazafran par Dieuzede et Roland en 1951. D'après Almaça (19 et 1970) les premières études sur les barbeaux algériens, des spécimens examinés sous la désignation de *Barbus callensis* originaires de la calle (El Kala actuellement) et Chéelif, ont été menés sur des collections de 1883 et 1899, respectivement, conservés dans le MNHN de France.

L'espèce *Luciobarbus callensis*, protonyme *Barbus callensis*, a été initialement décrite en 1842 par le zoologiste-parasitologue français Achille Valenciennes (1794-1865), élève et successeur de Georges Cuvier naturaliste et zoologiste (1769-1832). Cette description a été basée sur l'examen morphologique des collections du Muséum national d'histoire naturelle. Cependant, l'appel à de nouvelles techniques taxonomiques (technique moléculaire, marqueurs parasitaires, signaux électriques, comportement) a facilité la révision de certain groupe taxonomique (Lévêque et Paugy,

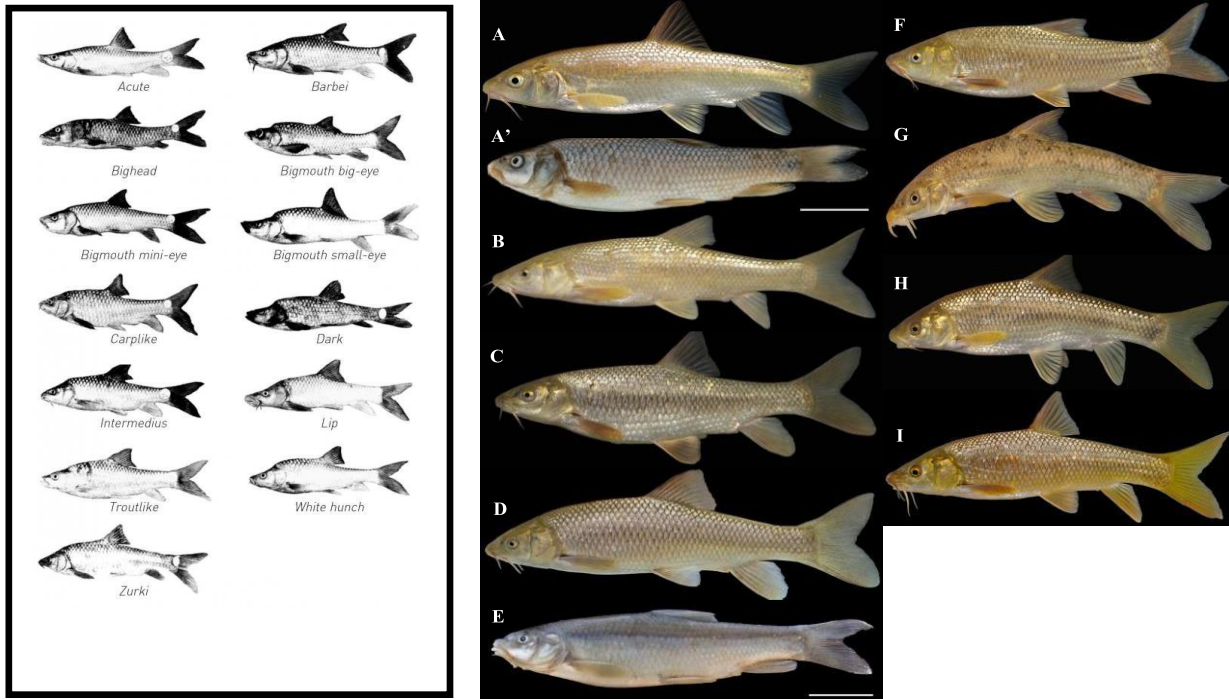


2006). Basée auparavant sur l'unique approche morphologique (fig. 5) (Doadrio *et al.*, 1998), ces dernières années la systématique et le statut spécifique des barbeaux algériens ont connus une mise au point soldée par une clé d'identification grâce à l'utilisation de nouveaux outils taxonomiques (techniques moléculaires). Actuellement *Barbus* sensus stric., forme un groupe monophylétique fortement soutenu composé de deux lignées de barbeaux, *Barbus* et *Luciobarbus* (Doadrio, 1990), qui pourraient être considérés comme des genres distincts en accord avec des données morphologiques et une analyse d'ADN récente (Machordom et Doadrio, 2001; Gante, 2011; Brahim *et al.*, 2017).

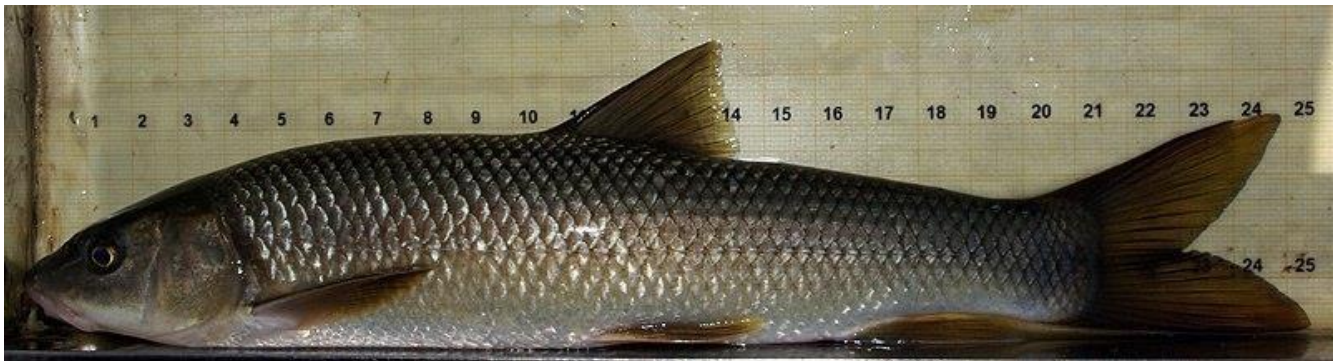
Les Cyprinidés du genre *Luciobarbus* sont les poissons les plus abondants et les plus répandus dans la plupart des écosystèmes d'eau douce du Maghreb. Dans le bassin méditerranéen (Maroc, Algérie et Tunisie), toutes les espèces de *Luciobarbus*, à l'exception de *L. guercifensis*, sont superficiellement très semblables et se distinguent principalement par des caractères morphométriques mineurs. Une clé d'identification est donnée pour toutes les espèces africaines méditerranéennes de *Luciobarbus*, à l'exception de *L. callensis*, modèle d'étude (fig. 6), et *L. rifensis*, qui n'ont pu être distingués (Brahimi *et al.*, 2017).

D'après la littérature, les premiers travaux réalisés par des auteurs maghrébins sur le genre *Luciobarbus* ont été effectués par Kraiem (1994) sur les populations de barbeaux tunisiens. Ils ont été suivis par les travaux de Dakki (1997) qui avait caractérisé les barbeaux marocains. Il a fallu attendre Meddour (1988) et Arab (1989) pour que les travaux sur cette espèce reprennent en Algérie. La majorité de ceux-ci ont été élaborés dans le cadre de mémoires d'ingénieur, de magistères, thèses de doctorat et de masters, traitant beaucoup plus les aspects éco-biologiques et parasitologiques de l'espèce. Outre, ces données sur ce poisson autochtone restent toujours limitées.

*Rappelons que des espèces considérées à l'heure actuelle comme sans intérêt ni utilité selon nos critères usuels, seront peut-être appelées un jour à jouer un rôle important dans un domaine ou un autre. Nous sommes loin de connaître toutes les possibilités offertes par les espèces sauvages dont la biologie et la physiologie nous réservent encore bien des surprises (Daget, 1988).*



**Figure 5.** Aspects morphologiques des barbeaux. A gauche : treize espèces du genre *Barbus* au niveau du lac Tana en Éthiopie (adapté d'après Nagelkerke, 1997 in Paugy *et al.*, 2011) au milieu, six espèces du genre *Luciobarbus* Algérien (A-E) au niveau de différents plan d'eau, à la droite Macocain (F-H) et Tunisien (I) (Brahimi *et al.*, 2017, modifié)



**Figure 6 :** *Luciobarbus callensis* Valenciennes, 1842



### 3. MATERIEL ET METHODES

#### 3.1 ZONE D'ETUDE : LE LAC OUBEIRA

Les systèmes aquatiques continentaux pour les poissons, peuvent être assimilés à des îles (les bassins versants). Il en résulte une endémicité souvent importante (Paugy, 1994). La présente étude intéresse la Numidie orientale, et sa portion nord-est, le parc national d'el Kala. Il s'agit d'un système de zones humides singulier en Méditerranée par son régime hydrologique et par la diversité de ses composants hydrographiques. Il est utile de présenter les caractéristiques générales de cette zone, afin de situer notre site d'étude le lac Oubéira dans son contexte global.

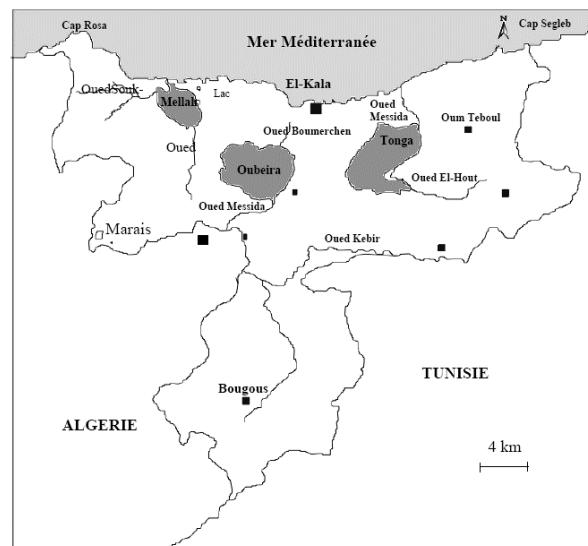
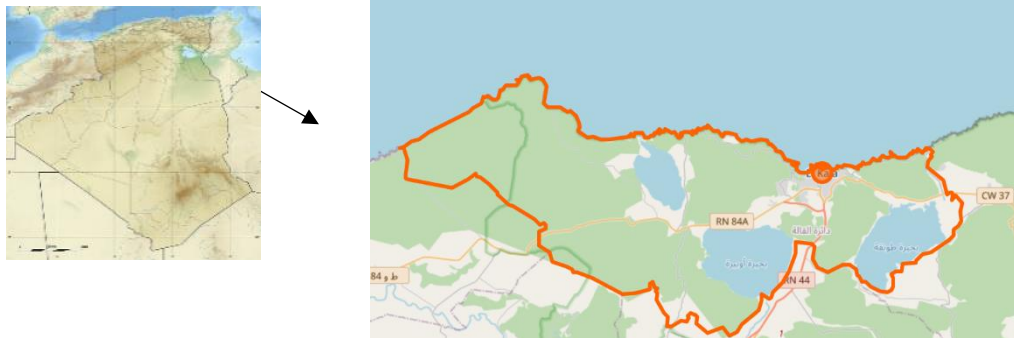
##### Cadre historique

Les zones humides de la Numidie Orientale occupent une superficie de 156 000 ha et constituent le complexe humide le plus diversifié de l'Algérie. L'adhésion de l'Algérie à la convention de Ramsar a été effective en 1983 avec l'inscription de deux principaux hydrosystèmes sur la liste des zones humides d'importance internationale : Le lac Tonga et le *lac Oubéira* situés tous deux dans le complexe des zones humides d'El Kala (Wilaya d'El Tarf).

Entre 1912 et 1929, l'administration coloniale envisage plusieurs projets et retient un réseau de 10 parcs relativement modestes, car leur superficie totale n'atteint pas 25 000 hectares, soit le tiers de l'actuel parc d'El Kala. À l'indépendance, nous parlons déjà d'un parc national informel, à l'image de celui du Djurdjura ou de Chréa (Blida), mais la première initiative sérieuse est l'œuvre de Thomas *et al.* (1973) qui ont proposé le parc national marin et terrestre d'El Kala (PNEK). Ce dernier, appartient à un ensemble biogéographique, exceptionnel par sa diversité faunistique et floristique, est le plus important du Maghreb. Ce parc créé le 23 juillet 1983, est intégralement inclus dans la wilaya d'El Tarf et occupant presque le tiers soit 26% de la superficie globale de son territoire (78000 hectares), ce qui en fait l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Il est situé au nord-est de l'Algérie à 70 km de la ville d'Annaba, et limitrophe avec la frontière de la Tunisie. Le parc se présente comme une cuvette dont le centre est occupé par une zone lacustre (Lac Tonga, *Oubéira* et Mellah), à proximité de la mer, tandis que les bords sont marqués par les reliefs montagneux, les monts d'El Kala et les coteaux du Cap Rosa (fig. 1). Depuis 1990, grâce à la diversité biologique des espèces d'intérêt écologique et économique, il a été classé Réserve de la Biosphère dans le réseau des réserves du programme Man and Biosphère (MAB) de l'UNESCO dans l'objectif était la conservation du patrimoine naturel algérien (Boumazber, 2001). Le décret n° 83-458 du 23 juillet 1983, fixant le statut type des parcs



nationaux, stipule dans l'article 3 que l'un des objets des parcs nationaux reste « la préservation de ce milieu contre toutes interventions artificielles...susceptibles d'altérer son aspect, sa composition et son évolution ».



**Figure 7** : Complexe de zones humides du PNEK

### Les principales actions d'aquaculture au niveau du lac Oubéira

Diverses actions et expérimentations se sont déroulées en marge de l'évolution de la pêche. En effet, l'Office National de Développement et de Production Aquacole (ONDPA) a procédé à l'introduction de la carpe importée de Hongrie à travers deux opérations de repeuplement dans le cadre d'une opération de valorisation du lac mais sans étude d'impact. La quantité d'espèce de poissonensemencée diffère selon les auteurs, et les études existantes donnent des informations contradictoires (Tableau) :

-1960-1970 : Plan de Valorisation du lac Oubéira (Zouakh, 2009) ;

-1974 : Premiers essai de fumage de l'anguille au lac Oubéira (Zouakh, 2009) ;



- 1982 et 1988 : L'Office National pour le Développement de la Pêche et l'Aquaculture (ONDPA) supervise le peuplement du lac Oubéira en Cyprinidés, Sandre et Black-bass (Meddour, 2009) ;
- 1985-1986 : Premier plan national piscicole, l'importation de la Hongrie de 22 million d'alevins dont 8.949.600 attribués au lac Oubéira (Meddour et Bouderdou, 2001) ;
- 1990-1991, un nouvel empoissonnement du lac de deux espèces planctophages, la carpe argentée et la carpe grande bouche, a eu lieu sans l'avis de l'administration du Parc National (Chalabi, 1991).

**Tableau 1.** Effectifs des espèces ensemencés au niveau du lac Oubéira entre 1985 et 1991.

Espèces	Périodes	Quantité d'alevins		Auteurs
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Juillet 1985	1 500 000	3.150.000	Meddour et Bouderdou, 2001
<i>Aristichthys nobilis</i>		2 000 000		
<i>Ctenopharyngodon idella</i>		1 450 000		
<i>Cyprinus carpio</i>	Mai 1986	2.000.000	3000	Meddour, 2009
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>		1.000.000		
<i>Aristichthys nobilis</i>		200 000		
<i>Ctenopharyngodon idella</i>				
<i>Stizstiedion lucioperca</i>		1.405 000	1000	Meddour et Bouderdou, 2001
<b>PERIODE D'ASSECHEMENT 1988-1990</b>				
<i>Ctenopharyngodon idella</i> espèce disparue avec l'assèchement du lac				
<i>Cyprinus carpio</i>	1991	inconnue	inconnue	
<i>Carassius gibelio</i> (carassin argenté)	1991	inconnue	inconnue	
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Carpe argentée)	1991	4. 446. 400	1.198.400	Kara, 1995
<i>Aristichthys nobilis</i> (Carpe grande bouche)	1991	2. 291. 300	504.000	Kara, 1995

### Production halieutique

Le lac Oubéira a fait l'objet d'une exploitation halieutique commerciale de 20% soit 1.000 T/an seraient assurés par une exploitation optimale avec lacs Mellah et Tamellahet. En 1974, une étude de mise en valeur du lac Oubéira, mise en œuvre par la Caisse Centrale de Coopération Economique pour le compte du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, a conduit à un projet d'installation d'une unité de fumage d'anguilles. Ce projet a été abandonné à l'issue de la phase pilote, après des résultats



techniques satisfais, l'économie de l'opération paraissant douteuse (Lacroix, 1995). Ce plan d'eau a été également exploité dans le domaine de pisciculture en tant que réservoir des géniteurs de Cyprinidés (Meddour, 2001). La pêche des poissons commença de juillet 1985 et se poursuivit jusqu'à juin 1990. La pêche artisanale se faisait au filet trémail et ne concernait que la capture des Barbeaux (*Barbus callensis*), Mugilidés (*Mugil cephalus*, *Liza ramada*) et rarement en période hivernale de Clupeidés (*Alosa fallax fallax*). En revanche, l'anguille (*Anguilla anguilla*) est capturée au moyen de nasses. La surexploitation des stocks des principales espèces (barbeaux et mugilidés) montre des niveaux de productions décroissants

Les croissances obtenues avec les carpes d'origine chinoise (*A. nobilis* surtout et dans une moindre mesure, *H. molitrix*) ont été spectaculaires. En moins de 6 mois, les poissons avaient dépassé 2 kg, ce qui correspondait à une croissance de plus de 2 ans dans leur pays d'adoption (ces carpes étaient d'origine chinoise mais élevées et reproduites en Hongrie). Après moins d'un an, certains spécimens dépassaient les 20 kg. La pêche intensive enregistra des niveaux exceptionnels de production avec 242 à 374 Kg de carpes (Direction de la pêche, 2003 ; Chalabi). En fait, ces poissons ont occupé des niches écologiques inexploitées (l'une est phytoplanctonophage et l'autre zooplanctonophage), mais le rendement global reste classique, puisque le lac Oubéira fournissait environ 300 tonnes/an, ce qui correspond à un rendement de l'ordre de 150 kg/ha (Chalabi). *C. carpio* est considérée comme espèce compétitive vis-à-vis *Luciobarbus callensis* (régime alimentaire et occupation de la même niche écologique particulièrement). La production annuelle de *L. callensis* a chuté sensiblement à 447 kg en 1997 et 681.5 en 1998. Il faut mentionner qu'entre 1980 et 1985, cette production variait entre 14 770 et 79 500 Kg/an (Meddour, 1988).

#### Valeurs culturelles

Le lac Oubéira est d'un intérêt culturel de par la présence d'un site archéologique (Mégalithique) au Sud-est du lac, pour l'éducation et la recherche scientifique (aspect paysager ouvert et présence de deux postes d'observation ornithologique).

#### Localisation et cadre géographique

Le bassin versant (BV) du lac Oubéira est à géométrie variable, d'une superficie de 12500 ha, fait partie de la zone lacustre d'El-Kala. Sa limite Nord qui s'étend d'Est en Ouest de l'altitude 170 m à 182 m. La bordure Ouest du bassin versant progresse vers le Sud en longeant les sommets du Djebel Oubéira (100 m) jusqu'au voisinage de Fedj Zana (91 m) avant d'être relayés dans la partie Sud par les Djebels Ach Lahmar (138 m) et Hellilif (189 m) qui constituent les flancs Ouest de l'Oued Messida. À l'Est, le bassin versant, est formé d'une bordure plane qui s'étale au pied du Djebel Bou Merchène (184 m)



au Nord-est. Le bassin du lac oubéira est situé au centre d'un bassin versant de 978 ha. Long de 48.75 Km, il suit la ligne de partage des eaux de crête qui passe au Nord par le Kef Trébiche à 256 m et qui marque la limite avec le bassin versant du lac Mellah (fig.2).

Délimité par un bassin versant de 9 900 hectares Environ 22% de la superficie totale du bassin versant est occupée par lac Oubéira. Ce plan d'eau douce est situé entre la ville d'El Kala (3 km à l'ouest), dans l'extrême nord-est du pays et la frontière algéro-tunisienne à une altitude de 23 m, et à 70 Km à l'Ouest d'Annaba (d'environ 110 km du complexe sidérurgique d'El Hadjar, d'Annaba) à 4 kilomètres à vol d'oiseau de la mer.

Ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont 36° 50' 695 Nord – 8° 23' 272 Est. Il est distant de 2,3 km du lac Mellah qui se trouve au Nord-ouest. Lac Oubéira présente une surface de plan d'eau totale de 2330 et 2200 ha mais la surface inchangée durant les 4 saisons est de 1956 ha, or une diminution de 16%, qui est dû à l'influence climatique.

### Hydrodynamisme

A la différence du lac Mellah qui est une lagune marine, le lac Oubéira est un plan d'eau douce complètement endoréique ; il est séparé du lac Mellah par un dénivelé de 44 mètres. Il interdit toute communication hydrographique directe avec la mer. Selon Jouleau et Miri (1996), le lac Oubéira est alimenté par l'oued Messida qui a creusé un petit estuaire au sud-est, sec en été mais en hiver, il reçoit une importante masse d'eau venant des marécages de l'ouest de Ain El Assel (Nord d'El Tarf), il reçoit également les eaux de Garâat El Ouez qui s'écoule régulièrement, en partie vers l'oued El Kebir par Châabat Demet Ellil, et l'autre partie s'écoule par l'oued El Arrough vers le lac Mellah. En été le système hydrologique fonctionne en sens inverse donnant à cet oued la particularité de s'écouler dans les deux sens (Marre et Miri, 1996) se serait par cette voie que les poissons migrateurs du lac effectueraient leur déplacement périodique.

C'est un système endoréique (sans écoulement vers la mer) dont l'alimentation en eau est assurée par quatre principaux affluents qui sont à écoulement perpétuel ainsi que par les ruissellements des eaux à écoulement temporaire venant des reliefs du Sud-ouest pour se jeter dans le lac à savoir : l'Oued Demnet Rihana au Nord, l'Oued Boumerchen au Nord-Est, l'Oued Dey L'Graa à l'Est et l'Oued Messida au Sud (Messerer, 1999). De ce fait, le régime hydrologique du lac Oubéira est fortement influencé par les variations climatiques. En hiver, à l'occasion des fortes précipitations, les eaux de l'Oued El-Kebir parviennent au lac principalement par l'Oued Messida. En été, quand le niveau de l'Oued El-Kebir est au plus bas, le système hydrologique fonctionne en sens inverse. Or l'Oued



Messida est comme émissaire et exutoire naturel du lac Oubéira, ayant cette singularité de couler dans les deux sens selon la période de crue ou l'étiage. À cet effet, une petite vanne a été construite sur l'oued Messida près du lac afin de régulariser cet écoulement (Affoun, 2006). La dimension du bassin versant et l'apport non négligeable des nappes en saison sèche, permettent de compenser les pertes importantes et de pérenniser le lac (Alayat *et al.*, 2009). Les débits sont importants en saison humide mais ils baissent et se réduisent à l'étiage sans pour autant que les oueds s'assèchent totalement.

### ✚ L'ichtyofaune

Notre écosystème aquatique continental présente une richesse piscicole non négligeable caractérisée par la dominance des espèces de la famille des Cyprinidae essentiellement une espèce indigène *Luciobarbus callensis* Valenciennes, 1842 ainsi que des espèces exotiques. Nous y retrouvons également des espèces marines (Tableau). Toutefois, Meddour *et al.* (1999) signalaient l'introduction accidentelle de *Lepomis gibbosus* (Centrarchidae) et *Lampetra fluviatilis* au lac Oubéira.

**Tableau 2.** Liste des espèces de l'ichtyofaune peuplant le lac Oubéira (d'après Meddour, 2009 ; modifié).

Statut	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Commercialisation
Dulcicole Autochtone	Cyprinidae	<i>Luciobarbus callensis</i>	Barbeau Algérien	+
	Pœcilidae	<i>Pseudophoxinus callensis</i>		
		<i>P. guichenoti</i>		
		<i>P. punicus</i>		
		<i>Gambusia affinis affinis</i>	Gambusia	
Clupeidae	<i>Alosa fallax fallax</i>	Alose		
Dulcicole Allochtone	Cyprinidae	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpe herbivore	+
		<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Carpe argentée	+
		<i>Aristichthys nobilis</i>	carpe grande bouche	+
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	+
		<i>Carassius gibelio</i>	Carassin	
	Percidae	<i>Stizstедion lucioperca</i>	Sandre	
	Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>		
Marine	Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	Mulets	+
		<i>Liza ramada</i>	Mulets	+
	Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	+



### Mesures de protection et cadre juridique

Le lac Oubéira est classé en réserve intégrale du Parc National d'El-Kala (PNEK) ; loi de l'environnement N° 83/462 du 05 février 1983, Décret N° 83/462 du 23 juillet 1983 portant Statut type des Parcs Nationaux. Décret n°82-439 du 11 décembre 1982 portant adhésion de l'Algérie à la convention internationale relative aux zones humides. Il a été reconnu par l'Unesco (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) comme site Ramsar le 4 novembre 1983, et constitue une importante aire de nidification d'Afrique du Nord. Le lac Oubéira est un bon exemple d'une zone humide représentative, rare et unique de type de zone humide naturelle de la région méditerranéenne se situant dans un complexe de zones humides qui viendrait en troisième position après ceux du Delta de l'Ebre, en Espagne et la Camargue en France (Direction des forêts, 2003).

*Rappelant que la convention Ramsar préconise dans ce sens l'élaboration des plans de gestion et de protection pour le lac et de l'utilisation rationnelle de ses ressources hydriques, faunistiques et floristiques.*

### **3.5 Le barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842)**

Avant d'aborder la présentation des travaux et de leurs résultats, il est indispensable de présenter l'espèce étudiée et l'état des connaissances le concernant qui sont utiles à notre étude (position systématique, anatomie, physiologie, distribution actuelle)

➤ L'intérêt du barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) pour cette étude, résulte de différents avantages :

- Vu sa grande répartition, sa biomasse importante, facile à identifier et à pêcher, le barbeau présente un grand intérêt local ;
- Il est capable de se développer dans les environnements pollués et salé, grâce à sa robustesse et sa rusticité ;
- C'est une espèce sédentaire, parfois effectue des migrations ce qui lui permet de refléter la contamination présente dans un endroit précis ;
- Son utilisation en aquaculture comme poisson fourrage ;
- Son statut préoccupant

### Présentation de la famille des Cyprinidae et du genre *Luciobarbus*

Que savons-nous des *barbeaux* ?



L'ichtyofaune Algérienne est marquée par une dominance en Cyprinidae, plus particulièrement du groupe des barbeaux. Les Cyprinidae sont des poissons osseux dulcicoles caractérisés par un important polymorphisme. Cette famille à large répartition géographique (Europe, Asie, Amérique du Nord et Afrique) compte environ 370 genres et 3000 espèces (Bruslé et Quingnard ,2001).

Les Cyprinidés affectionnent généralement des eaux tièdes, courantes ou stagnantes, peu minéralisées (maximum de 7à 10 mg/l), mésotrophe et eutrophes.

Le barbeau *Luciobarbus callensis* (fig.8), le cyprinidé le plus commun des plans d'eau du Nord-Est algérien. Il possède une taille moyenne de 25 à 30 cm, mais pouvant aller jusqu'à 45cm, et un poids moyen de 250 à 400 g, pouvant aller jusqu'à 1 kg.

### Taxonomie

Le barbeau *L. callensis* (valenciennes, 1842), est un poisson benthique dont l'importance socioéconomique pour les populations côtières n'est pas démontrée. Son nom provient de l'origine du premier spécimen décrit, à savoir la Calle en Algérie.

Phylum : Cordes

Super classe : Gnathostome

Classe : Osteichtyens

Sous-classe : Actinoptérygien

Infra-classe : Téléostéens

Ordre : Cypriniformes

Sous-ordre : Cyprinoidés

Famille : Cyprinidés

Genre : *Barbus*

Sous genre : *Luciobarbus*

Espèce : *Luciobarbus callensis* (valenciennes ,1842)

### Diagnose

Le corps est modérément allongé, plus ou moins comprimé, la ligne latérale est située le long du milieu du corps et le long de la ligne médiane du pédoncule caudal. La bouche ventrale est plutôt petite et



arquée, les lèvres sans enveloppes cailleuses, les barbillons sont courts et au nombre de 4, les dents pharyngiennes sont au nombre de 9 ou 10 de chaque côté, et disposés sur 3 rangées. La nageoire dorsale est courte, son dernier rayon est simple tantôt dentelé, tantôt non dentelé et ne présente pas plus de neuf rayons mous, le premier rayon est opposé à la base des nageoires ventrales. La nageoire anale fourchue est courte et le plus souvent haute (Berrebi, 1981; Daoud, 1986).

*Luciobarbus callensis* et ses caractéristiques (Fig. 8)

Le nombre d'écaillés de la ligne latérale varie de 41 à 47. Le premier rayon des pelviens est au niveau ou en arrière du rayon de la dorsale. Le dernier rayon épineux de la dorsale est ossifié sur 2/5 à 3/4 de sa hauteur. La denticulation de ce rayon varie de 1,3 à 2,5 dents/mm. Le profil supérieur de la dorsale est rectiligne ou légèrement concave (Almaça, 1970).



**Figure 8** : *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842) A: vue latérale B: vue dorsale C: vue ventrale de la tête



## 📍 Répartition géographique du barbeau

Il existe de nombreuses espèces, sous espèces et variétés endémique dans l'Afrique originaire d'Asie dont le barbeau, espèce tétraploïde, qui se serait dispersé vers l'Afrique selon trois voies de dispersion : branche éthiopienne (genre *Labeobarbus*), branche sibérienne (genre *Barbus*) et branche méditerranéenne (genre *Luciobarbus*). C'est une espèce caractéristique de l'Afrique du Nord où elle est très bien représentée aussi bien en Algérie, qu'au Maroc et en Tunisie. Cette espèce colonise aussi bien les retenues de barrages que les cours d'eaux Algériens.

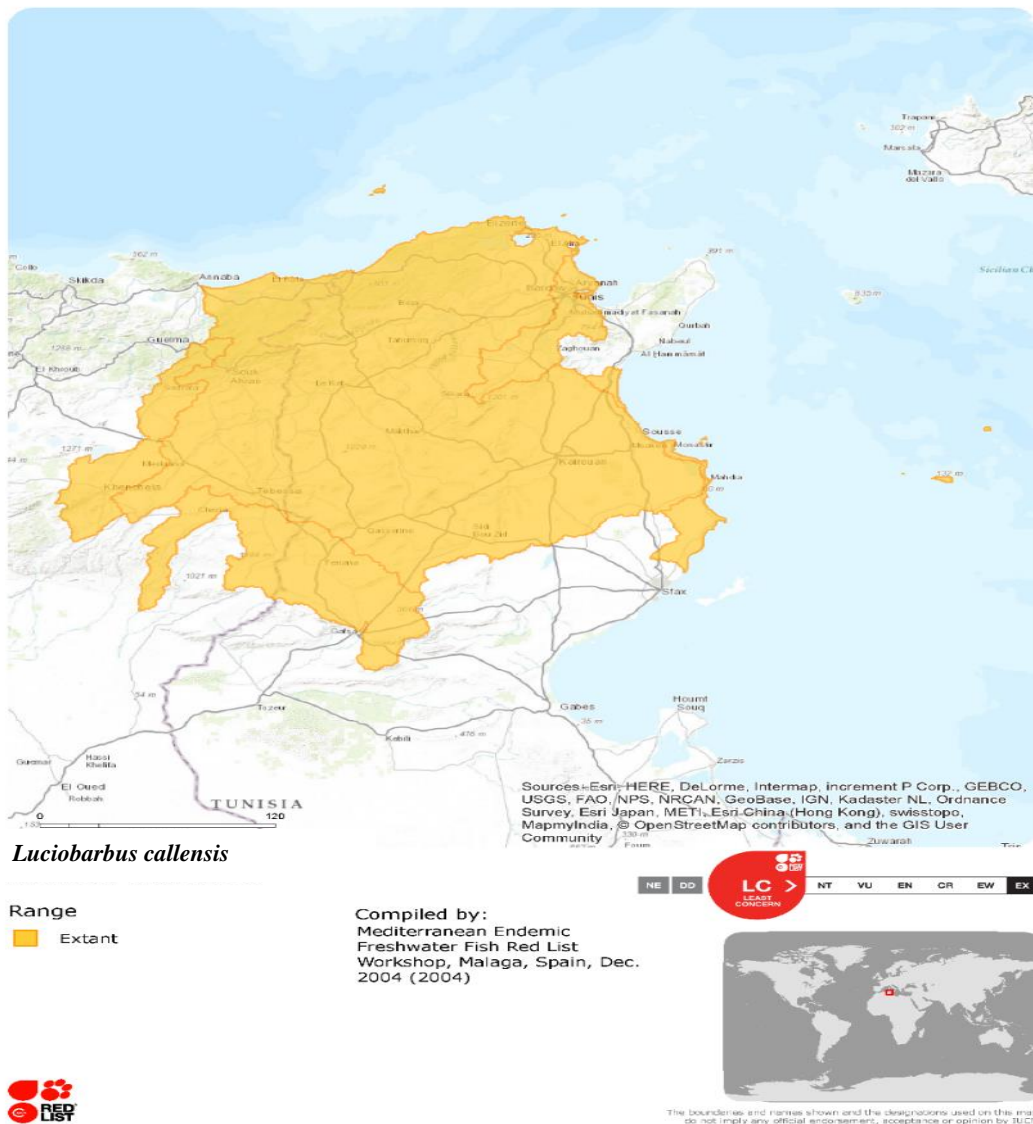
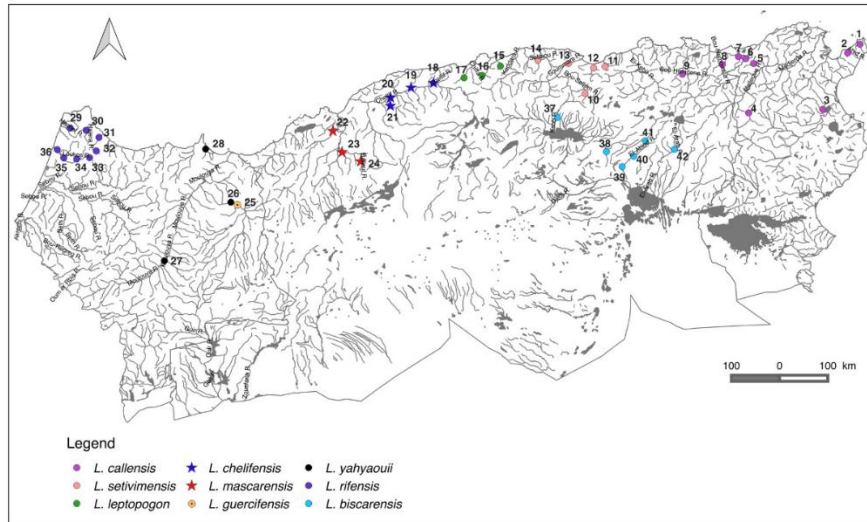
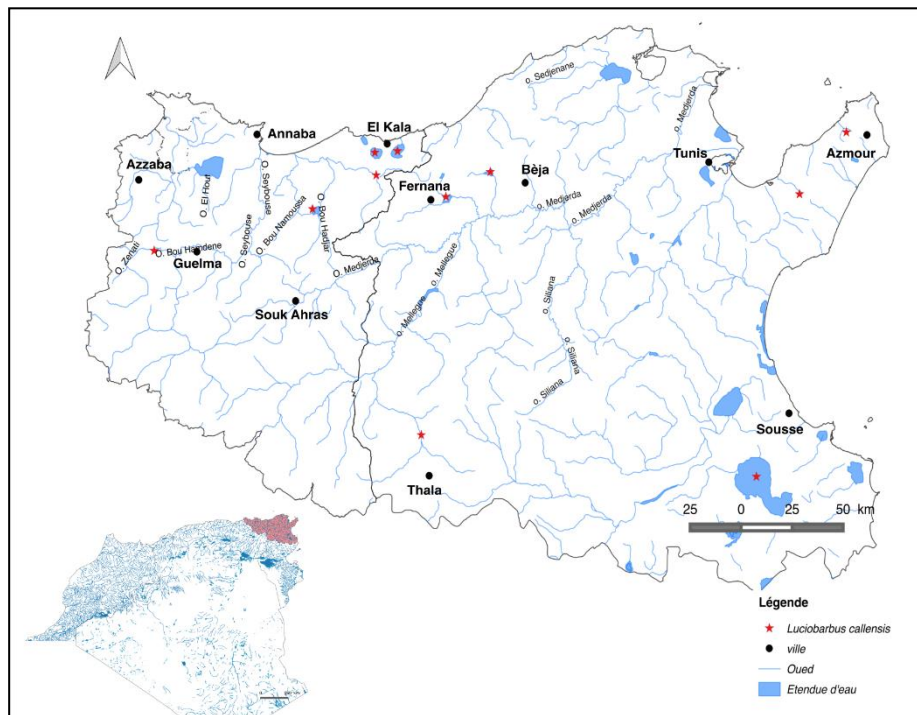


Figure 9. Distribution géographique du barbeau *Luciobarbus callensis*.



**Figure 10.** Répartition d'espèces de *Luciobarbus* en Algérie. (Les chiffres correspondent aux spécimens analysés par Brahim *et al.* 2017).



**Figure 11.** Répartition géographique de *Luciobarbus callensis*.

## Ecologie

Le barbeau est un poisson ubiquiste, qui fréquente préférentiellement les eaux stagnantes, comme les lacs, les étangs, et les eaux présentant un faible courant et riches en végétation. C'est une espèce qui possède une forte rusticité, puisqu'elle est capable de se développer dans les milieux pollués et très



eutrophisés, ce qui en fait donc un bon bio-indicateur (Bruslé et Quignard, 2001). Cette espèce possède des températures préférentielles élevées, de 20 à 27 °C (Bruslé et Quignard, 2001 ; Van Dijk et al., 2002), bien que dans le milieu naturel, il soit assez rare d'obtenir de telles températures. Ils vivent en groupe, à proximité de la végétation aquatique, et ont une activité essentiellement diurne. Ils sont omnivores, ils peuvent se nourrir aussi bien d'invertébrés, que de plantes aquatiques, ou de détritus.

### Régime alimentaire

Le barbeau est une espèce reconnue comme étant généraliste et opportuniste (Power 1980), se nourrissant d'une grande variété d'organismes (Scott et Crossman 1974). De nombreuses études ont toutefois démontrées qu'il pouvait y avoir spécialisation alimentaire à l'intérieur d'une population.

Bryan et Larkin (1977) ont observé, à partir de l'analyse de contenus stomacaux d'ombles de fontaine vivant en ruisseau et en étang, que le type de proies sélectionnées par les individus était caractéristique à chaque individu. Par la suite, McLaughlin et al. (1999) rapportaient qu'une telle spécialisation pouvait aussi avoir lieu chez des jeunes de l'année vivant en ruisseau. Certains étaient sédentaires et s'alimentaient de crustacés vivant au fond de l'eau tandis que d'autres étaient plus actifs et se nourrissaient principalement d'insectes aquatiques. Une spécialisation dans l'utilisation de la ressource semble aussi être présente chez l'omble de fontaine habitant certains lacs du bouclier canadien

### Reproduction

Les échelles de maturation permettent de caractériser rapidement les différents états présentés par les ovaires et les testicules au cours de leur évolution. Elles tiennent compte en particulier de l'aspect macroscopique des gonades (forme, couleur, vascularisation, transparence, aspect ferme ou flasque, volume, et visibilité des ovocytes à travers la membrane ovarienne), et du rapport gonadosomatique. Des échelles ont ainsi été établies pour le barbeau marocain (Bouhbouh, 2002), tunisien (Kraiem, 1997) et algérien (Brahimi et al, 2017).

Un cycle sexuel est le temps nécessaire à la transformation d'une gonie en gamète. Cette transformation se retentit sur la morphologie et le poids des gonades. Le terme "stades de maturité" est employé pour signifier le degré de maturité des ovaires et des testicules d'un poisson et non que le poisson est sexuellement mûr ou non.

L'estimation courante des stades de maturité est effectuée normalement en assignant aux individus des stades selon des caractères qui peuvent être différenciés à l'œil nu. Une distinction plus poussée entre les stades peut être effectuée par l'examen histologique, mais ce n'est pas un moyen pratique dans l'échantillonnage normal parce qu'il prend trop de temps. Le but doit être d'examiner un grand nombre



de poissons à de fréquents intervalles pour obtenir une image représentative du stade de maturité de la population et des changements qui y surviennent avec le temps.

Pour avoir une idée sur l'état de maturité de notre poisson, nous avons effectué un examen macroscopique complet des gonades : forme et volume des ovaires et des testicules par rapport à la cavité viscérale et aspect de leur coloration et de leur vascularisation (Kartas et Quigrard, 1984), leur consistance, la transparence de la paroi ovarienne et la visibilité des ovocytes et enfin le volume occupé par les gonades dans la cavité abdominale. Les échelles de maturation adoptées s'inspirent de celle utilisée pour *Luciobarbus callensis* d'Oued El-Harrach par Tazerouti (1993).

**Partie I : Démographie et physiologie de la  
reproduction de *L. callensis* de l'Oubeira**



## 1- Introduction

D'après la littérature le nombre de publications reflétant l'intérêt croissant des cyprinidés notamment le barbeau, a considérablement augmenté. Effectivement, d'importantes recherches ont été consacrées au barbeau européen qu'il s'agisse des aspects bioécologiques, parasitaire, pollution, comportement de reproduction, de la dynamique des populations ou la systématique. Cependant, peu de travaux se sont intéressés à la population du barbeau nord-africain. Les études menées sur les barbeaux du Maghreb ont surtout abordé l'âge, la croissance, l'alimentation, la reproduction, la biométrie et la systématique. Ils ont été conduits sur les différents secteurs de distribution de ce poisson, aussi bien en milieu artificiel (Kraeim, 1994 ; Bouhbouh, 2002 ; M'hadhbi et Boumaïza, 2008 ; Mimeche, 2008; Mimeche *et al.*, 2013 ; Hadou-Sanoun, 2013 ; Tolba, 2018) qu'en milieu naturel (Kraiem, 1994; Morsi *et al.*, 2015 ; Brahmia, 2016). Certes, ces données ont permis d'acquérir un certain nombre de connaissances fondamentales, mais elles sont encore limitées, car le manque de méthodes d'évaluation standardisées fait que l'objectif de gestion et de conservation de l'espèce, n'est toujours pas atteint. Généralement, l'étude d'une espèce ou d'une population implique l'examen préalable d'un certain nombre d'individus dont les caractéristiques vont être supposées représentatives de la population ou de l'espèce (Kraeim, 1994). La croissance en écophysiologie signifie « priorité », selon les exigences physiologiques à des moments donnés du cycle de vie tels que la croissance-reproduction ou croissance-défense. Elle est appréhendée en fonction du temps et sous la forme des relations entre le poids et la taille ou en termes d'énergétique elle tient compte des apports d'origine alimentaire et leur conversion en matériaux incorporés aux tissus. Or, la finalité de la croissance est l'atteinte d'une taille favorisant la capture des proies, l'évitement des prédateurs et l'arrivée à la maturité sexuelle qui, souvent, dépend plus de la taille que de l'âge.

Avant d'envisager en détail les facteurs physiologiques de *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) à l'état sauvage, il nous a apparu utile de revoir certaines notions de base les plus étudiées chez le barbeau, la structure démographique et la condition physique.

La distribution et le comportement des barbeaux peuvent être contrôlés par l'effet combiné des variations physiologiques et les conditions hydroclimatiques (Ben Hassine et Chaouachi, 1998). Néanmoins, les connaissances actuelles sur les facteurs physiologiques du barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) dans son aire de répartition géographique naturelle sont éparses. Effectivement, d'après la littérature cette espèce endémique, utilisée comme poisson fourrage (Cherghou *et al.*, 2002), est relativement inconnue et les études consacrées à son égard, traitent beaucoup plus de la systématique, la biologie de la reproduction, l'écologie et le parasitisme



(Meddour, 19 ; Tazerouti, 1993 ; Aberkane, 2010 ; Djoudad-Kdji et *al.*, 2012 et 2013; Morsi, 2016; Brahmia, 2016).

La reproduction chez les téléostéens est un phénomène cyclique contrôlé à la fois par un rythme physiologique et par des variations saisonnières des paramètres environnementaux (Billard et Breton, 1981 ; Baras et Cherry, 1990 ; Paugy et Levéque, 1999). Les facteurs physiologiques liés à la reproduction des espèces présentent un intérêt fondamental du fait que la connaissance d'un cycle de reproduction d'une espèce donnée peut conduire à des applications multiples, aussi bien dans le domaine scientifique, notamment la reproduction des poissons endémiques menacés ou pour son exploitation à des fins économiques (Djoudad-Kdji et *al.*, 2012). En Afrique, chez certaines espèces de poissons, tel que le Tilapia (Cichlidae), le Mulet (Mugilidae) et l'Anguille européenne (Anguillidae), la physiologie de la reproduction a suscité d'assez nombreuses études motivées sans doute par l'intérêt économique que représentent ces familles (Legendre et Jalabert, 1988). En revanche, chez les Cyprinidae ces connaissances sont relativement restreintes, essentiellement chez le barbeau ; Ce dernier est utilisé selon Roy *et al.*, (2021) comme modèle pour les principaux drainages européens pour comprendre la nutrition et le métabolisme des poissons rhéophiles menacés et pauvres en données dans le contexte du succès de l'empoisonnement fluvial.

Visant à caractériser les facteurs physiologiques de la population du barbeau *L. callensis* à l'état sauvage, ces considérations nous amènent à discuter l'intérêt de réaliser un suivi annuel de ce poisson endémique menacé dans son milieu naturel. Cette étude s'appuie sur des indices bruts (directs et indirects) utilisés pour évaluer l'état physiologique de l'espèce. Ces facteurs nous permettent en premier lieu de suivre le cycle sexuel du barbeau en se basant sur la morphologie des gonades ainsi que leurs poids somatiques afin de déterminer la période de ponte et sa durée. La connaissance de la stratégie de ponte, le sexe ratio, le poids, la taille et/ou l'âge à la première maturité sexuelle ainsi que la croissance sont des facteurs limitant pour la compréhension de la dynamique des populations qui sont nécessaires à l'étude du stock de géniteurs, afin d'illustrer la variabilité physiologique des individus et d'entreprendre des mesures de conservation de l'espèce. Ces facteurs sont essentiels, pour permettre, notamment, d'évaluer par la suite l'état de santé des barbeaux.

Cette première partie de la thèse traitera de la démographie et de la physiologie de la reproduction du barbeau *Luciobarbus callensis* peuplant le lac Oubeira.



## 2-Méthodes d'étude

### 2-1 Engin de pêche

Le barbeau occupe préférentiellement la zone littorale, jusqu'à une profondeur de 1,5m. Le choix des points de prélèvement est un choix raisonné en fonction de l'accessibilité du site et l'abondance de l'espèce. Différentes techniques sont adaptées à l'échantillonnage des cyprinidés en zone littorale tel que la pêche électrique, la senne et le verveux ; Dans notre cas la technique retenue est l'usage des verveux. Le verveux est un outil passif adapté à la pêche en lacs (fig.1). Il est composé d'une nasse conique (vide de maille de 2 mm) ouverte à sa base et d'une aile (vide de maille de 2 mm). La nasse est composée d'un filet extérieur soutenu par des cerceaux de diamètre décroissant (depuis l'ouverture jusqu'à la chambre terminale) et d'anchons (filets tronconiques intérieurs fixés aux cerceaux et ouverts aux deux extrémités). La base des anchons est orientée vers l'ouverture de la nasse et leur sommet trois fois plus étroit invite le poisson à s'engager plus profondément dans l'engin ce qui a pour résultat de piéger le poisson dans la poche à l'extrémité. L'aile est formée par un filet vertical d'un mètre de hauteur muni de flotteurs en surface et lesté au fond. Une extrémité de cette aile est fixée à l'ouverture de la nasse, et l'autre est fixée à la berge. Le verveux est tendu perpendiculairement à la rive et posé au fond ; le poisson longeant la rive est amené par le biais de l'aile jusqu'à l'ouverture de la nasse où il s'engage et se piège.

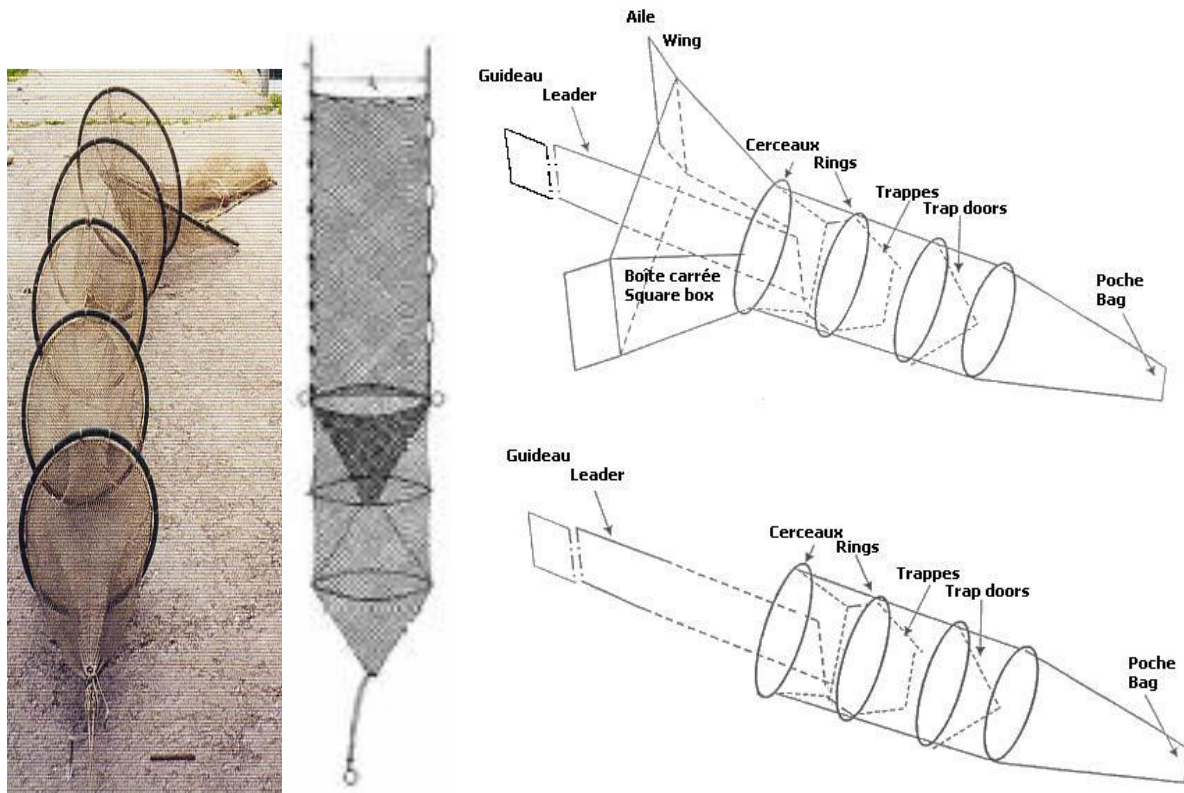


Figure 1: Présentation du verveux et système de piégeage.

### 2-2 Examen macroscopique des individus



Les données proviennent de campagnes d'échantillonnages réalisées dans le lac Oubeira (Wilaya d'El Tarf) entre décembre 2012 et novembre 2013. Initialement 500 individus ont été échantillonnés. La détérioration d'un nombre important de spécimens nous a poussé à ne retenir, pour l'étude morpho-biologique, que les mensurations de 372 barbeaux. Un examen anatomo-pathologique a été réalisé par une observation soit à l'œil nu ou par l'utilisation d'une loupe binoculaire avant tout prélèvement de tissu sur le poisson. Au laboratoire, la première étape consistait à examiner minutieusement à l'œil nu l'aspect général, l'ensemble de la robe, la surface du corps, les écailles, les nageoires, les yeux et la cavité buccale ainsi que les fentes branchiales de chaque individu à la recherche d'éventuelles anomalies, lésions ou ectoparasites.

### 2-3 Mesure de la taille et du poids des individus

L'étude morphométrique a porté sur 168 individus de sexe mâle, 106 individus de sexe femelle et 98 individus de sexe indéterminé.

#### ✚ Mesure de la taille

Les différentes mensurations effectuées ont été réalisées à l'aide d'un ichtyomètre ( $\pm 1$  cm). Le terme longueur regroupe différentes mesures. Certaines études utilisent la longueur à la fourche ou la longueur standard et d'autres la longueur totale pour la caractérisation biométrique de la population.

Le barbeau a été posé sur le flanc, le museau contre la butée de l'ichtyomètre. Les trois longueurs (fig.13) retenues dans notre étude ont été utilisées pour la caractérisation de la population :

- La longueur totale (Lt) qui est mesurée de l'extrémité du museau à celle de l'extrémité la plus lointaine de la nageoire caudale.
- La longueur à la fourche (Lf) qui est mesurée de l'extrémité du museau à la fourche caudale.
- La longueur standard (Ls) qui est mesurée de l'extrémité du museau à celle de l'extrémité du pli articulaire de la nageoire caudale.

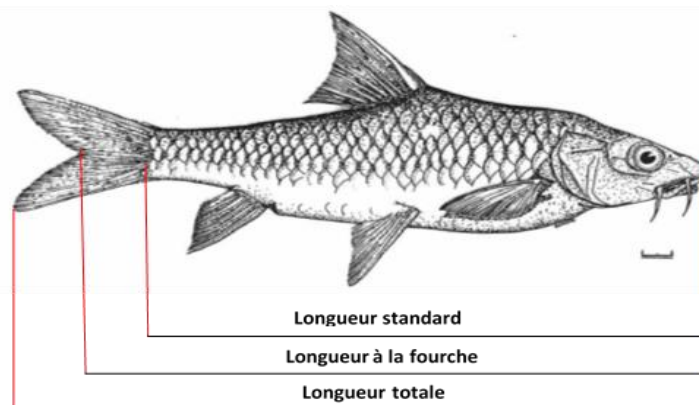


Figure 2. Schéma des différentes mensurations réalisées sur le barbeau

#### ✚ Mesure du poids



Le poisson est pesé à l'aide d'une balance électronique de 1g de (poids total : Wt) et poids éviscéré (W<sub>ev</sub>).

➤ Dissection et éviscération du poisson

- La dissection du poisson est réalisée par l'ouverture de la cavité abdominale depuis l'orifice ano-urogénital jusqu'à la ceinture scapulaire;
- Après éviscération du poisson, les viscères sont d'abord examinés (macroscopiquement) ensuite les différents organes foie, gonades, tube digestif et rate de chaque poisson ont été prélevés de manière aseptique et pesés au gramme près ( $\pm 0,1$  g). Le poisson éviscéré est pesé (W<sub>ev</sub>).
- Le barbeau étant gonochorique, le sexe a été déterminé par l'examen des gonades à l'œil nu et à l'aide d'une loupe binoculaire.

#### 2-4 Fréquences de taille et de poids

La démarche utilisée pour la détermination de l'âge repose également sur l'analyse des fréquences de classes de longueur (méthode indirecte) ainsi que le sexage pour l'évaluation de la taille du stock.

La longueur et le sexe de chaque poisson ont été utilisés en premier lieu pour la détermination de la structure de taille (structure démographique) de la population provenant des prélèvements mensuels. Cette méthode d'analyse des tailles est la plus employée car elle est facile à mettre en œuvre (Mouffok, 2006) et elle peut servir comme indice de succès de reproduction (guide).

Fulton (1901, 1904) qui a inventé l'analyse des fréquences de longueur avec Petersen (Site web 1). Le choix de l'intervalle de classe joue un rôle prépondérant pour l'analyse des différentes classes d'âges et leurs suivis dans le temps. Il faut chercher un intervalle de classe, qui permet d'obtenir les distributions des fréquences de tailles, conduisant à une continuité entre les classes (Hemida, 1987). L'intervalle des fréquences de classes choisis dans le cadre de cette étude est de 5 cm obtenue à partir de la règle de Sturges :

$$K = 1.3.3 \log_{10}n \text{ avec } K, \text{ le nombre de classe.}$$

#### 2-5 Condition physique et croissance

La croissance est l'un des processus les plus complexes de l'organisme. Sur le plan métabolique, une partie de l'énergie consommée va être utilisée pour accroître la masse pondérale, mais cette part d'énergie mobilisée pour fabriquer de la matière vivante dépend de l'âge des individus, de leur état physiologique, des conditions de leur environnement. La croissance n'est pas cependant un processus continu. Il y a parfois de longues périodes de l'année durant lesquelles la croissance cesse (ou est fortement réduite).

Croissance en longueur et croissance en poids ne sont pas toujours corrélées. La croissance en poids inclut en effet la constitution de réserves lipidiques, par exemple, ou la croissance des gonades, phénomènes qui ne se traduisent pas nécessairement par une augmentation de taille. Une caractéristique importante des poissons est que la croissance ne cesse jamais au cours de l'existence, mais ralentit seulement avec l'âge ou la taille, à l'inverse de la croissance des mammifères et des oiseaux.



L'étude de la croissance, les relations fonctionnelles entre le poids total et la longueur sont indispensables pour l'évaluation du stock. Le terme de croissance recouvre un certain nombre de concepts différents, depuis l'analyse des processus cellulaires jusqu'à l'étude de la croissance des populations. Pour beaucoup d'ichtyologistes, les études de croissance sont utilisées afin d'analyser la structure et la dynamique des populations, d'évaluer la mortalité naturelle et d'estimer la production. L'objectif, dans ce cas, est de décrire une croissance moyenne pour l'ensemble des individus d'une population. La croissance est un facteur déterminant de la productivité. L'étude de la croissance pondérale et linéaire relative permet de détecter les changements susceptibles de survenir au cours du cycle vital et de déceler l'existence d'un dimorphisme sexuel.

### Croissance pondérale relative

L'étude de la croissance consiste à établir une relation entre une variable mesurable (taille ou poids) caractérisant un individu et l'âge de cet individu (Arab, 1989). Des relations fonctionnelles entre le poids total et la longueur totale ont été déterminées afin de comparer les différents échantillons entre eux. Des régressions linéaires du poids total en fonction de la longueur ont donc été estimées à partir des données transformées en logarithme de base 10. Pour représenter les relations d'allométrie relatives aux longueurs, nous avons utilisé une équation de régression puissance en adoptant la méthode de l'axe majeur réduit, suggérée par Teissier (1948) et Le Cren (1951): La masse d'un poisson est liée à sa longueur suivant la relation :

$$W = a L^b$$

Où :

W : poids totale en gramme

L : longueur totale en centimètre

a et b : constantes

Ces variables peuvent être déterminées par ajustement de la fonction au nuage des points observés après transformation logarithmique de la fonction. La transformation logarithmique de l'équation puissance  $W = a L^b$  donne une expression linéaire de la forme  $\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{ Log } L$ . Cette transformation réduit la variabilité et homogénéise les deux variables (poids total et longueur totale).

La constante (a) représente la condition ou l'embonpoint du poisson; c'est un coefficient de proportionnalité (le poids d'un individu de longueur égale à l'unité) et varie selon le lieu, le moment de la capture et l'état de santé du poisson (facteur écologique).

La constante ou la pente (b) est le coefficient d'allométrie ou coefficient de croissance relative exprimant la façon dont le poids varie en fonction de la longueur. Ce coefficient prend des valeurs comprises entre 2 et 4, souvent voisin de 3 dans le cas des populations ichthyiques (Hile, 1936 ; Martin, 1949 ; Froese, 2006) ; il varie en fonction des facteurs génétique et physiologique (espèce, sexe et âge).



Un autre avantage des deux constantes (a et b) qui peuvent être également comparés entre deux ou plusieurs populations vivant dans des conditions écologiques similaires ou différentes. Ces constantes ont été calculées pour l'ensemble de la population et pour chaque sexe grâce au logiciel Statistica version 8, par itération à l'aide de la fonction « estimation non linéaire ». D'après Teissier (1948), une fois que la relation a été établie, trois cas de figures se présentent :

- Si  $b = 3$ , le poids évolue proportionnellement avec le cube de la longueur, il s'agit d'une isodensité ou isométrie ;
- Si  $b \neq 3$ , la croissance est allométrique :
  - Si  $b < 3$ , le poids croît plus lentement que le cube de longueur et l'allométrie est minorante ;
  - Si  $b > 3$ , le poids croît plus vite que le cube de longueur et l'allométrie est majorante.

La théorie des droites de régression suppose que l'une des deux variables dépend de l'autre par une relation de cause à effet, sans réciprocity. Or, les deux caractères, tailles et poids ne dépendent pas en réalité l'un de l'autre mais sont tous deux régis par les lois de croissance.

Dans cette étude, les relations longueur-masse des barbeaux ont été établies et statistiquement comparées pour chaque sexe.

#### **Croissance linéaire relative**

La longueur totale ( $L_t$ ) est la mesure la moins susceptible de varier. Dans le cadre de cette étude, nous avons établi une relation entre  $L_t$  avec  $L_f$  (Longueur à la fourche) et avec  $L_s$  (Longueur standard) afin de comparer nos résultats avec ceux des autres auteurs.

Les données obtenues permettent de tracer des droites de régression relatives à chaque caractère étudié, de préciser la nature de l'allométrie observée et sa variation en fonction du sexe en comparant la pente à l'unité par le test " t " de Student et de comparer les pentes et les positions de ces droites entre les sexes (au seuil des probabilités 5%). Dans le cadre de cette étude, le coefficient de corrélation linéaire sert d'indicateur de la linéarité de la régression linéaire (Excel). Des analyses de covariance ont permis de comparer les coefficients de régression. Le test utilisé pour comparer les mesures morpho métriques entre les échantillons correspondants aux deux sexes et sexes confondus, est l'analyse de la variance ANOVA. Le test utilisé pour la vérification de l'allométrie ( $b \neq 3$ ) et isométrie ( $b = 3$ ) des relations taille/poids, est le test t de Student après linéarisation de cette relation par transformation logarithmique. Afin de déterminer la nature de l'allométrie, la valeur du taux de croissance "b" est comparée avec la valeur théorique 3 au seuil d'erreur de 5%.

$$t = (b-3) / se (b)$$

se (b) est l'erreur standard de b (pente de la droite de régression).

L'hypothèse principale : il n'y a pas de différence significative de la pente b avec la valeur 3 ;



L'hypothèse alternative : il y a des différences significatives de la pente b avec la valeur 3

Si  $t_{obs} < t_{0.05}$ , l'hypothèse est acceptée ;

Si  $t_{obs} > t_{0.05}$ , l'hypothèse est rejetée.

Le sex-ratio comparé à 1 : 1 à l'aide d'un test du chi carré ( $\chi^2$ )

## 2-6 Détermination du Sexe ratio

L'analyse du sexe ratio des poissons (le nombre de mâles par rapport aux femelles, mâle dominant, l'insuffisance des géniteurs) nous permet de juger l'équilibre physiologique d'une population (Poncin, 1993 ; Amara, 2002). La proportion des sexes est une caractéristique de l'espèce dont les variations sont parfois en relation avec le milieu. Le calcul du taux de féminité et du taux de masculinité qui est respectivement le rapport du nombre de femelles (F) sur le nombre de mâles (M) et de femelles et le nombre de mâles sur le nombre de mâles et de femelles. Le sex-ratio a été défini également par le rapport du nombre des mâles à celui des femelles (Kartas et Quignard, 1984). Il s'exprime sous les formules suivantes :

$$\text{Taux de féminité} = (F / F+M) * 100$$

$$\text{Taux de masculinité} = (M / F+M) * 100$$

$$\text{Sex-ratio} = M/F$$

L'erreur ou l'intervalle de confiance estimée est calculée à partir de l'équation de Schwartz (1983) au risque de 5% ou l'intervalle de confiance à 95% :

$$e = 1.96 \sqrt{pq/n}$$

où :

e : l'erreur estimée

p : pourcentage de femelles

q : pourcentage de mâles

n : effectif total

Ce rapport permet d'étudier la distribution des sexes par rapport aux classes de tailles de 1 cm, et de suivre la distribution mensuelle et saisonnière des sexes durant une année. Un test d'hétérogénéité (Chi deux) est calculé avec un degré de liberté de  $p < 0.05$  afin de déterminer si la prédominance d'un sexe par rapport à l'autre est significative dans les classes de taille et pour chaque mois (Tsikliras *et al.*, 2013).

## 2-7 Maturité sexuelle et reproduction de *L. callensis* de l'Oubeira

Le suivi de la croissance et la reproduction sont parmi les outils d'analyse des facteurs physiologiques qui permettent d'évaluer la capacité des poissons d'utiliser la nourriture à leur disposition. L'effort de reproduction



est la fraction de l'énergie assimilée qu'un organisme alloue à ses activités de reproduction. On peut mesurer en partie cet investissement par la quantité de matériel ou d'énergie stockée dans les gonades. La croissance des ovaires durant le cycle de maturation des gonades traduit la croissance des ovocytes par accumulation de vitellus (Paugy et Lévêque 1999). Elle est évaluée en termes d'effort reproductif, au moyen de mesures du poids des gonades par rapport à la taille. La reproduction peut être la mesure la plus sensible chez les poissons résidants. Des changements dans l'allocation d'énergie à la reproduction peuvent apparaître en moins d'un an, car les tissus reproducteurs se renouvellent généralement chaque année. La fécondité et le poids des gonades doivent être mesurés à un moment approprié, soit lorsque les tissus reproducteurs sont bien développés. Des changements confirmés dans le poids des gonades pourraient nécessiter la réalisation de travaux additionnels pour en déterminer l'ampleur, notamment si l'on soupçonne que ces changements peuvent varier dans le temps (pour les reproducteurs à ponte multiples).

#### Détermination des stades de maturité sexuelle

Chez les poissons diverses méthodes permettent de décrire les changements cycliques qui se produisent dans les gonades, parmi eux, nous citons l'examen macroscopique et microscopique des gonades et l'évolution du rapport gonadosomatique (Boely, 1980; Khalaf, 1987). Une distinction plus poussée entre les stades peut être effectuée par l'examen histologique, mais ce n'est pas un moyen pratique dans l'échantillonnage normal parce qu'il prend trop de temps. Le but consiste à examiner un grand nombre de poissons à de fréquents intervalles pour obtenir une image représentative du stade de maturité de la population et des changements qui y surviennent avec le temps. Dans le cadre de ce travail de recherche, nous les avons définis grâce à l'examen macroscopique et à l'évolution du rapport gonadosomatique.

Les gonades du poisson sont soigneusement observées et, le cas échéant, leur stade de développement a été déterminé suivant la présence ou l'absence d'ovule, visible à l'œil nu, dans les ovaires ou du sperme s'écoulant des testicules. Dans certains cas, et en absence des gamètes (ovocytes ou sperme) il était difficile de déterminer le sexe de l'individu qui est alors classé comme immature ou indéterminé. Outre, la distension de l'abdomen des femelles, la taille, le poids des gonades, volume occupé par les gonades dans la cavité abdominale ainsi que leurs colorations et vascularisation et enfin la transparence de la paroi ovarienne et la visibilité des ovocytes, ont été également prise en considération afin de déterminer le stade de maturité sexuelle, notamment la couleur des gonades femelles (Kartas et Quignard, 1984 ; Paugy et Lévêque, 1999).

L'échelle de maturation sexuelle adoptée s'inspire de celle utilisée pour *Luciobarbus callensis* d'Oued El-Harrach (Tazerouti, 1993) et celle décrite par Djoudad-Kdji et *al.*, (2012, 2013) qui se base sur l'examen macroscopique et histologique des gonades (Tableau 3). Ces mesures sont celles suggérées également par d'autres chercheurs en Tunisie (Kraiem, 1997) et au Maroc (Bouhbouh, 2002) chez la même espèce.



**Tableau 1.** Echelle de maturité sexuelle chez *Luciobarbus callensis* (d'après Djoudad-Kdji et al., 2012 et 2013, modifiée).

Stades	Mâle	Femelle
I Juvénile	Caractérisé par des petites gonades très fines, filiformes et transparentes non vascularisés, à ce stade, la distinction entre testicules et ovaires est difficile, à peine visible à l'œil nu.	
II Repos/Immature/ Indéterminé	Les gonades mâles et femelles sous forme de filament de couleur blanche avec apparition d'un fin vaisseau sanguin qui loge la gonade. La distinction entre les deux sexes n'est toujours pas possible à l'œil nu.	
III Début de maturation	Présentent un aspect lisse et ont une couleur blanchâtre ; leur section transversale est triangulaire et la vascularisation devient importante.	Les ovaires ont un aspect granulaire et une couleur rosée ; leur section transversale est circulaire et les ovocytes sont visibles à l'œil nu.
IV Maturation (Pré-ponte)	Un accroissement de la taille des gonades qui occupent presque la totalité de la cavité générale et d'un blanc laiteux très vascularisé.	Un accroissement de la taille des gonades qui occupent presque la totalité de la cavité générale très vascularisé et de couleur jaunâtre.
V Ponte	Une occupation totale de la cavité générale par les gonades. L'écoulement de la laitance suite à la pression manuelle du ventre des mâles ayant atteint ce stade	Une occupation totale de la cavité générale par les gonades. La pression manuelle du ventre des femelles ayant atteint ce stade provoque l'expulsion des œufs.
VI Post-ponte/ Indéterminé	Les testicules et les ovaires, quasiment vides, présentent un aspect tubulaire flasque encore vascularisés.	

#### Taille de première maturité sexuelle

La maturation sexuelle est un processus coûteux sur le plan énergétique, qui mobilise les réserves accumulées jusque-là pour le développement des gonades, la production de gamètes, le développement de caractères sexuels secondaires, etc. On parle souvent de la taille moyenne à la première reproduction, définie comme la classe de taille pour laquelle au moins 50 % des individus appartenant à cette classe sont matures. Cette taille moyenne peut varier selon les types de milieu et elle n'est pas toujours la même selon les sexes (Léveque, 1999). Elle est parmi les facteurs les plus importants de la sexualité des poissons. Effectivement, elle nous renseigne sur la fraction de la population (géniteurs) qui est capable de renouveler le stock (structure de la population) en assurant la protection et la préservation de l'espèce (reproduction) et de connaître ainsi la contribution des poissons de petite taille à la reproduction (Tazerouti, 1993). La définition la plus utilisée est celle des auteurs qui l'assimilent au point  $L_{50}$  ou au point  $L_{100}$  de la courbe théorique de la première maturité qui a une forme sigmoïdale. Au point  $L_{50}$ , 50% des poissons sont matures et 50% immatures (Shung, 1973 ; Kartas et Quignard, 1984). Elle est déterminée par estimation visuelle après avoir tracé le pourcentage de poissons matures (III, IV et V) en fonction de leur longueur totale.



## 2-8 Rapport gonadosomatique (RGS)

La taille des gonades est un critère souvent utilisé dans l'échelle macroscopique du développement des ovaires ou des testicules.

Pour décrire la croissance relative des gonades par rapport à la masse du corps, le rapport gonadosomatique (RGS) ou indice de maturité sexuelle est fréquemment utilisé (Bruslé et Quignard, 2001). Ce facteur est un bon indicateur de l'activité de reproduction et il est utilisé pour déterminer les étapes du cycle de reproduction des poissons ainsi que la période de frai (De Vlaming *et al.*, 1982). Son utilisation a été jugée plus appropriée lorsqu'il est utilisé avec d'autres indicateurs de reproduction telle que les observations macroscopiques des gonades (De Vlaming, 1972). La formule utilisée (Paugy et Lévêque, 1999) pour déterminer le RGS de chaque individu est la suivante :

$$\text{RGS} = (\text{Wg} / \text{Wév}) * 100$$

Avec

Wg : poids des gonades (g)

We : poids du corps éviscéré (g)

Certains auteurs utilisent l'index gonadique (IG) ou indice gonadosomatique (IGS). Ce deuxième indice a l'avantage de ne pas nécessiter la mesure du poids total de l'individu pour son calcul ; poids qu'il n'est pas toujours facile d'obtenir pour les individus de grand format (exemple des thonidés). Il est défini par le rapport :

$$\text{IGS} = \text{Wg} / \text{L}^3 \quad \text{où L, est la longueur totale}$$

Les gonades sont réparties en deux groupes : un groupe renfermant tous les individus indéterminés (immatures et au repos) et un autre constitué par des poissons en maturation (mâles et femelles). Le suivi mensuel de ce facteur permet de suivre l'état de maturation sexuelle des gonades des poissons mâles et femelles ainsi que les périodes de ponte (Palomares *et al.*, 2003 ; Mahé *et al.*, 2005).

\*Chez un poisson mature le cycle de reproduction est généralement constitué de trois phases :

- Une première phase où le RGS est minimum et qui correspond à la période de repos biologique ;
- Une deuxième phase où le RGS commence à augmenter et qui correspond à la phase de maturation des ovocytes ;
- Une troisième phase où le RGS commence à diminuer et qui correspond à la période de ponte proprement dite.

Les variations de ce rapport ont été définies suivant le sexe, la classe de taille et la saison.

## 2-9 Rapport hépatosomatique (RHS)

Le stockage des graisses ou des lipides ont lieu avant la maturation des glandes génitales dans le foie ou dans le muscle suivant le type de poisson. Le foie chez les poissons femelles joue un rôle crucial dans l'élaboration des produits génitaux. En effet, il a été certifié que cet organe est responsable de la synthèse d'une protéine



précurseur du vitellus des œufs ‘la vitellogénine’. Le rapport hépatosomatique (RHS) peut fournir une estimation des variations saisonnières des réserves énergétiques (Lambert et Dutil, 1997). Autrement dit, son évolution saisonnière permet de quantifier les variations pondérales du foie au cours d’un cycle de reproduction. C’est grâce au calcul du rapport hépatosomatique (RHS) que nous pouvons connaître la période de reproduction (Stequert, 1976) et savoir dans quel type d’organe les réserves lipidiques sont stockées. Il est utilisé pour étudier la croissance et il est employé dans des études comme révélateur des effets des agents de stress. En effet, une diminution de ce marqueur peut être la conséquence de l’impact des facteurs environnementaux. En revanche, la faible disponibilité des ressources alimentaires ou le dysfonctionnement métabolique est la conséquence d’un facteur de condition peu élevé (Goede et Batron, 1990). Ce marqueur physiologique est calculé selon la formule suivante (Bougis, 1952) :

$$\text{RHS} = (\text{Wf} / \text{We}) \times 100$$

avec:

Wf : le poids du foie en g ;

We : le poids du poisson éviscéré.

Selon le mode de stockage et la mobilisation des substances de réserve dans le foie, il existe deux types de poissons (Bertin, 1958) :

- Lorsque les valeurs maximales du RHS précèdent celle du RGS, la maturation des gonades est précédée d’une importante accumulation de lipides dans le foie, c’est le type de poisson maigre ;
- Quand le RHS évolue parallèlement au RGS, l’accumulation de lipides s’effectue dans les muscles et le foie n’intervenant que dans la transformation de ces réserves lipidiques, c’est le type de poisson gras.

### **2-10 Rapport viscérosomatique (RVS ou IVS)**

Le rapport viscéro-somatique (RVS) est le rapport du poids des viscères sur la masse corporelle (Roche et *al.* 2003). Ce rapport est évalué en fonction des variations mensuelles et saisonnières pour déterminer la période de l’activité alimentaire du poisson. Ce rapport est défini comme suit :

$$\text{RVS} = (\text{Wv} / \text{Wt}) * 100$$

Wv : poids des viscères du poisson (g),

Wt : poids éviscéré du poisson (g).

### **2-11 Rapport splénosomatique (RSS ou ISS)**

L’immunocompétence étant la capacité d’un organisme à déclencher puis réguler une réponse immune (Kuby 1999) ; elle est dépendante de la physiologie de l’individu. Afin d’évaluer l’influence du parasitisme, une étude du rapport splénosomatique (RSS) de *Lucioibarbus callensis* (Valencienne, 1842) est indispensable car c’est un indicateur de l’investissement dans l’immunocompétence. C’est le rapport entre le poids de la rate (Ws) et le poids éviscéré (Wev) :



$$RSS = (W_s / W_{ev}) * 100$$

$W_s$  : poids de la rate

$W_{ev}$  : poids éviscéré

## 2-12 Facteur de condition

Index  $k$  ou coefficient de condition. Ce coefficient ne change pas avec la longueur si la croissance est isométrique, ce qui est rarement le cas dans la réalité. Chez beaucoup d'espèces, cependant, il peut y avoir modification de la forme du corps ou variation du poids au cours de la croissance, en fonction par exemple du cycle de reproduction ou de la disponibilité en nourriture. Le coefficient de condition permet alors de suivre l'évolution de l'état d'embonpoint du poisson. On considère que c'est un bon instrument pour comparer l'état physiologique global de populations au cours d'un cycle saisonnier ou entre bassins présentant des conditions écologiques différentes (Léveque, 1999)

L'étude de la condition des poissons est une pratique classique en éco-ichtyologie. Elle est basée, le plus souvent, sur l'analyse des données relatives à la relation longueur-masse, estimant que le poisson le plus lourd, à taille égale, est celui qui présente la meilleure condition, donc le meilleur bilan énergétique. Les indices ainsi calculés sont considérés comme révélateurs, non seulement de l'embonpoint des poissons, mais aussi du fitness des individus du stock ou de la population. Ils peuvent être aussi mis en relation avec des états physiologiques transitoires (la maturité sexuelle ou le jeûne saisonnier) sanitaire, dépend également des conditions de milieu, le moment de capture le sexe et la forme du corps. Son interprétation est délicate et diffère en fonction de la masse (brute, éviscérée...) prise en compte et des phénomènes d'allométrie.

Il existe cependant, plusieurs expressions du facteur de condition ( $K$ ) dans la littérature.

### ➤ Facteur de condition absolu

La plus utilisée est le coefficient absolu ou brut de condition qui se traduit par un rapport entre la longueur et la masse, usuellement multiplié par une puissance égale au coefficient d'allométrie (Tesch, 1971) fréquemment de type isométrique.

Il est dérivé de la croissance pondérale ( $W = a L^b$ ), et est appelé ainsi parce qu'il indique si l'individu étudié est en bonne ou mauvaise condition (Micha *et al*, 1999). La constante ( $a$ ), représente la condition et s'écrit :  $a = W / L^b$ . Ce coefficient traduit la condition ; il est aussi appelé «  $K_c$  » par Postel (1973) qui suppose que le poids croît proportionnellement à la taille ( $b=3$ ) et il est ensuite multiplié par un facteur 100 d'où  $K_c = (W / L^3) 100$ . Cela dit, il reflète l'état nutritionnel d'un poisson. C'est grâce à ce marqueur physiologique que nous pourrions savoir également dans quel type d'organe les réserves lipidiques sont stockées. À des fins de comparaisons, nous avons utilisés le coefficient de condition ( $K$ ) de Fulton (1911) qui est le plus couramment utilisé. Ce coefficient permet d'apprécier les variations morphologiques en rapport avec le développement du poisson (facteurs écologiques). Le facteur de condition  $K$  a été calculé selon la formule de Fulton :

$$K = (W_t / L_t^3) * 100$$

Avec :



Wt : Poids total

Lt : Longueur totale

b : Coefficient d'allométrie considérée comme égale à 3.

Cet indice est basé sur l'hypothèse d'une croissance isométrique, c'est-à-dire que la taille du poisson augmente selon une relation cubique. Cependant, chez la plupart des espèces, la croissance est allométrique. Le facteur de condition a été comparé entre les mâles et les femelles des poissons parasités et non parasités et entre les saisons. En revanche, ces variations sont associées à l'alimentation, la maturation et la ponte.

➤ **Facteur de condition relatif**

L'évolution mensuelle de condition somatique a été estimée en utilisant le facteur de condition relatif (Kr) appelé aussi facteur de condition de Le Cren (1951). La possibilité très fréquente d'obtenir suffisamment d'individus de taille identique nous a incité à utiliser ce coefficient pour palier l'effet de la taille qui varie sensiblement dans un ensemble de la population (Pyle *et al.*, 2008). Ce facteur permet de déceler les variations saisonnières du poids indépendamment des longueurs des animaux et de détecter des situations de stress physiologique ; il n'est utilisé que dans le cas d'une croissance majorante (Stevenson and Woods, 2006). Cet indice permet de suivre les variations de la balance métabolique des individus à travers les modifications saisonnières de l'embonpoint sous l'influence des facteurs externes et internes indépendamment de la longueur. Il s'exprime par l'écart entre le poids réel ou observé (Wobs) d'un individu et son poids théorique (Wth), dans le temps selon la relation taille/poids ( $a L^b$ ).

D'après Le Cren (1951) l'équation est la suivante : Il est défini pour chaque poisson par le rapport entre sa masse observée réel (Wobs) et sa masse théorique (Wth) calculée à partir de la relation taille/poids ( $a L^b$ ) de la population (Le Cren, 1951).

$$Kr = W \text{ obs} / W \text{ th}$$

W obs : poids observé

Wth : poids théorique

La pente de la relation logarithmique " b " entre la masse et la taille du barbeau dans la même région d'étude correspond à 3.23. Ce facteur mesure la déviation d'un individu par rapport à l'échantillon :

- Si  $Kr > 1$  ; le poisson a une masse supérieure à la masse moyenne des individus de sa taille.
- Si  $Kr < 1$  ; la masse du poisson est plus petite que la masse moyenne.

Kr a été étudié en fonction du sexe et des saisons.

### 2-13 Détermination de la période de ponte

Pour la détermination de la période de ponte, trois facteurs simples ont été utilisés le RGS, le coefficient Kr (Le Cren, 1951) et le RHS. La relation entre les variations saisonnières de ces marqueurs physiologiques peut contribuer à détecter le moment et la durée de la maturation des gonades, puisque à cette période, le transfert d'énergie vers les gonades est notable (Htun-Han, 1978).



## Partie I : Démographie et physiologie de la reproduction de *L. callensis* de l'Oubeira

Une comparaison des Kr moyens des différents échantillons parasités et non parasités a été effectuée pour mieux faire ressortir l'influence de la taille, du sexe et des saisons.

✚ Analyses des données : Pour le sexe ratio, les données ont été analysées en utilisant le test de comparaison des moyennes des deux sexes. La significativité des différences a été vérifiée par analyse de la covariance entre les sexes (ANCOVA). Les analyses statistiques ont été effectuées par Statistica 8, ainsi que l'Excel.



### 3- Résultats

#### 3-1 Structure de la fraction de population de Barbeau de l'Oubeira

Cette section présente les caractéristiques physiologiques générales du barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1843) capturé dans le lac Oubéira au cours de la période d'étude (2012/2013).

##### 3-1.1 Taille des individus de *L. callensis*

D'après les valeurs extrêmes et moyennes figurant dans le tableau 4 ci-dessous, la longueur des poissons barbeaux pêchés dans le cadre de notre étude fluctue entre de 12,3 cm et 34,4 cm. La taille moyenne des femelles est proche de 25 cm et celle des mâles est proche de 23 cm.

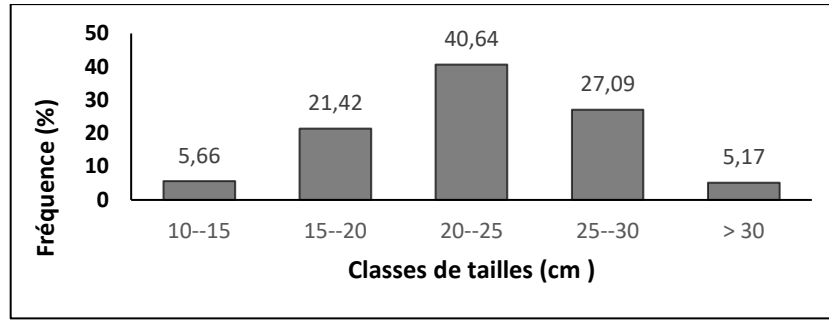
**Tableau 2.** La composition de la fraction de population de *L. callensis* collectée dans le lac Oubéira. Longueurs totale (Lt), valeurs extrêmes (minimum et maximum) et moyennes et écart-type (X et SD).

	Nombre	Lt <sub>min</sub> (cm)	Lt <sub>moy</sub> (cm) X ± SD	Lt <sub>max</sub> (cm)
Nombre total d'individus	372	12,3	22,88 ± 4,05	34,4
Individu de sexe mâle	168	15,4	23,28 ± 3,29	34,4
Individu de sexe femelle	106	15,9	24,96 ± 4,05	33,5
Individu de sexe indéterminé	98	12,3	20,24 ± 4,29	29

##### Distribution des individus par classe de taille

L'étude de la structure démographique de *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira a porté sur la distribution des fréquences de tailles des individus capturés au cours de l'année 2012/2013. Elle est établie par classe de taille de 5 cm.

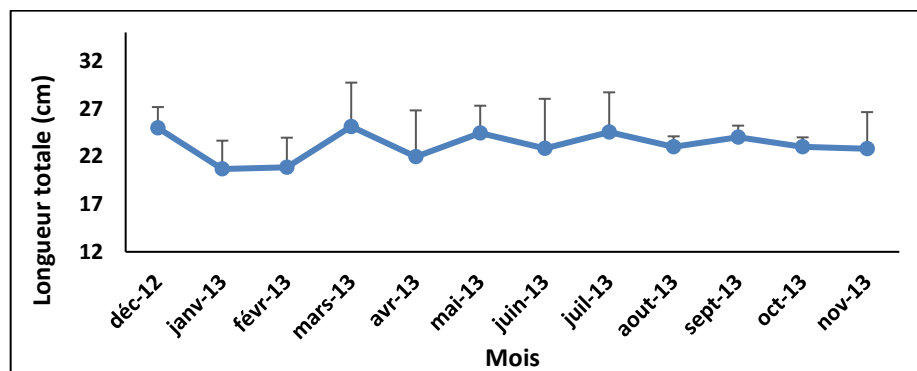
L'analyse de l'histogramme (fig.3) montre que la population de barbeaux étudiées peut être subdivisée en trois groupes : Le premier groupe qui représente 27,08%, est formé d'individus dont la taille moyenne est inférieure à 20 cm; le deuxième groupe est constitué de poissons de taille comprise entre 20 et 30 cm ; ce groupe représente 67,73 % de l'ensemble de la population. Enfin, le troisième groupe est formé de barbeau de taille supérieure à 30 cm ; ce dernier ne représente que 5,17 % de la population.



**Figure 3:** Distribution par classe de taille de la fraction de population de *L. callensis* du lac Oubéira.

#### ✚ Tailles moyennes mensuelles des individus

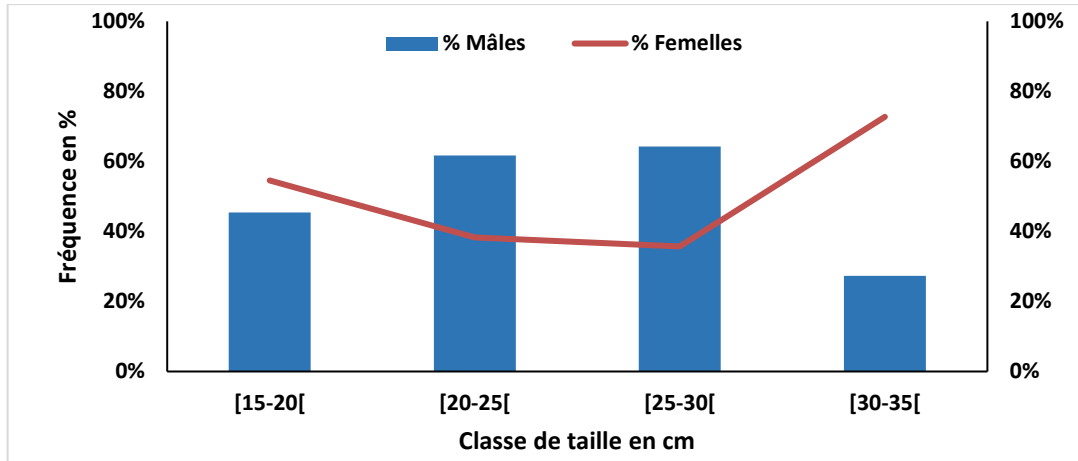
La distribution de la taille moyenne des lots de poissons capturés mensuellement est représentée dans la figure 4. Les individus de petites tailles (proches de 20 cm) sont rencontrés en janvier et en février et ceux de grandes tailles (proches de 25 cm) en décembre et en mars; durant le reste de l'année la taille des individus fluctue entre 22 et 24.5 cm. La taille moyenne de l'ensemble de la population est de  $22,78 \pm 4,50$  cm. La longueur minimale (12,3 cm) est atteinte par un barbeau de sexe indéterminé échantillonné en avril 2013; A cette même période, nous avons collecté un barbeau de taille maximale (34.4 cm) et de sexe mâle.



**Figure 4.** Tailles moyennes des individus collectés mensuellement (*L. callensis* du lac Oubéira).

#### ✚ Proportion du sexe des individus par classe de taille

Si nous regroupons les individus identifiés par classe de taille de 5 cm de longueur totale, nous remarquons que les mâles de *L. callensis* dominent dans les classes de taille comprises entre 20 et 30 cm ; en revanche, le plus grand nombre d'individus de sexe femelle est rencontré dans les classes de taille 15-20 et 30-35cm (Fig.5).



**Figure 5.** Proportions par classe de taille du sexe des individus composant la fraction de population de *L. callensis* du lac Oubéira.

### 3-1.2 Poids des individus de *L. callensis*

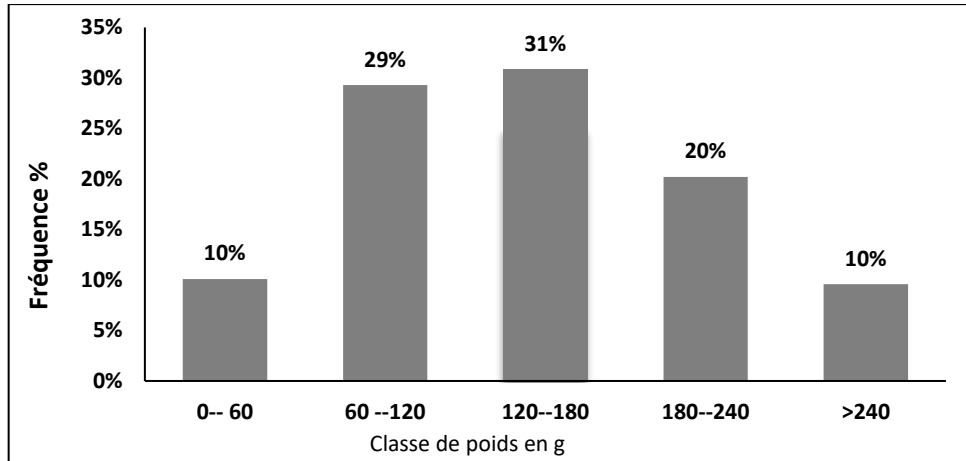
L'individu montrant le poids minimal (15,85g) a été capturé au mois de janvier, alors que celui présentant le poids maximal correspond à un barbeau de 450,4 g capturé en avril 2013. Les seuls individus dépassant le poids de 400 g sont une femelle de 441,67g capturée en décembre 2012 et un mâle de 450,4g pêché en avril 2013.

**Tableau 3.** Poids des individus de la fraction de population de *L. callensis* peuplant le lac Oubéira. Poids total (Pt), valeurs extrêmes (min et max) et moyennes (moy).

	Effectif	Pt <sub>min</sub> (g)	Pt <sub>moy</sub> en g (X ± SD)	Pt <sub>max</sub> (g)
Population	372	15,85	141,36 ± 78,92	450,40
Mâles	168	40,03	145,89 ± 68,06	450,40
Femelles	106	35,72	189,59 ± 94,35	441,67
Indéterminés	98	15,85	95,63 ± 69,03	280,45

### ✚ Fréquences des classes de poids

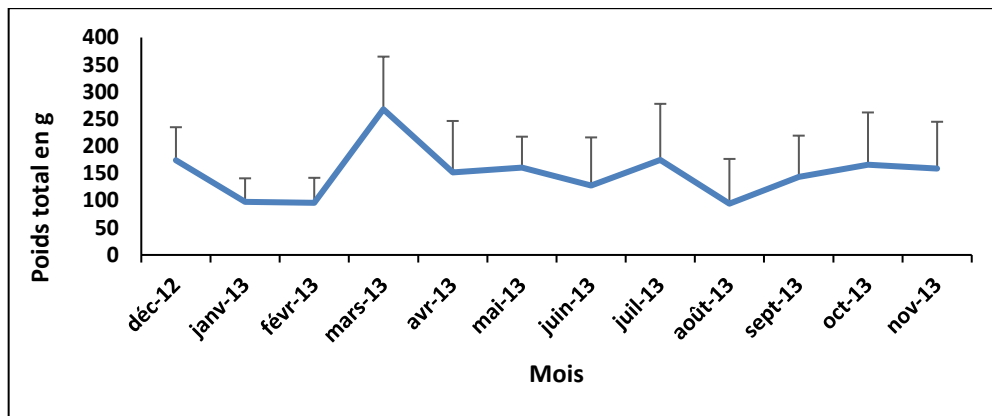
Les individus sont regroupés en classe de poids de 60g (fig.6). Le regroupement des mesures pondérales dans cinq classes de poids montre une prédominance des individus pesant entre 120 et 180 g (31%). Les barbeaux peuvent être subdivisés également en trois groupes. Les individus de poids inférieurs à 120 g représentent 39% de la population et ceux dont le poids dépasse 240 g ne représente que 10% ; ce sont les individus de poids compris entre 120 et 240 g qui représentent les plus fortes proportions (51 % de l'ensemble de la population).



**Figure 6:** Proportion par classes de poids des individus composant la fraction de population de *L. callensis* du lac Oubéira.

#### ✚ Poids moyens mensuels des individus

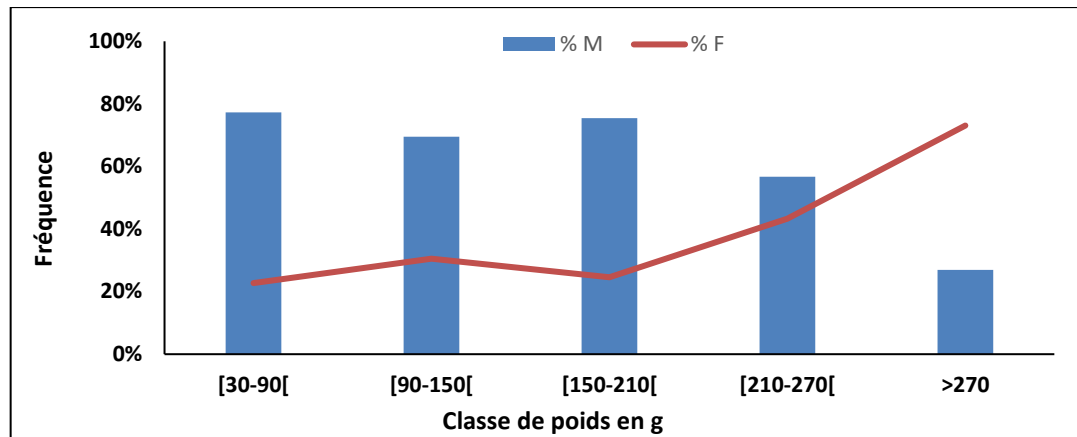
À l'instar de la taille moyenne, le poids moyen varie en fonction du temps et des valeurs faibles sont enregistrées en hiver (janvier et février) et le maximum est enregistré au printemps (mars). Le poids moyen de la population est de  $141,36 \pm 78,92$  g (fig. 18).



**Figure 7:** Variation mensuelle du poids moyen des individus composant la fraction de population de *L. callensis* du lac Oubéira.

#### ✚ Proportion par classe de poids du sexe des individus

La population de *Luciobarbus callensis* pêchée dans le lac Oubéira montre une prédominance des mâles de poids compris entre 30 et 270 g (fig.8) ; Les femelles cependant, sont abondantes au-delà de 270 g.



**Figure 8.** Proportions par classe de poids du sexe des individus composant la fraction de population de *L. callensis* (lac Oubéira 2012 - 2013)

### 3-1.3 Croissance pondérale relative

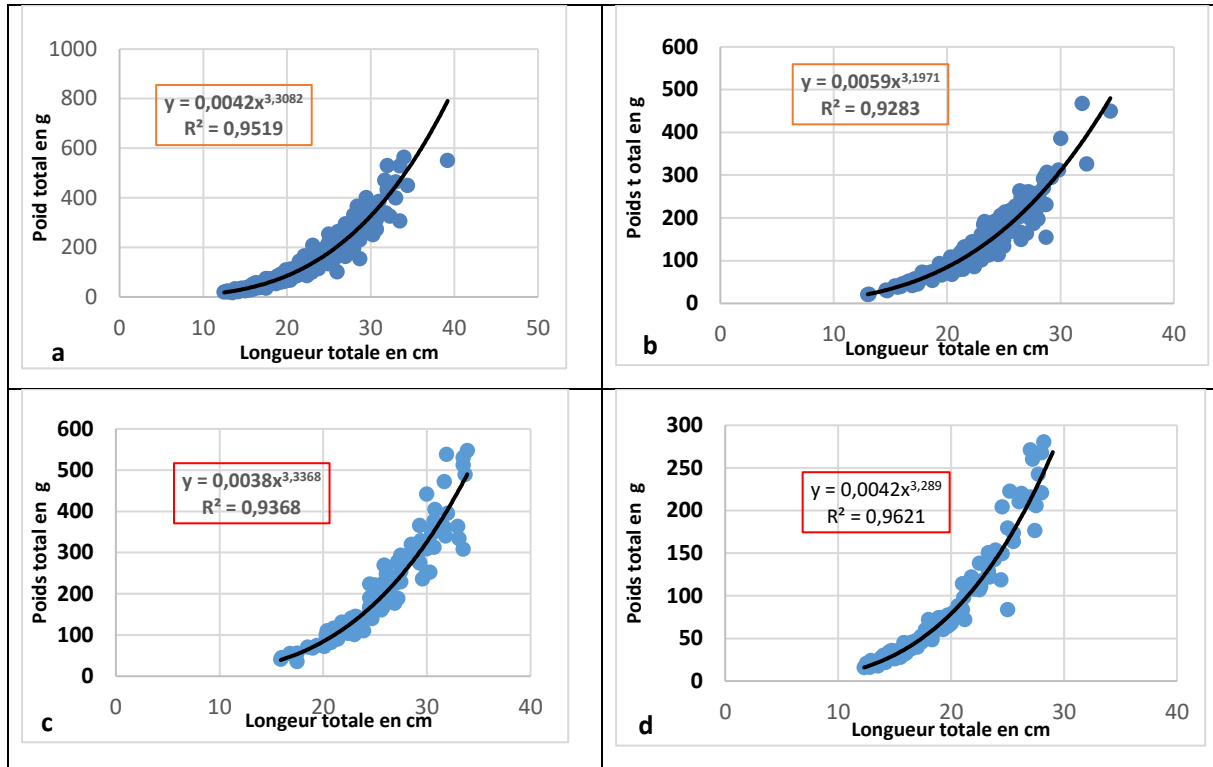
Les relations taille/poids de *L. callensis* et les gammes de tailles observées, sont représentées dans les tableaux 4, 5, 6 et figures 9 et 10.

Chez la fraction de population étudiée la relation liant la masse à la longueur totale de ce poisson est la suivante :  $W = 0.0042 L^{3,3082}$ . La croissance du poids est positivement corrélée à celle de la taille, avec un coefficient de corrélation proche de 1 ( $r = 0,95$ ). Le coefficient d'allométrie  $b$  est supérieur à 3 ; de ce fait l'allométrie est majorante ; ce qui signifie que le poids croit proportionnellement plus vite que le cube de la longueur.

**Tableau 4 :** Croissance relative (taille-poids) et valeurs des paramètres ( $a$  et  $b$ ) chez *L. callensis* du lac Oubéira.

	Effectif	Equation de régression	$r^2$	Allométrie
Population	422	$W = 0.0042 L^{3,3082}$	0,9519	Majorante
Mâles	199	$W = 0.0059 L^{3,1971}$	0,9283	Majorante
Femelles	114	$W = 0.0038 L^{3,3368}$	0,9368	Majorante
Indéterminés	109	$W = 0.0042 L^{3,298}$	0,9621	Majorante

D'autre part les pentes des droites de régressions entre le poids et la longueur des populations mâles, femelles et indéterminées évoluent d'une manière identique.



**Figure 9:** Illustration graphique de la relation liant le poids et la taille chez *L. callensis* du lac Oubeira (a : Population, b : Mâles, c : Femelle, d : Indéterminés).

- Relation poids /longueur chez *L. callensis* du lac Oubeira

**Tableau 5.** Équations de régression le poids /longueur chez *L. callensis* du lac Oubeira

	Équations de régressions	$r^2$
Population	$\text{Log Wt} = -2,372 + 3,308 \text{ Log Lt}$	0,95
Mâles	$\text{Log Wt} = -2,231 + 3,197 \text{ Log Lt}$	0,92
Femelles	$\text{Log Wt} = -2,415 + 3,336 \text{ Log Lt}$	0,93
Indéterminés	$\text{Log Wt} = -2,380 + 3,289 \text{ Log Lt}$	0,96

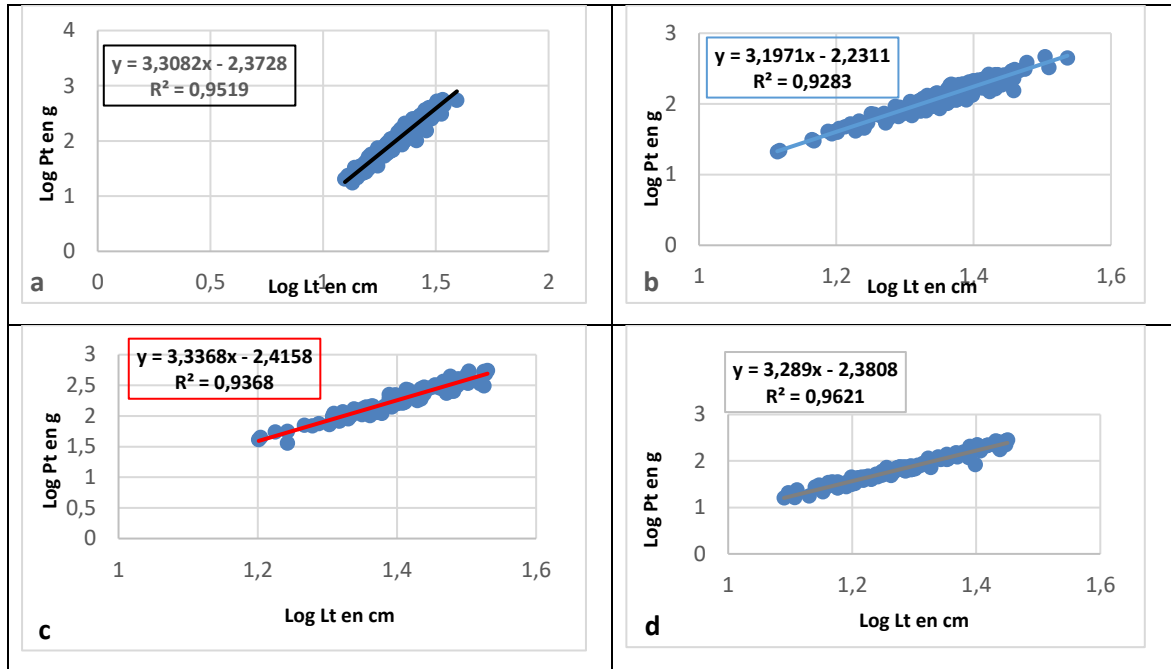
**Tableau 6.** Équations de régression entre le poids total (g) et la longueur totale (cm) chez *L. callensis* du lac Oubeira.

	N	Longueur totale (L en cm) $X \pm \text{SD}$	Poids total (W en g) $X \pm \text{SD}$	Équation de régression $\text{Log W} = b \text{ Log L} + a$		$r^2$
				b	a	
Population	372	$22,88 \pm 4,50$	$141,36 \pm 78,92$	3,308	2,372	0,95
Mâles	168	$23,28 \pm 3,29$	$145,89 \pm 68,06$	3,197	2,231	0,92
Femelles	106	$24,96 \pm 4,05$	$189,59 \pm 94,35$	3,336	2,415	0,93
Indéterminés	98	$20,24 \pm 4,29$	$95,63 \pm 69,03$	3,289	2,380	0,96



N : effectif, SD : l'erreur standard et  $r^2$  : le coefficient de détermination.

$$\text{Log } W = -2,3728 + 3,3082 \text{ Log } Lt \quad R^2 = 0,9519$$



**Figure 10.** Droites de corrélations entre le poids (Pt en g) et la taille (Lt en cm) chez le barbeau (a : Population, b : Mâles, c : Femelle, d : Indéterminés).

### 3-1.4 Croissance linéaire relative

Les relations entre les différentes tailles chez *L. callensis* sont représentées dans la figure. Pour la population, la croissance de la longueur totale est positivement corrélée à celle de la taille à la fourche et la taille standard, avec un coefficient de corrélation de 0,99 et 0,97 respectivement. Le coefficient d'allométrie est différent de 3 ( $b < 3$ ) au sein de tous les échantillons. La comparaison des valeurs des pentes des droites de régression par le test "t" de Student révèle une similitude de croissance entre les sexes pour les caractères Lt, LF, LS (minorante). D'autre part les pentes des droites de régressions entre les différentes longueurs des populations mâles, femelles et indéterminées évoluent d'une manière identique.

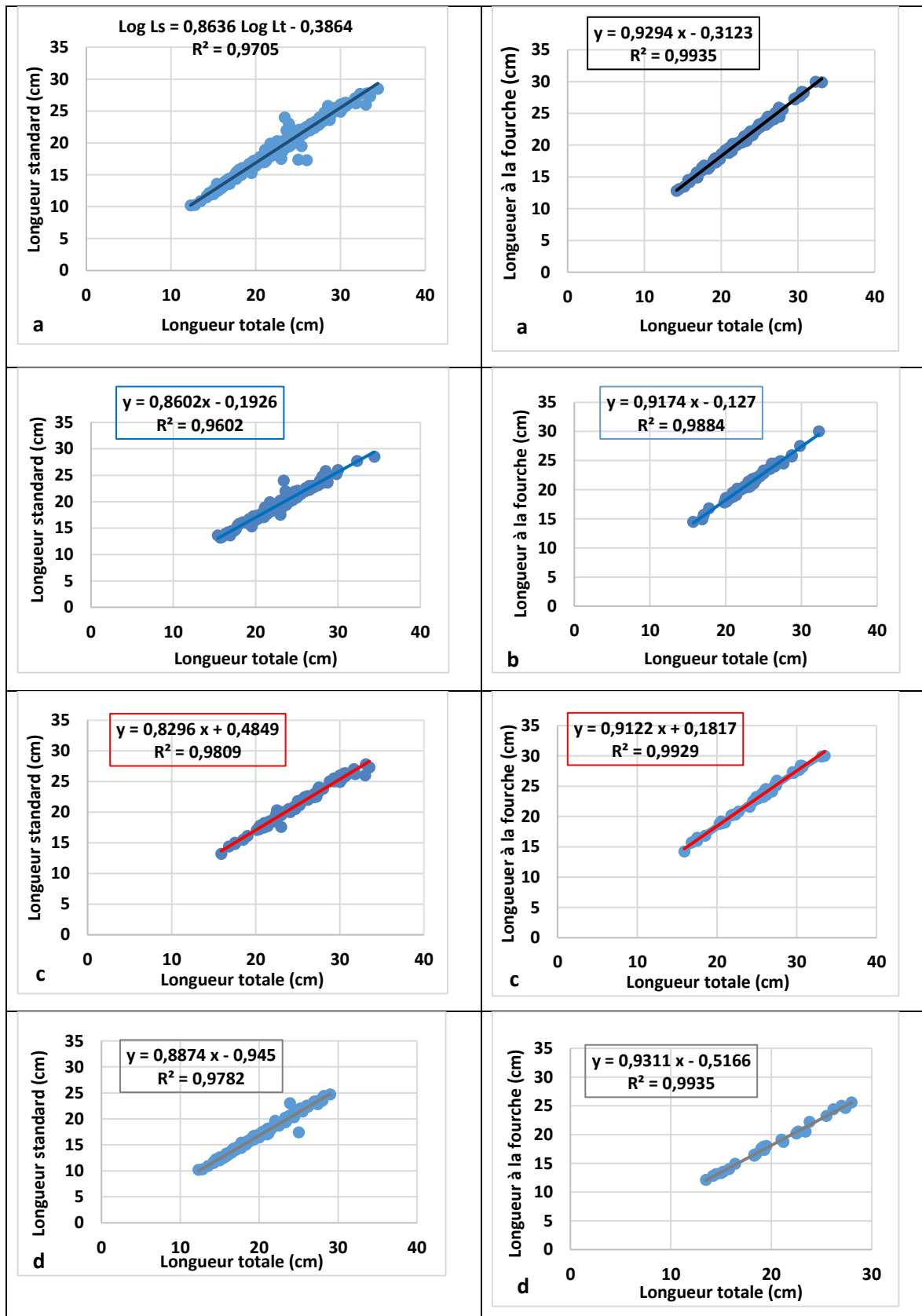


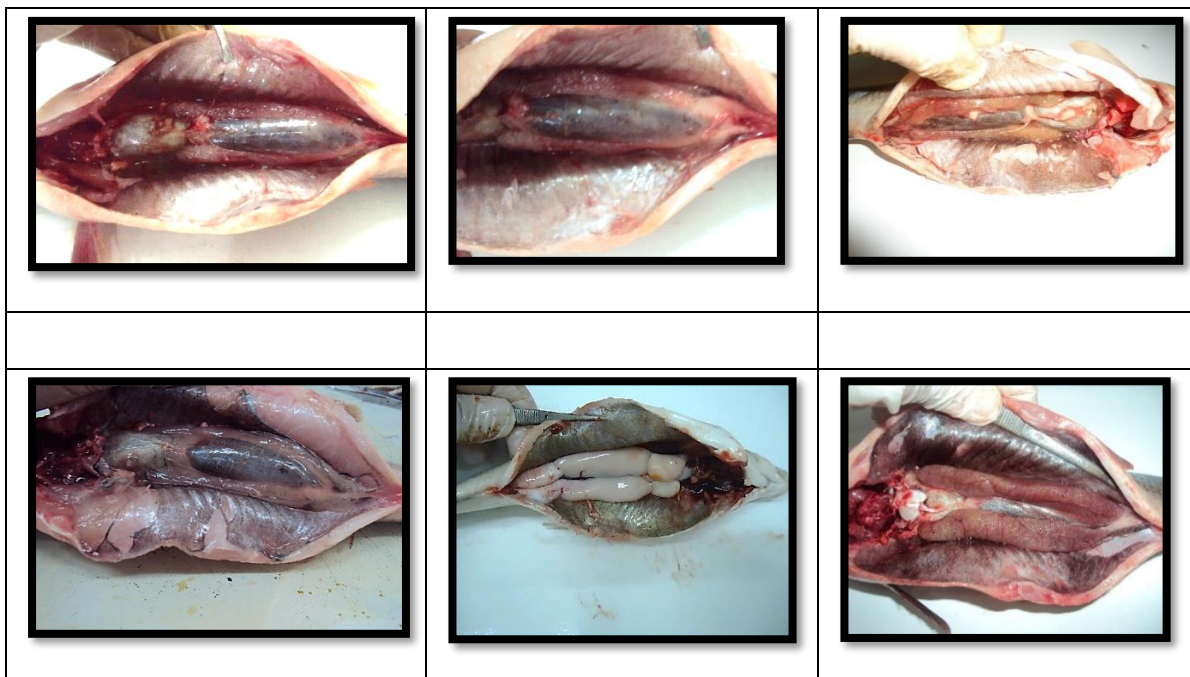
Figure 11. Droites de régressions entre les longueurs standard/longueur totale et longueur à la fourche/longueur totale chez *Luciobarbus callensis* du lac Oubeira (a : Population, b : Femelles, c : Mâles et d : Indéterminés).



### 3-2. Cycle de reproduction du barbeau *L. callensis* du lac oubeira

#### 3-2.1 Stades de maturité sexuelle

La caractérisation des stades de maturité sexuelle du barbeau *L. callensis* est faite sur la base de l'observation macroscopique des gonades telle que préconisée par Tazerouti (1993) et Djoudad-Kdji *et al.* (2012, 2013), ainsi que l'échelle mise au point par Kraeim (1997) et Bouhbouh (2002).



**Figure 12.** Photographie montrant des gonades femelles du barbeau du lac Oubéira (S. Abbaci, 2013).

L'examen macroscopique des gonades récoltées durant la période d'étude a permis de reconnaître six stades de développement bien distincts chez les femelle et cinq stades chez le mâle (tab 7).

**Tableau 7.** Echelle de maturité sexuelle des gonades de *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira.

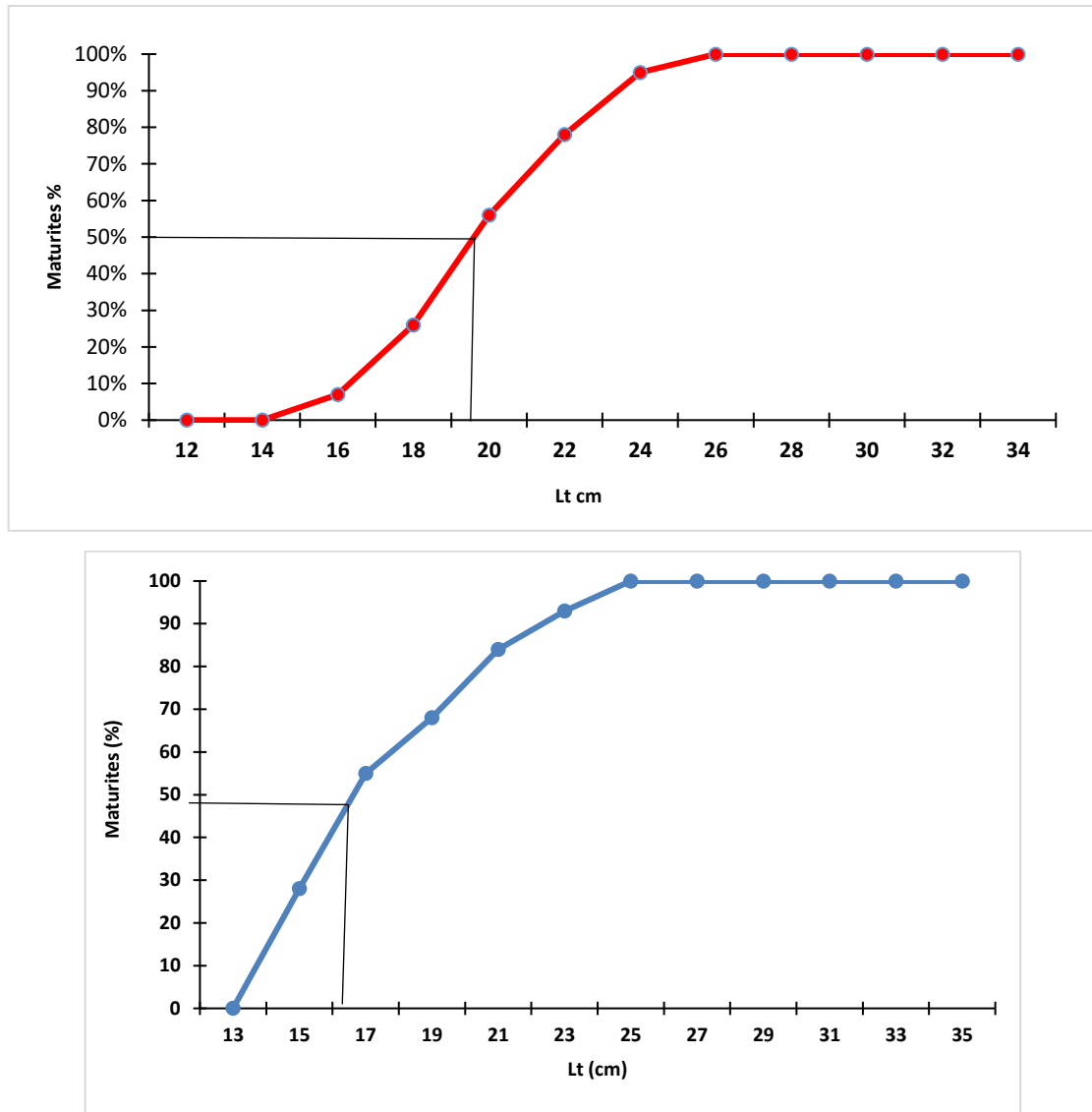
Stade de maturation	Mâle	Femelle
Stade 0 immature	Les testicules se présentent sous forme de deux filaments minces enrobés de graisse.	Les ovaires en forme de bandelettes transparentes et sans vascularisation. Ovocytes et lamelles ovariennes invisibles à l'œil nu.
Stade 1 repos sexuel	Testicules en forme de bandelettes étroites plus ou moins grisâtres et parfois blanchâtres.	Ovaires peu développés en forme de bandelettes. Ovocytes visibles Lamelles ovariennes présentes et vascularisation externe non marquée.



Stade 2 maturation	Mâle en activité sexuelle : nous avons regroupé dans ce stade les mâles en maturation et mûrs, car leur distinction n'est pas évidente. Il y a tous les stades intermédiaires depuis les testicules commençant à se développer jusqu'à des testicules gonflés entièrement blancs à sperme fluide.	Ovaires développés, fermes, peu vascularisés et opaques. Ovocytes bien visibles mais adhérents encore aux lamelles ovariennes
Stade 3 maturation avancée	Gonades flasques, sanguinolentes, ne renfermant pas de laitance. Ce stade caractérise la fin d'émission des spermatozoïdes	Ovaires bien développés, vascularisés et remplis d'ovocytes visibles à l'œil nu
Stade 4		Ovaires envahis d'ovocytes translucides et libres ainsi que d'autres catégories d'ovocytes décrites précédemment. Ils occupent toute la cavité abdominale et compressent les autres organes internes mûrs ou prêts à pondre
Stade 5		Ovaires flasques et sanguinolents renfermant quelques ovocytes mûrs et/ou à maturation avancée ainsi que de petits ovocytes en repos ou en voie de maturation. Certains ovaires sont pourvus de corpuscules noirâtres dispersés dans leur masse. Leurs follicules sont flasques, aplatis et déformés. venant de pondre ou épuisée

### 3-2.2 Taille de la première maturité sexuelle

La détermination par classe de taille de la proportion d'individus mûrs est faite à partir des groupes III, IV et V. L'analyse des courbes ci-dessous (fig.13) montre que les barbeaux femelles du lac Oubéira commencent à participer à la reproduction à une taille de 19,5 cm. Quant aux mâles leur maturité sexuelle a été estimée à partir de la taille 16,5 cm. Nous notons un écart de 3,5 cm entre les deux sexes démontrant une précocité des mâles par rapport aux femelles. Le taux des femelles matures augmente progressivement à partir de la taille totale 16 cm et tous les individus sont mûrs ( $L_{100}$ ) à partir de 26 cm. Chez les mâles, ces pourcentages évoluent à partir de 15 cm et au-delà de 23 cm les barbeaux présentent un taux de 100 % de maturité sexuelle.



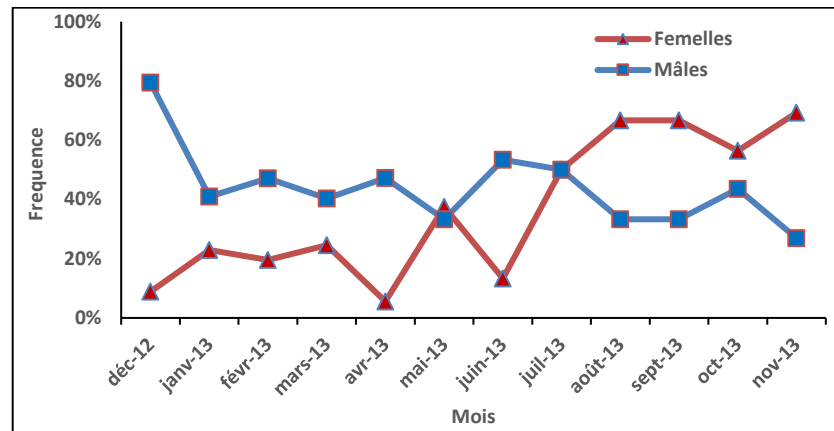
**Figure 13.** Estimation de la taille de la première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) en fonction de la longueur totale des mâles et des femelles de *L. callensis* du lac Oubéira.

### 3-2.3 Sex-ratio global

L'évolution temporelle du taux de féminité et masculinité des barbeaux collectés au cours de l'année 2012/2013 est relativement irrégulière (fig. 14). Nous avons observé deux pics en faveur des femelles en octobre et novembre (55 et 69 % respectivement ; quant aux taux les plus bas ils sont relevés en décembre et en avril (respectivement 12 et 6 % de femelles). Les mâles prédominent durant la période s'étalant de décembre à juillet à des taux variant le plus souvent de 40 à 50% ; les pics de plus de 50% sont enregistrés en décembre, juin et juillet (79, 53 et 50% respectivement). Le sex-ratio regroupé (170 mâles et 104 femelles, rapport moyen de 1: 0,61) sur tous les mois différait significativement du

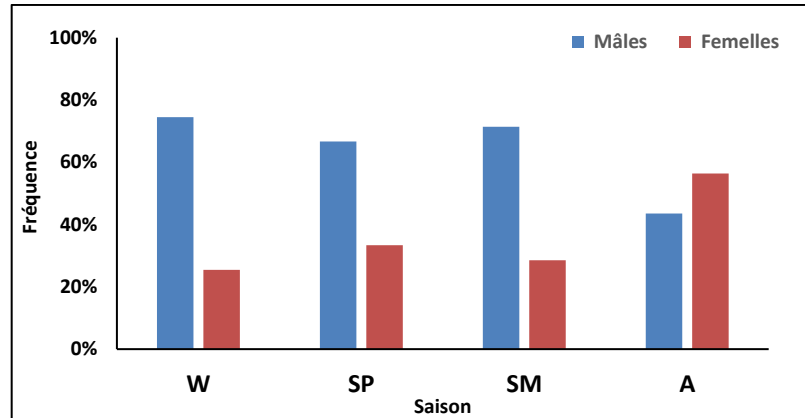


rapport attendu (1:1) ; les femelles étaient dominantes mais avec un sex-ratio important qu'en novembre (1:2,57). Le sex-ratio attendu (1:1) a été observé seulement en juillet 2013.



**Figure 14.** Variation mensuelle du sex-ratio (fraction de population de *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira).

Le sex-ratio du barbeau *Luciobarbus callensis* montre des fluctuations saisonnières ; nous notons une nette prédominance des mâles en période hivernale, printanière et estivale ; c'est en période automnale que les femelles montrent une légère prédominance (fig. 15).



**Figure 15.** Distribution saisonnière du sex-ratio (fraction de population de *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira). W : Hiver, SP : Printemps, SM : Eté et A : Automne.

### 3-2.4 Variation des indices somatiques

Afin de déterminer la période de reproduction au cours d'un cycle complet de 12 mois, plusieurs marqueurs liés à l'état physiologique du poisson ont été quantifiés. Habituellement utilisés pour cibler la période de ponte par le suivi des indices somatiques (Rapports gonadosomatique et hépatosomatique) et la condition physique. L'évolution temporelle des valeurs des rapports gonadosomatique chez les deux sexes, pour l'ensemble des poissons examinés, a permis de



déterminer les différentes phases du cycle sexuel du barbeau *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) dans son milieu naturel, le lac Oubeira.

### 3-2.4.1 Rapport gonadosomatique

#### Barbeaux mâles

L'évolution mensuelle du RGS pour l'ensemble de la population de *L. callensis* a permis de mettre en évidence trois phases distinctes pour les barbeaux mâles. Les données sont illustrées graphiquement dans la figure 16.

Durant la période s'étalant de juin à décembre, les valeurs du RGS des mâles sont au plus bas (entre 0.3 et 0.6) ; en décembre-janvier le RGS amorce une légère augmentation illustrée par des valeurs proches de 0.85 suivies de 3 pics en mars (3.26), en avril (3.06) et en mai (2.35) ; Cette augmentation du RGS correspond donc à la phase de maturation des gonades.

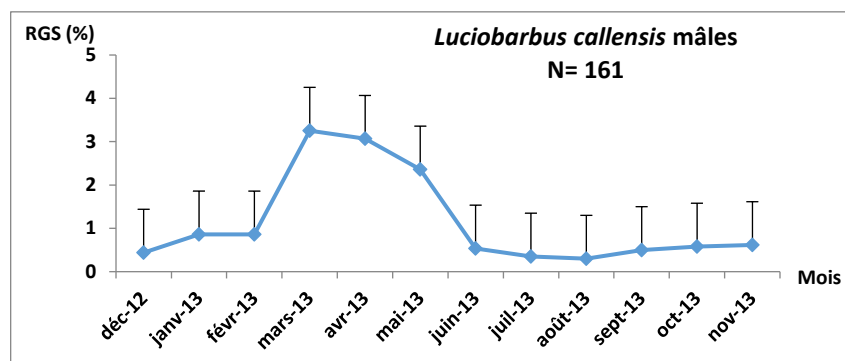


Figure 16. Évolution mensuelle du RGS moyen chez *L. callensis* mâle du lac Oubéira.

Il ressort de la figure 17 que les valeurs moyennes saisonnières du RGS augmente selon l'ordre croissant suivant : été (0.41%) ≤ automne (0.6%) ≤ hiver (0.72%) ≤ printemps (2.89%)

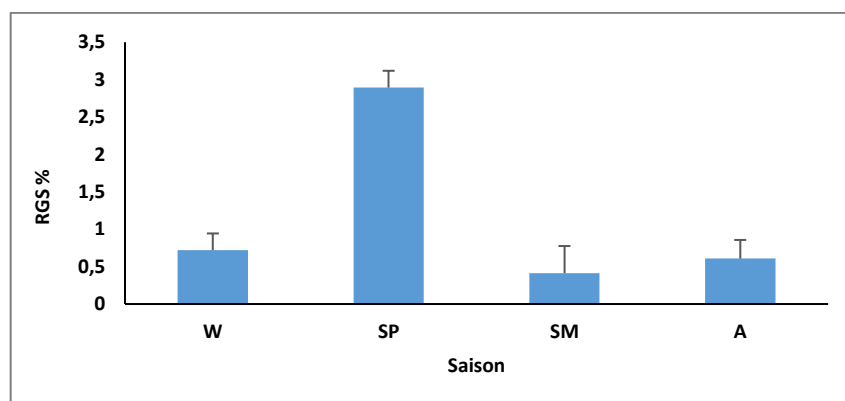


Figure 17. Evolution saisonnière du rapport RGS moyen des mâles de *L. callensis* du lac Oubéira.



### Barbeaux femelles

Les valeurs moyennes du RGS chez les femelles du barbeau sont illustrées dans les figures 19 et 20 ; Le suivi de l'évolution mensuelle des valeurs du RGS des femelles nous permet de distinguer des valeurs basses (0.4 et 05%) correspondant à la phase de repos qui débute en juillet et prend fin en novembre ; A partir de décembre et jusqu'à juin les valeurs du RGS oscillent entre 1 et 4.17% et montrent un premier pic en décembre (2.73%) et un deuxième en mars (4.17%) ; cette phase correspond à la phase de maturation des gonades suivie d'une phase de ponte illustrée par la baisse progressive du RGS (fig. 18).

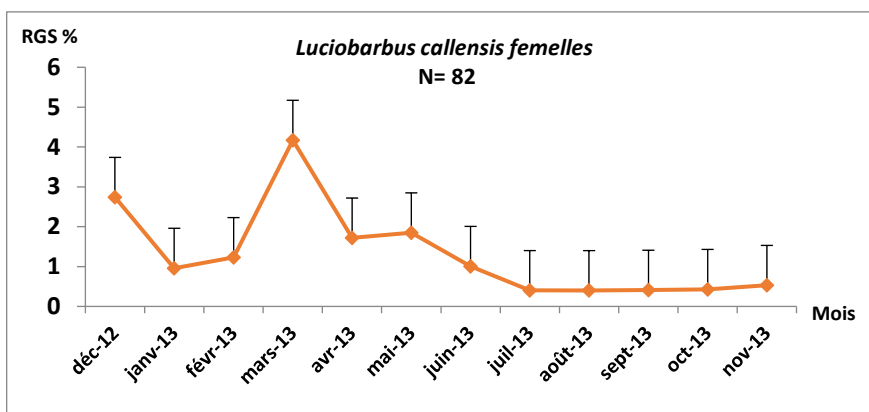


Figure 18. Évolution mensuelle du RGS moyen chez les femelles de *L. callensis* du lac Oubéira.

Les valeurs saisonnières du RGS chez les barbeaux femelles (fig. 19) suivent l'ordre croissant suivant : printemps (2.58%) ≥ hiver (1.64%) ≥ été (0.6%) ≥ automne (0.39%) ; ces valeurs montrent que la maturation des gonades a lieu en hiver et au printemps et la phase de repos en été et en automne.

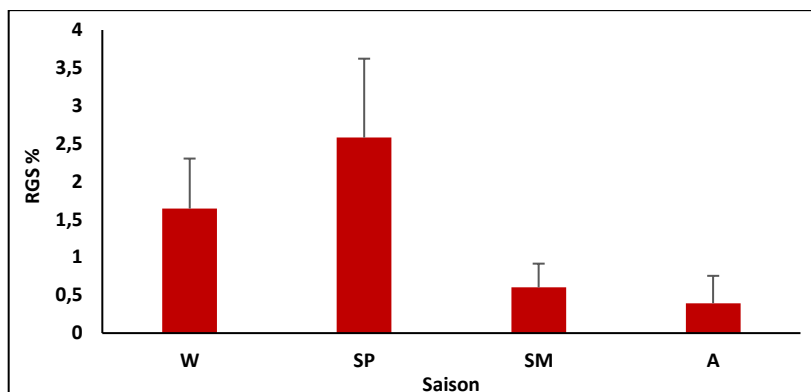


Figure 19. Évolution saisonnière du RGS moyen chez les femelles de *L. callensis* du lac Oubéira.



Le cycle sexuel de *L. callensis* femelle dans le lac Oubéira se présente de la manière suivante :

- Phase 1 : Maturation des gonades qui débute de novembre et s'arrête en mois de mars ;
- Phase 2 : Période de ponte ou phase de reproduction qui commence en mars et finit en juillet ;
- Phase 3 : Repos sexuel ou post ponte qui s'étend de juillet à novembre.

### 3-2.4.2 Rapport hépatosomatique

Les valeurs du RHS évoluent avec similitude chez la femelle et le mâle ; nous notons, en effet, chez les individus des deux sexes, des valeurs basses ( $\leq 1$ ) en décembre et de juin à octobre et la présence de deux pics en février et en mai ; Toutefois, durant cette période, les valeurs du RHS sont légèrement plus élevés chez les mâles car elles sont comprises entre 1.27 et 2.30% alors que chez les femelles elles varient de 1.13 à 1.91% (fig. 20). Par ailleurs, nous notons, qu'après le premier pic la chute du RHS survient en avril chez les femelles et en mars chez les mâles.

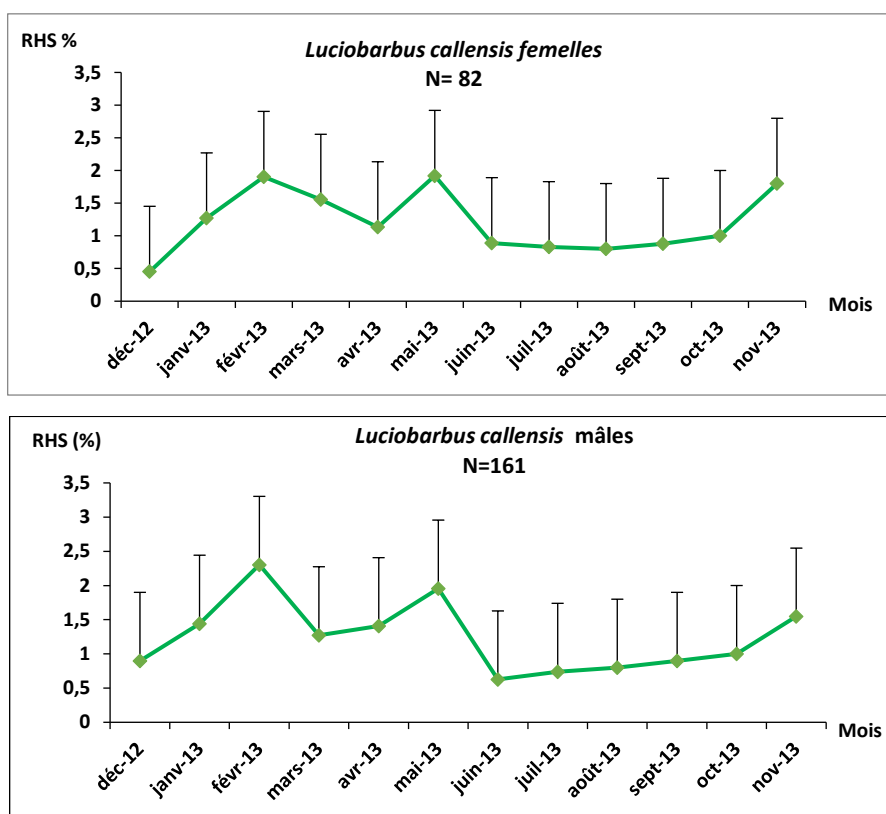


Figure 20. Évolution mensuelle du RHS moyen de la population de *L. callensis* mâle et femelle échantillonnée au niveau du lac Oubéira.

Les valeurs moyennes saisonnières du RHS des individus des deux sexes varient d'une saison à l'autre ; la comparaison des valeurs du RHS des deux sexes montrent qu'elles sont légèrement plus



élevées en période estivale et automnale chez les femelles, mais assez proche et inférieures à celles du mâle respectivement au printemps et en hiver (fig. 21).

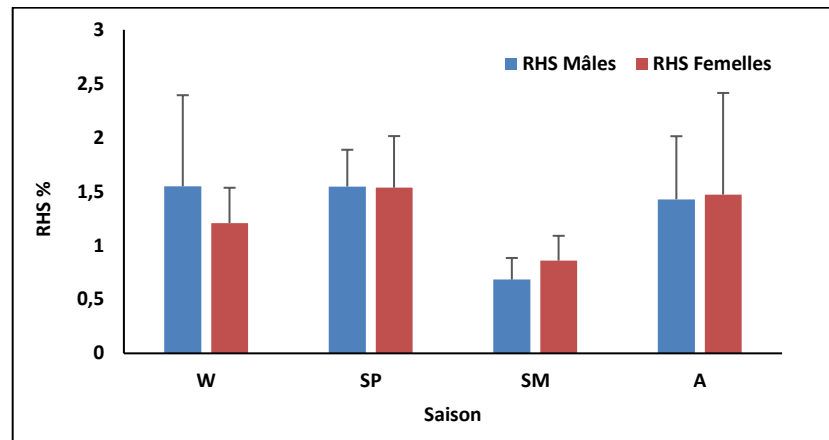
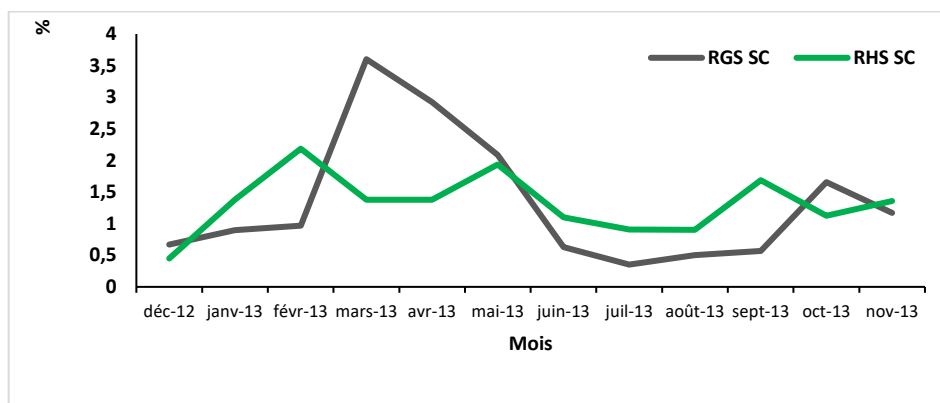


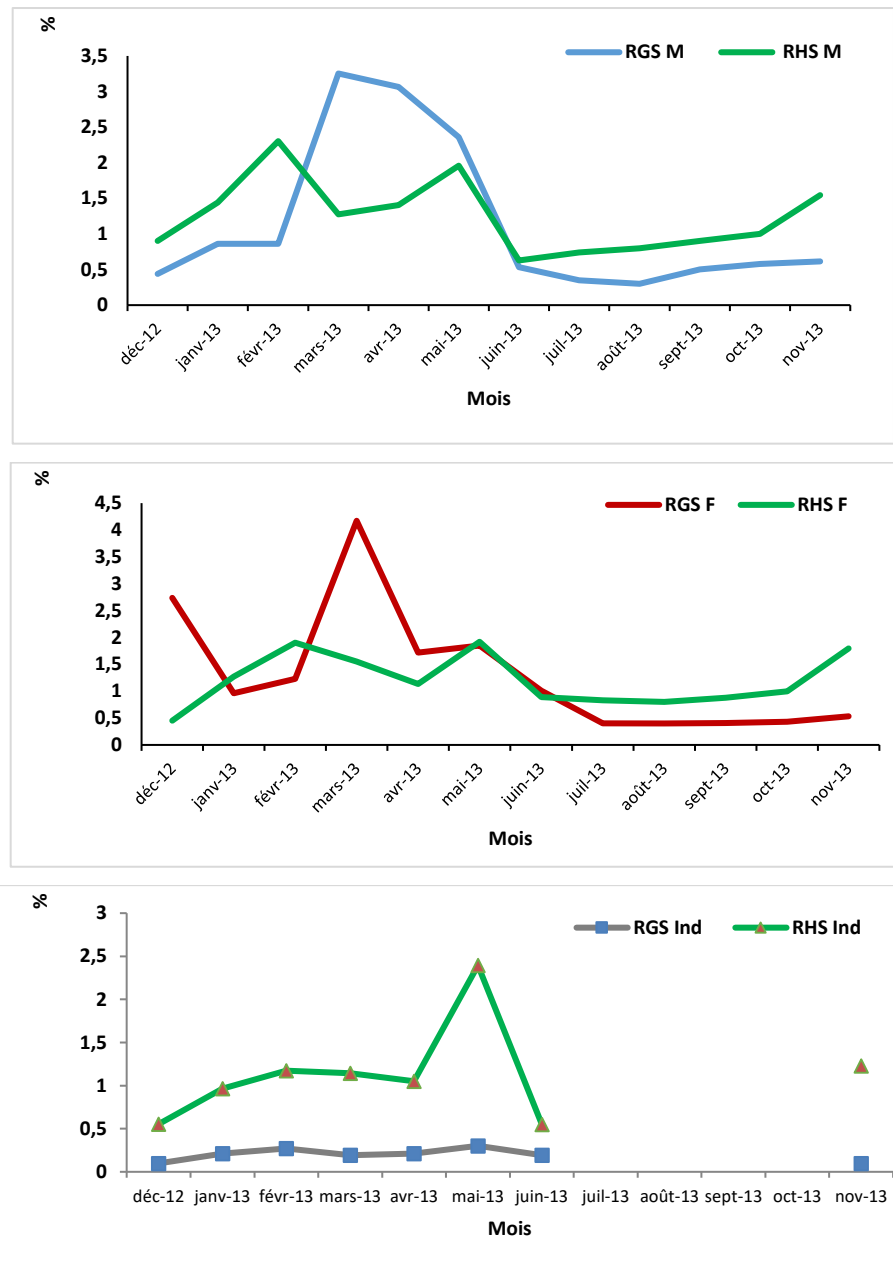
Figure 21. Variation saisonnière du RHS moyen de la fraction de population de *L. callensis* du lac Oubéira.

### 3-2.4.3 Evolution des RGS et RHS

Le suivi mensuel des indices somatiques montre que les valeurs des RGS et RHS moyens varient de manière similaire chez les deux sexes (fig. 23). Nous notons que les pics de février du RHS précèdent toujours les pics de mars du RGS ceci aussi bien chez les mâles que chez les femelles ; Quant au deuxième pic, il survient en mai aussi bien pour le RHS que pour le RGS ; sauf que lorsque le RGS entame sa phase de décroissance, après le premier pic, le RHS entame quant à lui une augmentation qui le mène au pic de mai.

En ce qui concerne les individus immatures, les valeurs du RGS ne dépassent pas 0.3% ; quant à celles du RHS, elles augmentent progressivement de décembre à avril (0.5 à 1.2%) pour ensuite croître subitement et atteindre un pic en mai de l'ordre de 2.39%.



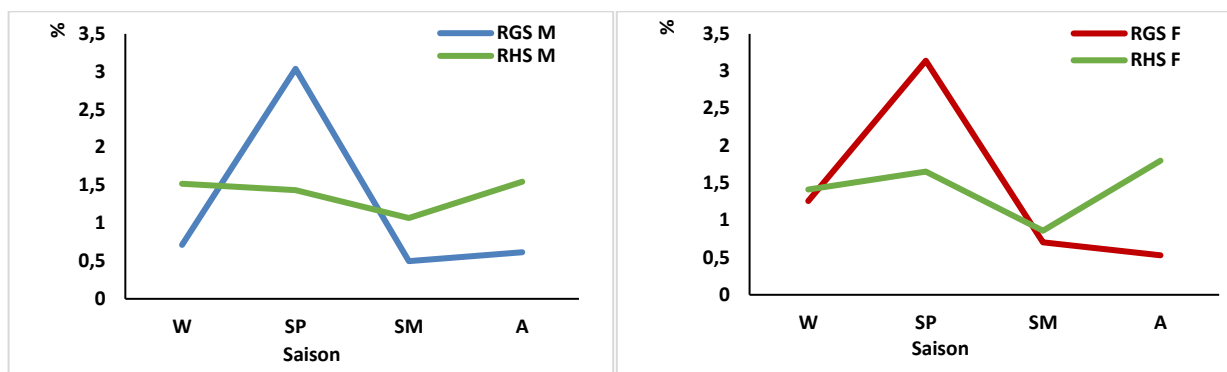


**Figure 22.** Évolution mensuelle des RGS et RHS moyens chez la population du *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira. SC : sexe confondu, M : mâles, F : femelles et Ind : indéterminés.

C'est en période estivale que RHS et RGS affichent les valeurs les plus basses ceci aussi bien chez le mâle que chez la femelle; Chez le mâle, les valeurs du RHS sont assez proches en automne et en hiver (1.54 et 1.52% respectivement) et montrent une légère baisse au printemps (1.43%) suivie de l'atteinte de sa valeur minimale en été (1.06%). En ce qui concerne le RGS, ses valeurs maximale (3%) et minimale (0.49%) sont enregistrées au printemps et en été respectivement ; comme pour le RHS, les valeurs automnale et hivernale du RGS sont assez proches (0.61 et 0.71% respectivement).



Chez les femelles le RHS ne suit pas la même évolution que chez les mâles ; Chez les femelles les valeurs du RHS les plus élevées sont relevées en automne (1.79%) et au printemps (1.65%) et la plus basse en été (0.85%) ; la valeur hivernale est de l'ordre de 1.41%). Les valeurs du RGS des femelles oscillent entre 3.14% au printemps et 0.53% en automne ; les valeurs hivernale et estivale sont de l'ordre de 1.25% et 0.70% respectivement (fig. 24).



**Figure 23.** Évolution saisonnière des valeurs moyennes des RGS et RHS (%) chez *L. callensis* mâles et femelles du lac Oubéira.



## 5-Discussion

### 5-1 Démographie de la fraction de population de *L. callensis* de l'Oubeira

La fraction de population de barbeaux de l'Oubeira est constituée d'individus de taille moyenne de  $22,88 \pm 4,05$  cm. La longueur minimale (12,3 cm) est observée au mois d'avril, alors que le plus long poisson (34,4 cm) est un mâle collecté en mois de mars. Cependant, l'absence des gros individus ainsi que la faible présence des tailles moyennes, sont probablement en faveur d'un diagnostic de surexploitation du lac (pêche intensive). En revanche, les captures des poissons de petite taille (< 15cm) sont dues probablement à l'engin de pêche (les nasses utilisées dans le cadre de cette étude). La bonne accessibilité du lac Oubéira rend celui-ci vulnérable ; En effet, une activité halieutique peut compromettre son rôle important de frayère. D'autre part, bien que le comportement des gros individus géniteurs les pousse à regagner le lit mineur dès le commencement de la baisse des eaux, il semble que leur absence dans les pêches au mois de janvier et février soit aussi due à leur vulnérabilité et à la pêche intensive. Le barbeau cependant, représente ce type de comportement de migration (Philippart, 1977). La variabilité des longueurs totales des poissons est liée essentiellement à la croissance, le comportement et changement des conditions climatiques. Toutefois, les barbeaux femelles sont avantagés par un poids supérieur aux barbeaux mâles pour une même longueur. En effet, en période de ponte la femelle prend du poids indépendamment d'un gain réel de masse musculaire. Par ailleurs, les barbeaux montrent d'importantes fluctuations saisonnières de leur condition ; Ils ont une condition générale comparable entre l'été et l'hiver, et entre le printemps et l'automne ; Au printemps les barbeaux cessent généralement de s'alimenter pendant la reproduction.

Le maximum de capture est réalisé en janvier et en mars 2013. Les individus de tailles 19, 23,25, 27 et 28 cm sont nombreux par rapport aux autres mois de l'année. Cela pourrait être dû en partie, à la technique de pêche, à la mortalité ou à la période de reproduction ainsi que le niveau de l'eau. En effet une baisse sensible de l'eau peut être la conséquence du changement de la zone de ponte (caractéristiques des frayères). Les individus de 15 cm (et moins de 15 cm) sont capturés en juillet ce qui laisse supposer que la survie des jeunes trouvant les conditions idéales pour s'établir commence en été (le recrutement). Par ailleurs, les résultats de travaux consacrés à l'étude biométrique des barbeaux sont comparés avec ceux de *L. callensis* du lac Oubéira (tab.8).



Tableau 8. Longueur totale maximale et classe d'âges observés dans différentes études sur le barbeau *L. callensis* (Valencienne, 1842). M : mâles ; F : femelles ; IND : Indéterminés, Lt : Longueur totale et CA : Classe d'âge.

Localisation	Lt (cm)	CA	Référence et région
Lac Oubéira	M : 34,4 F : 33,5 IND : 29	- - -	Présente étude (Nord-est Algérien)
Oued Sebaou	16,2	3+	Penzaka et Molinski, 1984 (Nord-est Algérien)
Barrage El Hamiz	M : 46	-	Ould Rouis <i>et al.</i> , 2012 (Nord Algérien)
Barrage El K'sob	M : 36 F : 34,2	13+ 12+	Mimeche <i>et al.</i> , 2013 (Nord-est Algérien)
Oued El Harrach	M : 25,3 F : 25,5	6+ 6+	Morsi, 2015 (Nord Algérien)
Lac Oubéira	37,80		Brahmia, 2016 (Nord-est Algérien)
Barrage Ben Haroun			Mouaïssia <i>et al.</i> , 2017
Oued Béja	26	5+	Kraiem <i>et al.</i> , 1986 (Nord Tunisien)
Barrage Sidi Salem	25	4+	Kraiem, 1986 (Nord Tunisien)
Barrage Joumine	30	-	Kraiem, 1996 (Nord Tunisien)
Oued Ghezzala	22,5	5+	Kraiem, 1989 (Nord-ouest Tunisien)
Oued Nabhama	17,5	4+	Kraiem, 1989 (Centre Tunisien)
Oued Sejnane	19,5	5+	Kraiem, 1989 (Nord Tunisien)
Oued Ghezzala	32	-	M'Hadhbi et Boumaïza, 2008 (Nord-ouest Tunisien)
Barrage Allal El Fassi	M : 22,5 F : 26,7	10+ 12+	Bouhbouh, 2002 (Nord Marocain)

La proportion des sexes est une caractéristique de l'espèce dont les variations sont parfois en relation avec le milieu (Kartas et Quignard, 1984) tel que la température, la nourriture, la photopériode....etc. En effet, dans cette étude la population de *Luciobarbus callensis* pêchées dans le lac Oubéira a montré une prédominance des barbeaux mâles en période printanière, ce qui est relativement cohérent avec le résultat trouvé par Brahmia (2016), au niveau du lac prospecté et à la même période d'étude, et par Bouhbouh (2002) dans le réservoir Allal El Fès (Maroc). Or, les mâles présenteraient une grande activité pendant cette saison où plusieurs (3 à 4) d'entre eux courteraient une seule femelle (Poncin, 1988), ce qui nous donne une grande chance probablement de pêcher plutôt des mâles que des femelles. En revanche, dans les barrages Hamiz (Ould Rouis *et al.*, 2012) et Béni Haroun (Tolba, 2018), il est noté une prédominance des barbeaux femelles durant la période printanière. Toutefois, selon la taille (âge) et le poids, des ratios asymétriques peuvent également se produire en raison des différences de mortalité naturelle instantanée entre les sexes. Selon Baras (1992), cette mortalité est



importante chez les femelles et chez les mâles juvéniles (35% et plus) ainsi que les mâles (47%) les plus âgés.

Il est bien connu que la croissance des poissons présente des oscillations saisonnières selon Fulton (1901, 1904). Toutefois, le taux de croissance diminue lorsque le poisson atteint sa maturité (FAO, 1999). La croissance en taille suit le modèle linéaire, rapide chez les jeunes et diminue avec l'âge, en revanche, la croissance pondérale varie en sens inverse c'est-à-dire que les individus prennent du poids en vieillissant.

En ichthyologie, la corrélation entre le poids et la longueur du poisson est d'une grande importance. En pratique, elle permet d'estimer le poids du poisson à partir de sa longueur et d'en déduire par la suite la biomasse de la population, cette relation est de type *puissance*. Le taux d'allométrie *b* exprime la façon dont le poids varie en fonction de la longueur. Sa valeur dépend de l'embonpoint des individus. La croissance des poissons subit l'influence des facteurs abiotiques et biotiques. La comparaison des résultats des paramètres de croissance enregistrés dans le cadre de cette étude, avec ceux d'études réalisées dans diverses régions géographiques ou le genre *Barbus* ou l'espèce *Luciobarbus callensis* est présente, s'avère un peu difficile en raison de différentes approches méthodologiques adoptées. Pour ces raisons, il nous a paru utile de mener une analyse de la relation taille-masse en fonction du sexe et du temps.

Les relations tailles-poids ont été calculés pour l'ensemble de la population (les femelles, les mâles et les indéterminés). Une croissance allométrique majorante a été observée avec des pentes (valeurs *b*) de la relations taille-poids de l'ordre de  $3,19 \pm 0,027$  pour les mâles, de  $3,33 \pm 0,06$  pour les femelles et de  $3,2 \pm 0,055$  pour les indéterminés, avec des valeurs  $r^2$  supérieures à 0,95. Cependant, il n'y a pas de différences significatives dans longueur-poids entre les femelles, les mâles et les indéterminés ( $P > 0,05$ ). Les résultats (tableau) comparés avec ceux du barbeau du Maroc du réservoir Allal El Fès (Bouhbouh, 2002) sont presque similaires à ceux du barbeau *L. callensis* du lac Oubéira. En revanche en Algérie, Mimeche *et al* (2013), dans le réservoir El K'sob, ont trouvé une valeur de  $b = 2,53 \pm 0,11$  et  $r^2 = 0,93$  ; Toutefois, chez *Barbus biscarensis*, l'exposant de la longueur dans l'équation du poids en fonction de la longueur est très proche de 3 ( $b=3,089$ ) et un coefficient de corrélation  $r^2$  de 0,98 (Mimeche *et al.*, 2013).



Tableau 9. Comparaison des paramètres (a et b) de la relation taille/poids de la fraction de population de *Lucioibarbus callensis* du lac Oubéira avec les données de la littérature. SC : Sexe confondu, M : mâle, F : femelle et IND : indéterminé.

Auteurs	Zone d'étude	Sexe	a	b	R <sup>2</sup>	Allométrie
Présente étude (Algérie)	Lac Oubéira	Pop	0.0042	3.308	0.95	Majorante
		M	0.0059	3.197	0.92	Majorante
		F	0.0038	3.336	0.93	Majorante
		SC				Majorante
		IND	0.0042	3.298	0.96	Majorante
Penczak et Molinski(1984) en Algérie	Oued Sebaou	SC		3.207	0,99	Majorante
Chaouachi et Ben Hassine (1998) en Tunisie	Lagune Ichkeul	Pop	0,018	3,095	0,996	Isométrie
		M	0,016	3,133	0,991	Majorante
		F	0,011	3, 271	0,993	Majorante
Mimeche <i>et al.</i> , (2013) en Algérie	Réservoir El K'sob	SC		2,53	0,93	Minorante
Chaibi (2014) en Algérie	Oued Tadmit	M		3.04	0.965	Isométrie
		F		3.03	0.977	Isométrie
	Oued Mellah	M		2.78	0.774	Isométrie
		F		3.01	0.978	Isométrie
	Oued Sebgag	M		2.98	0.966	Isométrie
		F		3.15	0.993	Majorante
	Oued Tadjmout	M		2.79	0.869	Isométrie
		F		3.31	0.966	Majorante
Morsi (2016) en Algérie	Oued El Harrach	Pop	0.0078	3.108	0.972	Majorante
		M	0.0096	3.021	0.965	Isométrie
		F	0.0099	3.033	0.961	Isométrie
		IN	0.0083	3.070	0.950	Isométrie
Brahmia (2016) en Algérie	Lac Oubéira	Pop	0,004	3,219	0,989	Majorante
		M	0,006	3,088	0,952	Isométrie
		F	0,004	3,233	0,994	Majorante
Tolba (2018) en Algérie	Barrage Beni Haroun	M		2,07	0,92	Minorante
		F		1,56	0,71	Minorante
		SC		2,09	0,86	Minorante
Berrouk <i>et al.</i> , (2020) en Algérie	Barrage Beni Haroun	M	0.1683	2.237	0.85	Minorante
		F	0.1104	2.37	0.89	Minorante
		SC	0.115	2.354	0.88	Minorante

Nous avons établi les relations biométriques entre les différentes variables morphométriques, en considérant comme mesures de références la longueur totale (Lt), la longueur standard (Ls) et la longueur à la fourche (Lf). Le coefficient d'allométrie "b" est inférieur à 3, indiquant une croissance relative minorante. La comparaison des valeurs des pentes des droites de régression par le test "t" de



Student révèle une similitude de croissance entre les sexes. Quand, aux coefficients obtenus par Chaouachi et al (1998) et par Kadji (2014) elles indiquent une allométrie légèrement majorante (Tab. 10).

Tableau 10: Croissance relative taille totale/ taille standard et les valeurs des paramètres (a et b) enregistrées dans d'autres travaux chez le barbeau. R<sup>2</sup> : coefficient de corrélation.

	Equation de régression	a	b	R <sup>2</sup>	Allométrie	site	Auteurs
Pop	Log Lt = - 0.368+ 0.863 Log Ls	0.368	0.86	0.970	Minorante	Lac	Présente étude
M	Log Lt = - 0.192+ 0.860 Log Ls	0.192	0.86	0.960	Minorante	Oubéira	
F	Log Lt = 0.485 + 0.829 Log Ls	0.485	0.83	0.980	Minorante		
Ind	Log Lt = - 0.945+ 0.887Log Ls	0.945	0.89	0.978	Minorante		
M	Log Lt = - 0.126 +1,04 Log Ls	0.126	1.04	0,991	Minorante		Chaibi, 2014
F	Log Lt = - 0.140 + 1,05 Log Ls	0.140	1.05	0,994	Minorante		
♂	Log Lt= - 0.246 + 1,015 Log Ls	0.246	1.01		Minorante		
♀	Log Lt= - 0.175+ 0,996 Log Ls	0.175	0.99		Minorante		
♂♀	Log Lt = - + Log Ls						
Pop	Log Lt = - 0,277+ 0,977 Log Ls	0,277	0,97	0,999	Minorante	Lagune Ichkeul	Chaouachi et BenHacie (1998)

Tableau 11: Relations allométriques entre la longueur à la fourche (Lf) et la longueur totale (Lt) et les valeurs des paramètres (a et b) rapportées chez le barbeau. R<sup>2</sup> : coefficient de corrélation.

Sexe	Equation de régression	a	b	R <sup>2</sup>	Allométrie	site	Auteurs
Pop	Log Lt=- 0.312 +0.929 Log Lf	0.312	0.929	0.993	Minorante	Lac Oubéira	Présente étude
♂	Log Lt =- 0.127+0.917 Log Lf	0.127	0.917	0.988	Minorante		
♀	Log Lt = 0.181+ 0.912 Log Lf	0.181	0.912	0.992	Minorante		
Ind	Log Lt = - 0.516+0.931Log Lf	0.516	0.931	0.993	Minorante		
♂	Log Lt=- 0,153+1,013 Log Lf	0,153	1,013		Minorante	Nord-ouest	M'Hadhbi et Boumaiza, (2008)
♀	Log Lf =- 0,118+1,001 Log Lt	0,118	1,001		Minorante	Tunisien	

En conclusion, les critères numériques nous ont permis de caractériser biométriquement l'espèce *L. callensis* au niveau du lac Oubéira ; le barbeau de l'Oubeira montre des valeurs de pente supérieures à la valeur théorique 3 ; cela signifie que la croissance pondérale des barbeaux du lac Oubéira est majorante. Ce plan d'eau semble offrir des conditions trophiques favorables pour cette espèce.

### 5-2 Cycle de reproduction de *L. callensis* de l'Oubeira

La survie de toute espèce dans un environnement saisonnier fluctuant est dépendante de mécanismes qui lui permettent d'ajuster ses fonctions physiologiques aux changements du milieu (Kestemont et Philippart, 1991). Cette étude a été réalisée dans le but de fournir des informations sur les facteurs



physiologiques d'un cyprinidé endémique *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) menacé dans son milieu naturel, le lac Oubéira (Nord est algérien). Pour cela, les phases de maturation des gonades à l'échelle macroscopique ont été décrites chez les deux sexes, le sexe ratio et la taille de première maturité sexuelle ont été établies ainsi qu'un suivi mensuel des rapports gonadosomatique (RGS), hépatosomatique (RHS) et du facteur de condition ont été déterminés pour détecter la période de ponte et vérifier le rôle éventuel des réserves hépatiques dans la maturation des gonades.

Pendant un cycle de reproduction, les gonades des poissons passent par différentes phases de développement, qui marquent les différents stades du cycle de maturation sexuelle. Pour avoir une idée sur l'état de maturité de notre poisson, nous avons effectué un examen macroscopique complet des gonades en attribuant aux individus des stades selon des caractères qui peuvent être différenciés à l'œil nu. Nos résultats montrent que *L. callensis* présente six stades de maturation. Les stades I et VI (juvénile et post émission chez le mâle et ovulation chez la femelle) caractéristiques du sexe indéterminé. Toutefois, le changement macroscopique observé à chacun des six stades de maturité des mâles et des femelles de *Luciobarbus callensis* est similaire à celui noté par Tazerouti (1993) Djoudad-Kdji et al. (2012 et 2013) en Algérie, par Bouhbouh (2002) au Maroc, par Kraïem (1994) en Tunisie ainsi que par Philippart (1977) en Belgique.

Un facteur contribuant à l'efficacité de la reproduction est une maturité précoce. Le pourcentage des individus matures nous a permis de situer la taille de première maturité sexuelle ( $L_{50}$ ) de l'espèce *Luciobarbus callensis* (Valencienne, 1842) dans le lac Oubéira ; dans ce plan d'eau, la taille à la première maturité ( $L_{50}$ ) est de 16,5 cm pour les mâles et de 19,5 cm pour les femelles. Tous les individus sont matures à partir de 25 cm ( $L_{100}$ ). Les barbeaux mâles atteignent la maturité sexuelle plus précocement que les femelles dans l'ensemble des échantillons analysés avec un écart de 3cm qui confirme un dimorphisme sexuel chez le barbeau du lac Oubeira. Diverses études rapportent que le dimorphisme sexuel de croissance est bien marqué chez les barbeaux (Baras, 1992 ; Gennotte et Prignon, 2016). Ces résultats sont relativement proches de ceux mentionnés chez la même espèce par Bouhbouh (2002) au Maroc dans le réservoir Allal El Fassi où les mâles arrivent à maturité sexuelle à partir de 15,4 cm de taille et les femelles à partir de 16,8 cm ; chez *Barbus fritschi* femelle, elle est, en revanche, de 13,3 cm. En Tunisie, les tailles moyennes de première maturité sexuelle des barbeaux du réservoir Sidi Salem et de l'Oued Ghézala correspondent respectivement à 14,1 cm et 12,6 cm pour les mâles et 25,4 cm et 23,5 cm pour les femelles (Kraïem, 1994). Baras (1992) signale que les mâles de *B. barbus* atteignent leur maturité à une taille souvent de 12-13 cm (3 ans) et chez les femelles à 35 cm (8 ans). Par ailleurs, la taille à la première maturité estimée chez le cyprinidé *Labeo parvus* est de 12,9 cm chez les mâles et de 15,5 cm chez les femelles (Montchowui et al., 2007). Quant au barbeau du barrage Hamiz, la taille de première maturité est de 19,6 cm pour les mâles et



27,7 cm pour les femelles (Ould Rouis *et al.*, 2012). Cependant, au niveau de la rivière de Agrioun L<sub>50</sub> a été estimée à 18 cm chez les mâles et à 21 cm chez les femelles (Aberkane *et al.*, 2018). Chaïbi (2014) en revanche, note que la première taille de maturité sexuelle du genre *Barbus* dans l'Oued Mellah est de 5,8 cm chez les mâles et 7,9 cm chez les femelles. Par ailleurs, dans l'Oued El Harrach la maturation sexuelle chez les femelles de *L. callensis* est précoce (Morsi, 2015). Les variations de l'âge ou de la taille de première maturité sexuelle pour une même espèce sont influencées par des facteurs liés à l'alimentation. En fait, les données de terrain ont montré que les tilapias en mauvaise condition physiologique ont une nette tendance à se reproduire à une taille plus petite que ceux qui sont en meilleure condition (Lévêque, 1999)

La plupart des poissons atteignent leur maturité sexuelle quand ils ont la taille caractéristique de l'espèce et cela n'est pas nécessairement en rapport direct avec l'âge. En général cette taille critique est atteinte plus tôt par les mâles que par les femelles (FAO, 1999). Effectivement, l'acquisition de la maturité ne peut se réaliser en même temps pour tous les individus en raison des variabilités individuelles de la croissance et la précocité sexuelle (Kraiem, 1994) qui dépendent de plusieurs facteurs tels que la température, la nourriture et l'habitat. Toutefois, les mâles mûrissent et meurent plutôt et grandissent moins rapidement que les femelles (Al-Hakim *et al.*, 1980). Les mâles atteignent généralement la maturité avant les femelles et restent matures plus longtemps (Paugy et Lévêque, 1999).

Le sex-ratio exprime la proportion numérique des mâles ou des femelles par rapport à la population échantillonnée. Ce facteur peut présenter selon Kartas et Quignard (1984) des fluctuations temporelles et morphologiques (taille ou âge). Dans cette étude, le sex-ratio de la population de barbeaux du lac Oubéira varie selon les mois de l'année. Il est nettement en faveur des mâles (1 : 0,61) au printemps-début d'été, ce qui coïncide avec la période de reproduction ; il est toutefois en faveur des femelles à la fin de l'été et en automne. Les mâles sont prédominants pendant les mois de forte activité de reproduction, alors que les femelles prédominent pendant les mois de repos sexuel. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Bouhbouh (2002) au niveau du réservoir Allal el Fassi (Maroc) qui montre une prédominance de *Luciobarbus callensis* mâles en période printanière, alors que durant le reste de l'année le sexe ratio est inférieur à 1. Dans le lac Oubeira, Brahmia (2016) a signalé une prédominance des mâles de *L. callensis* durant 6 mois et une abondance des femelles le reste de l'année (janvier, février, octobre et novembre). Une prédominance des mâles a été également enregistrée par Aberkane (2010) et Morsi (2016) au niveau de l'oued Agrioun (78,51 % mâles et 21,48 % femelles) et El Harrach (57,2% mâles contre 42,8% femelles) respectivement. Toutefois, d'autres auteurs ont signalé la prédominance des femelles sur plusieurs secteurs géographiques. Tolba (2019) au niveau du barrage Beni Haroun note une prédominance de *L. callensis* femelle en hiver et



au printemps et une prédominance des mâles le reste de l'année (été et automne). Cependant, au cours de l'année le taux des mâles (60,11%) dépasse celui des femelles (39,88%). Ceci laisse supposer, d'une part, que les femelles migrent vers des zones de frai pendant la période de reproduction, propices à la dispersion des œufs et au développement larvaire. D'autre part, la profondeur à laquelle les poissons ont été capturés peut aussi impacter le sex-ratio à travers la sélection de la taille des captures. Cette prédominance est probablement due à la précocité de la maturité sexuelle chez les mâles (Philippart, 1972), au comportement reproducteur de *Luciobarbus callensis* qui se caractérise par un rassemblement des individus des deux sexes sur un secteur commun pour assurer la reproduction où le barbeau adopte une stratégie où plusieurs mâles courtisent une seule femelle. Effectivement, lorsqu'une espèce pond tous ses œufs en une seule fois et les abandonne au fond, où ils se fixent sur les supports immergés, les spermatozoïdes doivent être très nombreux pour augmenter les chances de fécondation. Conséquence, pour cette espèce un sex-ratio élevé (Levéque, 1999). Ceci est dû également au fait que les femelles sont moins actives que les mâles et qu'elles préfèrent se cantonner aux endroits profonds et calmes (Kraiem, 1994). Selon le même auteur, les femelles ne quittent ces abris que lorsque la nourriture devient insuffisante ou en période de fraie. Des ratios asymétriques peuvent également se produire en raison des différences de mortalité naturelle instantanée entre les sexes (Baras 1992). Quant à la proportion importante des individus sexuellement indéterminés elle serait en rapport avec la collecte des individus.

Par ailleurs nous avons observé également que le sex-ratio varie en fonction de la longueur totale des poissons. Il est en faveur des femelles, chez les jeunes dont la taille totale est inférieure à 19 cm et chez les adultes entre 27 cm et 33 cm. Ce rapport penche, cependant, en faveur des jeunes mâles pour des tailles comprises entre 17 cm et 27 cm. Cette fluctuation a été signalée par Ould Rouis *et al.* (2012) au niveau du lac barrage Hamiz (Algérie). La population du barbeau du lac Oubéira semble être relativement équilibrée avec une présence de mâles et de femelles de différentes tailles. Nos résultats corroborent ceux de Kraiem (1994) en Tunisie.

Le cycle de reproduction d'une espèce implique un ensemble de processus physiologiques et comportementaux, en rapport avec divers facteurs de l'environnement (Billard et Breton, 1981 ; Baras et Cherry, 1990 ; Paugy et Levéque, 1999). Il est probable que la chronologie du cycle de reproduction soit en réalité un compromis entre des stimuli de différentes origines. Les facteurs de reproduction les plus structurants sont étroitement liés à la saisonnalité des événements et par conséquent aux variations annuelles de température et de photopériode (Baras et Cherry, 1990). L'activité reproductrice est un phénomène cyclique et saisonnier, dont les manifestations touchent les gonades, le tractus génital, les caractères sexuels secondaires et le comportement reproducteur. Ainsi, le cycle de la gamétogenèse doit démarrer plusieurs mois avant la phase de ponte, quand les conditions ne



sont pas encore favorables à la survie des jeunes (Paugy et Levéque, 1999). La gamétogenèse est le processus physiologique qui est à l'origine du développement des gonades et conduit à la formation de gamètes (ovocytes et spermatozoïdes).

Le RGS est utilisé pour identifier la stratégie reproductive et ainsi pour connaître les périodes d'activité sexuelle de *L. callensis*. L'analyse d'échantillons de gonades prélevées au cours d'un cycle annuel a montré que la population de *Luciobarbus callensis* au niveau du lac Oubéira se reproduit généralement entre mars et juillet.

Deux pics du RGS sont observés durant l'année pour les femelles, le premier en hiver (décembre) et le second au printemps (mars) alors que pour les mâles un seul pic est noté au printemps (mars). Ainsi, les valeurs les plus élevées du RGS au printemps nous ont conduits à supposer que le barbeau se reproduit à cette époque tandis que les valeurs les plus basses (aout, septembre et octobre) ont montré une quiescence sexuelle (post ponte). Le début de la maturation sexuelle a lieu à partir du mois de novembre, ce stade s'étale jusqu'au mois de mars.

Toutefois, chez *L. callensis* femelle la valeur la plus élevée du RGS est notée en mars, précédé par une augmentation en décembre, indiquant que l'accumulation d'une grande quantité de vitellus dans les ovules mûrs a atteint son maximum au cours de ce mois. Ce phénomène a été signalé chez la Plie (*Pleuronectes platessa*) où la courbe du RGS (en %) montre que le poids des gonades augmente à partir d'octobre alors que la fraie n'a lieu qu'en mars (Billard et Breton, 1981). Trois phases bien distinctes sont observées mais il est important de noter que pendant la troisième phase une augmentation légère est notée chez cette espèce endémique qui nous laisse à penser que la majorité des barbeaux pondent entre mars et avril mais un certain nombre d'individus pondent un peu plus tard en mai et juillet ou peut être les gonades commencent à vider leurs contenus en mars et ne terminent en totalité qu'au mois de juillet.

Nous pouvons concevoir qu'en un an *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira passe près de sept mois à investir dans le développement complet de l'ovaire et cinq autres mois à investir dans la reproduction. Or, nous avons affaire à une ponte relativement étalée dans le temps qui s'effectue entre mars et avril ; ceci dit, le barbeau de l'Oubeira appartient au groupe des pondeurs printaniers précoces avec un cycle de développement qui se caractérise par une ponte fractionnée. Les mâles cependant, présentent deux périodes de dissémination au printemps, avec un maximum du RGS moyen de 3,25% observé au mois de mars 2013. Quand la saison de reproduction est plus étalée dans l'année, les individus d'une même espèce n'arrivent pas à maturité au même moment, ou que les œufs soient pondus par lots à intervalles plus ou moins réguliers. Cette stratégie tend à réduire les risques d'une ponte unique qui interviendrait durant une période peu favorable et favorise plutôt les espèces à vie courte (Paugy et Lévêque, 1999).



Nos résultats corroborent ceux trouvés par Kraiem (1997), Bouhbouh (2002) et Djoudad-Kadji *et al.*, (2012) chez le barbeau de Tunisie, du Maroc et d'Algérie respectivement. Ces auteurs, à partir de la distribution annuelle des différents stades de développement folliculaire, ont déduit que l'espèce *L. callensis* se reproduit une fois dans l'année durant la saison printanière avec une seule ponte et que certains individus continuent à présenter des pontes durant le début de la saison estivale. A cela s'ajoute les études de Philippart (1977) et Baras (1992) sur le barbeau *Barbus barbus*, indiquant que la ponte est fractionnée en deux à trois événements de ponte. Le cas contraire est observé chez un poisson à ponte multiple comme le cyprinidé *Gobio gobio* (goujon) où le RGS augmente nettement après l'hiver, mais le pic du RGS décroît progressivement et des pontes se produisent durant plusieurs mois et de façon répétée chez une même femelle (Kestemont, 1987). La durée de la période de frai varie beaucoup entre les différentes espèces, et la plupart des espèces ont une périodicité saisonnière marquée, tandis que d'autres ont des ovaires mûrs à longueur d'année (FAO, 1999).

Les résultats obtenus sur la reproduction de *Luciobarbus callensis* du lac Oubeira consignés dans le tableau 14 sont relativement comparables à ceux des espèces rencontrées dans d'autres régions.

Cependant, chaque espèce ou groupe d'espèces réagit de manière différente aux facteurs de l'environnement qui affectent ses rythmes physiologiques (Paugy et Lévêque, 1999). La durée de la période de ponte est variable selon les espèces et les différences observées reflètent probablement la disparité des habitats (Billard et Breton, 1981 ; Poncin, 1988 ; Poncin, 1993 ; Rinchar *et al.*, 1998) du barbeau (lac, barrage, oued et rivière). En outre, le raccourcissement de la période dans ces régions s'expliquerait par les températures relativement élevées et par la disponibilité alimentaire pour la survie des jeunes (De Vlaming, 1974). Ces populations différentes n'ayant pas les mêmes exigences écophysiologiques. La température minimum de fraie varie selon les espèces : 10°C pour le Gardon 14°C pour la Brème, 17°C pour la Carpe (Billard et Breton, 1981) ce phénomène ayant été mis en évidence pour de nombreuses espèces dans divers milieux

La saison de ponte d'une espèce peut changer si les conditions du milieu changent elles aussi (Paugy et Lévêque, 1999). Dans les zones tempérées la reproduction des poissons est saisonnière et se déroule selon une cyclicité annuelle. Les types de cycles reproducteurs sont extrêmement variés et la gamétogénèse, aussi bien que la fraie peuvent, selon les espèces, se produire à toutes les saisons. Afin que les alevins survivent, ils doivent nécessairement trouver une nourriture lors de leur émergence (Billard et Breton, 1981)

Les poissons ont développé toute une variété de stratégies adaptatives (life-history strategies) en fonction des conditions offertes par les milieux dans lesquels ils vivent tels que les stratégies de reproduction, stratégies d'occupation de l'espace et d'exploitation des ressources. Ces stratégies



impliquent des adaptations morphologiques et physiologiques. Cette diversité des stratégies permet aux populations de réagir et de s'adapter aux changements de l'environnement (Paugy, 1994).

En milieu naturel les poissons, indépendamment de la période à laquelle ils se reproduisent, présentent deux stratégies de reproduction dont la différence peut avoir des conséquences importantes sur le recrutement annuel en alevins (production des jeunes) et donc sur la dynamique des populations. Il existe des poissons qui ne pondent qu'une seule fois (ponte unique) durant la saison de reproduction qui est généralement annuelle dans les régions tempérées et ceux qui pondent à plusieurs reprises (ponte multiple) durant une même saison de reproduction (Kestemont et Philippart, 1991). La reproduction a débuté en mars pour une température moyenne de 18°C, et a cessé fin juillet quand les gonades s'atrophiaient. La fraie, de type "fractionnée asynchrone". Trois maxima de RGS ont été observés (décembre, mars, juin)

Tableau 12. Calendrier des périodes de reproduction chez le barbeau dans différentes régions. (RGS maximum en bleu).

Espèces	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Plan d'eau	Auteurs et localisations
<i>L. callensis</i>													Lac Oubéira	Présente étude (Algérie)
<i>Barbus holotaenia</i>													Bassin de la rivière Luki	Mutambu, 1996 (ZAÏRE)
<i>B. callensis</i>													Oued Ghézala	Kraiem, 1997 (Tunisie)
<i>B. callensis</i>													Retenue Sidi Salem	Kraiem, 1997 (Tunisie)
<i>B. barbuis</i>													Rivière	Bruslé et Quignard, 2001 (France)
<i>Barbus fluviatilis</i>														Labat, 1966
<i>B. callensis</i>													Réservoir Allal El Fassi	Bouhbouh, 2002 (Maroc)
<i>B. fritschi</i>													Réservoir Allal El Fassi	Bouhbouh, 2002 (Maroc)
<i>B. callensis</i>													Oued Agrioun	Aberkane, 2010 (Algérie)
<i>B. callensis</i>													Barrage Hamiz	Ould Rouis <i>et al.</i> , 2012 (Algérie)
<i>L. callensis</i>													Oued Soummam	Djoudad-Kadji <i>et al.</i> , 2013 (Algerie)
<i>L. callensis</i>													Oued el Harrach	Morsi <i>et al.</i> , 2015 (Algérie)
<i>L. callensis</i>													Lac Oubéira	Brahmia, 2016 (Algérie)
<i>B. callensis</i>													Barrage Beni Haroun	Mouaïssia <i>et al.</i> , 2017 (Algérie)
<i>B. setivimensis</i>													Oued el Harrach	Algérie

En effet, c'est certainement dans les différents milieux aussi bien naturels qu'artificiels que la plus grande diversité de stratégies peut être observée (Poncin, 1988 ; Poncin, 1993 ; Rinchar *et al.*, 1998).



Cette observation en parfait accord avec celle obtenue avec le barbeau fluviatile *Barbus barbus* (L. 1758) qui a un développement ovocytaire groupe-synchrone (Kestemont et Philippart, 1991) en milieu naturel mais qui peut passer à une ovogenèse totalement asynchrone en captivité lorsque les femelles sont élevées en milieu artificiel (conditions optimales de température, photopériode et alimentation). Il en résulte un recrutement continu des ovocytes qui entraîne des cycles de pontes répétées pour la même femelle durant une année (Poncin, 1988).

La remarquable plasticité de la reproduction des poissons en fonction des conditions de l'environnement est une illustration des stratégies adaptatives (Paugy et Lévêque, 1999).

Chez les poissons la reproduction est un phénomène cyclique complexe, synchronisé pour beaucoup d'espèces avec les fluctuations saisonnières de l'environnement qui ont un impact sur la physiologie des poissons, dans la mesure où elles stimulent ou inhibent certains stades de la gamétogenèse ou de la ponte. Celles-ci sont contrôlées par des processus endocriniens qui dépendent des facteurs du milieu (Paugy et Lévêque, 1999).

Le succès de la reproduction dépend, pour une grande part, de la mise en œuvre d'un ensemble d'activités comportementales, notamment la synchronisation des pontes avec les changements des facteurs de l'environnement et la synchronisation de l'émission des produits génitaux qui confère aux espèces un avantage adaptatif (Paugy et Lévêque, 1999). En milieu naturel, la rencontre des partenaires est brève et se produit exclusivement sur les aires de reproduction et dépend d'une série de comportements (migration, période d'approche, stratégie d'abandon) qui permettent la synchronisation des mâles et des femelles, ainsi que le choix des partenaires et du moment de la rencontre (Gougnard *et al.*, 1987). En outre, Kestemont et Philippart (1991) suggèrent que les poissons concentrant leur effort de reproduction sur une seule ponte sont soumis aux aléas de l'environnement. Effectivement, l'étude des stratégies d'occupation spatiotemporelle réalisée par Baras et Cherry en 1990 sur le barbeau en Belgique (barbeau fluviatile), met en évidence une double synchronisation des géniteurs par une compartimentalisation suivant la saison, la taille et l'activité du poisson (Baras, 1992b). Cependant, la précision des mécanismes thermiques déclenchant le frai a été présentée comme un avantage majeur des stratégies de reproduction chez *Barbus barbus* dans un environnement non modifié, puisqu'il permet une synchronisation des géniteurs à un moment de l'année où les conditions environnementales, notamment l'alimentation sont favorables pour maximiser la survie de la progéniture et le recrutement subséquent du stock (Baras, 1992a). Toutefois, la synchronisation des deux sexes a été mise en évidence dans notre étude via le suivi de l'évolution temporelle des rapports gonadosomatique chez *L. callensis* mâle et femelle au niveau du plan d'eau prospecté.



Cette synchronisation entre le cycle reproducteur et les changements prévisibles des facteurs de l'environnement (biotique et abiotique) est un processus adaptatif : au cours de leur évolution, les poissons ont adapté leur cycle sexuel de manière à se reproduire durant les périodes les plus favorables à la survie des œufs (Paugy et Léveque, 1999)

Le développement ovarien s'accompagne d'un maximum de dépense énergétique (Encina et Granado-Lorencio, 1997). De ce fait, d'autres organes que les gonades subissent des variations pondérales au cours du cycle, notamment le foie qui est impliqué dans la vitellogénèse et aussi l'hypophyse (Billard et Breton, 1981). Effectivement, la reproduction chez les poissons est un phénomène physiologique qui nécessite la mobilisation d'une grande quantité d'énergie. Cette dernière est, suivant les cas, prélevée du muscle ou bien du foie. Ces deux tissus ne réagissent pas de la même façon et l'importance de ces sites de stockage varie selon les espèces. Chez les salmonidés c'est principalement dans le tissu adipeux péri-viscéral et, dans une moindre mesure, dans le muscle que s'accumulent les lipides, alors que chez les espèces marines, les lipides généralement sont stockés plutôt dans le foie, le cas extrême étant la morue (Sheridan, 1988; Corraze et Kaushik, 1999). De même que chez la femelle, la croissance des gonades se fait au dépend de la croissance somatique et ce phénomène n'est pas observé chez le mâle (Escot et Granado-Lorencio, 1997).

C'est grâce au calcul du rapport hépatosomatique (RHS) et du coefficient de condition (K) que nous pourrions savoir dans quel type d'organe les réserves énergétiques (lipides) sont stockées. D'après nos résultats, chez *L. callensis* du lac Oubéira les pics atteints par le RHS précèdent ceux du RGS suggérant ainsi que le lieu de stockage d'énergie chez les deux sexes est le foie. Ainsi, une différence d'embonpoint se marque spécialement en période de reproduction. Elle se manifeste à l'avantage des femelles dont le poids est plus élevé que celui des mâles de même longueur. L'évolution mensuelle des RGS et RHS corrobore les informations recueillies par Baras (1992) en milieu naturel et par Bouhbouh (2002) en milieu artificiel. Chaïbi (2014) a signalé une augmentation du poids des gonades des barbeaux au printemps, qui coïncide avec une variation non significative du poids du foie (bien qu'elle soit très faible par rapport à celle du RGS). Outre, le suivi mensuel du coefficient de condition  $k$  montre, chez les deux sexes, des variations de faible amplitude et les variations saisonnières de l'embonpoint sont presque identiques pour l'ensemble de la population. Les valeurs élevées sont enregistrées pendant la période de maturation des gonades (décembre à mars) chez les deux sexes. Alors que les valeurs faibles s'observent pendant la période de reproduction (avril à juillet). Toutefois, il présente une sensible évolution en fonction de la taille ce qui montre une homogénéité dans la croissance des différents individus (potentialités de croissance identiques).

Chez la plupart des espèces de poissons des régions tempérées, la ponte est unique (maturation synchrone) et la reproduction n'a lieu que durant une courte période qui sera déterminée par des



facteurs environnementaux dont les principaux sont la température et la photopériode (Legendre et Jalabert, 1988 ; Baras, 1992 ; Gennotte et Prignon, 2016). Effectivement, l'augmentation printanière de la température de l'eau associée à l'accroissement de la photopériode sont les principales variations de l'environnement qui détermine les périodes de pontes des espèces se reproduisant entre les mois de janvier et juillet (Billard, 1982; Baras et Cherry, 1990)

L'étude éco-physiologique comparative entre la température de l'eau et les indices somatiques (rapports gonadosomatique et hépatosomatique) et la condition permet de déterminer avec précision la période de ponte (Stequert, 1976 ; Bruslé et Quignard, 2001). La température de l'eau joue une double action, elle est capable de moduler et réguler tous les processus physiologiques et endocrinologiques impliqués dans la gamétogenèse (Taranger *et al.*, 2010). Chaque espèce de poisson répond à une température assez précise qui détermine le début de frai, qui est souvent précédé de migrations plus ou moins importantes vers les zones de pontes ; c'est le cas du barbeau qui se déplace sur quelques kilomètres (Philippart, 1977; Baras, 1994). Elle interagit également avec le signal photopériodique pour synchroniser les étapes finales du développement gonadique et intervient plus spécifiquement à la fin du cycle de reproduction pour le déclenchement des pontes (Pankhurst et Porter, 2003). Les variations photopériodiques sont également responsables de la synchronisation des phases successives d'un cycle de reproduction chez la majorité des poissons des milieux tempérés et ont été clairement démontrée chez les cyprinidés et les salmonidés (Davies et Bromage 1991; Bromage *et al.* 2001; Taranger *et al.* 2010 ; Migaud *et al.* 2010). Cependant, la température reste le facteur le plus important dans le déterminisme de la période de ponte chez les Cyprinidés (Billard et Breton, 1981; Baras, 1994 ; Roger *et al.*, 1999).

Au niveau du lac Oubéira les femelles de *L. callensis* ont frayé à une température comprise entre 16,8 et 18,4°C. Cette observation est conforme avec celle faite par Ould Rouis *et al.* (2012) chez *Luciobarbus callensis* vivant dans le lac barrage Hamiz (Algérie). En revanche, la température optimale pour la reproduction chez le barbeau du Maroc se situe entre 21 et 23°C (Bouhbouh, 2002), au-dessous de 20°C en Tunisie (Kraiem, 1997) et entre 14 et 16°C en Belgique (Labat, 1966 ; Philippart, 1982) ; Chez le barbeau commun (*Barbus fluviatilis* L.) la reproduction a lieu vers le mois d'avril, lorsque les eaux atteignent 14 à 15°C. Chez le barbeau *Barbus barbatus* la ponte est fractionnée en deux à trois événements de ponte dont le premier débute lorsque la température atteint 13,5°C - 14°C (Philippart, 1977 ; Baras, 1992). Ce seuil thermique est indispensable car la mortalité des œufs est totale à une température inférieure à 13°C (Poncin, 1996), et il est important, également, pour le développement de plancton, première source alimentaire pour les alevins (Billard, 1979).

En période de ponte le poisson prend du poids indépendamment d'un gain réel de masse musculaire. Ceci dit, la maturation des ovocytes et des spermatozoïdes s'accompagne d'une augmentation du



volume des gonades, induisant les variations des valeurs du rapport gonadosomatique (RGS). Effectivement, chez les femelles de *L. callensis* du lac Oubéira la valeur du RGS la plus élevée a été obtenue au stade mature, tandis que les valeurs du RGS les plus faibles ont été obtenues dans les stades indéterminés (immatures et au repos sexuel). Toutefois, en comparant le RGS moyen des mâles et femelles, nous avons constaté que ce facteur reste élevé chez ces dernières en raison du poids des gonades. En effet, les valeurs des RGS moyen chez les femelles, notamment durant le mois de mars, sont de 4,17% alors qu'elles ne sont que de 3,25 % pour les mâles. Ces chiffres se rapprochent de ceux obtenus par Bouhbouh (2002) pour *Barbus callensis* du Maroc où les valeurs de RGS sont de 5,75% chez la femelle et 4,44% chez le mâle. Ce même auteur signale que les plus gros poissons ont développé des ovaires proportionnellement plus gros pendant la gamétogenèse. Cette supériorité du RGS des femelles par rapport aux mâles est aussi signalée par Mutambue (1996) chez *Barbus holotaenia* et par Aberkane *et al.*, (2018). Ces derniers auteurs en revanche, ont notés que durant les mois d'avril et mai les valeurs des RGS chez les femelles restent aux alentours de 22 % alors qu'elles ne sont que de 15 % pour les mâles. Cela peut être attribué aux conditions environnementales de chaque région d'étude ainsi que le poids des gonades. En zone tempérée, les testicules pèsent toujours moins lourd que les ovaires. Théoriquement, la taille (poids) des testicules est liée au mode de fertilisation adopté par les espèces. Ainsi, en cas de fécondation interne, la quantité de sperme nécessaire est moindre qu'en cas de dissémination (fécondation externe) dans le milieu sans réelle rencontre des géniteurs. Le RGS des femelles matures varie beaucoup d'une espèce à l'autre et il peut atteindre 20 à 30 % avant la ponte chez certaines espèces alors que pour d'autres, il n'est que de quelques pourcents. Chez les espèces africaines, le RGS des mâles matures ne dépasse qu'exceptionnellement 2%. Nous ignorons les raisons de cette différence dans l'investissement gonadique. Chose certaine, l'allocation d'énergie attribuée à la constitution des produits génitaux paraît moins importante pour les mâles que pour les femelles (Paugy et Lévêque, 1999).

Pour savoir si le poids des testicules et des ovaires est le reflet de divers stades de maturation quel que soit la taille (âge) ou bien c'est le reflet de phénomène d'allométrie (Bouhbouh, 2002), les valeurs moyennes du RGS des spécimens mâles et femelles ont été tracées en fonction de la longueur totale des poissons. Il ressort que le poids des ovaires de *L. callensis* augmentait avec l'augmentation de la longueur. Des résultats similaires ont été observés chez *L. callensis* d'oued El Harrach en Algérie (Morsi, 2015) et le cyprinidé *Puntius conchoni* en Turquie (Çek *et al.*, 2001). En revanche, chez les barbeaux mâles du lac Oubéira les valeurs des RGS chutait avec l'augmentation de la taille. C'est le cas du barbeau du Maroc (Bouhbouh, 2002) et celui de Belgique (Philippart, 1977).

Ce facteur donne une indication de la quantité d'énergie disponible à l'individu (Chellappa *et al.*, 1995 ; Lefebvre *et al.*, 2004). La taille du foie toutefois, dépend de l'espèce de poisson et peut varier



avec le cycle de vie, l'alimentation et la saison (FAO, 1999). D'après nos résultats, le rapport hépatosomatique chez les femelles présente trois pics (février, mai et novembre). En février ce rapport chute jusqu'au mois d'avril, après il reprend sa croissance pour atteindre son deuxième pic en mai (1,95%). Ce rapport chute encore une fois en mois de juillet (0,82%) puis il augmente progressivement pour atteindre son maximum au mois de novembre (1,79%) ; ce qui correspond à une période d'accumulation des réserves au niveau du foie. La variation du rapport hépatosomatique à partir du mois de novembre jusqu'à mars, témoigne d'une utilisation probable des réserves hépatiques en vue de la maturation des produits sexuels. Le foie vidé de ses réserves, atteint son poids minimum à la fin de la ponte. De même, chez les mâles, le rapport hépatosomatique est caractérisé par trois pics, excepté le mois de février, le rapport chute jusqu'au mois de mars et augmente par la suite progressivement pour atteindre son deuxième pic en mai (1,95%). Cette évolution des RGS et RHS a été également observée par Bouhbouh (2002) et Aberkane *et al.* (2018) ; elle indiquerait une mobilisation des réserves hépatiques au cours de la gamétogenèse. En effet, la diminution du RHS se traduit par le transfert des réserves du foie aux gonades pour être utilisées au cours de la gamétogenèse provoquant ainsi une perte des réserves de protéines et de lipides du poisson au moment où le poisson se nourrit peu ou pas du tout (FAO, 1999).

En conclusion, *Luciobarbus callensis* de l'Oubeira présente 5 stades de maturité sexuelle. Les mâles deviennent matures sexuellement plus tôt que les femelles dans l'ensemble des échantillons analysés ; Chez *L. callensis* les mâles arrivent à maturité sexuelle à partir d'une taille de 16,4 cm, alors que chez les femelles, elle se situe à une taille plus grande de l'ordre de 19,4 cm et cela dépend de la vitesse de croissance. Les mâles dominant largement pendant la période de reproduction, étalée entre mars et juillet, les femelles en revanche, deviennent dominantes durant la phase de repos sexuel observée en automne. Toutefois, l'espèce *L. callensis* dans le lac Oubéira se reproduit une fois par an. Sa reproduction est étalée dans le temps (printemps et début d'été) avec un pic de ponte maximale observé en mois de mars. La valeur maximale du RGS et minimales du RHS ont été enregistrées en période de ponte. La condition physiologique et l'embonpoint du poisson ont été évalués mensuellement à partir du rapport hépatosomatique et du facteur de condition. Ce dernier varie en fonction des mois et des sexes. Le  $k$  globale des femelles est plus élevé que celui des mâles et des individus indéterminés.

**Partie II : Statut sanitaire du barbeau *L.*  
*callensis* de l'Oubeira**



## Introduction

L'intégrité biotique d'un écosystème est souvent reflétée par l'état de santé des organismes qui y résident. Les communautés de poissons représentent d'une part un héritage de l'évolution particulièrement menacé par les activités humaines et d'autre part un ensemble de ressources biologiques et socio-économiques non négligeables qui devraient être surveillées et protégées (Karr *et al.*, 1986 ; Lévêque et Paugy, 2006). Les poissons témoignent ainsi de la qualité de leur milieu par l'incorporation et l'addition d'effets combinés de tous les changements que subit leur habitat. Avec l'intérêt croissant du développement de la pisciculture l'importance de la maladie est comme l'un des facteurs les plus préjudiciables à la pisciculture. Alors que l'importance des pathologies de poissons sauvage est loin d'être adéquate et très limité notamment en Afrique. Toutefois, La physiologie du poisson est conditionnée d'une part, par le milieu aquatique et d'autre part, par sa constitution d'animal incapable de régler sa propre température (poïkilotherme) ; Ces deux facteurs dominent la pathologie qu'elle soit d'origine infectieuse, traumatique ou nutritionnelle. En effet, l'accroissement de la demande du marché pour les poissons destinés à la consommation, ainsi que le développement de la mise en valeur des rivières, lacs et étangs en vue de leur repeuplement pour la pêche de loisirs ont naturellement favorisé l'épanouissement d'une pathologie certainement préexistante, mais demeurée latente (De Kinkelin *et al.*, 1985).

Dans le domaine de la pathologie, les études consacrées à l'ichtyofaune dulcicole s'intéressaient beaucoup plus aux parasites essentiellement ceux de l'anguille européenne (Boudjadi *et al.*, 2007; Djebbari *et al.* 2008; Tahri *et al.*, 2016, 2017, 2023) ; les données sur le barbeau sont éparses (Meddour *et al.*, 1999 ; Arab, ; Brahmia, 2016). Toutefois, les résultats des investigations, sur la parasitofaune des poissons des eaux douces dans le Nord-Est algérien, montrent que la situation pathologique doit être sérieusement prise en considération de même que la sauvegarde des espèces autochtones menacées d'extinction notamment *Luciobarbus callensis* (Meddour et Bouderra, 2001) ; Selon ces auteurs les principales causes sont d'ordre anthropique (surexploitation, dégradation et perte de son habitat, et pollutions organiques et minérales. Mais d'autres facteurs peuvent également affecter les barbeaux comme la contamination par les agents pathogènes (bactérie, virus et parasites) ou bien les agressions physiques (pollutions thermiques) ; Tous ces troubles engendrent un état de stress chez l'animal.

Les informations dont nous disposons à ce jour, ne nous renseignent pas ou peu sur l'état de santé de cette espèce ; Il ne nous était pas possible de développer un chapitre traitant des réponses physiologiques du barbeau de l'Oubeira aux contraintes environnementales sans aborder l'état de



santé de ce poisson dans son milieu naturel.

L'étude, dont il est question ici, a pour objectifs de fournir des informations sur l'état de santé de la population de barbeaux qui vit dans le lac Oubéira, tout en faisant par la suite des liens entre les différents indicateurs ou facteurs physiologiques chez *L. callensis* et la présence d'agresseurs biologiques (parasites).

Dans un même ordre que les objectifs spécifiques, il sera donc nécessaire de dresser un premier bilan de l'état de santé de la population de barbeau du lac Oubéira, et ce à travers i) L'utilisation des Codes "Pathologie" ; un outil de surveillance de l'état de santé des populations de poissons sauvages, pouvant apporter des informations de premier niveau sur la qualité de leurs habitats.

Selon Marcoglièse (2005), les invasions parasitaires sont reconnues comme l'un des principaux facteurs responsables de la diminution des populations de poissons du fait que les parasites induisent un stress qui réduit probablement la forme physique de l'hôte et sa physiologie de la reproduction. Ce même auteur rapporte qu'un dysfonctionnement des écosystèmes peut se produire et s'illustrer par l'altération de la stabilité du réseau trophique, la force des interactions et le flux d'énergie dans les écosystèmes aquatiques (Marcoglièse, 2002 et 2004).

Plus rares sont les études sur les cyprinidés en général et plus encore sur le barbeau *Luciobarbus callensis*. Ce qui nous a incité à aborder l'étude de la parasitofaune de *Luciobarbus callensis* et d'évaluer son impact sur l'état physiologique de ce cyprinidé peuplant le lac Oubéira ; afin de définir des biomarqueurs utilisables in situ. Par la suite, l'orientation que nous avons voulu donner à ce travail nous a amené à étudier la part relative des effets biologiques des parasites ; ces derniers pouvant être assimilés à des indicateurs physiologique et biochimique.

C'est donc dans ce contexte que nous avons cherché à déterminer l'influence de l'infestation parasitaire sur les marqueurs physiologiques du barbeau algérien (*Luciobarbus callensis*).

Compte tenu de leur importance en tant qu'outils indicatifs pour la santé des écosystèmes (Allan et al., 2020), les parasites sont encore rarement considérés comme des facteurs de stress biotiques chez les poissons d'eau douce. Ils peuvent exercer plusieurs effets sur l'hôte, tels qu'une modification toxique, antigénique, voire une modification du comportement et/ou une altération de la physiologie des organismes. Dans la littérature, les changements de comportement de l'hôte suite à une infestation parasitaire sont fréquemment rapportés et sont souvent supposés être adaptatifs à l'hôte ou au parasite et entraînent rarement la mortalité directe des organismes (Shamsi et al., 2021).



Le système immunitaire des poissons est assez similaire à celui des vertébrés supérieurs. Sa fonction principale est de maintenir l'homéostasie et de protéger l'organisme contre les parasites ou autres facteurs de stress afin de minimiser les coûts de santé associés à l'infection (Rohlenová et al., 2011). Les parasites affectent l'homéostasie physiologique de leurs hôtes (Sûre et al., 2017), en affaiblissant les défenses immunitaires et nutritionnelles (Kiron, 2012), provoquant ainsi des dommages au niveau cellulaire et modulant les réponses des biomarqueurs dans les organismes (Marcogliese et Giamberini, 2013). Cette stratégie de survie adoptée par le parasite impose une taxe énergétique qui peut interférer avec les demandes coûteuses de la réponse immunitaire qui entraîne une stratégie de réduction des dépenses énergétiques de l'hôte pour compenser le coût métabolique de l'infestation (Allan et al., 2020).

Chez les espèces de poissons, le stress oxydatif est principalement étudié dans la contamination de l'environnement par des polluants (Yang et al., 2020). Cependant, les parasites provoquent également un stress oxydatif et un niveau plus élevé de dommages aux membranes des organes des poissons (Belló et al., 2000). Comprendre les mécanismes de défense des poissons contre les infections parasitaires conduisant à des altérations physiologiques (Dautremepuits et al., 2003) a incité les biologistes à élaborer et développer un large éventail d'indices morphologiques, physiologiques et biochimiques pour mesurer l'état général des sous-populations et des populations de poissons (Brown et Murphy, 2004). Les indices de condition sont souvent utilisés dans les pêcheries pour démontrer les effets d'un facteur de stress sur un organisme et sont particulièrement applicables lors de l'étude des effets intégrés sur la santé.

Le facteur de condition de Fulton (FC) et les indices organosomatiques (IHS, ISS, IVS) sont, selon Ryberg et al., (2020) influencés par les facteurs environnementaux et la intensité de l'infection ; Les paramètres tels que le FC et l'OI donnent des indications sur l'état nutritionnel du poisson (Aminisarteshnizi, 2021), métabolisme énergétique, absorption des nutriments, reconnaissance des agents pathogènes, régulation du microbiome intestinal (Martin et al., 2016), mécanismes de défense, saveurs et qualités nutritionnelles des filets de poisson (Rasmussen et al., 2000).

Le stress oxydatif et la neurotoxicité sont des indicateurs importants de l'état physiologique du parasite et/ou du comportement du poisson (Mehrdana et Buchmann, 2017). Les poissons ont développé des mécanismes de défense antioxydants enzymatiques et non enzymatiques similaires à ceux des mammifères pour neutraliser l'impact des espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Di Giulio et Meyer, 2008). De plus, l'acétylcholinestérase (AChE) est utilisée pour évaluer les effets neurotoxiques des organophosphates et des carbamates, des insecticides, perturbant ainsi la transmission de l'influx nerveux (Adams, 2001). En conséquence, ces perturbations peuvent affecter la locomotion et l'équilibre des organismes exposés (Breteau et al., 2000).



Ces dernières années, selon nos observations sur le terrain, cette espèce indigène a été menacée par un parasite métazoaire (Nématode, Anisakidae). Dans le lac Oubéira, les travaux avaient principalement porté sur l'anguille, parasites du barbillon algérien, et sur l'écologie des parasites de la carpe commune (Brahmia et al., 2016). Cependant, on sait peu de choses sur la physiologie des poissons et leurs réponses adaptatives au stress oxydatif ; Nous avons émis l'hypothèse que les poissons pourraient développer une résistance et/ou des réponses adaptatives pour contrecarrer et éviter les effets nocifs des parasites grâce à une acclimatation physiologique et biochimique.

Ce chapitre traite de la possible neurotoxicité et les changements induits par le stress oxydatif provoqués par les larves (L3) du genre *Anisakis* (Nématode, Anisakidae). A cet effet, plusieurs réponses physiologiques (K, IHS, ISS, IVS) et biochimiques (CAT, H2O2, AChE) ont été évaluées chez le poisson d'eau douce *L. callensis* du lac Oubéira.

À cet égard, la surveillance de l'effet des infections parasitaires sur les profils de marqueurs physiologiques et biochimiques peut être un moyen crucial d'évaluer la santé des poissons dans des conditions naturelles ; assurer la conservation et la durabilité de la biodiversité aquatique, y compris la pisciculture.

Cette deuxième partie de la thèse vise les objectifs suivants:

- i) Dresser d'abord un bilan de l'état de santé de la population de barbeau du lac Oubéira, à travers l'utilisation des Codes "Pathologie" ; un outil de surveillance de l'état de santé des populations de poissons sauvages et la qualité de leurs habitats.
- ii) Déterminer l'influence de l'infestation parasitaire sur les marqueurs physiologiques du barbeau *Luciobarbus callensis*.
- iii) Déterminer la possible neurotoxicité et les changements induits par le stress oxydatif provoqués par les larves (L3) du genre *Anisakis* (Nématode, Anisakidae).



## 2-Matériel et méthodes

Les spécimens examinés ont été attribués au groupe approprié (parasité et non parasité), afin de déterminer l'impact du parasitisme sur les marqueurs physiologiques.

La survie de toute espèce dans un environnement saisonnier fluctuant est dépendante de mécanismes qui lui permettent d'ajuster ses fonctions physiologiques aux changements du milieu (Kestemont et Philippart, 1991).

### 2-1. Traitement des barbeaux capturés

Pour étudier l'impact du parasitisme sur les facteurs physiologiques du barbeau *L. callensis*, différents indices brutes directes et indirectes (Sexe ratio, Relation taille/poids, Indice de condition de Fulton K et les indices somatique) ont été déterminés et comparés entre les spécimens parasités et non parasités (voir matériel et méthodes de la première partie de la thèse). Les parasites présentant un taux d'infestation important ont été considérés afin d'analyser s'il y a un effet cumulatif ou un impact global sur les hôtes.

L'examen des *viscères* a été réalisé également après dissection des spécimens à la recherche des malformations au niveau des organes.

#### ✚ Collecte et fixation des parasites

- *La surface externe* de chaque poisson a été rincée avec de l'eau distillée ou l'eau de robinet et le *mucus* a été récupéré après grattage du poisson. L'eau de rinçage a été examinée au microscope binoculaire pour la recherche d'éventuels ectoparasites (fig.).

- *Les branchies*, après les avoir retirées, ont été conservées dans des sacs en plastique étiquetée, puis congelées toute une nuit pour permettre aux ectoparasites de se détacher facilement. En effet, la congélation des branchies pendant 12 h ou plus, agit comme un excellent relâchant des parasites (Mizelle, 1938). Après décongélation les branchies en question ont été rincées à l'eau de robinet dans une boîte de Pétri. Chaque arc branchial ainsi que l'eau de rinçage ont été examinés sous loupe binoculaire à la recherche des ectoparasites. Les arcs branchiaux à examiner ont été mis dans une éprouvette de 100 ml remplis aux deux tiers d'eau et une agitation énergique suffit à séparer les parasites des filaments branchiaux. L'eau de rinçage et les arcs branchiaux sont ensuite transférés dans une boîte de pétri remplie d'eau, chaque fois diluée jusqu'à ce qu'il soit suffisamment clair pour faciliter l'observation sous loupe binoculaire, puis l'identification par stéréomicroscope (Charles et Géry, 1968). Une fois collectés à l'aide d'un pinceau pointu fin, les ectoparasites ont été comptés et



fixés dans l'éthanol à 70% dans des piluliers étiquetés (date, localisation et lieu de récolte) pour une identification ultérieure.

#### ✚ Montage et identification des parasites collectés

L'étude anatomo-morphologique des ectoparasites est basée sur des différentes mensurations réalisées sur le parasite qui permettra de déterminer le genre et même l'espèce. Les mensurations utilisées sont celles proposées par Gussev (1962) et modifiées par Pariselle et Euzet (1995).

Les branchies richement vascularisées sont le siège de divers ectoparasites Protozoaires (Kyste de Myxobolus, Ichthyophthirius, Trichodina), Helminthes Monogènes (Gyrodactylus et Dactylogyrus) ainsi que des Crustacés (Argulus, Ergasilus, Lernea.) et des Glochidies de Mollusques Bivalves (Meddour, 2001). Seuls les parasites de la classe des Monogènes ont fait l'objet d'un montage définitif. L'identification des spécimens récoltés est réalisée en se basant sur les clés d'identifications établies pour chaque taxon, jusqu'au niveau taxonomique le plus bas possible : Yamaguti (1963); Euzet et Oliver (1966 ; 1967) ; Radujkovic *et al.* (1989) pour l'identification des Monogènes ; Monod (1926) pour l'identification des crustacés.

## 2-2. Indices épidémiologiques

Les paramètres d'infestation standard suggérée par **Bush et al. (1997)** ont été utilisés pour quantifier la population de parasites et la densité d'infestation parasitaire dans la population hôte.

#### ✚ La prévalence (taux d'infestation)

C'est le nombre d'hôtes infectés par un ou plusieurs individus d'une espèce particulière de parasite (ou d'un groupe taxonomique) divisé par le nombre d'hôtes examinés multiplié par cent. La prévalence est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Prévalence (P\%)} = \text{Nombre de barbeau infesté} / \text{nombre de barbeau examiné} \times 100$$

- Le parasite est considéré comme dominant si  $P > 50\%$  (Valtonen *et al.*, 1997) ;
- Le parasite est considéré comme commun si  $10\% > P > 50\%$  (Valtonen *et al.*, 1997);
- Le parasite est considéré comme accidentel ou rare si  $P < 10\%$  (Valtonen *et al.*, 1997).

#### ✚ L'intensité moyenne (degré d'infestation)

Elle a été calculée comme étant le nombre total d'une espèce de parasites rencontrées dans un échantillon divisé par le nombre d'hôtes infestés par cette espèce.

$$\text{Intensité moyenne (IM)} = \text{le nombre total de parasite} / \text{le nombre de barbeau parasité}$$

#### ✚ L'abondance

Elle a été calculée comme le nombre total d'individus d'un parasite dans un échantillon d'une



espèce hôte divisé par le nombre total d’hôtes de cette espèce examinés (hôtes infestés et non infestés).

A = le nombre total d’individu d’un parasite/ le nombre total de barbeau examiné

### 2-3. Anomalies et “Codes pathologie”

Toutes les anomalies atteignant l’anatomie des différentes parties du corps et organes des poissons, de même que leur emplacement sur le corps, ont été enregistrées. À ce titre, nous avons utilisé un outil d’observation et de description « Codes pathologie » qui apparaît comme un instrument d’aide à la décision, notamment pour d’éventuelles études épidémiologiques complémentaires qui permettront par la suite d’orienter le diagnostic vers des investigations plus approfondies (Elie et Girard, 2014) en utilisant des manuels ou guides d’identification des lésions, blessures et parasites (Stewart et Bernier, 1999 ; Girard et Elie, 2007 ; Gouvernement du Québec, 2016).

**Tableau 1.** Grille de désignation des codes pour les types d’altérations et leur localisation (d’après Elie et Girard, 2014).

Altérations morpho- anatomiques	Code	Lésions anatomiques	Code
Absence d’organe	AA	Tout le corps	C
Bulle de gaz	GG	Tête	T
Déformations, difformité et malformation	AD	Ligne latérale	L
Erosion	ER	Mâchoire	M
Nécrose	NE	Bouche	G
Hypersécrétion de mucus	HM	Barbillon	J
Hypertrophie et hyperplasie		Narine	N
Lésions Hémorragiques	HE	Œil	Y
Plaies et lésions anciennes (cicatrice)	PL	Branchie (sauf pour l’anguille)	O
Ulcères (hémorragiques) et ulcération	UH	Dos (face pigmenté ou zénithale)	D
Tumeurs, kyste, nodule et autre grosseurs	TG	Opercule (fente branchiale chez l’anguille)	
Maigreur	AM	Colonne vertébrale	V
Etat pathologique multiformes	ZO	Flanc	F
Altération de la couleur	AC	Ecailles	R
Opacité	OP	Orifice urogénital (anus)	U
Coloration terne ou pale, dépigmentation	CT	Abdomen (face aveugle ou nadirale)	A
Coloration sombre (mélanose)	CS	Nageoire dorsale	H
Parasitisme	PA	Nageoire pectorale	P



Points blancs	PB	Nageoire pelvienne	R
Point noirs	PN	Nageoire anale	D
Crustacés	PC	Nageoire caudale	Q
Champignon	PM	Nageoire adipeuse (Salmonidés)	
Lamproies	pp	Pédoncule caudal	K

Les pathologies détectées ont été notées suivant les codes pathologie établi par Girard et Elie (2014). Ces codes comprennent 3 lettres, désignant le type d'altération et sa localisation sur le corps du poisson, suivies d'un chiffre se rapportant à sa sévérité (Tableau 2). Cette méthode est facile à pratiquer car elle ne nécessite pas beaucoup de moyens et donne des résultats rapides et intéressants. Des erreurs d'identification de lésions ont pu être faites, notamment le cas des lésions similaires telles que les lésions anciennes ou bien certains types d'érosions. Il existe deux types de lésion selon leur intérêt écopathologique (majeur et mineur).

**Tableau 2.** Grille de désignation de la sévérité des altérations (d'après Elie et Girard, 2014).

Nombre de lésion (N) et /ou abondance parasitaire (Ab)	Code	Taux de recouvrement corporel (S <sup>2</sup> %)	Code
N = 0 et /ou Ab = Absence	0	S <sup>2</sup> = 0 %	0
N < 3 et /ou Ab = Faible	1	S <sup>2</sup> < 5 %	1
N = 4-6 et /ou Ab = Modérée	2	S <sup>2</sup> = 5-10 %	2
N = 7-10 et /ou Ab = Forte	3	S <sup>2</sup> = 10-20 %	3
N > 10 et /ou Ab = Très forte	4	S <sup>2</sup> > 20 %	4

## 2-4. Indices d'évaluation de l'état de santé des barbeaux

### ✚ Prévalence des individus présentant des altérations

La prévalence se définit comme étant le pourcentage des poissons prélevés affectés par un ou des types de lésions ou par une ou des espèces de parasites. Les lésions et les ectoparasites observables chez les poissons et le calcul de leur prévalence constituent la première étape de l'évaluation de l'état de santé des poissons et de la santé des écosystèmes (la qualité de l'eau et de l'habitat) dans lesquels ils vivent (Lainé *et al.*, 2018). Deux prévalences ont été calculées et ces deux valeurs de prévalences nous informent à la fois sur l'état de santé des peuplements ou des populations de poissons qui peuplent les milieux mais aussi sur la qualité de l'eau et des habitats dans lesquels ils vivent.

### ✚ Prévalence globale



La prévalence globale des individus présentant des lésions externes et/ou des parasites ; La prévalence globale se définit comme étant le pourcentage des individus affectés par un type de lésions et/ou de parasites par rapport à l'ensemble des individus échantillonnés:

$$\text{Prévalence globale (en \%)} = (\text{Nombre de poissons atteints de lésions et/ou parasites} / \text{Effectif total de poissons examinés}) \times 100$$

Les valeurs de prévalence globale supérieures à 5 % mettent en évidence un état de santé général préoccupant du peuplement ou des populations présentes. Ceci traduit aussi des problèmes de qualité de l'eau et de l'habitat (Tableau 3). Lorsque la prévalence des poissons qui présentent des anomalies est égale ou supérieure à 20%, la qualité de l'eau et de l'habitat est alors considérée comme médiocre à mauvaise.

**Tableau 3.** Correspondance entre la prévalence globale (P%) et les classes de qualité de l'eau établies par les agences de l'eau (d'après Elie et Girard, 2014).

Prévalence globale	[0-1% [	[1-5% [	[5-20% [	[20-35% [	[>35-100%]
Importance	Non significatif	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Qualité de l'eau et de l'habitat	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

### Prévalence des lésions DELT

La prévalence des anomalies de type DELT (Déformation, Érosion, Lésion, Tumeur) est la variable la plus importante pour évaluer la santé des communautés piscicoles et l'état du milieu où elles évoluent. Ce sont les seuls types d'anomalies qui doivent être utilisés pour calculer un indice d'intégrité biotique (Gouvernement du Québec, 2016). Cependant, le pourcentage de poissons touchés par ces anomalies est inférieur à 2 % dans un milieu non contaminé par des substances toxiques et au-dessus de 5 % dans un milieu fortement contaminé (Karr, 1991)

Pour le calcul de cette prévalence, nous ne considérons que les lésions externes suivantes : Déformations, Erosions, Lésions (hémorragiques, nécrotiques, ulcératives, état multiforme) et Tumeurs (DELT). Ces lésions ont un intérêt écopathologique majeur dans la détermination de la condition de santé des populations de poissons (Karr *et al.*, 1986). Le calcul de la prévalence des poissons présentant des lésions de type DELT est le suivant :

$$\text{Prévalence des lésions de types DELT (en \%)} = (\text{Nombre de poissons présentant des lésions de type DELT} / \text{Effectif total de poissons examinés}) \times 100$$

La santé des poissons est bonne lorsque son taux de lésions « DELT » est inférieur à 2%, elle est détériorée entre 2% et 5% et elle devient précaire au-dessus de 5% (Tableau 4). Cette information



vient compléter la prévalence globale en diagnostiquant de façon plus précise l'état de santé du peuplement ou des populations de poissons.

**Tableau 4.** Relation entre la prévalence des lésions de type DELT et l'état de santé (condition) des populations de poissons (d'après Karr *et al.*, 1986).

Prévalence DELT	[0 – 2% [	[2 – 5% [	[5 - 100%]
Etat de santé	Bon	Détérioré	Précaire

### 2-5. Indices pathologiques

Pour chaque type d'altération un indice pathologie ( $I_p$ ) a été calculé. Cet indice est constitué par le produit des prévalences et de la sévérité des altérations (Tableau) et s'exprime par la formule :

$$I_p = P * Q$$

Où :

P = nombre poissons présentant des altérations / nombre total de poissons échantillonnés ;

Q = sévérité lésionnelle attribuée

Pour la population étudiée un indice global est calculé en additionnant les  $I_p$  relatifs à chaque altération observée. Ainsi il s'exprime par la formule :

$$I_{pg} = \sum I_p$$

Toutefois, certaines altérations comme les déformations, les tumeurs, les érosions et les nécroses, les ulcérations, les lésions hémorragiques et congestives (DELT) sont plus importantes que les autres car elles sont généralement annonciatrices d'une contamination sévère du milieu ou d'un processus pathologique aigu pouvant avoir des répercussions importantes sur chaque individu et donc sur la population ou la fraction de population étudiée. Ce type d'anomalies présente de ce fait un intérêt éco-pathologique majeur. Dans ce cas, l'indice pathologique global est majoré d'un facteur 2 pour tenir compte de cette importance.

L'interprétation des résultats se fait sur deux niveaux (Tableau 5) :

- L'évaluation de l'état de santé des barbeaux est déterminé à partir de la correspondance avec les indices de prévalences globaux ( $I_{pg}$ ) pour la population ;

- La qualité du milieu est évaluée en se référant aux indices de prévalence globale majorés ( $I_{pgm}$ ).

**Tableau 5.** Grille d'interprétation de l'état de santé des poissons (d'après Elie et Girard, 2014).  $I_{pg}$  : indices de prévalences globaux.

$I_{pg}$	0 – 0,04	0,05 - 0,2	0,21 - 0,8	0,81 - 1,4	1,41- 4
Etat de santé	Excellent	Bon	Précaire	Dégradé	Mauvais



## 2-6. Paramètres biochimiques mesurés

### 2-6.1 Traitement des barbeaux capturés

Des barbeaux adultes de l'espèce *Luciobarbus callensis* des deux sexes ont été capturés dans le lac Oubeira en février 2017 par des pêcheurs professionnels à l'aide des nasses et immédiatement transportés au laboratoire dans une glacière. Les barbeaux ont été anesthésiés et pesés (masse corporelle totale, W en g) et mesurés (longueur totale, L, en cm) avant d'être disséqués. Le muscle, l'intestin, le cœur, le foie et la rate de chaque échantillon ont été prélevés et pesés. Les différents tissus ont été utilisés pour l'estimation des paramètres morphophysiologiques (longueur, poids, foie, rate et intestin) et l'analyse biochimique (foie, rate, intestin, cœur et muscle).

### 2-6.2 Recherche et identification des parasites

Les organes externes ont été examinés à la recherche d'ectoparasites métazoaires et les organes internes à la recherche d'endoparasites métazoaires. Les nématodes collectés ont été lavés à plusieurs reprises dans une solution saline et conservés dans de l'éthanol à 70 %. Les parasites trouvés dans la cavité abdominale, les muscles et l'intestin ont été identifiés morphologiquement au niveau du genre par stéréomicroscope à l'aide du guide de référence (Khalil et Polling, 1997). Les parasites collectés ont été identifiés comme des nématodes de l'espèce *Anisakis sp.* A partir de cet échantillon de barbeaux *L. callensis* capturés dans le lac Oubéira, 19 individus sexuellement mature d'une longueur totale moyenne (L) et d'une masse totale moyenne (W) de  $27,84 \pm 0,89$  cm et  $308,55 \pm 28,48$  g respectivement ont été séparés en deux groupes. Le premier groupe était composé de huit poissons sains et non infectés par le parasite servant de témoin. Le deuxième groupe contenait onze poissons infectés. Le foie, le cœur, la rate, les intestins et une partie des muscles ont été pesés pour déterminer les indices de l'état de santé des poissons.

### 2-6.3 Paramètres physiologiques calculés

La santé globale des poissons a été évaluée au moyen d'indices directs et indirects. Dans cette étude, les quatre variables suivantes ont été évaluées :

✚ Le facteur de condition (CF) ou facteur de condition de Fulton est largement utilisé dans les études de pêche et de biologie générale des poissons comme indicateur de l'état de santé général des spécimens. L'indice de Fulton des poissons a été déterminé individuellement en utilisant la longueur totale individuelle (centimètres) et le poids total (grammes) selon la formule  $CF = (W/L^3) 100$ .



✚ Le IHS permet d'estimer l'état énergétique du foie et le processus de détoxification des agents pathogènes. Indice hépatosomatique (IHS) : les foies de poissons ont été prélevés, pesés et l'IHS a été calculé individuellement à l'aide de la formule suivante :  $IHS = (\text{poids du foie}/W) 100$ .

✚ L'indice viscérosomatique (IVS) a été évalué individuellement en utilisant le poids individuel de l'intestin (grammes) et le poids total (W) qui peuvent être exprimés par  $IVS = (\text{poids des viscères}/W) 100$ . L'IVS a été utilisé pour évaluer l'état nutritionnel des poissons au moment de l'échantillonnage.

✚ L'indice splénosomatique (ISS) a été déterminé individuellement en utilisant le poids total de la rate individuelle (grammes) et le poids total, défini comme  $ISS = (\text{poids de la rate}/W) 100$ . L'ISS est utilisé comme indicateur de l'immunocompétence

#### 2-6.4 Marqueurs biochimiques

Les activités enzymatiques (CAT et AChE) et les niveaux de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ont été évalués dans le cœur, le foie, le muscle, l'intestin et la rate. Ces derniers sont homogénéisés dans un tampon PBS pH 7,4, centrifugés pendant 30 min à 9000 g (4°C) et leur surnageant est récupéré pour le dosage.

✚ **Activité catalase:** La catalase (CAT), parmi les trois grandes classes d'enzymes antioxydantes, est une enzyme antioxydante ubiquitaire qui intervient dans la détoxification du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en oxygène moléculaire et en deux molécules d'eau. L'activité de la CAT a été évaluée selon la méthode d'Aebi (1984). Elle consiste en une mesure spectrophotométrique de la dégradation de 10 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 240 nm. L'activité CAT est exprimée en nmol/min/mg de protéine.

✚ **Peroxyde d'hydrogène:** Le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été déterminé enzymatiquement selon Kakinuma et al. 1979, à l'aide d'un kit commercial de Biomaghreb. En bref, en présence de peroxydase, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> réagit avec la 4-amino-antipyrine et le phénol pour donner une quinone-imine colorée en rouge qui est absorbée à 505 nm et les résultats sont exprimés en mmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mg de protéine.

✚ **Activité de l'acétylcholinestérase:** L'activité de l'acétylcholinestérase (AChE ; EC 3.1.1.7) a été déterminée selon la méthode d'Ellman et al. (1961) en utilisant de l'acétylthiocholine (ATCI). Le mélange réactionnel (3,0 ml) dans un tampon phosphate 0,1 M (pH 7,4) contenait 25 ml d'homogénat de tissu à 10 % (p/v), 0,33 mM de DTNB et 0,5 mM d'ATCI à 37 °C ; la réaction a été déclenchée par l'addition du substrat et la variation de l'absorbance toutes les 30 s pendant 5 min a été suivie à 412 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. L'activité de l'AChE a été mesurée à 412 nm et exprimée en nmol/min/mg de protéine.



**+** **Estimation des protéines:** Les protéines ont été estimées par la méthode de Bradford (1976) en utilisant l'albumine sérique bovine (BSA) comme protéine standard. Diverses aliquotes ont été créées jusqu'à 100  $\mu\text{L}$  avec de l'eau distillée, à laquelle 900  $\mu\text{L}$  de réactif de Bradford ont été ajoutés et la couleur développée a été lue à 595nm.



### 3-1 'Code pathologie' et état de santé de *L. callensis* de l'Oubeira

#### 3-1.1 Proportions des individus atteints de lésions

Au total, 365 barbeaux ont été examinés ; les individus présentant des lésions représentent presque le tiers de la population (32.3%) ; plus de 67% d'individus sont considérés comme sains (ne présentant pas une altération). Par ailleurs, ce sont les individus de sexe indéterminé qui montrent le plus fort pourcentage de spécimens atteints de lésions (85% des individus du lot) ; les individus de sexes mâles et femelles présentant des lésions représentent 28 et 23.5% respectivement (fig.1).

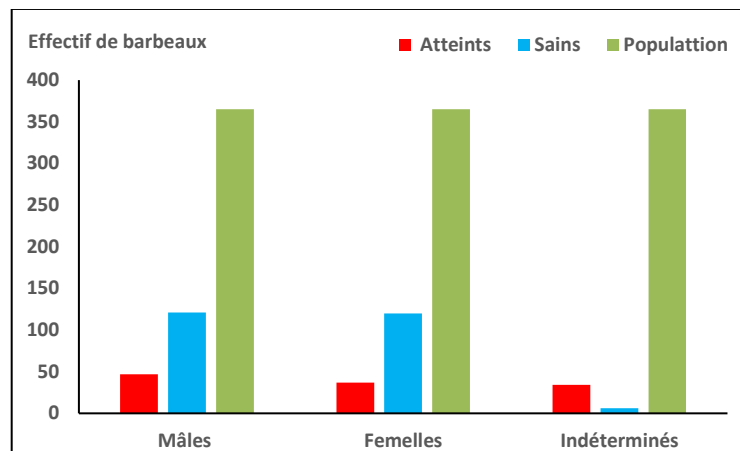


Figure 1. Effectifs des barbeaux sains et présentant une altération (lac Oubéira)

#### 3-1.2 Types de pathologie

Les pathologies inventoriées étaient soit de nature parasitaire ou lésionnelle ; nous notons, en effet, que plus de 33% des pathologies ont pour origine des ectoparasites contre 18% de lésions diverses et de malformations (fig.2).

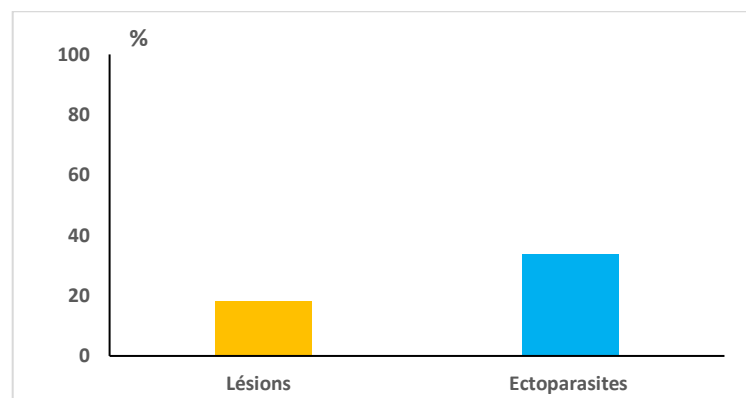


Figure 2. Proportions des pathologies recensées chez le barbeau du lac Oubéira.



### 3-1.3 Pathologies recensées

L’examen macroscopique de 365 spécimens a révélé la présence, selon leur localisation anatomique, différents types d’altérations. Au total 16 pathologies lésionnelles et parasitaires ont été relevées chez *Luciobarbus callensis*.

Les lésions désignent l’altération d’un organe. Elles se présentent souvent sous forme d’ulcérations cutanées, de dermatites, d’hématome et d’hémorragie (Richard *et al.*, 2016). Dans la fraction de population étudiée, nous signalons différents types de lésions notés à différentes localisations du corps du poisson.



✚ **Altération de la couleur (AC)** : Modification partielle ou totale du patron normal de la pigmentation (coloration anormale, décoloration ou coloration terne) pour une espèce ou un stade donnée (Girard et Elie, 2007). Le changement de la pigmentation a été observé chez des barbeaux avec longueur totale moyenne de 23,75 cm et un poids total moyen de 145,76 g. La pigmentation est répartie d’une façon irrégulière sur la tête et la face dorsale du corps (fig.3).



**Figure 3:** Individus présentant différents types d’anomalies pigmentaires au niveau de la tête (fraction de population de *L. callensis* du lac Oubeira)




✚ **Hémorragies** : Effusion ou extravasation de sang hors des vaisseaux sanguins, consécutive à un traumatisme ou à une lésion de ceux-ci, induit par diverses causes (Girard et Elie, 2007). Plusieurs types d’hémorragies ont été observés en fonction des parties atteintes du corps du poisson. 4 types d’hémorragies ont été enregistrés (fig.4).



<p><b>Hémorragie de l’anus</b></p> <p>Anus rouge ou saillant (US) présente une zone inflammatoire ou hémorragique anale ou péri anale, avec extériorisation partielle ou totale de l’anus appelé aussi un prolapsus (Girard et Elie, 2007). Cette anomalie est rencontrée chez un individu pêché dans le lac Oubeira dont la longueur totale est de l’ordre de 34,4 cm et un poids total de 450,4 g</p>	
<p><b>Hémorragie des nageoires</b></p> <p>Sur l’ensemble des spécimens analysés l’hémorragie a touché les nageoires anales, pelviennes et caudales.</p>	
<p><b>Hémorragie du Corps (HC)</b></p> <p>Elle est illustrée par une extravasation de sang au niveau du corps (Richard <i>et al.</i>, 2016). Cette pathologie est localisée sur la face ventrale du corps de <i>Luciobarbus callensis</i> pêché dans le lac ayant une longueur totale de 21,47 cm et un poids total moyen de 171,84 g.</p>	
<p><b>Hémorragie de la bouche (HB)</b></p> <p>Ce type d’hémorragie a été observé en janvier chez deux barbeaux mâles de longueur totale moyenne de 21,45± 2,7 cm et un poids total moyen de 101,38 ±49,41 g.</p>	
<p><b>Figure 4:</b> Différents types d’hémorragies rencontrés chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira</p>	




✚ **Érosions** : Lésion de la peau ou des muqueuses caractérisée par la destruction généralement lente et progressive des tissus superficiels ou profonds ; s’il y a destruction de la couche basale des épithéliums de revêtement, suite à une lésion pathologique ou traumatique avec un risque éventuel de surinfection (Girard et Elie, 2007). Nous avons observé 2 types d’érosions (fig.5).




<p><b>Érosion ou Nécrose des nageoires (EN)</b></p> <p>L’érosion des nageoires est probablement l’anomalie la plus fréquente chez les poissons qui vivent en eaux polluées (Richard <i>et al.</i>, 2016).la nageoire apparait déchirée en lambeaux et ne subsiste que sous la forme d’un moignon de couleur blanchâtre. Plusieurs types d’érosion des nageoires ont été relevés chez 36 individus de taille moyenne de 22,12 ± 3,87 cm et un poids total de 111,140 ± 57,60 g. Nous comptons 4 dorsales et 32 caudales</p>	
<p><b>Érosion ou nécrose du corps (EC)</b></p> <p>Elle se distingue par une perte de tissus au niveau de la peau. Les barbeaux infectés ayant une taille totale moyenne de 20,85± 1,90 cm et un poids total moyen de 94,265 ± 39,35 (fig.).</p>	
<p><b>Lésion ou plaie cicatrisée (PC)</b></p> <p>Cette lésion a été enregistrée chez un spécimen Certaines blessures observées chez les poissons, leur origine peut être des déchirures ou perforations causées par les oiseaux piscivores, les lignes de décoloration ou de coupures qui entourent le corps des poissons qui se sont échappés de filet maillants (Stewart et Bernier, 1999). Lésion de maillage ayant entraîné écrasement tissulaire et arrachement des écailles et de l’épiderme.</p> <p>La formation des cicatrices peut être causée par les champignons du genre <i>Ichthyophonus hoferi</i> (Schàperclaus, 1962).</p>	
<p><b>Figure 5:</b> Diverses atteintes par érosions ou nécroses tissulaires (corps et nageoires) chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira</p>	

**✚ Déformations et malformation :** Anomalie morphologique d’un organe ou d’une partie du corps se manifestant par des modifications de la forme, des proportions ou de l’aspect par rapport à la normale et qui peuvent être acquises au cours de la vie du poisson (déformation) ou congénitales ou d’origine génétique (malformation). Trois types de déformations ont été enregistrés (fig.6).



<p><b>Déformation de la bouche (DB)</b></p> <p>Elle a été observée chez 3 individus avec une Lt moyenne de <math>19,63 \pm 3,60</math> cm et un poids moyen de <math>78,55 \pm 45,32</math>g. Ces barbeaux récoltés au mois de janvier présentent une déchirure et une compression de la mandibule.</p>	
<p><b>Déformation des nageoires (DN)</b></p> <p>Cette anomalie est la plus fréquente, et touche essentiellement les nageoires caudales. Cette anomalie a été relevée chez des barbeaux avec une taille totale de 28 cm et une masse totale de 225,08 g.</p>	
<p><b>Déformation du pédoncule (DP)</b></p> <p>Déformation de la colonne vertébrale de <i>Luciobarbus callensis</i> du lac Oubeira Cette pathologie appelée Lordose est observée chez un individu ayant une longueur et un poids.</p>	
<p><b>Figure 6:</b> Différents types de déformations chez <i>L. callensis</i> de l’Oubeira</p>	

### Tumeur

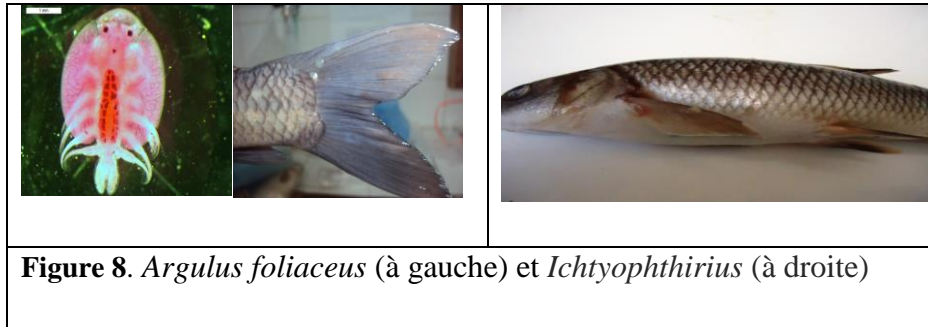
<p><b>Tumeur</b></p> <p>Cette tumeur située au niveau du pédoncule et près de la nageoire caudale a été observée chez un barbeau de taille de l’ordre de 28 cm et d’un poids de 225 g.</p>	
<p><b>Figure 7.</b> Tumeur au niveau du pédoncule de <i>L. callensis</i> du lac Oubeira</p>	

### Ectoparasites

- *Myxobolus* sp. Protozoaire de la Classe : Myxosporidia ; de la Famille : Myxobolidae ;
- *Argulus foliaceus* de la Classe Maxillopoda ; sous-classe des Branchiures ; Les poux de poissons sont des parasites métazoaires qui s'accrochent au corps et entraînent un gonflement de la peau (Fig. 8). Le pou se décroche et peut pondre plus de 200 œufs.



- *Ichtyophthirius* : protozoaire qui infeste la peau, les nageoires et les branchies ; l’ichtyophthiriose s’apparente à des taches blanchâtres (des cellules mortes se développant autour du parasite) disséminées sur la peau, sur les nageoires et les flancs (Fig 8). Ces kystes qui se forment autour du protozoaire, finissent par tomber au fond de l’eau pour donner naissance à des spores qui vont contaminer d’autres poissons. Les sujets contaminés se grattent et perdent l’appétit.



**Figure 8.** *Argulus foliaceus* (à gauche) et *Ichtyophthirius* (à droite)

### 3-1.4 Fréquence et sévérité des altérations

Il ressort du tableau 6 que la présence de crustacés parasites est très fréquente chez les barbeaux du lac Oubeira ; ces parasites sont présents chez plus de 25% des individus recensés présentant une altération ; Nous notons, par ailleurs, que les lésions érosives et les nécroses localisées au niveau des nageoires caudales sont fréquemment observées chez les barbeaux ; elles représentent à elles seules presque 10% des lésions observées chez les poissons.

**Tableau 6.** Fréquence (%) des différentes anomalies inventoriées chez le barbeau du lac Oubéira.

Les pathologies	Code	Nombre de poissons atteints	Fréquence %
Nécrose ou Erosion	NE	36	9,86
Lésions hémorragiques	HE	8	2,19
Ulcère	UH	4	1,09
Point blanc	PB	8	2,19
Crustacés	PC	94	25, 75
Déformation	D	3	0,82
Tumeur	T	1	0,27
Inconnu (Non déterminée)	INC	5	1,37
Pathologie multiformes	PA	8	2,19
Total	9	159	40,38



### 3-1.4.1 Prévalence globale des altérations et qualité de l’habitat

La correspondance entre la prévalence globale des altérations de l’intégrité du poisson et les classes de qualité de l’eau et de l’habitat a fait apparaître (tab.7):

- Qu’avec une prévalence globale des lésions de l’ordre de 18% ; cette valeur qui ne dépasse pas 20% ( $5 < P < 20\%$ ) serait de moyenne importance et correspondrait à une qualité de l’eau et de l’habitat moyenne ;
- Qu’avec une prévalence globale des ectoparasites proche de 34%, l’atteinte serait de forte importance ( $20 < P \leq 35\%$ ) et aurait donc pour origine une qualité de l’eau et de l’habitat médiocre;
- Qu’avec une prévalence globale des lésions et des ectoparasites proches de 52%, l’atteinte des poissons serait de très forte importance ( $P > 35\%$ ) et serait la conséquence d’une mauvaise qualité de l’eau et de l’habitat.

**Tableau 7.** Prévalences globale (P) des pathologies recensées chez le barbeau de l’Oubeira

Prévalence globale	[0-1% [	[1-5% [	[5-20% [	[20-35% [	[>35-100%]
Importance	Non significatif	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Qualité de l’eau et de l’habitat	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

### 3-1.4.2 La prévalence des lésions DELT

Les anomalies de type DELT (Déformation, Érosion, Lésion, Tumeur) permettent d’évaluer la santé des communautés piscicoles et l’état du milieu où elles évoluent ; Ce sont les seuls types d’anomalies utilisés pour calculer un indice d’intégrité biotique.

La prévalence des lésions de type DELT recensés chez les barbeaux de l’Oubeira dépasse 16% ; pareille valeur des lésions d’intérêt écopathologique majeur indiquerait que l’état de santé de ces poissons est précaire (tab.8).

**Tableau 8.** La prévalence des lésions de type DELT et l’état de santé des poissons

Prévalence DELT	[0 – 2% [	[2 – 5% [	[5 - 100%]
Etat de santé	Bon	Détérioré	Précaire

### 3-1.4.3 Indices pathologiques

L’évaluation de l’état de santé des barbeaux de l’Oubeira est déterminée à partir de la correspondance avec les indices de prévalences globaux (I<sub>pg</sub>) ; La valeur de l’indice pathologique global lésionnel (I<sub>pg</sub>) des barbeaux de l’Oubeira est de l’ordre de 0.24 ; cette valeur de l’I<sub>pg</sub> illustre la précarité de l’état de santé des barbeaux du lac (tab.9).



## **PARTIE II : “code pathologie” et état de santé de *L. callensis* de l’Oubeira**

La qualité de l’habitat qu’offre le lac Oubeira, est évaluée par le calcul des indices de prévalence globale majorés (Ipgm) ; L’indice pathologique global majoré (Ipgm) est de l’ordre de 0.48 ; cette valeur a permis de déterminer, en termes de qualité de l’habitat, la précarité du lac Oubeira (Tab.9).

**Tableau 9.** Interprétation des indices du « Code pathologie » appliqué sur les barbeaux du lac Oubéira (Ipg : Indice de prévalence global, Ipgm : Indice de prévalence global majoré).

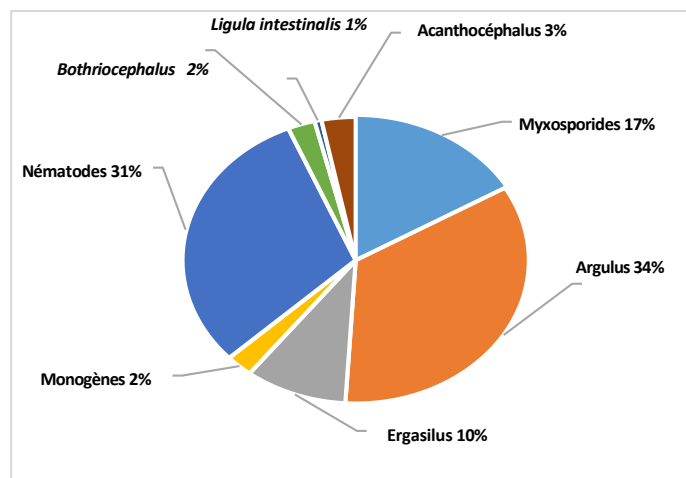
Site	Ipg	Etat de santé	Ipgm	Qualité de l’habitat
Lac Oubéira	0,24	Précaire	0,48	Précaire



### 3-2 Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de *L. callensis* de l'Oubeira

#### 3-2.1 Parasites recensés chez le barbeau *L. callensis* de l'Oubeira

Chez *Luciobarbus callensis* de l'Oubeira nous avons recensé 8 espèces de parasites : *Dactylogyrus anchoratus*, *Dactylogyrus prostrae*, *Argulus foliaceus* et *Ergasilus sp.* (Branchies et corps du poisson) *Ligula intestinalis*, *Bothriocephalus acheilognathi*, *Anisakis sp.*, et *Acanthogyrus sp.* (tube digestif, cavité abdominale et la chair).

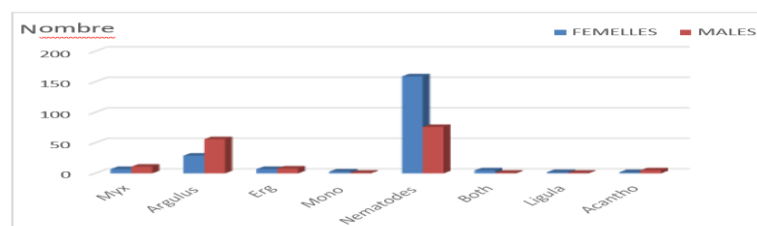


**Figure 9.** Parasitofaune de *Luciobarbus callensis* du lac Oubéira.

Plusieurs taxons ont été collectés chez *L. callensis* du lac Oubéira (fig.9) : Protozoaires (Myxosporidies); Crustacés (*Argulus foliaceus* et *Ergasilus sp.*) et Helminthes (Monogènes, Acanthocéphale, Cestodes et Nématodes). Les Branchiopodes et les Nématodes dominent numériquement et représentent respectivement 34% et 31%).

#### ✚ Distribution des taxons selon le sexe de l'hôte

Les nématodes sont fortement présents chez les deux sexes ; ce sont toutefois les femelles qui abritent le plus grand nombre de nématodes. En revanche, ce sont les males qui abritent le plus grand nombre de spécimens des genres *Argulus* et *Mixosporidies* (fig.10).



**Figure 10.** Distribution des taxons selon le sexe de l'hôte



### 3-2.2 Effectifs de barbeaux parasités et non parasités

Parmi les 388 individus analysés, 120 barbeaux hébergent des parasites ; ce qui représente presque le tiers de la fraction de population examinée ; Cette fraction de population de barbeaux parasités est composée de 41 mâles, 40 Indéterminés et 39 femelles. Ce sont toutefois les individus immatures qui sont les plus infestés car 74% des effectifs hébergent des parasites ; parmi les effectifs de mâles et de femelles nous notons la présence de parasites chez 34 et 44% des individus respectivement (fig.11).

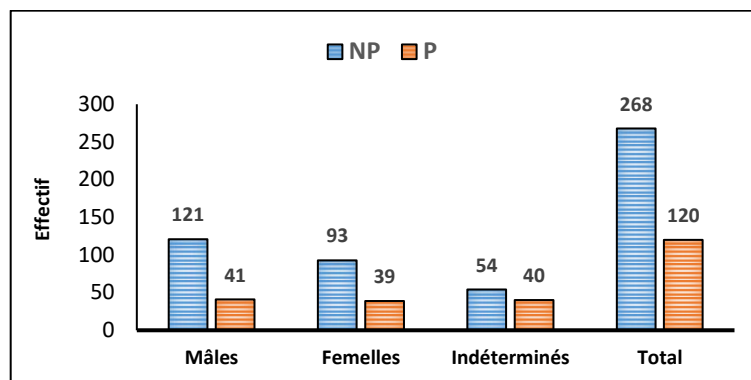


Figure 11. Effectifs de barbeaux non parasités (NP) et parasités (P) de *L. callensis* de l'Oubeira.

### 3-2.3 Intensité d'infestation par sexe et par taille

#### ✚ Chez les femelles

Le plus grand nombre de parasites est rencontré chez les femelles de taille comprise entre 21 et 36 cm ; ce sont toutefois, les spécimens de la classe de taille 26-31 cm qui totalisent le plus grand nombre de parasites (120 femelles). L'intensité moyenne d'infestation des barbeaux femelles est de l'ordre de 2.31 parasites/poisson infesté ; Ce sont par ailleurs les individus de taille supérieure à 26cm qui hébergent le plus de parasites ; nous notons, en effet, la présence de 3.23 et 2.31 parasites/barbeau infesté dans la classe de taille 26-31 et 31-36cm respectivement; Les valeurs de l'intensité d'infestation des barbeaux sont de l'ordre de 1.42 et 1.14 parasites/poisson infesté dans la classe de taille 21-26 et 16-21 cm respectivement.

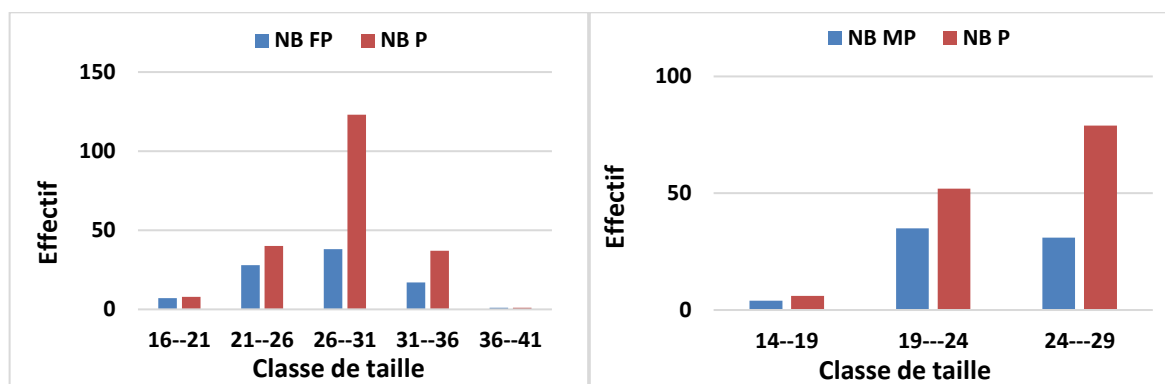
#### ✚ Chez les mâles

Chez les mâles, ce sont les spécimens de taille comprise entre 19 et 34 qui abritent presque la totalité des parasites collectés ; les spécimens des classes de taille 19-24 et 24-29 cm qui hébergent plus de 80% des parasites collectés (fig.). L'intensité moyenne d'infestation des barbeaux mâles est inférieure à celle des femelles ; le mâle héberge 1.95 parasites/poisson infesté ; Ce sont toutefois les barbeaux de plus grande taille (24-29 cm) qui abritent 2.54 parasites/individus parasités ; les mâles de taille



## Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de *L. callensis* de l'Oubeira

inférieure à 24cm n'hébergent pas plus de 1.5 parasites/individu infesté ; les valeurs de l'intensité d'infestation sont de l'ordre de 1.48 et 1.5 parasites/individus parasités des classes de taille 16-21 et 21-24cm respectivement (fig.12)



**Figure 12.** Distribution des parasites selon le sexe et la taille de l'hôte *L. callensis* de l'Oubeira (NB FP : Nombre Femelles Parasitées, NB MP : Nombre Mâles Parasités et NB P : Nombre de Parasites).

### 3-2.4 Parasitisme et relation taille-poids

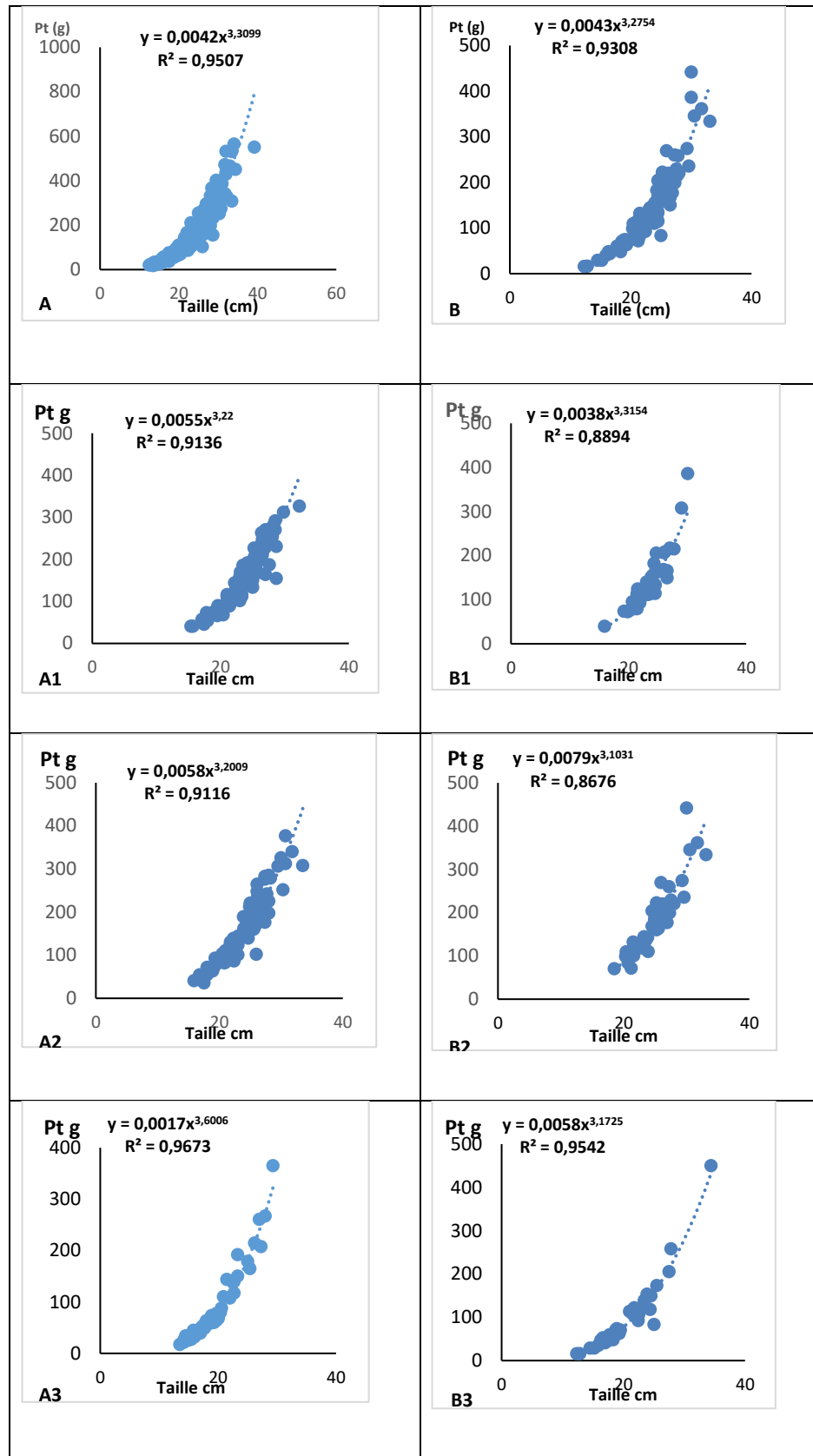
Il ressort de la figure 13 que les pentes des deux lots de barbeaux mâles et femelles ne diffèrent pas significativement ; par ailleurs leurs coefficients d'allométries sont presque identiques,  $b = 3,27$  et  $b = 3,30$  respectivement pour les mâles et les femelles (test de t,  $p > 0,05$ ).

Toutefois, la taille et le poids des barbeaux de l'Oubeira sont fortement corrélés chez les individus non parasités ( $r = 0,95$  pour la population,  $r = 0,91$  pour les mâles et les femelles et  $r = 0,96$  pour les indéterminés) par rapport aux individus non parasités dont les coefficients de corrélation pour les mâles, les femelles et les immatures (sexe indéterminé) sont de l'ordre de 0,88, 0,86 et 0,95 respectivement.

Quelle que soit la taille des individus, le nuage de points n'est pas dispersé et la relation entre la longueur totale et le poids total indique une allométrie majorante pour les individus parasités et non parasités ( $b > 3$ ).



Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de *L. callensis* de l'Oubeira

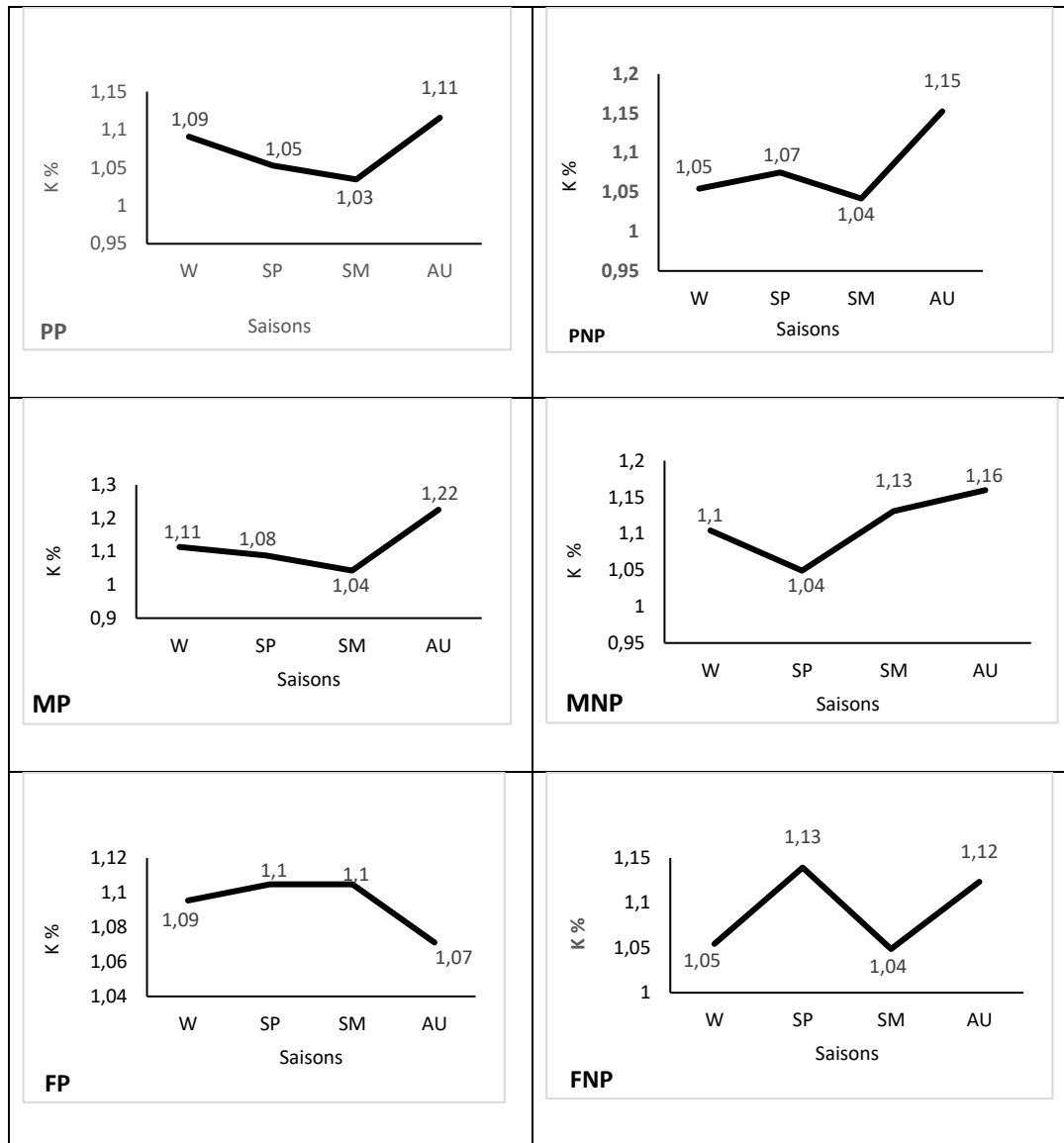


**Figure 13.** Courbes de croissances relatives chez *L. callensis* au niveau du lac Oubéira. A : individus non parasités (NP), B : individus parasités (P), A1 : Mâle NP, B1 : Mâle P, A2 : Femelle NP ; B2 : Femelle P ; A3 : Indéterminé NP ; B3 : Indéterminé P.



### 3-2.5 Parasitisme et Facteur de condition absolu

La valeur de K la plus élevée est enregistrée en automne ceci aussi bien pour les individus parasités que pour les non parasités ; Entre l'hiver et l'été, la fluctuation des valeurs de K est plus importante chez les individus parasités que chez ceux du lot d'individus non parasités (fig.14). Chez les individus mâles des deux lots, les valeurs de K les plus élevées sont enregistrées en automne ; toutefois, les valeurs les plus basses sont notées au printemps pour le lot non parasité et en été pour le lot parasité. Chez les femelles parasitées, les valeurs de K montrent de légères différences d'une saison à l'autre ; mais les valeurs les plus élevées sont enregistrées au printemps et en été ; Chez les femelles non parasitées les valeurs de K sont basses en hiver et en été (proche de 1.04) et élevées au printemps et en automne (proche de 1.12).



**Figure 14.** Variations saisonnières du facteur de condition moyen chez *L. callensis* parasités et non parasités dans l'Oubeira. PP : Population parasitée, PNP: Population non parasitée ; MP : Mâle parasité, MNP : Mâle non parasité, FP : Femelle parasitée et FNP : Femelle non parasitée.



### 3-2.6 Parasitisme et indices somatiques

#### Evolution temporelle des indices somatiques des femelles parasitées et non parasitées

Le foie est l'organe de transit des matières métabolisées par l'organisme ; le suivi de l'évolution du poids du foie par l'estimation du RHS montre que chez les femelles le foie manifeste des variations pondérales au moment où l'ovaire est en plein accroissement ; ceci s'explique par l'existence d'une corrélation entre la diminution des réserves graisseuses du mésentère, l'oscillation du poids du foie et l'accroissement du diamètre des ovocytes entrés en maturation.

Dans le lac Oubéira, les variations mensuelles du RGS et du RHS, fournissent une première approche des phases de maturation des gonades et de ponte qui se déroulent durant la période s'étalant de décembre à juillet pour les deux lots parasités et non parasités (fig.).

La courbe mensuelle du RGS moyen des femelles parasitées comprend trois pics de l'ordre de 2.12% en décembre, 2.46% en mars et 1.58% en mai. Le suivi mensuel du RHS moyen chez les femelles parasitées montre l'existence de pics en novembre (1.94%), en février (2.47%), en avril (5.11%) et en mai (2.17%).

Chez les femelles non parasitées, le RGS montre plusieurs pics de l'ordre de 1.35% en décembre, 2.46% en mars, 3.82% en avril et 1.17% en juin (fig.). En ce qui concerne le RHS des barbeaux femelles non parasités, il montre des pics en novembre (1.56%), en février (1.76%) et en mai (1.72%).

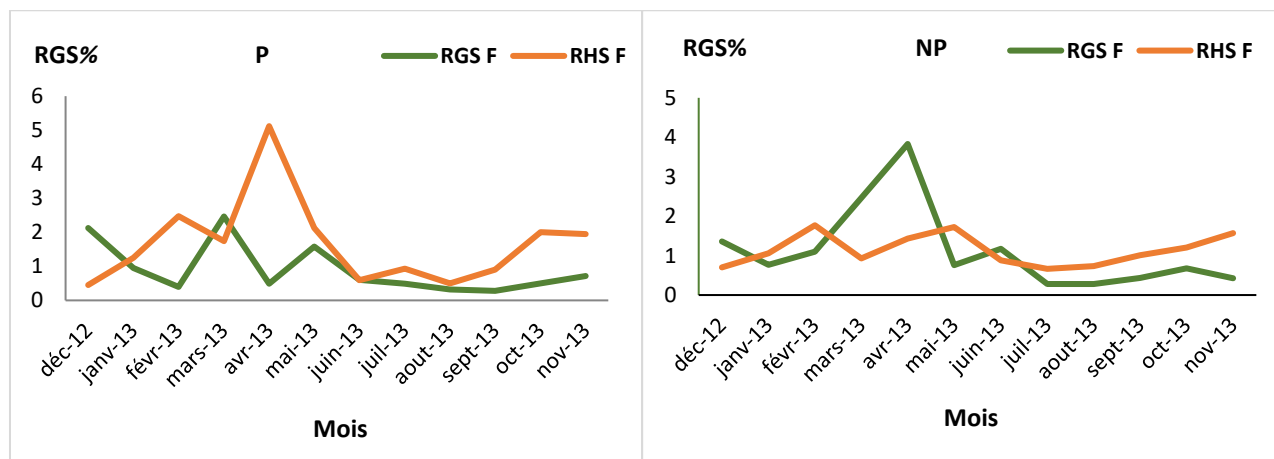


Figure 15. Variations mensuelles du RGS et du RHS chez les femelles parasitées (FP) et non parasitées (FNP) de *L. callensis* du lac Oubéira.

\*Les valeurs du RGS sont nettement plus élevées chez les femelles non parasitées que chez les parasitées; En revanche, les valeurs du RHS des femelles parasitées sont nettement plus élevées que celles des femelles non parasitées.

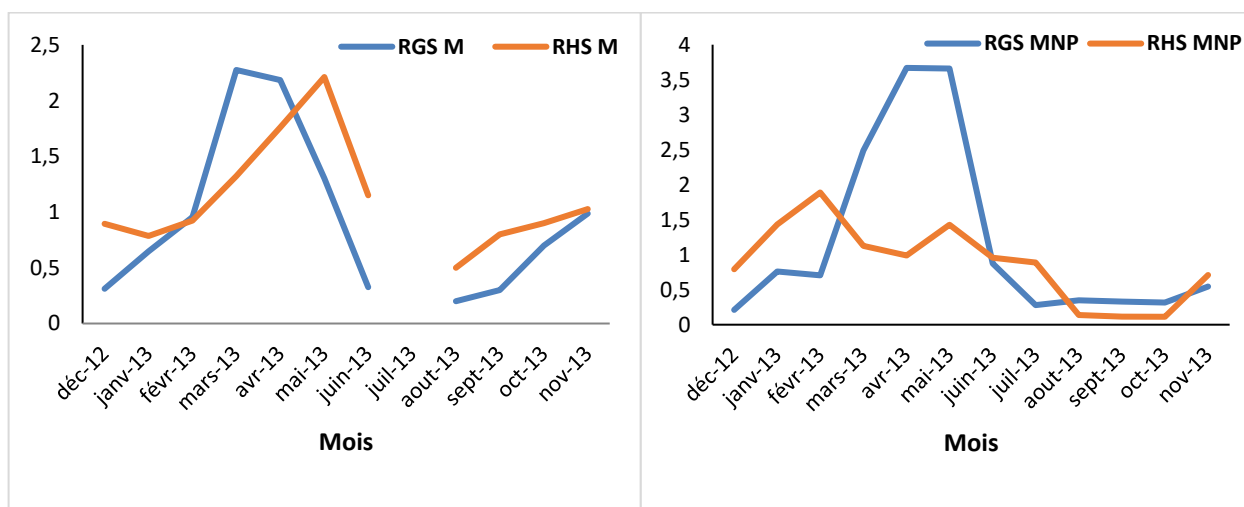


### Évolution temporelle des indices somatiques des mâles parasités et non parasités

Chez les barbeaux mâles parasités, les valeurs du RHS de plus de 1% sont enregistrées en novembre (1.06%), en mars (1.32%), en avril (1.75%), en mai (2.21%) et en juin (1.15%) ; Dans ce même lot, le RGS montre des pics en mars (2.27%), en avril (2.18%), en mai (1.3%) et en novembre (1.02%). Chez les mâles parasités les pics du RHS ne précèdent pas ceux du RGS ; les valeurs du RHS et du RGS montrent une similitude dans leur chronologie.

Le RHS des mâles de barbeaux non parasités montre des valeurs de plus de 1% en janvier (1.43%), en février (1.88%) et en mai (1.42%) ; quant au RGS, les pics sont relevés en mars (2.48%), en avril (3.66%) et en mai (3.65%). Les deux indices somatiques semblent suivre un schéma d'évolution différent de celui observé chez les barbeaux mâles parasités.

\*Chez les mâles non parasités les valeurs du RGS sont plus élevées que celles des individus parasités ; Chez les mâles parasités, les pics apparaissent en mars et en avril ; en revanche, ces pics persistent de mars à mai chez les individus non parasités (fig. 16).



**Figure 16.** Variations mensuelles du RGS et du RHS des mâles parasités (MP) et non parasités (MNP) de *L. callensis* de l'Oubeira.



### 3-3. Réponse physiologique et biochimique de *L. callensis* à la présence du parasite *Anisakis*

La présente étude a été menée sur une fraction de la population de poissons adultes sauvages de barbeaux *Luciobarbus callensis* échantillonnée en février 2017 dans le lac Oubeira.

#### 3-3.1 Paramètres morphophysiologiques calculés

Tous les poissons échantillonnés étaient sexuellement matures. Des données sur la morphométrie et la physiologie du barbeau ont été rapportées dans le Tableau 10.

Les caractéristiques morphoanatomiques des endoparasites ont été observées au stéréomicroscope (Olympus, SZ). Ces observations ont conduit à l'identification de la larve L3 du genre *Anisakis*, nematode appartenant à la famille des Anisakidae. Notre étude a révélé que la plupart des groupes de poissons (11 sur 19) étaient infestés par une larve d'*Anisakis sp.* avec une intensité parasitaire moyenne de 1,09 (un parasite en moyenne par poisson infesté).

La composition en longueur et en poids des échantillons de poissons sélectionnés était quasiment homogène entre les poissons témoins et les poissons parasités par *Anisakis sp.* ( $29,01 \pm 3,56$  cm et  $349,60 \pm 120,8$  g ;  $26,99 \pm 4,0$  cm et  $278,70 \pm 123,32$  g respectivement). Aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) n'a été trouvée entre les deux groupes. De même, qu'en ce qui concerne le facteur de condition (CF), dont les valeurs variaient de  $1,33 \pm 0,09$  à  $1,37 \pm 0,18$  g/cm<sup>3</sup> (respectivement poissons parasités et sains).

L'indice viscérosomatique des poissons infestés par les nématodes a diminué ( $2,79 \pm 0,3$  %) mais de manière non significative ( $p < 0,05$ ) par rapport à ceux du groupe témoin ( $3,08 \pm 0,9$  %). Cependant, les IHS et ISS étaient significativement augmentés ( $p < 0,05$ ) chez les poissons infestés par rapport aux spécimens sains.

**Tableau 10.** Différents indices morphophysiologique mesurés (Longueur, Poids, FC, ISS, IHS et IVS) chez des barbeaux adultes sauvages (*Luciobarbus callensis* du lac Oubéira). Poissons parasités (P), n = 11 et poissons non parasités (NP), n = 8. Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par \*  $P < 0,05$ .

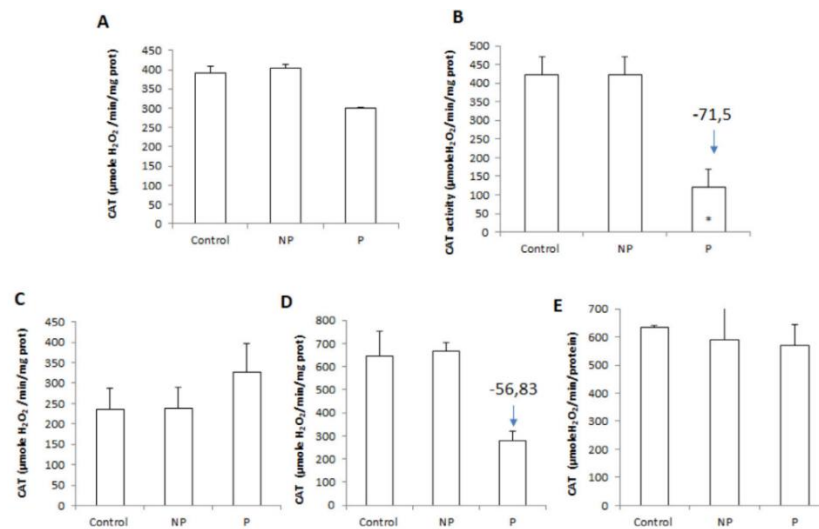
	Longueur (cm)	Poids (g)	FC(%)	IHS(%)	ISS(%)	IVS(%)
Poissons Non parasités (N = 8)	$29,01 \pm 3,56$	$349,60 \pm 120,8$	$1,37 \pm 0,18$	$0,78 \pm 0,12$	$0,06 \pm 0,01$	$3,08 \pm 0,9$
Poissons Parasités (N= 11)	$26,99 \pm 4,05$	$278,70 \pm 123,32$	$1,33 \pm 0,09$	$1,33 \pm 0,12^*$	$0,14 \pm 0,02^*$	$2,79 \pm 0,3$

FC. facteur de condition ; ISS. indice splénosomatique, IHS indice hépatosomatique et IVS indice viscérosomatique.

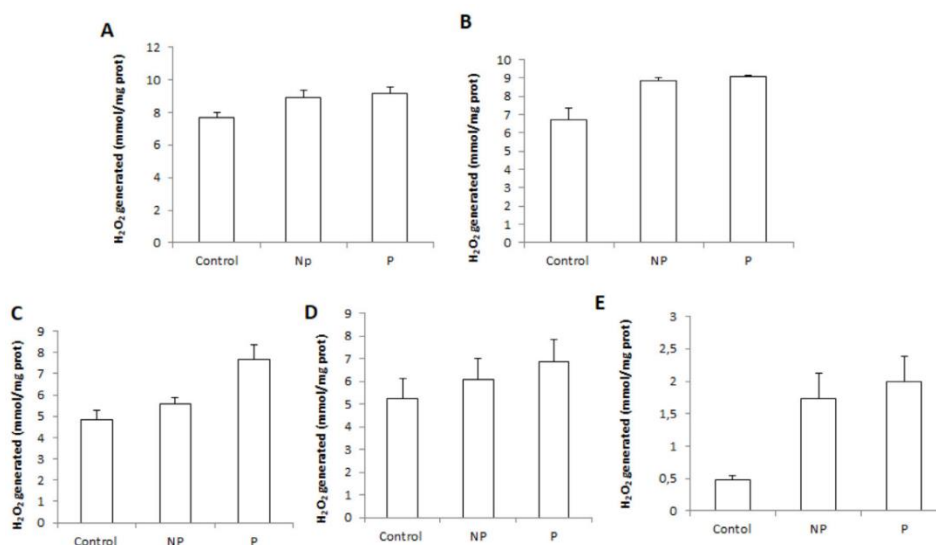


### 3-3.2 Indices de stress oxydatif

Cette étude a montré que le parasite induisait une augmentation non significative de l'activité catalase dans le cœur, alors que dans les autres tissus, elle était réduite par rapport au groupe témoin. Concernant l'effet de l'infection parasitaire sur les activités hépatiques et musculaires de la CAT, une diminution non significative ( $p < 0,05$ ) a été observée entre *L. callensis* sain et infesté par *Anisakis* sp. (fig.17). En même temps, une augmentation des niveaux de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été enregistrée de manière générale dans tous les organes étudiés des barbeaux parasités par rapport aux poissons non parasités (Fig. 18).



**Figure 17.** Activité de la catalase tissulaire (CAT) : dans (a) le foie, (b) la rate, (c) le cœur, (d) l'intestin et (e) le muscle de *Luciobarbus callensis* d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par \* P < 0,05.



**Figure 18.** Niveau de Peroxyde d'hydrogène tissulaire (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) : dans le foie (a), la rate (b), le cœur (c), l'intestin (d) et le muscle (e) de *Luciobarbus callensis* d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par \* P < 0,05.

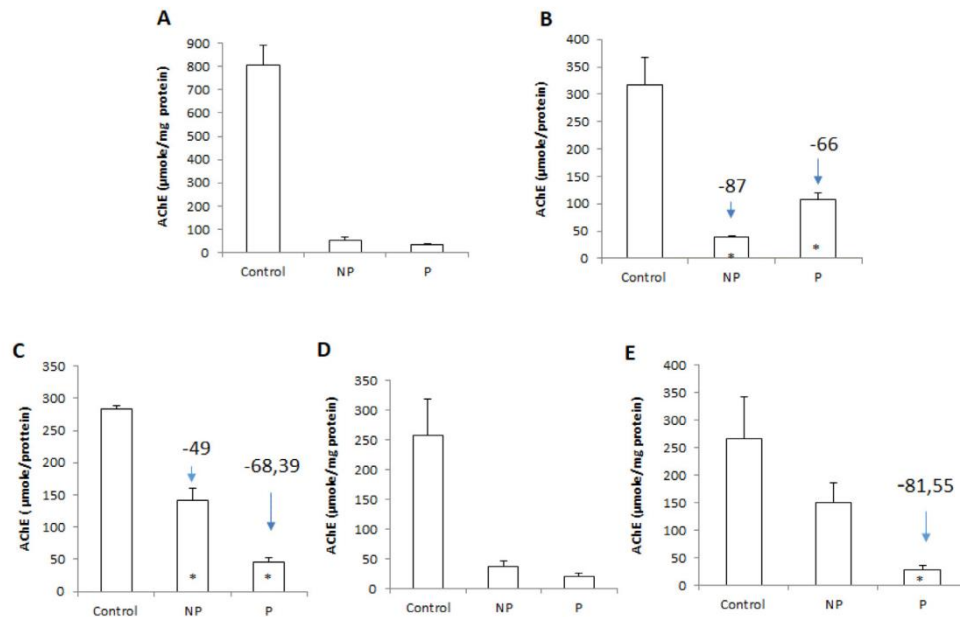


### 3-3.3 Paramètres neurotoxiques

Comme prévu, le nématode a provoqué une inhibition significative de l'activité de l'AChE, l'ampleur de cette réponse dépendant fortement du tissu cible. L'activité hydrolytique de cette estérase était fortement diminuée dans le cœur et les muscles.

#### 🚦 Activité acétylcholinestérase

Comparé à des poissons sains (fig.19), l'activité de l'AChE a également diminué dans le foie, l'intestin, les muscles et le cœur et a augmenté dans la rate. Le foie et l'intestin n'ont montré aucune diminution significative ( $P < 0,05$ ) de leur activité chez les poissons parasités par rapport aux poissons témoins. Cependant, une diminution significative ( $P < 0,05$ ) de l'activité AChE a été enregistrée au niveau du cœur (68,39 %) et des muscles (81,55%) des poissons parasités. À l'inverse, la rate a montré une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) de l'activité AChE chez les poissons parasités par rapport aux poissons sains.



**Figure 19.** Activité de l'acétylcholinestérase tissulaire (AChE) : dans le foie (a), la rate (b), le cœur (c), l'intestin (d) et le muscle (e) de *Luciobarbus callensis* d'eau douce parasité (n = 11) et du poisson témoin (n = 8). Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  SE (n = 19). Les changements significatifs par rapport au contrôle sont indiqués par \*  $P < 0,05$ .



#### 4-Discussion

La pathologie des poissons sauvages, souvent oubliés, est le facteur limitant principal de toutes les productions animales. D'après la littérature, de nombreuses études effectuées dans les domaines de la nutrition, de la reproduction, de la génétique, de l'élevage sont très souvent réduits à néant car ils n'ont pas pris en considération l'importance des pathologies (De kinkelin et Gérard, 1972).

##### 4-1.'code pathologie'' et état de santé de *L. callensis* de l'Oubeira

Le but de cette étude est d'apporter des informations de premier niveau sur l'état de santé des barbeaux peuplant le lac Oubéira et sur la qualité de leur habitat grâce à la mise en œuvre d'un outil d'évaluation « Codes pathologie ».

La population de barbeau du lac Oubéira subit actuellement une série d'atteintes pathologiques. Au total, 16 lésions anatomo-morphologiques externes ainsi que la présence d'ectoparasites ont été relevées chez *Luciobarbus callensis* de l'Oubeira ; les atteintes les plus importantes sont : altération de la couleur, anus rouge ou saillant, déformation, érosion, nécrose, ulcère hémorragique. Cependant, au niveau de leurs organes plusieurs détériorations tissulaires ont été notées (vésicule biliaire et gonades), allant des infestations parasitaires jusqu'à l'altération partielle ou totale des tissus. Ces résultats peuvent constituer un indicateur d'une dégradation de la qualité du milieu prospecté.

L'inventaire des lésions ou des malformations ainsi que la détection des ectoparasites chez les poissons peuplant le lac Oubéira a été réalisé durant la période s'étalant de l'année 2012 à l'année 2014. Les liens de cause à effet qui interagissent entre la présence d'une lésion et les perturbations environnementales ne sont pas toujours évidents. En effet, un type d'altération peut avoir plusieurs causes et une même source de dérèglement peut avoir plusieurs effets chez les poissons (Elie et Girard, 2014). Les altérations observées chez les poissons peuvent être le signe visible de la présence de polluants (Louiz *et al.*, 2006), notamment les métaux lourds (le cadmium) et les pesticides (Girard, 1998) dans les eaux et les sédiments, la présence des champignons et des ectoparasites tel que *Argulus spp* (Schàperclaus, 1962) et les bactéries (Breuil, 1991) ainsi que la carence en vitamine C (Tacon, 1995). L'apparition des anomalies (nécrose, ulcération, atrophie), se manifeste par l'altération des membranes cellulaires et la physiologie du poisson (Calow, 1994).

✚ Les lésions d'intérêt écopathologique majeur DELT

Les lésions rencontrées chez le barbeau *L. callensis* vivant à l'état sauvage dans l'Oubeira correspondent à celles rapportées dans diverses études sur la maladie des poissons aussi bien marins que dulcicoles vivant à l'état sauvage ou dans des fermes aquacoles, même si la prévalence semble plus élevée chez les poissons en élevage (Nowak *et al.*, 1999). Un pourcentage élevé de poissons



affectés par les anomalies de type DELT est un indicateur de sédiments contaminés par des substances toxiques, d'effluents urbains ou industriels peu ou non traités, de stress intermittents occasionnés aux poissons par des débordements d'égouts unitaires, de ruissellement urbain (Sanders *et al.*, 1999).

Les premières observations réalisées sur les barbeaux prélevés dans le lac Oubéira tendent à montrer par ordre d'importance des lésions et dans une moindre mesure des malformations. La fréquence de barbeaux atteints augmente de manière régulière avec la taille, et est, de façon un peu plus prononcée chez les mâles. Seuls les barbeaux adultes sont atteints d'ulcères cutanés. En ce qui concerne les pathologies tumorales, une tumeur cutanée a été observée chez un seul barbeau. Aucune lésion néoplasique hépatique n'a été observée au cours de cette étude, en revanche, une vésicule biliaire était de coloration pale. Parmi ces pathologies nous signalons : Les hémorragies, qui se manifestent en général au niveau des flancs, des yeux et des nageoires pectorales, avec un gonflement ventral. Contrairement à d'autres maladies, les symptômes ne sont pas toujours visibles. Cette anémie infectieuse se développe quand l'eau atteint une température plutôt basse (entre 8 et 14 °C). Effectivement, les barbeaux atteints de cette pathologie ont été échantillonnés au mois de janvier quand la température de l'eau oscillait entre 8,8 et 15,2°C ; ces derniers hébergeaient, par ailleurs, des parasites ; D'après Le Baut et Maggi (1981) et Vigier (1997), cette hémorragie peut être liée aux bactéries, aux infections virales et parasitaires (Lernea et nématode).

Ce type d'altération a été également lié à différentes sources de perturbations citant l'infestation par différents agents tels que les bactéries et les parasites, les carences nutritionnelles ou vitaminiques, les facteurs environnementaux défavorable, les éléments traces métalliques (Cadmium) ou engins de capture (Girard et Elie, 2007).

Cette pathologie a été déjà signalée en élevage par Roque (2008) chez la truite. En effet, elle peut nous renseigner sur l'état de la pollution des eaux. Nécrose de la nageoire dorsale à cause de lésions rencontrées lors de Gyrodactylose. Dans notre cas, les lésions ont été notées au niveau des nageoires caudales, pelviennes et anales. D'après Uhlund et al. (2000) cette lésion est liée à la mycobactérie et aussi aux larves des trématodes (*Diplostomum spathaceum*).

Les déformations corporelles peuvent affecter la tête, les rayons des nageoires, les mandibules, les opercules, la colonne vertébrale. Elles peuvent être causées par de nombreux agents, dont les biphényles polychlorés et les pesticides organochlorés. Les insecticides (Organophosphates) et les métaux (Cadmium, Zinc, Mercure et Plomb) peuvent agir sur le métabolisme des os et modifier leur minéralisation. Les traumatismes, les infections virales, bactériennes et parasitaires ainsi que les algues toxiques peuvent également occasionner des déformations (Gouvernement canadien, 2016).



Plusieurs types de déformations vertébrales se traduisent par des courbures dorso-ventrales de l'axe vertébral (Lordose), des flexures latérales (scoliose ou des courbures axiales vers l'arrière (Kyphoses) ; En termes d'anomalies squelettiques deux termes sont souvent utilisés : « malformations squelettiques » et « déformation squelettiques ». Dans notre cas c'est une déformation squelettique (Lordose). Les causes principales de cette anomalie (Lordose) peuvent être liées aux facteurs physiques (une sursaturation gazeuse, hypoxie, température trop faible, salinité, radioactivité), ou chimiques tels que la présence des composés organochlorés (pesticides, herbicides), des traces métalliques (Cd, Pb) ainsi qu'aux parasites, bactéries, virus, toxines algales ou peut être des séquelles de fractures ou traumatisme (capture, prédation). Elle peut être liée aussi à une alimentation inadaptée, une carence vitaminique (A, C et D) (Hamdouni et Dhaouadi, 2014), ou aux désordres neuromusculaires ou à des tumeurs (Girard et Elie, 2007).

Chez les poissons, les déformations squelettiques représentent un phénomène relativement fréquent aussi bien dans les élevages que dans les milieux naturels perturbés (Boglione *et al.*, 2001). Chez les populations sauvages, ces déformations sont le plus souvent liées directement ou indirectement à la pollution du milieu. Ce résultat est en concordance avec ceux obtenus par Louiz *et al.*, (2006) qui a mis en évidence une corrélation entre les déformations vertébrales chez les gobies noirs de la lagune de Bizerte et les concentrations des polluants dans le milieu. Selon les mêmes auteurs les poissons peuvent représenter, de ce fait, un outil de surveillance biologique. Effectivement, le lac Oubéira est contaminé par les métaux lourds (Bendjama *et al.*, 2014). En revanche, plusieurs auteurs ont décrit différentes anomalies squelettiques chez les poissons en élevage suivant leur stade physiologique surtout chez les Salmonidae.

Le lac Oubéira, joue un rôle important en fournissant des habitats productifs et diversifiés et des apports nutritifs pour la croissance et le développement de populations animales aquatiques diverses (vertébrés et invertébrés) et terrestre (l'avifaune aquatique : Cormoran, Hérons,...). Cependant, cet écosystème limnique est en train de subir des altérations dues à des pollutions d'origine et d'ampleurs variées, naturelles ou anthropiques. Ces dégradations ont des impacts écologiques (la qualité de l'eau, les structures des habitats) et physiologique pouvant être à l'origine de diverses pathologies chez les poissons. Les poissons sont des bioindicateurs de la qualité de l'eau et du milieu dans lequel ils évoluent. Compte tenu de leur durée de vie et de leur capacité à se déplacer ; les informations issues des données "Codes Pathologies" proposés par Elie et Girard (2014) permettent d'évaluer non seulement les perturbations s'exerçant à proximité du site d'échantillonnage mais également les perturbations que subie le poisson tout au long de son cycle de vie. Dans le lac Oubéira, cet outil a permis d'une part de classer les barbeaux selon leur état de santé, et d'autre part d'apprécier la qualité globale de leur habitat.



### 🚦 Indices pathologiques

La prévalence des organismes parasites visibles à la surface du corps chez les poissons peut difficilement être mise en relation directe avec le degré de pollution de l'eau. C'est pour cette raison que les anomalies de cette catégorie sont exclues de certains indices visant à mesurer l'état de santé des écosystèmes. Cependant, il est possible qu'un poisson ayant un système immunitaire déficient causé par un stress environnemental soit davantage sujet aux infestations de parasites. C'est pourquoi il demeure pertinent d'inventorier ce type d'anomalies (Gouvernement canadien, 2016).

L'utilisation de cet indice qui combine à la fois la prévalence des anomalies et leur sévérité dans un site donné a permis de classer la population de barbeau dans un état mauvais. Selon l'indice établi par Girard (1998), la prévalence des lésions externes (18,08%) classe la qualité de l'eau du lac Oubéira comme moyenne et celle des ectoparasites (33,7%) recensées chez les barbeaux sauvages qui y habitent comme mauvaise ( $P > 35\%$ ). En revanche, la prévalence des deux combinés (51,78%) indique une qualité mauvaise de l'eau et de l'habitat ( $P > 35\%$ ).

Le recours à l'indice majoré Ipgm permet de comprendre l'intérêt éco-pathologique des anomalies du type DELT qui signalent une imprégnation sévère du milieu. Il rend compte du niveau de la qualité de celui-ci en regard à la sévérité des lésions qu'il entraîne. L'analyse des indices pathologiques notés chez *Luciobarbus callensis* nous permet de dire que la qualité de son habitat est préoccupante du fait qu'elle soit classée comme mauvaise.

Chaque type d'altération observé chez les poissons et ainsi le premier tri réalisé grâce au Code pathologie ont permis de déceler les causes potentielles de ces perturbation et la pollution chimique par les métaux lourds semble avoir un lien avec l'état de santé des poissons dans leur milieu de vie (Elie et Girard, 2014). Les études antérieures menées sur la qualité environnementale du lac Oubéira semblent confirmer cet état des lieux ; Selon Bendjama et al, (2011), le lac Oubéira serait sujet à de nombreuses perturbations notamment d'origine chimique.

En conclusion, le Code pathologie a permis de faire un premier tri et de révéler la présence de différents types d'altérations ainsi qu'un nombre important d'ectoparasites chez les poissons vivant à l'état sauvage dans l'Oubeira. Les altérations du type DELT, assez fréquentes chez le barbeau du lac Oubeira, semblent avoir un lien avec la pollution chimique (éventuellement les métaux lourds). Par ailleurs, l'application des Codes Pathologies a permis de définir l'état de santé de *Luciobarbus callensis* de l'Oubeira comme préoccupant ; ceci serait engendré, en partie, par l'altération de la qualité des eaux de l'Oubeira.



#### 4-2. Incidence du parasitisme sur les marqueurs physiologiques de *L. callensis* de l'oubeira

Une grande diversité parasitaire a été notée chez ce poisson dulcicole qui abrite 8 espèces de parasites réparties sur diverses parties du corps (corps, branchies, le tube digestif, abdomen et chair). Le nombre de parasites récoltés est de l'ordre de 157. Les Branchiopodes et les Nématodes dominent numériquement et représentent respectivement 34% et 31%). Les parasites présentant un taux d'infestation important ont été considérés afin d'analyser s'il y a un effet cumulatif ou d'un impact global sur les hôtes.

Les caractères morphologiques sont des indicateurs qui fournissent des informations sur des échelles temporelles car ils sont le reflet d'un processus adaptatif comportemental se développant sur plusieurs générations (Robinson et Wilson 1994).

Les valeurs estimées de  $b$  sont supérieures à 3 (allométrie majorante) pour les deux populations (parasitées et non parasitées), ce qui signifie en terme de croissance que le développement du corps (croissance pondérale) est plus rapide que celui de la longueur. En se référant à la littérature, les données relatives à la croissance des poissons notamment le barbeau algérien dans les écosystèmes lacustre ou fluviaux sont très peu abondantes.

Chaque année le poisson adulte utilise de l'énergie pour produire les gamètes. Ce développement gonadique produit une perte des réserves de protéines et de lipides du poisson du fait qu'il se produit durant une période où le poisson se nourrit peu ou pas du tout, surtout si la reproduction coïncide avec une migration vers les frayères (FAO, 1999) ou lors d'atteinte pathologique. Chaque individu possède un ensemble de caractéristiques physiologiques, liées à la reproduction. La stratégie de reproduction d'une espèce de poisson, dans un milieu donné, est en effet un ensemble de traits de vie, essentiellement comme l'âge et la taille à la première maturité sexuelle, la fécondité, la taille des gamètes, le développement des gonades, le comportement reproducteur, y compris la saison de reproduction. Mais un individu peut également développer des tactiques, qui sont en réalité des variations par rapport au schéma de reproduction type de l'espèce, de manière à répondre avec succès à des modifications des facteurs environnementaux. Il s'agit alors d'un comportement adaptatif à des conditions écologiques particulières, qui a pour objectif d'assurer la survie de l'espèce, comme nous l'avons vu précédemment (Paugy et Lévêque, 1999).



#### 4-3 Réponse physiologique et biochimique de *L. callensis* à la présence du parasite *Anisakis*

Les poissons sont généralement exposés simultanément à différents facteurs de stress, tels que des conditions environnementales défavorables, des polluants ou des agents infectieux (parasites, bactéries, etc.), et leur combinaison peut perturber l'équilibre physiologique des organismes (Podolska et Napierska, 2006 ; Sures, 2008). Selon Marcogliese et Pietrock (2011), les facteurs de stress que sont la pollution et les parasites affectent tous deux la santé des organismes, qui réagissent parfois de la même manière (mécanismes de défense). Les parasites peuvent avoir des effets néfastes sur la condition physique de l'hôte, et l'infection entraîne généralement une stimulation du système immunitaire. Cependant, la période d'infection est souvent longue jusqu'à ce qu'une réponse spécifique soit détectée (Bergljot et Magnadottir, 2006). En se défendant contre l'infection, le système immunitaire génère des oxydants toxiques ; si ceux-ci ne sont pas suffisamment contrôlés par le système antioxydant, un état de stress oxydatif peut survenir (Van De Crommenacker et al., 2011). Les niveaux des marqueurs du stress oxydatif sont un indicateur important de l'état physiologique du parasite et de son hôte (Rizvi et al., 2012).

Le but de cette étude était d'évaluer les réponses adaptatives des différents organes (cœur, foie, muscle, intestin et rate) de *Luciobarbus callensis* parasité (Nématode, Anisakide), en utilisant l'analyse morphophysiological et les paramètres biochimiques.

Ce sont les paramètres morphophysiologicals qui reflètent l'état physiologique du poisson. Nos résultats montrent que l'indice de condition physique ne différait pas entre les barbeaux infectés et les barbeaux non infectés. Les valeurs de cet indice indiquent que les barbeaux étudiés, bien que nous ayons utilisé des spécimens sauvages, étaient en bonne santé générale, malgré la présence du parasite. Ce résultat est conforme aux conclusions de Roche et al. (2003) ; Van De Crommenacker et al. (2011) et Skuratovskaya et al. (2013). Par ailleurs, Ferrer-Maza et al. (2014) ont conclu que la population de merlus du nord-ouest de la Méditerranée était en équilibre avec ses parasites métazoaires et que ceux-ci ne causaient pas d'altération grave de leur condition physique ou de leur capacité de reproduction.

Le foie des poissons a été décrit comme un organe multifonctionnel agissant dans la détoxification, la production de vitellogénine ainsi que le stockage et le métabolisme des hydrates de carbone et des graisses (Bruslé et Anadon, 1996). Nos résultats font apparaître que l'ISH était significativement augmenté chez les barbeaux parasités. Ce résultat a été soutenu par Skuratovskaya et al. (2013), qui ont rapporté que l'augmentation de l'indice hépatique chez les poissons ayant un niveau d'infection moyen et élevé peut témoigner de l'hypertrophie de l'organe en raison de la transformation des tissus



et du renforcement de la fonction de détoxification des métabolites des parasites, ainsi qu'en raison des produits de l'oxydation par les radicaux libres. Au contraire, Ferrer-Maza et al. (2014) ont montré que les merlus infectés par des nématodes anisakides, en phase de développement dans les mésentères, présentaient des valeurs médianes inférieures à celles de l'indice hépatosomatique et de l'indice gonadosomatique des spécimens non infectés. D'autre part, l'ISV des barbeaux parasités était inférieur à celui du groupe non infecté. L'ISV est un reflet de l'état nutritionnel des animaux au moment de la capture. La diminution de cet indice chez les poissons a été causée par le manque de nourriture ou les conditions environnementales (Roche et al., 2003).

La rate est un organe hématopoïétique et immunitaire compétent. Peu de rapports ont montré l'effet des parasites métazoaires sur les organes lymphoïdes des poissons. La splénomégalie est un phénomène courant en réponse à une infection parasitaire chez les mammifères (Taylor et Hoole, 1989). Dans le cadre de notre étude, l'ISS des barbeaux parasités a diminué. Skuratovskaya et al. (2013) ; Taylor et Hoole (1989) confortent nos résultats et suggèrent que la réduction du poids de la rate, serait probablement due à la diminution massive des érythrocytes. Selon les études d'Otto et Heckmann (1984), les truites infectées par des cestodes ont montré une diminution de la rate. En outre, la diminution du poids de la rate des moutons infectés par *Haemonchus contortus* a également été observée par Adams (1981). Ce dernier a suggéré que la réduction était causée par le stress de l'infection.

Les réponses secondaires étaient représentées par les biomarqueurs comme indicateurs des dommages tissulaires et du stress que les infections parasitaires ont causé. Cette étude a montré que l'activité CAT a diminué mais pas de manière significative dans le foie, le cœur et le muscle, mais de manière significative dans la rate et l'intestin chez le barbeau parasité par rapport au groupe de contrôle. En même temps, le niveau de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a augmenté dans tous les organes étudiés du barbeau parasité par rapport au groupe non infecté. Des études antérieures (Dautremepuit et al., 2003 ; Radovanovic et al. 2010 ; Skuratovskaya et al., 2013 ; Tkachenko et al., 2014) ont indiqué l'inhibition de l'activité de la CAT. Metheni (2014) a rapporté que l'infection par *Theileria* induisait un stress oxydatif et que la virulence augmentait le niveau de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. L'inhibition de l'activité CAT est probablement due à l'augmentation de la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les macrophages de l'hôte et à la forte teneur en métabolites des parasites, ce qui provoque un stress oxydatif et présente un grand danger pour la santé des poissons. Les parasites affectant le métabolisme des poissons infectés stimulent le stress oxydatif qui se manifeste par une augmentation des radicaux libres et des processus de peroxyde modulant le statut antioxydant de l'hôte (Bello et al., 2000 ; Dautremepuits et



al., 2003). Dans les conditions expérimentales, les poulets infectés par des métacercaires progénitrices de *Clinostomum complanatum* montraient une diminution significative de l'activité de la catalase a (Rizvi et al. 2012). Cependant, la présence du nématode *Anguillicola crassus* dans la vessie natatoire n'interagit pas avec le métabolisme oxydatif hépatique (Roche et al., 2003).

Aucune différence significative n'a été observée, par Bello et al. (2000), entre les activités mesurées dans le muscle du poisson d'eau douce *Rhamdia quelen* infecté et non infecté par les métacercaires de *Clinostomum detrunctum*. En revanche, Eissa et al. (2014) rapportent une augmentation de l'activité CAT dans le foie et la musculature des espèces de tilapia parasitées. Par ailleurs, l'étude de Skuratovskaya et al. (2015) a révélé que l'activité CAT augmentait dans le foie et les globules rouges chez les poissons parasités par rapport aux merlans sains. Bien que les résultats soient contradictoires, la variation de la concentration des biomarqueurs entre les tissus suggère que les fonctions spécifiques à chaque espèce et entre les tissus sont associées à leur capacité à se défendre contre les dommages oxydatifs.

L'AChE est le plus souvent prélevée dans le cerveau et le muscle des poissons ; dans le cadre de cette étude, nous avons essayé de mesurer cette enzyme dans le cœur, la rate, l'intestin, le foie et le muscle de *L. callensis* ; les résultats montrent que l'activité AChE présente les mêmes variations dans les différents organes ; toutefois, elle est augmentée dans la rate des poissons parasités par rapport aux poissons sains. En ce qui concerne les poissons non infectés, les activités AChE les plus élevées étaient observées dans le muscle et le cœur. L'AChE étant impliquée dans la transmission de l'influx nerveux, il n'est pas surprenant que cette enzyme soit localisée principalement dans ces deux tissus. D'autre part, l'activité de l'acétylcholinestérase chez les poissons sains présentait des valeurs plus faibles dans la rate, le foie et l'intestin. Cependant, les poissons parasités ont des activités AChE plus faibles que celles mesurées sur les poissons témoins sauf en ce qui concerne la rate. Cette variation de l'activité AChE pourrait être attribuée à la présence de parasites. De même, une augmentation de l'activité AChE dans la rate pourrait indiquer un stress oxydatif induit par les infections parasitaires. Selon Dallarés et al. (2014), les parasites sont généralement considérés comme des facteurs de stress pour leur hôte, par épuisement de l'activité de l'AChE. L'une des fonctions les plus importantes de l'AChE sécrétée par les nématodes est de moduler l'immunité de l'hôte. En plus de la présence d'AChEs neuromusculaires, plusieurs études ont démontré la sécrétion d'AChE par les nématodes parasites (Podolska et al., 2012).

Lee (1996) a montré que l'AChE produite par les nématodes pourrait réduire l'inflammation et l'ulcération locale en hydrolysant l'ACh qui stimule la sécrétion d'acide gastrique. Cependant,



Podolska et Napierska (2006) ont montré qu'il n'y avait pas de relation entre l'activité musculaire de l'AChE chez le hareng et la présence et/ou le nombre de larves de nématodes *Anisakis simplex*. Une corrélation négative significative entre l'activité AChE de l'hôte et du parasite a été observée. L'activité AChE des hôtes et des parasites était inversement liée : l'activité AChE du parasite augmentait et l'activité AChE de l'hôte diminuait (Podolska et al., 2014 ; Dallarés et al., 2016). En revanche, l'étude de Roche et al. (2003) sur une population d'anguilles parasitées par le nématode *Anguillicola crassus* de la vessie natatoire a révélé que le parasitisme n'induisait pas de variation significative de l'activité AChE cérébrale et musculaire.

La réponse du système antioxydant à l'infection parasitaire chez diverses espèces de poissons n'est pas uniforme ; elle dépend des espèces de poissons et de parasites, et des recherches supplémentaires sur les mécanismes de leurs interactions sont nécessaires (Skuratovskaya et al., 2015). En outre, les interactions hôte-parasite sont assez complexes et favorisent des changements constants dans l'équilibre délicat entre les molécules pro-oxydantes et antioxydantes, puisque l'hôte et le parasite sont capables de produire les deux (Sandro Percário et al., 2012).

En conclusion, les résultats de l'étude des effets des nématodes sur les paramètres morphophysiologiques et les biomarqueurs oxydatifs du barbeau *L. callensis* de l'Oubeira suggèrent que les poissons présentent des signes de bonne santé, malgré la présence du parasite. En revanche, les marqueurs physiologiques tels que HSI et SSI ont été affectés. Il est clair que le parasitisme a un impact sur l'activité antioxydante. Les effets de ces parasites (Nématode, Anisakide) sur les réponses physiologiques et les biomarqueurs chez le barbeau devraient être explorés davantage.

**CONCLUSION GENERALE ET  
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



## CONCLUSION GENERALE

Les travaux entrepris dans le cadre de cette thèse ont porté, d'abord, sur la structure démographique et le cycle de reproduction d'une fraction de population du barbeau *L. callensis* du lac Oubeira, ensuite, sur l'évaluation de l'état de santé du barbeau et de son habitat et de l'impact de bioagresseurs sur le poisson par le suivi et l'évaluation de certains indices morphoanatomique, physiologique et biochimique.

Les nombreuses données obtenues sont présentées selon le schéma adopté dans le cadre de la réalisation de cette thèse et concernent donc :

✚ La fraction de population de barbeau de l'Oubeira:

- Comprend des individus dont la taille varie de 12.3 à 34.4 cm ; la taille moyenne est de l'ordre de  $22,78 \pm 4,5$  cm ; La taille moyenne des femelles étant légèrement plus élevée que celle des mâles (25 et 23 cm respectivement).
- Est en majorité composée d'individus de taille comprise entre 20 et 30 cm (68%) et dans une moindre mesure d'individus de taille inférieure à 20 cm (27%).
- Comprend un grand nombre de mâles de taille comprise entre 20 et 30cm ; en revanche, les femelles sont majoritaires dans les classes de taille 15-20 et 30-35 cm.
- Comprend des individus dont le poids varie de 16 à 450g; Le poids moyen étant de l'ordre de  $141,36 \pm 78,92$  g;
- Est composée, en majorité (51%) d'individus de poids compris entre 120 et 240g; les individus de poids inférieur à 120g et supérieur à 240g représentent respectivement 39 et 10%. Les individus de poids compris entre 30 et 270g sont en grande partie des mâles et ceux de plus de 270g sont en majorité des femelles.

✚ Les résultats du calcul de certains indices relatifs au cycle de reproduction du barbeau *L. callensis* de l'Oubeira, montrent:

- ✓ Que la relation liant la masse à la longueur totale du poisson est la suivante :  $W = 0.0042 L^{3,3082}$ ,  $b \geq 3$ , l'allométrie est majorante ce qui veut dire que le poids croit proportionnellement plus vite que le cube de la longueur;
- ✓ Que la croissance de la longueur totale est positivement corrélée à celle de la taille à la fourche et la taille standard, avec un coefficient de corrélation de 0,99 et 0,97 respectivement; toutefois  $b \leq 3$ , donc l'allométrie est minorante.
- ✓ Que la maturité sexuelle est atteinte à une taille de 16.5cm pour le mâle et 19.5 cm pour les



femelles ; tous les individus de sexes femelle et mâle sont sexuellement matures à partir de 26cm et 23 cm respectivement ;

✓ Qu'à l'exception d'une légère domination des femelles en période automnale, les mâles prédominent nettement durant le reste de l'année ;

✓ Que les valeurs moyennes mensuelles des RGS et RHS varient de manière similaire chez les deux sexes ; les pics du RHS précèdent toujours ceux du RGS ceci aussi bien chez les mâles que chez les femelles ; que pour les deux sexes, les valeurs moyennes saisonnières du RHS et du RGS et les plus élevées sont enregistrées en automne et au printemps respectivement.

✚ En ce qui concerne l'évaluation de la qualité de l'habitat et le statut sanitaire du barbeau par le calcul de certains indices, les résultats montrent :

▪ Que le lac Oubeira représente un habitat précaire du fait que la valeur de l'indice pathologique global majoré (Ipgm) équivaut à 0.48 ;

▪ Que l'état de santé des barbeaux du lac Oubeira est précaire du fait que la valeur de l'indice pathologique global lésionnel (Ipg) des individus qui le peuplent est de l'ordre de 0.24 ; cette précarité de l'état de santé du barbeau est confortée par la valeur de la prévalence des lésions d'intérêt écopathologique majeur de type DELT recensés chez ce dernier ( $\geq 16\%$ ).

▪ La correspondance entre la prévalence globale des altérations de l'intégrité du poisson et les classes de qualité de l'eau et de l'habitat a fait apparaître :

➤ Qu'avec une prévalence globale des lésions de l'ordre de 18% ; cette valeur de moyenne importance correspondrait à une qualité moyenne de l'eau et de l'habitat ;

➤ Qu'avec une prévalence globale des ectoparasites proche de 34%, l'atteinte serait de forte importance ( $20 < P \leq 35 \%$ ) et aurait donc pour origine une qualité de l'eau et de l'habitat médiocre ;

➤ Qu'avec une prévalence globale des lésions et des ectoparasites cumulée proche de 52%, l'atteinte des poissons serait de très forte importance ( $P > 35 \%$ ) et serait la conséquence d'une mauvaise qualité de l'eau et de l'habitat.

✚ La recherche sur les parasites du barbeau *L. callensis* de l'Oubeira a fait apparaître :

○ La forte abondance des nématodes chez les individus des deux sexes ;

○ Le plus grand nombre de spécimens des genres Argulus et Mixosporidies chez les mâles

○ Que 74% des individus immatures sont infestés, contre 34 et 44% des effectifs de mâles et de femelles respectivement ;

○ Que les femelles de taille supérieure à 26cm hébergent le plus de parasites ; L'intensité moyenne d'infestation des barbeaux femelles est de l'ordre de 2.31 parasites/poisson infesté ;



- Que les mâles de taille comprises entre 19 et 29 cm abritent plus de 80% des parasites collectés ; Les barbeaux mâles hébergent en moyenne 1.95 parasites/individu infesté ; Ce sont toutefois les barbeaux de taille  $\geq 24$  cm qui abritent 2.54 parasites/individus parasités ;
- Que quelle que soit la taille des individus, la relation entre la longueur totale et le poids total indique une allométrie majorante ( $b > 3$ ) pour les individus parasités et non parasités.
- Que la valeur de K la plus élevée est enregistrée en automne chez les barbeaux mâles parasités et non parasités ; toutefois, les valeurs les plus basses sont notées au printemps pour le lot non parasité et en été pour le lot parasité ;
- Que les valeurs de K les plus élevées sont enregistrées au printemps et en été chez les femelles parasitées, et au printemps et en automne chez les femelles non parasitées ;
- Que chez les femelles, les valeurs du RGS sont nettement plus élevées chez les non parasitées que chez les parasitées; En revanche, les valeurs du RHS des femelles parasitées sont nettement plus élevées que celles des femelles non parasitées.
- Que chez les mâles non parasités les valeurs du RGS sont plus élevées que celles des individus parasités ; Le RHS des barbeaux mâles non parasités montre des valeurs de plus de 1% en janvier (1.43%), en février (1.88%) et en mai (1.42%) alors que les pics du RGS apparaissent en mars (2.48%), en avril (3.66%) et en mai (3.65%) ; Les deux indices somatiques semblent suivre un schéma d'évolution différent de celui observé chez les barbeaux mâles parasités

✚ Les résultats des travaux portant sur la réponse morphophysiochimique et biochimique de *L. callensis* à la présence de *Anisakis sp.* ont révélé :

- Que l'intensité parasitaire moyenne est de l'ordre de 1,09 larve d'anisakis par barbeau infesté.
- Que la taille, le poids et le facteur de condition (CF) des individus parasités et non parasités ne montrent aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) ;
- Que l'indice viscérosomatique chez le lot témoin et le lot parasité ne montre pas de différence significative ( $p < 0,05$ ); en revanche, les valeurs des IHS et ISS chez les poissons infestés ont augmenté de manière significative ( $p < 0,05$ ) par rapport aux individus sains.
- Que le parasite induisait une augmentation non significative de l'activité catalase dans le cœur, alors que dans les autres tissus, elle était réduite par rapport au groupe témoin. L'activité catalase au niveau du foie et du cœur montre une baisse chez les individus sains par rapport aux parasités ; toutefois, cette baisse n'est pas significative ( $p < 0,05$ )
- Qu'une augmentation des niveaux de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été enregistrée de manière générale dans tous les organes étudiés des barbeaux parasités par rapport aux poissons non parasités.



▪ Que l'activité de l'AChE dans le foie et l'intestin ne montre aucune diminution significative ( $P < 0,05$ ) chez les poissons parasités par rapport aux poissons témoins. Toutefois, une diminution significative ( $P < 0,05$ ) de l'activité AChE a été enregistrée au niveau du cœur (68,39 %) et des muscles (81,55%) des poissons parasités ; Quant à l'activité AChE dans la rate, elle a montré une augmentation significative ( $P < 0,05$ ) de chez les poissons parasités par rapport aux poissons sains.

### En perspectives

Les résultats obtenus nous ouvrent un grand nombre de perspectives d'étude aussi bien sur l'hôte et son environnement que sur la communauté de parasites qu'il héberge ; il serait donc intéressant :

- ✓ D'entreprendre des études similaires sur plusieurs cycles et dans divers biotopes en augmentant la taille des échantillons ;
- ✓ De rechercher les facteurs abiotiques et biotiques susceptibles d'avoir un impact sur la croissance du barbeau et sur son cycle de reproduction ;
- ✓ D'identifier et dénombrer les espèces parasites rencontrées dans divers biotopes ;
- ✓ D'identifier les hôtes intermédiaires des espèces parasites rencontrées ;
- ✓ De déterminer les types de cohabitation d'espèces parasites et d'évaluer leur impact sur l'embonpoint et la croissance du barbeau ;
- ✓ L'élaboration d'un Plan de Gestion de la population de barbeaux *L. callensis* en Algérie, et la mise en place d'unités de gestion de cette espèce endémique dans les différentes régions hydrographiques.



## References bibliographiques

### A

- Aebi H. 1974. Catalase In: Bergmeyer, H.U. (Ed.), *Methods of Enzymatic Analysis*. Academic Press, London, pp. 671–684.
- Adams DB. 1981. Changes in blood leukocytes, bone marrow and lymphoid organs in sheep infected with *Haemonchus contortus*. *Int. J. Parasit.* 11: 309–317.
- Adams S. M. 1999. Ecological Role of Lipids in the Health and Success of Fish Populations. M. T. Arts et al. (ed.), *Lipids in Freshwater Ecosystems*© Springer Science+Business Media New York.
- Adams S.M. 2001. Biomarker/bioindicator response profiles les of organisms can help differentiate between sources of anthropogenic stressors in aquatic ecosystems. *Biomarkers*. 6(1): 33–44.
- Adams S.M. 2002, *Biological indicators of aquatic ecosystem stress*: Bethesda, MD, American Fisheries Society. 644 pp.
- Adams SM, Greeley MS, Law JM, Noga EJ and Zelikoff JT. 2003. Application of multiple sublethal stress indicators to assess the health of fish in Pamlico Sound following extensive flooding. *Estuaries*. 26: 1365–1382.
- Adams S.M., McLean R.B. 1985. Estimation of largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacbpkde, growth using the liver somatic index and physiological variables. *J. Fish Biol.* 26: 11 1–12
- Adams S.M., McLean, RB., Huffman M.M. 1982. Structuring of a predator population through temperature-mediated effects on prey availability. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1175–1184.
- Adams S.M., Breck J. E., McLean R. B. 1985. Cumulative stress-induced mortality of gizzard shad in a southeastern U.S. reservoir. *Environmental Biology of Fishes* 13: 103–112
- Adams S.M., Greeley M.S., Law J.M., Noga E.J., Zelikoff J.T. 2003. Application of multiple sublethal stress indicators to assess the health of fish in Pamlico Sound following extensive flooding. *Estuaries*. 26: 1365–1382.
- Adams, S.M.; Crumby, W.D.; Greeley, M.S.; Ryon, M.G.; Schilling, E.M. 1992. Relationships between physiological and fish population responses in a contaminated stream. *Environ. Toxicol. Chern.* 11: 1549–1557.
- Allan B.J.M., Illing B., Fakan E.P., Narvaez P., Grutter A.S., Sikkil P.C., McClure E.C., Rummer J.L, McCormick M.I. 2020. Parasite infection directly impacts escape response and stress levels in fish. 223 (16): jeb230904. doi : 10.1242/jeb.230904
- Al-Ghais S.M. 2013. Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine Pollution Bulletin* 74 : 183 186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.005>
- Aminisarteshniz M. 2021. Length-Weight Relationship and Fulton's Condition Factor of *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849) in Siah Darvishan River, Iran. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*. 25(2): 551 – 560. [www.ejabf.journals.ekb.eg](http://www.ejabf.journals.ekb.eg)
- Antonise M. Jaguezeski, Gessica Perin, Leandro A. Rhoden, Teane M. A. da Silva, Ricardo E. Mendes, Nathieli B. Bottari, Matheus D. Baldissera, Vera M. Morsch, Schetinger M.R .C., Lenita M. Stefani Aleksandro S. da Silva ., 2017. Changes on the activity of cholinesterase's in an immunomodulatory response of cattle infected by *Listeria monocytogenes*. *Microbial Pathogenesis*; PII: S0882- 4010(17)31192-0 doi: 10.1016/j.micpath.2017.10.038
- Arab A., 1989. Etude des peuplements d'invertébrés et de poissons appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux et des ressources piscicoles des oueds Mouzaia et Chiffa. Thèse pour l'obtention du diplôme de Magister en Ecoéthologie, Option Hydrobiologie. L'USTHB Alger ; Algérie. 145 p.
- Arnott, S. A., Barber, I. & Huntingford, F. A., 2000. Parasite-associated growth enhancement in a fish–cestode system. *Proceedings of the Royal Society of London B* 267, 657–663.
- Audicana M.T., Kennedy M.W. 2008. *Anisakis simplex*: from Obscure Infectious Worm to Inducer of Immune Hypersensitivity. *Clinical Microbiology Reviews*. 21(2), 360–379. doi:10.1128/cmr.00012-07



## B

- Belló ARR, Fortes E, Belló-Klein A, Belló AA, Llesuy SF, Robaldo RB, Bianchini A. 2000. Lipid peroxidation induced by *Clinostomum detrunctatum* in muscle of the freshwater fish *Rhamdia quelen*. Dis. Aquat. Org. 42: 233–236.
- Benali S. A., Larbi Doukara K., Ghomari S.M., Mediouni M.R., Taïbi W., Soualili D.L., Gaouar S.B.S., 2021. Morphometric Characteristics of *Luciobarbus mascarensis* and *L. lanigarensis* (teleostei: cyprinidae) in western Algeria.
- Bendjamaa A., Djabri L., Chouchanea T., Boukaria A., Tlili S., 2014. La contamination métallique des eaux lacustres des zones humides du PNEK située au Nord-Est algérien Actes de la conférence internationale sur l'énergétique appliquée et la pollution, organisée par le laboratoire LEAP, décembre 14-15, Constantine.
- Bendjama A., Morakchi K., Meradi H., Boukari A., Chouchane T., Belaabed B.E., Djabri L., 2011. Caractérisation des matériaux biologiques issus d'un écosystème naturel « PNEK » situé au nord-est de l'Algérie. J. Soc. Alger. Chim., 21(1) : 45-58.
- Benkirane O., Saidi N., Choulli M.K. 2001. Niveau de l'acétylcholinestérase chez quatre espèces de poissons de l'estuaire du Sebou. Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc). 21 (1): 13-16.
- Bergljot and Magnadottir. 2006. Innate immunity of fish (overview). Fish & Shellfish Immunology. 20 :137-151. doi:10.1016/j.fsi.2004.09.006
- Berrouk H., Tolba M., Boucenna I., Touarfia M., Bensouilah M., Kaouachi N., Boualleg C., 2018. Copepod Parasites of the Gills of *Luciobarbus Callensis* (Valencienne, 1842) and *Carassius Carassius* (Linnaeus, 1758) (Cyprinid Fish) Collected from Beni Haroun Dam (Mila, Algeria). World Journal of Environmental Biosciences. 7 (4): 1-7
- Berrouk H., Sahtout F., Boualleg C., 2020. Biological parameters of *Luciobarbus callensis* populates Beni-Haroun dam, northeastern Algeria. Biodiversitas. 21 (12) : 5691-5697. DOI: 10.13057/biodiv/d211214.
- Bertrand C., Cousin X., Haubruge E., Toutant J.P., Chatonnet A. 1998. L'acétylcholinestérase des poissons, cible des organophosphorés et des carbamates. Bull. Fr. Pêche Piscic. 350-351 :535-546. <http://dx.doi.org/10>
- Bhattacharya C, Singh RN, Misra S, Rathaur S. Diéthylcarbamazine 1997. Effet sur les enzymes lysosomales et l'acétylcholine dans l'infection à *Wuchereria bancrofti* . Trop Med Int Santé. ;2 :686-90.
- Boucenna I., khelifi N., Boualleg C., Allalqua A., Bensouilah M., Kaouachi N., 2018. L'infestation de *Luciobarbus callensis* (Cyprinidés) par les copépodes parasites dans le barrage Foug el khanga (Souk-Ahras, Algérie). Bull. Soc. Zool. Fr. 143 (4) : 199-212.
- Boudjadi Z, Tahri M, Djebbari N, Hamza I, Bensouilah M. 2009. Etude de l'infestation des anguilles (*Anguilla anguilla*) par le nématode (*Anguillicola crassus*) dans l'estuaire du Mafrag (Algérie). Mésogée. 65: 59-66.
- Bougis P. 1952. Recherche biométrique sur les Rougets *Mullus barbatus* L. et *Mullus surmuletus* L. Arch. Zool. Expér. Gen. Fr. 89 (2) : 57-174.
- Bosch SS, Kronenberger T, Meissner KA, Zimbres FM, Stegehake D, Izui NM, Schettert I, Liebau E, and Carsten Wrenger. 2015. Oxidative Stress Control by Apicomplexan Parasites. BioMed Research International .10 PP
- Boulton A.J., 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. Environmental Science, Freshwater Biology. 41: 469-479. DOI:[10.1046/j.1365-2427.1999.00443.X](https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00443.x)
- Boumezbear A. 2003. Réserve intégrale du lac Oubeïra, Wilaya El Tarf. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Ministère de l'agriculture et du développement rural. 7 PP.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Brahmia S., 2016. Ecologie parasitaire des Cyprinidés du lac Oubéira (Nord-Est Algérien). Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en Ecologie animale. Univ. Badji Mokhtar Annaba. 159 p.



- Brahmia S, Barour C, Abbaci S, Bouallag C and Bensouilah M. 2016. Environmental parameters and parasitism in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) caught from Oubeira Lake (North-East of Algeria). *Research Journal Of Fisheries And Hydrobiology*, 11(4): 27-36.
- Bretaud S., Toutant J.P., Saglio P. 2000. Effects of Carbofuran, Diuron, and Nicosulfuron on Acetylcholinesterase Activity in Goldfish (*Carassius auratus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 47: 117-124. doi:10.1006/eesa.2000.1954.
- Brown M.L., Murphy B.R. 2004. Seasonal dynamics of direct and indirect condition indices in relation to energy allocation in largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède). *Ecology of Freshwater Fish*. 13: 23-36
- Bruslé J and Anadon GG. 1996. The structure and function of fish liver, In: Munshi JSD, Dutta HM, editors. *Fish Morphology: horizon of new research*. Brookfield: A. A. Balkema. 77-93.
- Bruslé J., Quignard J-P., 2001. L'histoire phylogénétique et paléohistorique des espèces du genre *Barbus*, poisson polyploïde. *Biologie des poissons d'eau douce européens* Editions TEC & DOC. Londres, Paris, New York. PP 623.
- Bruslé J. et Quignard J-P., 2004. *Les poissons et leur environnement*. Editions TEC & DOC. Londres, Paris, New York. PP 1522.
- Bruslé J., Quignard J-P., 2012. *Eco-éthologie de la reproduction des poissons*. Ouvrage de 288 p.
- Bush A.O., Fernández J.C., Esch G.W., Seed J.R. 2001. *Parasitism: The diversity and ecology of animal parasites*. Parasitology Published by the press syndicate of the university of Cambridge
- Byhovskaya-Pavlovskaya, I. E. 1985. *Fish parasites: a study guide*. *Methods of Zoological research practice*. Leningrad Nauka (Russian) 121 pp.
- C**
- CCAC. 2005. *Canadian Council on Animal Care Guidelines on: The Care and Use of Fish in Research, Teaching and Testing*.
- Camila FS, Regianne FS, Amaral MGC, Domingos FFT, Ribeiro Rosy IMA, Thomé RG and Santos HB. 2017. Comparative histology in the liver and spleen of three species of freshwater teleost. *Neotropical Ichthyology*.15(1): 16-41.
- Chaïbi R., 2014. *Connaissance de l'ichtyofaune des eaux continentales de la région des Aurès et du Sahara septentrional avec sa mise en valeur*. Thèse de Doctorat es. Sciences en Biologie. Univ. Mohamed khider. Biskra. Algérie. 237 PP.
- Chambras C., Marionnet D., Taysse L., Deschaux P. Moreau J., Bosgiraud C. 1999. Xenobiotic metabolizing enzymes in carp (*Cyprinus carpio*) liver, spleen, and head kidney following experimental listeria monocytogenes infection. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 56:205-219.
- Chandrashekar R., Tsuji N., Morales T.H., Carmody A.B., Ozols V.O., Welton J., Tang L. 2000. Removal of hydrogen peroxide by a 1-cysteine peroxiredoxin enzyme of the filarial parasite *Dirofilaria immitis*. *Parasitol Res*. 86(3):200-6. doi: 10.1007/s004360050032.
- Chaouachi B., Ben Hassine O.K., 1998. Le barbeau *Barbus callensis* Valenciennes, 1842 (Poisson, Téléostéen) de la lagune de l'Ichkeul. *Arcbs. Inst. Pasteur*. 75 (3/4) : 211-218.
- Chovanec A., Hofer R., Schiem F. 2003. Fish as bioindicators: Trace Metals and other Contaminants in the Environment In book: *Bioindicators and Biomonitors* Publisher: Elsevier Editors: Markert B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. doi:10.1016/S0927-5215(03)80148-0
- Crivelli, A.J. 2006. *Barbus callensis*. The IUCN Red List of Threatened Species.e.T61251A12453969. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2006.RLTS.T61251A12453969.en>
- Crivelli, A.J. 2018. "*Luciobarbus callensis*" (amended version of 2006 assessment). IUCN Red List of Threatened Species. doi:10.2305/IUCN.UK.2006. RLTS.T61251A136081457.en.



## D

- Dallarés S, Constenla M, Padrós F, Cartes JE, Solé M, Carrassón M. 2014. Parasites of the deep-sea fish *Mora moro* (Risso, 1810) from the NW Mediterranean Sea and relationship with fish diet and enzymatic biomarkers. *Deep-Sea Research*. 92 : 115–126.
- Dallarés S, Moyà-Alcovera CM, Padrós F, Cartes JE, Solé M, Castañeda C, Carrassón M. 2016. The parasite community of *Phycis blennoides* (Brünnich, 1768) from the Balearic Sea in relation to diet, biochemical markers, histopathology and environmental variables. *Deep-Sea Research* I. 17 PP.
- D'Autreaux B., Toledano M.B. 2007. ROS as signalling molecules: mechanisms that generate specificity in ROS homeostasis. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 8 : 813-24. doi: 10.1038/nrm2256
- DE Kinkelin et Gerard, 1972
- Dautremepuits C, Betoulle S, Vernet G. 2003. Stimulation of antioxidant enzymes levels in carp (*Cyprinus carpio* L.) infected by *Ptychobothrium* sp. (Cestoda). *Fish Shellfish Immunol.* 15(5): 467-71.
- Dekić R., Savić N., Manojlović M., Golub D., Pavličević J. 2016. Condition factor and organosomatic indices of rainbow trout (*onchorhynchus mykiss*, wal.) From different brood stock *Biotechnology in Animal Husbandry* 32 (2), p 229-237. doi: 10.2298/BAH1602229D
- De kinkelin P. et Gérard J-P., 1972. Connaissances de base sur la pathologie des poissons. Conférences données à l'école des gardes-pêche (32e promotion). *Bulletin français de pisciculture, quarante-cinquième année, n° 247* : 47-78.
- Depledge M.H., Aagaard A., Györkös P. 1995. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioural biomarkers. *Marine Pollution Bulletin.* 31, (1–3) 19–27. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00006-9](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00006-9)
- Di Giulio RT, Meyer JN. 2008. Reactive oxygen species and oxidative stress. In *The Toxicology of Fishes*. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC. 6, 274-308 PP.
- Djebbari N, Boudjadi Z & Bensouilah M. 2009. L'infestation de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 par le parasite *Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974) dans le complexe de zones humides d'El Kala (Nord-Est algérien). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie.* 31 (1): 45-50.
- Doyen J.F., Dowing J.A., Magnin E. 1988. Variation in the Condition of Northern Pike, *Esox lucius*. *J.Fish.Aquat.Sci.*45:479-483.

## E

- Eissa IAM, Derwa HI, Ismail M, Ramadan RA, Zaki M and Nashwa M. 2014. Use of enzyme activities as biomarkers for oxidative stress induced by metacercarial affections in some cultured tilapia species *Life Science Journal.* 11(3): 228-233.
- Elie P., Miossec L., Girard P., 2008. Impact des organismes pathogènes et des micropolluants sur l'état de santé des poissons, mollusques et crustacés des milieux naturels : de l'individu au peuplement
- Elie P. et Girard P., 2014. L'état de santé des poissons sauvages : les codes pathologie, un outil d'évaluation. Edit : Association Santé Poissons Sauvage. 286 p.
- Ellis A.E. 1980. Antigen-trapping in the spleen and kidney of the plaice *Pleuronectes platessa* L. 3 (5) 413-426. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.tb00425.x>
- Ellman GL, Courtney KO, Andres V, Featherstone RM. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7 : 88-95.
- Emmanuelle Roque, 2008. Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets. Thèse de Doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse. 144p.
- Ensibi C, Pérez-López M, Soler Rodríguez F, Míguez-Santiyán MP, Daly YMN, Hernández-Moreno D. 2013. Effects of deltamethrin on biometric parameters and liver biomarkers in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Environmental Toxicology and Pharmacology.* 36 : 384-391.



F

- FAO, 1999. La qualité et son évolution dans le poisson frais. FAO document technique sur les pêches – 348. FAO - organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. ISBN 92-5-203507-9.
- Ferrer-Maza D, Lloret J, Munoz M, Faliex E, Vila S and Sasal P. 2014. Parasitism, condition and reproduction of the European hake (*Merluccius merluccius*) in the northwestern Mediterranean Sea. ICES Journal of Marine Science Advance. 12 PP.
- Filho D.W., Giulivi C., Boveris A. 1993. Antioxidant defenses in marine fish-I. Teleosts. Comp. Biochem.Physiol. 106C, 409-413.
- Filho D., Torres MA., Tribess TB., Pedrosa R.C, Soares CHL. 2005. Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlided fish acarà (*Geophagus brasiliensis*). Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 34: 719-726. cancer. DOI: 10.1016/j.cbi.2005.12.009
- Flammarion P, Devaux A, Garric J. 2000. Marqueurs biochimiques de pollution dans les écosystèmes aquatiques continentaux. Exemples d'utilisation et perspectives pour le gestionnaire. Bull. Fr. Pêche Piscic. 357/358 : 209-226.
- Fridovich I. 1988. The biology of oxygen radicals: Threats and defenses. Department of biochemistry, duke university medical center, durham, north carolina 27710, USA. 11 pp.

G

- Girard, 1998. Le poisson sentinelle des milieux aquatiques : Pertinence et optimisation des indicateurs sanitaires. Bull. Fr. Pêche Piscic. 330-351 : 429-443. doi : <https://doi.org/10.1051/kmae:1998015>
- Girard P. et Elie P., 2007. Manuel d'identification des principales lésions anatomo-morphologiques et des principaux parasites externes des anguilles. CEMAGREF/ Association Santé Poisson Sauvage. N° 110. 81 p.
- Gouvernement du Québec, 2016. Guide de classification des anomalies externes des poissons d'eau douce du Québec Bibliothèque et Archives nationales du Québec. ISBN 978-2-550-76168-6. 186p.
- Gougnard I., Poncin P., Ruwet J-Cl., Philippart J.C., 1987. Description et analyse du comportement de reproduction du Barbeau *Barbus barbus* (L) en aquarium : Influence du nombre de mâles courtisans sur les comportements observés. Cahier d'Ethologie appliqué. 7 (3) : 293-302.

H

- Hadou-Sanoun G., 2013. Etude écologique et biologique d'un poisson Cyprinidé du genre *Barbus* (*Brbus setivimensis* et *Barbus antinorii*) dans le barrage de Keddara (W. Boumerdes). Thèse de Doctorat es. Sciences en Biologie. Univ. des sciences et de la technologie Houari Boumediene. Alger. Algérie. 215 PP.
- Hansson T., Thain J., Martínez-Gómez C., Hylland K., Gubbins M., Balk L. 2017. Supporting variables for biological effects measurements in fish and blue mussel. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences. No. 60. 22 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.2903>
- Henkle-Dührsen K., Kampkötter Un. 2001. Familles d'enzymes antioxydantes chez les nématodes parasites. Mol Biochem Parasitol 114 (2) : 129-42. doi : 10.1016 / s0166-6851 (01) 00252-3
- Helfman, De Gene S. Collette, Bruce B. Facey, Douglas E. Bowen, Brian W. 2009. The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology. Second edition Publisher: John Wiley & Sons

I

- Jenkins, J.A., 2004. Fish bioindicators of ecosystem condition at the Calcasieu Estuary, Louisiana: USGS Open-File Report 2004-1323, 47 p. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1998015>
- John J. L. 1994. Nematodes and the spleen: an immunological relationship. Experientia. 50:15-21. Birkh/iuser Verlag, CH-4010 Basel/Switzerland.



## K

- Kakinuma K, Yamaguchi T, Kaneda M, et al., 1979. Determination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> release by the treatment of human blood polymorphonuclear leucocytes with myristate, *J. Biochem.* 86 : 87–95.
- Karr J. R., Fausch K. D., Angermeier P. L., Yant P. R., Schlosser I. J., 1986. Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale. Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois, special publication no 5, 28 p.
- Kavitha P., Venkateswara Rao J. 2007. Oxidative stress and locomotor behaviour response as biomarkers for assessing recovery status of mosquito fish, *Gambusia affinis* after lethal effect of an organophosphate pesticide, monocrotophos. *Pestic.Biochem. Physiol.*, 87(2), 182–188.
- Kestemont P., Philippart J-C., 1991. Considérations sur la croissance ovocytaire chez les poissons à ovogenèse synchrone et asynchrone. *Belg. J. Zool.* 121 (1) : 87-98
- Kiron V. 2012. Fish immune system and its nutritional modulation for preventative healthcare. *Animal Feed Science Technology* 173: 111–133.
- Khalil L.F., Polling L. 1997. Checklist of the Helminth Parasites of African Freshwater Fishes. University of the North, Pietersburg, 185 p.
- Kono Y and Fridovich I. 1982. Superoxide Radical Inhibits Catalase. *The Journal Of Biologicaclhe*, Mistry Printed In U.S.A. 257 (10) : 5751-5754. doi:10.1016/S0021-9258(19)83842-5
- Kono Y and Fridovich I. 1982. Superoxide Radical Inhibits Catalase. *Journal of Biological Chemistry.* 257(10): 5751-5745.
- Kraiem M-M., 1989. Etude comparative de différentes populations de *Barbus callensis* Valenciennes 1842, (Pisces, Cyprinidae) de Tunisie. *Cybium.* 13 (4) : 365-374.
- Kraiem M-M., 1994. Systématique, Biogéographie et Bio-écologie de *Barbus callensis* Valenciennes, 1842 (Poissons, Cyprinidae) de Tunisie. Thèse de Doctorat d'Etat Es Science Biologiques. Univ. Tunis II, Tunisie. 227 PP.
- Kraiem M. M., Pattee E. 1988. Salinity tolerance of the barbel, *Barbus callensis* Valenciennes, 1842 (Pisces, Cyprinidae) and its ecological significance. *Hydrobiologia* 166: 263-267

## L

- Laguesse e. 1890. Recherches sur le développement de la rate chez les poissons. Thèse de docteur ès sciences, série aj n° 146. N° d'ordre : 704. Éditeur, ancienne librairie Germer Baillière et C" Félix Alcan, 1.08, boulevard Saint-germain (Paris).
- Lainé M., de Lavergne S., Elie P., 2018. Atlas de l'état de santé des poissons sauvage de Gironde (2010 – 2015) : méthodologie et synthèse départementale. Rapport FD33/ASPS. (4) : 61p.
- Le Cren, 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in Gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*) Freshwater Biological Association, Ambleside, Westmorland. *Journal of Animal Ecology.* 20 (2) 201-219 pp.
- Lee DL. 1996. Why do some nematode parasites of the alimentary tract secrete acetylcholinesterase? *Int. J. Parasitol.* 26(5): 499-508. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(96\)00040-9](https://doi.org/10.1016/0020-7519(96)00040-9)
- Lefebvre F., Mounaix B., Poizat G., Crivelli A. J. 2004. Impacts of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* on *Anguilla anguilla*. *Journal of Fish Biology* 64(2): 435 - 447. doi:10.1111/j.0022- 1112.2004.00309.x
- Lévêque C., Paugy D. (eds), 1999 — Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Paris, IRD Éditions, 521 p.
- Levrard JP, Boudinot P. 2009. The immune system of teleost fish. *Med Sci (Paris).* 25(4) : 405–411. Doi : 10.1051/medsci/2009254405.



Louiz I., Menif D., Ben Attia M., Ben Hassine O.K., 2006. Distribution spatiale des déformations vertébrales chez *Gobius niger* (Gobiidae) de la lagune de Bizerte, Tunisie. Premier Congrès Méditerranéen d'Océanologie, 20-23 Novembre. Sidi Fredj- Alger. Algérie 187-190.

M

Mahsa Rahbari, Stefan Rahlfs, Esther Jortzik, Ivan Bogeski, Katja Becker 2017. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dynamics in the malaria parasite *Plasmodium falciparum*. PLoS One. 12(4): e0174837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174837>

Magnadóttir B. 2006. Innate immunity of fish (overview). Fish & Shellfish Immunology. 20:137-151. doi: 10.1016/j.fsi.2004.09.006

Magnadóttir B. 2010. Immunological Control of Fish Diseases. Marine Biotechnology.12: 361-379

Maillard, 1976. Distomatoses de poissons en milieu lagunaire. PhD thesis, University Sciences and Techniques du Languedoc

Mamadou D., 1995. Contribution à la connaissance de la parasitofaune des poissons du barrage de Sidi Saad. Diplôme d'études approfondies de parasitologie fondamentale et appliquée. Université de Tunis II, Faculté des sciences de Tunis. 107p.

Marcogliese, 2008. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. Review Rev. Sci. Tech.27 (2):467-84.

Marcogliese DJ and Pietrock M. 2011. Combined effects of parasites and contaminants on animal health: parasites do matter Trends in Parasitology. 27 (3): 123-130.

Marcogliese DJ, Brambilla LG, Gagné F, Gendron AD. 2005. Joint effects of parasitism and pollution on oxidative stress biomarkers in yellow perch *Perca flavescens*. Diseases of Aquatic Organisms 63: 77-84.

Marcogliese DJ and Giamberini L. 2013. Parasites and Ecotoxicology: Fish and Amphibians. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 13: 23, 8 PP.

Markert B.A, Breure A.M, Zechmeister H.G. 2003. Bioindicators and biomonitors: principles, concepts, and applications. Edited by Amsterdam, Boston: Elsevier.

Martínez-Álvarez R. M., Morales A.E., Sanz A. 2005. Antioxidant Defenses in Fish: Biotic and Abiotic Factors. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 15: 75-88.

Massoulié J., Pezzementi L., Bon S., Krejci E., Vallette F.M. 1993. Molecular and cellular biology of cholinesterases. Progress in Neurobiology, 41(1), 31-91. doi:10.1016/0301-0082(93)90040y

Mauduit F. 2017. Évaluer l'état de santé des poissons : la pierre angulaire manquante dans l'évaluation et la gestion des risques écologiques. Sciences de la Terre. Thèse de doctorat Université de Bretagne occidentale - Brest. Français. 271PP. NNT : 2017BRES0033. <https://tel.archives-ouvertes.fr>

Meddour AR. et Meddour-Bouderda K. 1999. Bilan d'une pisciculture extensive et parasite des poissons de la lagune Mellah et du lac Oubéira (Parc National El Kala, Algérie). Proceedings des Journées Internationales sur les Sciences de la Mer J'NESMA99, Commandement des Forces Navales Tamentfoust, Alger 29, 30, 31 Mai, Atelier B, 657 -670.

Meddour AR., 2001 : Biodiversité et développement piscicole au Parc National El Kala, Algérie. International Workshop on Marine Biodiversity in Muslim Countries, Algiers. Workshop Report N° 07: 42-50.

Meddour AR. et Bouderda K., 2001. Biodiversité et développement piscicole au lac Oubéira (Parc National El Kala, Algérie). Workshop on the Marine Biodiversity in The Islamic Countries, Algiers. Edited by The Inter-Islamic Science & Technology Network on Oceanography, Izmir, Turkey, INOC-MPRH-IDB Report (07): 42-51.

Meddour A.F., Meddour-Bouderda K., Brahim-Tazi N.A. Zouakh D.E, Mehennaoui S., 2010. Microscopie Electronique à Balayage des Parasites des Poissons du lac Oubéira - Algérie European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X.48 (1): 129-141

Mehrdana F., Buchmann K. 2017. Excretory/secretory products of anisakid nematodes: biological and pathological roles. Review Acta Vet Scand. 59(1): 42. doi : 10.1186/s13028-017-0310-3.



- Mehrdana F, Lavilla M., Kania P.W., Pardo M.Á., Audicana M., Longo N., Buchmann K. 2021. Evidence of IgE-Mediated Cross-Reactions between *Anisakis simplex* and *Contracaecum osculatum* Proteins. *Pathogens*. 10, 950. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080950>.
- Melila M, Poutouli W, Amouzou KS, Gado T, Tchao M, Doh A. 2012. Évaluation de l'impact du rejet des déchets phosphates dans la mer sur la biodiversité marine dans trois localités côtières au Togo à partir des biomarqueurs du stress oxydatif chez *Sphyræna barracuda* (Heckel, 1843). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (2): 820-831.
- Metheni M, Echebli N, Chaussepied M, Ransy C, Chéreau C, Jensen K, Glass E, Batteux F, Bouillaud F and Langsley G. 2014. The level of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> type oxidative stress regulates virulence of *Theileria*-transformed leukocytes. *Cellular Microbiology*. 16(2) : 269–279.
- M'hadhbi L., Boumaïza M., 2008. Etude de la croissance relative du barbeau : *barbus callensis* (Cyprinidae) de la retenue de barrage Joumine (Nord Tunisien) *Analele Științifice ale Universității, Al. I. Cuza" Iași, s. Biologie animală, Tom LIV.*
- Mikraykov V.R., Silkina N.I. 2006. Characteristics of lipid peroxidation in the system host-parasite at the case *Ligula intestinalis* L. (Cestoda, Pseudophyllidae) *Abramis brama* (L.). *Biology of indoor waters. Russian.* 4: 63-66.
- Mimeche F., 2008. Recherche préliminaire écologiques sur le barbeau de Biskra *Barbus callensis* valenciennes, 1842 (Piscec : Cyprinidae) dans le barrage de la fontaine des gazelles (Biskra). Thèse de Magister en sciences agronomiques. INA El- Harrach, Algérie. 35 p
- Mimeche F., Biche M., Ana Ruiz-Navarro and Francisco J. Oliva-Paterna, 2013. The population structure, age and growth of *Luciobarbus callensis* (Cyprinidae) in a man-made lake in the Maghreb (NE Algeria). *Asociación Ibérica de Limnología, Madrid. Spain. Limnetica.* 32 (2): 391-404. ISSN: 0213-8409
- Morsi A., Mimeche F., Biche M., 2015. Age structure and growth of Algerian barbell *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842) (Cyprinidae) in El-Harrach River (North of Algeria). *AAFL Bioflux.* 8 (4) : 475- 484 .<http://www.bioflux.com.ro/aacfl>.
- Morsi A., 2015. Des études sur l'âge et la croissance du barbeau de l'oued el Harrach en Algérie
- Morsi A., 2016. Ecologie du barbeau de l'Algérie, *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842) (Cyprinidae) dans Oued El-Harrach et de ses affluents (nord de l'Algérie). Thèse de Doctorat troisième cycle en Sciences Agronomiques. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie – EL- Harrach, Alger. 189 PP.
- Mouaïssa W., 2017. Contribution à l'étude de la biologie (croissance, structure morphométrique, reproduction et régime alimentaire) de l'espèce de poisson *Barbus callensis* (Cyprinidés) dans le barrage Beni Haroun (l'est Algérien). Thèse de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle "Dynamique et biodiversité des écosystèmes Soutenue " ; Université Souk Ahras.
- Mozhdeganloo Z, Heidarpour M. 2013. Oxidative stress in the gill tissues of goldfishes (*Carassius auratus*) parasitized by *Dactylogyrus* spp. *Indian Society for Parasitology.* 4PP.

## N

- Neves CA, Santos EA, Bairy AC. 2000. Reduced superoxide dismutase activity in *Palaemonetes argentinus* (Decapoda, Palaemonidae) infected by *Probopyrus ringueleti* (Isopoda, Bopyridae). *Dis. Aquat. Org.* 39: 155-158.

## O

- Otto, T. N. & Heckmann, R. A. (1984). Host tissue response for trout infected with *Diphyllobothrium cordiceps* larvae. *Great Basin Nut.* 44: 125-132.



## P

- Payne J.F., Mathieu A., Melvin W., Fancey L.L. 1996. Acetylcholinesterase, an old biomarker with a new future? Field trials in association with two urban rivers and a paper mill in New foundland. *Marine Pollution Bulletin*. 32 (2) 225-231
- Payne J.D., Schacter D.L., Propper R., Huang L.W., Wamsley E., Tucker M.A., Walker M.P., Stickgold R. 2009. The Role of Sleep in False Memory Formation. 92(3): 327-334. doi: 10.1016/j.nlm.2009.03.007
- Percário S., Moreira DR, Gomes BAQ, Ferreira MES, Gonçalves ACM, Laurindo Paula SO C, Vilhena TC, Dolabela MF and Green MD. 2012. Oxidative Stress in Malaria. *Int. J. Mol. Sci.* 13: 16346-16372. doi: 10.3390/ijms131216346
- Perteguer MJ, Raposo R, Cuellar C., 1996. Étude in vitro sur l'effet des produits excréteurs/sécrétoires larvaires et des extraits bruts d'*Anisakis simplex* sur la coagulation sanguine. *Int J Parasitol.* 26:105-8.
- Podolska M, Napierska D. 2006. Acetylcholinesterase activity in hosts (herring *Clupea harengus*) and parasites (*Anisakis simplex* larvae) from the southern Baltic. *ICES Journal of Marine Science.* 63: 161-168. doi: 10.1016/j.icesjms.2005.08.001.
- Podolska M., Napierska D. 2006. Acetylcholinesterase activity in hosts (herring *Clupea harengus*) and parasites (*Anisakis simplex* larvae) from the southern Baltic. *ICES Journal of Marine Science.* 63: 161- 168.
- Podolska M, Nadolna K, Was A, Gosz E, Szostakowska B. 2012. Acetylcholinesterase secretion by thirdstage larvae of *A. simplex* (Nematoda: Anisakidae) from Baltic herring. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 32(6): 225-232.
- Podolska M, Nadolna K, Szostakowska B. 2014. Acetylcholinesterase activity in the host-parasite system of the cod *Gadus morhua* and acanthocephalan *Echinorhynchus gadi* from the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin.* 79: 100-106.
- Poisot T., Simková A., Hysil P., Morand S., 2009. Interactions between immunocompetence, somatic condition and parasitism in the chub *Leuciscus cephalus* in early spring. *Journal of Fish Biology.* 75 (7): 1667-1682. doi:10.1111/j.1095-8649.2009.02400.x
- Pritchard D.I. 1993. Points in question why do some parasitic nematodes secrete acetylcholinesterase (AChE)? *International Journal for Parasitology*, 23(5), 549. doi :10.1016/0020-7519(93)90157-t

## R

- Radovanović TB, Borković Mitić SS, Perendija BR, Despotović SG, Pavlović SZ, Cakić PD, Saičić ZS. 2010. Superoxide dismutase and catalase activities in the liver and muscle of barbel (*Barbus barbus*) and its intestinal parasite (*Pomphorynchus laevis*) from the danube river, serbia. *Arch. Biol. Sci. belgrade.* 62 (1): 97-105. doi: 10.2298/ABS1001097R
- Rasmussen, R.S., Ostefeld, T.H., Ronsholdt, B. and McLean, E. 2000. Manipulation of end-product quality of rainbow trout with finishing diets. *Aquaculture Nutrition*, 6: 17-23.
- Richards D.T., Hoole D., Lewis J.W., Ewens E., and Arme C. 1994. Changes in the cellular composition of the spleen and pronephros of carp *Cyprinus carpio* infected with the blood fluke *Sanguinicola inermis* (Trematoda: Sanguinicolidae). *Dis. aquat. Org.* 19: 173-179.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Bulletin 191, Ottawa. <http://www.dfompo.gc.ca/Library/1485.pdf>
- Rizvi A., Hasan S., Alama M., Zafar A., Fatima T., Shareef P.A.A., Banu N., Saleemuddin M., Saifullah M.K., Abidi S.M.A. 2012. Levels of some antioxidant molecules and lipid peroxidation during in vivo transformation of the progenetic metacercaria of *Clinostomum complanatum* to ovigerous adult worms. *Veterinary Parasitology.* 185: 164- 167. doi: 10.1016/j.vetpae.2011.10.024.
- Robinson, BW, et Wilson, DS. 1994. Character release and displacement in fishes : a neglected literature. *The American Naturalist* *Am. Nat.* 144: 596-627. DOI : 10.1086/285696
- Roche H, Buet A, Ramade F. 2003. Caractéristiques écophysiological d'une population d'anguilles de camargue exposée à une pollution clandestine par des polluants organiques persistants. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 58 : 103-126.



- Rohlenová K, Morand S, Hyřil P, Tolarová S, Flajšhans M and Šimková A. 2011. Are fish immune systems really affected by parasites? An immunoeological study of common carp (*Cyprinus carpio*). *Parasites & Vectors*. 4: 120.
- Romestand B. 1979. Ecophysiological study on the parasitic action of Cymothoids. *Ann Parasitol Hum Comp*. 54(4):423-48.
- Ryberg M.P, Skov P.V, Vendramin N., Buchmann K., Nielsen A., Behrens J.W. 2020. Physiological condition of Eastern Baltic cod, *Gadus morhua*, infected with the parasitic nematode *Contracaecum osculatum*. *Conserv. Physiol.* 8 (1): coaa093; doi:10.1093/conphys/coaa093.
- S
- Samuel A.M.M., Dehler CE., Król E. 2016. Transcriptomic responses in the fish intestine. *Developmental and Comparative Immunology*. 64. 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2016.03.014>
- Schloesser R.W., Fabrizio M.C. 2017. Condition Indices as Surrogates of Energy Density and Lipid Content in Juveniles of Three Fish Species *Transactions de l'American Fisheries Society* Volume 146, - issue 5. <https://doi.org/10.1080/00028487.2017.1324523>
- Scharsack J.P, Koch K., Hammerschmidt K. 2007. Who is in control of the stickleback immune system: interactions between *Schistocephalus solidus* and its specific vertebrate host *Proc Biol Sci*. 274(1629): 3151–3158. doi: 10.1098/rspb.2007.1148
- Selkirk M.E, Smith V P, Thomas G R, Gounaris K. 1998. Resistance of filarial nematode parasites to oxidative stress. *Int J Parasitol*.28(9):315-32. doi : 10.1016/s0020-7519(98)00107-6.
- Seppänen E., Kuukka H., Voutilainen A., Huuskonen H., Peuhkuri N. 2009. Metabolic depression and spleen and liver enlargement in juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* exposed to chronic parasite infection. *Journal of Fish Biology* 74: 553–561. doi:10.1111/j.1095-8649.2008.02144.x
- Shamsi S., Rogers L., Sales E., Kopf R.K., Freire R. 2021. Do parasites influence behavioural traits of wild and hatchery-reared Murray cod, *Maccullochella peelii* ? *Parasitol Res*. 120 (2):515-523. doi:10.1007/s00436-020-07021-7.
- Skuratovskaya EN, Yurakhno VM and Zavyalov AV. 2013. The influence of parasitic infection on the black sea whiting *Merlangius merlangus euxinus* (gadidae) morphophysiological and biochemical parameters. *Vestnik zoologii*. 47(4): 309-317.
- Skuratovskaya EN, Zavyalov AV and Rudneva I.I. 2015. Response of the antioxidant system of Black Sea whiting *Merlangus merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) to parasitic nematode *Hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802) infection. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol*. 35(5): 170-276.
- Skuratovskaya E.N., Yurakhno V.M., Zavyalov A.V. 2013. The influence of parasitic infection on the black sea whiting *Merlangius merlangus euxinus* (gadidae) morphophysiological and biochemical parameters. *Vestnik zoologii*. 47(4): 309-317. doi: 10.2478/vzoo-2013-003.
- Skuratovskaya E.N., Zavyalov A.V., Rudneva I.I. 2015. Response of the antioxidant system of Black Sea whiting *Merlangus merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) to parasitic nematode *Hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802) infection. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol*. 35(5): 170-276.
- Skuratovskaya E.N., Zavyalov A.V., Rudneva I.I. 2018. Health parameters and antioxidant response in Black Sea whiting *Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) parasitized by nematode *Hysterothylacium aduncum* (Rud., 1802). *Comunicata Scientiae* 9(4): 700-709. doi: 10.14295/CS. v9i4.2441
- Sokolova I.M. 2013. Energy-Limited Tolerance to Stress as a Conceptual Framework to Integrate the Effects of Multiple Stressors *Integrative and Comparative Biology*, 53 (4) 597–608. <https://doi.org/10.1093/icb/ict028>
- Stewart D.B., Bernier L.M.J., 1999. Parasites, maladies et blessure couramment observés chez les poissons d'eau douce des territoires du nord-ouest et du Nunavut. *Pêches et Océans*. Canada, 41p.
- Sures B. 2001. The use of fish parasites as bioindicator of heavy metals in aquatic ecosystems. *Germany. Aquatic Ecology*. 35: 245–255.
- Sures B. 2008. Host–parasite interactions in polluted environments. *Journal of Fish Biology*. 73: 2133–2142.



Sures B, Nachev M, Selbach C, Marcogliese DJ. 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites & Vectors*. 10: 65 .

Switala J., Loewen P.C. 2002. Diversity of properties among catalases. *Comparative Study Arch Biochem Biophys* .401(2):145-54 doi: 10.1016/S0003-9861(02)00049-8

## T

Tahri M, Crivelli AJ, Panfili J, Bensouilah M. 2016. Health status of the swim bladder of the European eel *Anguilla anguilla* in northeastern Algeria's Lake Oubeïra. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4(1): 364-369.

Tahri M, Belhaoues S, Nouara N, Ladjama I, Dahel AT, Djabbari N, Bensouilah M, Ramdani M, Flower R. 2017. Scenario for parasitic infestation of the European eel (*Anguilla anguilla* L.) in Oubeïra Lake (northeastern Algeria). *International Journal of Biosciences*.11 (3): 10-19.

Taylor M and Hoole D. 1989. *Ligula intestinalis* (L.) (Cestoda: Pseudophyllidea): plerocercoid-induced changes in the spleen and pronephros of roach, *Rutilus rutilus* (L.), and gudgeon, *Gobio gobio* (L.). *J. Fish Biol.* 34 : 583-596.

Teh S.J., Adams S.M., Hinton D.E. 1997. Histopathologic biomarkers in feral freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stress. *Aquatic Toxicology*. 37: 51-70.

Tkachenko H, Kurhaluk N, Grudniewska J. 2014. Oxidative stress biomarkers in different tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to Disinfectant-CIP formulated with peracetic acid and hydrogen peroxide. *Arch. Pol. Fish.* 22: 207-219. . Doi:10.2487/aopf-2014-0021

Tolba M., Kaouachi N., Boualleg C., Mouaïssia W., AllalgaA., Berrouk H., Boulahbal S., 2018. Impact of Parasitic Helminths on the Growth of *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842) (Cyprinid fish) Populating Beni Haroun Dam (East of Algeria). *World Journal of Environmental Biosciences*. 7(1): 92-99. ISSN 2277- 8047.

Torreálba D., Balasch J. C., Criadoc M.I., Tort L., Mackenzied S., Rohera N. 2018. Functional evidence for the inflammatory reflex in teleosts: A novel  $\alpha 7$  nicotinic acetylcholine receptor modulates the macrophage response to dsRNA. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.02.020>

Torreálba D., More-Bayona J.A., Wakaruk J., Barreda D.R. 2019. Innate Immunity Provides Biomarkers of Health for Teleosts Exposed to Nanoparticles. *Front. Immunol.* <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.03074>

Tort L. 2011. Stress and immune modulation in fish. *Developmental and Comparative Immunology* 35: 1366–1375. doi:10.1016/j.dci.2011.07.002

## U

Uhland C., Mikaelian I., Martineau D., 2000. *Maladies des poissons d'eau douce du Québec. Guide de diagnostic*. Les Presses de l'Université de Montréal, ISBN 2-7606-1778-5, 466 p.

## V

Van de Crommenacker J., Richardson DS., Koltz AM., Hutchings K. Komdeur J. 2012. Parasitic infection and oxidative status are associated and vary with breeding activity in the Seychelles warbler. *Proc. R. Soc. B.* 279: 1466-1476. doi: 10.1098/rspb.2011.1865

van der Oost R., Beyer J., Vermeulen N.P.E. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ Toxicol Pharmacol.* 13(2) :57-149. doi:10.1016/S1382-6689(02)00126-6.

## W

Wilhelm Filho D, Torres MA, Tribess TB, Pedrosa RC, Soares CHL. Influence of season and pollution on the antioxidant defenses of the cichlid fish *acarà* (*Geophagus brasiliensis*). *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 34: 719-726.

Winston, G.W. and Di Giulio, R.T. 1991. Prooxidant and Antioxidant Mechanisms in Aquatic Organisms. *Aquatic Toxicology*, 19, 137-161. [http://dx.doi.org/10.1016/0166-445X\(91\)90033-6](http://dx.doi.org/10.1016/0166-445X(91)90033-6)

WOO, P.T.K. 1995. *Fish diseases and disorders. Protozoan and metazoan infections*. Oxon: CAB International.



808 pp.

**X**

Xu X., Zhang L., Weng S., Huang Z., Jing Lu, Lan D., Zhong X., Yu X., Xu A., He J.. 2008. A zebrafish (*Danio rerio*) model of infectious spleen and kidney necrosis virus (ISKNV) infection. *Virology* 376 (2008) 1–12. doi: 10.1016/j.virol.2007.12.026

**Y**

Yang, C., Lim W., Song G. 2020. Review: Mediation of oxidative stress toxicity induced by Pyrethroid pesticides in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 108758. doi: 10.1016/j.cbpc.2020.108758

You H., Liu C., Du X., Nawaratna S., Rivera V., Harvie M., Jones M., McManus D.P. 2018. Suppression of *Schistosoma japonicum*. Acetylcholinesterase Affects Parasite Growth and Development. *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 2426. doi:10.3390/ijms19082426

HOSTED BY



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of King Saud University – Science

journal homepage: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Original article

## Assessment of the physiological markers, oxidative stress and neurotoxic effects of nematode *Anisakis* sp. on the *Luciobarbus callensis* (Teleosts, Cyprinids) in northeast of Algeria



Sameh Abbaci<sup>a,b</sup>, Ali Mezni<sup>c</sup>, Sarra Brahmia<sup>a</sup>, Bayrem Hamouda<sup>c</sup>, Mourad Bensouilah<sup>a</sup>, Fahd A. AL-mekhlaf<sup>d,\*</sup>, Mohammed S. Al-Khalifa<sup>e</sup>, Muhammad A. Wadaan<sup>d</sup>, Fouzi Boulkenafet<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratory of Ecobiology of Marine and Coastal Environments. Faculty of Sciences, Badji Mokhtar University, Annaba, Algeria

<sup>b</sup> Department of Naturel Sciences and Life, University of 20<sup>th</sup> August 1955 Skikda, Algeria

<sup>c</sup> University of Carthage – Environmental Biomonitoring Laboratory (LBE) – Faculty of Science of Bizerte, Zarzouna 7021, Tunisia

<sup>d</sup> Bioproducts Research Chair, Zoology Department, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh 11451, Saudi Arabia

<sup>e</sup> Department Zoology, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh 11451, Saudi Arabia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 May 2022

Revised 5 October 2022

Accepted 15 October 2022

Available online 19 October 2022

#### Keywords:

Anisakidae  
Algerian barb  
*Luciobarbus callensis*  
Biomarkers  
Health condition  
Oxidative stress

### ABSTRACT

Our study focused on the effect of parasites on the antioxidant system and their neurotoxic effect in *Luciobarbus callensis* (Teleosts, Cyprinids). In this context, cellular biomarkers, acetylcholinesterase (AChE), catalase (CAT), molecules H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as well as morphophysiological markers (condition factor (FC), hepatosomatic index (HSI), splenosomatic index (SSI), viscerosomatic index (VSI) were analyzed in fish infested with L3 larvae of *Anisakis* sp., nematodes of marine organisms, captured in Lake Oubéira (Algeria). The results showed a significant decrease in AChE activities in the heart (68 % p < 0.05) and muscles (81.55 % p < 0.05) in infested fish compared to those recorded in reference fish. In contrast, splenic AChE levels were significantly induced. CAT levels were significantly decreased in the spleen (73 % p < 0.05) and intestine (56 % p < 0.05) of fish parasitized by *Anisakis* sp. compared to healthy fish. HSI and SSI were significantly higher in healthy fish. On the other hand, *Anisakis* sp. had no significant effect on FC and VSI at the time of sampling. This study suggests that antioxidant defense disorders (CAT), due to a direct inhibitory action of nematode toxic products on this molecule and an increase in ROS production in these animals, leading to a high pro-oxidant state (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), causing neurological effects (AChE) with enlargement of the spleen and liver of infested barb. In this regard, monitoring the effect of parasitic infections on physiological and biochemical marker profiles can be a crucial means of assessing fish health under natural conditions; to ensure the conservation and sustainability of aquatic biodiversity, including fish farming and artificial production.

© 2022 The Author(s). Published by Elsevier B.V. on behalf of King Saud University. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 1. Introduction

Fish are susceptible to parasitic infestations that can harm fish health. Given their importance as indicative tools for ecosystem health (Allan et al., 2020), parasites are still rarely considered biotic stressors in freshwater fish. They can exert several effects on the

host, such as toxic, antigenic, and even behavior modification and/or altering organisms' physiology. In the literature, changes in host behavior following a parasite infestation are frequently reported and are often assumed to be adaptive to the host or parasite and rarely cause direct mortality of organisms (Shamsi et al., 2021).

The immune system in fish is quite similar to that of higher vertebrates. Its primary function is to maintain homeostasis and protect the body from parasites or other stressors to minimize the health costs associated with infection (Rohlenová et al., 2011). Parasites affect the physiological homeostasis of their hosts (Sures et al., 2017), by weakening the immune defences and nutrient absorption (Kiron, 2012), thus causing damage at the cellular level and modulating biomarker responses in organisms (Marcogliese

\* Corresponding author.

E-mail address: [falmekhlafi@ksu.edu.sa](mailto:falmekhlafi@ksu.edu.sa) (F.A. AL-mekhlaf).

Peer review under responsibility of King Saud University.



Production and hosting by Elsevier

and Giamberini, 2013). This survival strategy adopted by the parasite imposes an energy tax that can interfere with the costly demands of the immune response that causes a strategy to reduce energy expenditure by the host to compensate for the metabolic cost of the infestation (Allan et al., 2020).

In fish species, oxidative stress is mainly studied in environmental contamination by pollutants (Yang et al., 2020). However, parasites also cause oxidative stress and a higher level of membrane damage in fish organs (Belló et al., 2000). Understanding the defense mechanisms of fish against parasitic infections leading to physiological alterations (Dautremepuits et al., 2003) prompted biologists to elaborate and develop a wide range of morphological, physiological, and biochemical indices to measure the general state of fish subpopulations and populations (Brown and Murphy, 2004). Condition indices are often used in fisheries to demonstrate the effects of a stressor on an organism and are particularly applicable when investigating integrated health effects.

Fulton condition (FC), and Organosomatic indices (HSI, SSI, VSI) are influenced by environmental factors and density of infection (Ryberg et al., 2020). FC and OI indicate the nutritional status of fish (Aminisarteshnizi, 2021), energy metabolism, nutrient uptake, pathogen recognition, regulation of the intestinal microbiome (Martin et al., 2016), defense mechanisms, flavors, and nutritional qualities of fish fillets (Rasmussen et al., 2000).

Oxidative stress and neurotoxicity are important indicators of the physiological status of the parasite and/or fish behavior (Mehrdana and Buchmann, 2017). Fish have developed enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense mechanisms similar to those of mammals to neutralize the impact of Reactive oxygen species (ROS) (Di Giulio and Meyer, 2008). In addition, acetylcholinesterase (AChE) is used to assess the neurotoxic effects of organophosphates and carbamates, insecticides, thus disrupting the transmission of nerve impulses (Adams, 2001). As a result, these disturbances can affect locomotion and balance in exposed organisms (Breteaud et al., 2000).

We focused in this study on the genus *Barbus* presenting the complex polyphyletic group of Cyprinid fish of the old world; this genus has a very wide distribution in Asia, Europe, and Africa. In north-eastern Algeria, the genus *Barbus* is represented only by the natural populations of *Luciobarbus callensis* (Valenciennes, 1842); synonym of *Barbus callensis*, a well-spread and very abundant endemic fish species in Lake Oubéira. Additionally, this species of high heritage value is listed on the IUCN (International Union for Conservation of Nature) Red List as a “minor concern” (Crivelli, 2006). In recent years, according to our observations in the field, this native species has been threatened by a metazoan parasite (Nematode, Anisakidae). In the water bodies of north-eastern Algeria, notably Lake Oubéira, work had mainly focused on eel, parasites of the Algerian barb, and the ecology of parasites of common carp (Brahmia et al., 2016). However, little is known about fish physiology and adaptive responses to oxidative stress; this article is the first to study the possible neurotoxicity and oxidative stress-induced changes caused by larvae (L3) of the genus *Anisakis* (Nematode, Anisakidae). To this end, several physiological (K, HSI, SSI, VSI) and biochemical (CAT, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, AChE) responses were evaluated in the Algerian freshwater fish *L. callensis* from Lake Oubéira. We hypothesized that fish could develop resistance and/or adaptive responses to counteract and avoid the harmful effects of parasites through physiological and biochemical acclimatization. In this regard, monitoring the effect of parasitic infections on physiological and biochemical marker profiles can be a crucial means of assessing fish health under natural conditions; to ensure the conservation and sustainability of aquatic biodiversity, including fish farming and artificial production.

## 2. Material and methods

### 2.1. Study area

Oubéira lake is situated in the north-eastern part of Algeria (36°50' N–08°23' E) and has a surface area of 2200 ha and a maximum depth of 4 m. It is located approximately 4 km from the shores of the Mediterranean Sea (Fig. 1). This freshwater lake is listed on the Ramsar list and classified as a biosphere reserve by UNESCO in 1990 (Boumezbeur, 2003). The lake contains a diverse ichthyological fauna dominated mainly by the Cyprinidae family, which is represented by a native and abundant *L. callensis* (Valenciennes, 1842). The second sampling Oued Bounamoussa is a reference site (Fig. 1). The Bounamoussa Oued is the main Oued in the Bounamoussa watershed that drains two major tributaries, the Bouhadjar Oued on the right bank and the Kebir Oued on the left bank. Freshwater stream located in Cheffia (El Tarf) in the extreme north-east of Algeria, with mountainous relief (36° 36' 40" N, 8° 02' 20" E).

### 2.2. Fish sampling

Professional fishermen sampled fish during the winter (February 2017) using creels. The barb fish sacrificed (CCAC, 2005) were immediately transported to the laboratory (4 °C). Once in the laboratory, fish were weighed, length were measured, and examined for the presence of parasites. External surfaces and all organs were inspected for ectoparasites and endoparasites. The nematodes collected were repeatedly washed in saline solution and preserved in 70 % ethanol. The parasites found in the abdominal cavity, muscle, and intestine were morphologically identified at the genus level by stereomicroscope using the reference guide (Khalil and Polling, 1997). After inspection of many fish, at Lake oubéira, 19 sexually mature fish with an average total length (L) and average total mass (W) of 27.84 ± 0.89 cm and 308.55 ± 28.48 g respectively were separated into two groups. The first group was composed of eight healthy fish that were not infected by the parasite served as control. The second group contained eleven infected fish. In contrast, the second site Oued Bounamoussa being a reference site was composed of 06 healthy fish (23,8 ± 2,52 cm and 173,58 ± 65,85 g). The liver, heart, spleen, intestines, and a part of muscle were weighed to determine indices of fish health status.

### 2.3. Physiological determinations

The overall health of fish was assessed through direct and indirect indices. In this study, the following four variables were evaluated:

*The condition factor (CF)* or Fulton's condition factor is widely used in fisheries and general fish biology studies as an indicator of the general health status of the specimens. Fulton's index of fish was determined individually using the individual total length (centimeters) and total weight (grams) according to the formula,  $CF = (W/L^3) \times 100$ .

*Hepatosomatic index (HSI)*: Livers of fish were removed, weighed, and HSI was calculated individually using the following formula:  $HSI = (\text{liver weight}/W) \times 100$ .

The HSI permits estimating the energy status of the liver and the process of detoxifying pathogens.

*The viscerosomatic index (VSI)* was evaluated individually using the individual intestine weight (grams) and total weight (W) that can be expressed by  $VSI = (\text{viscera weight}/W) \times 100$ . The VSI was used to assess fish feeding states at sampling time.

*The splenosomatic index (SSI)* was determined individually using the individual spleen weight total (grams) and total weight, was

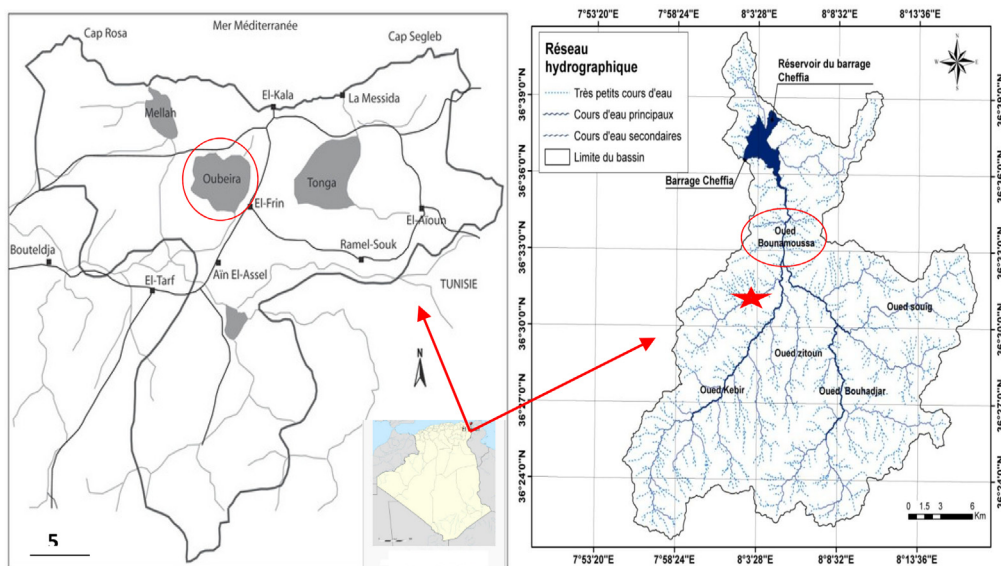


Fig. 1. Oubéira Lake and Oued Bounamoussa location map.

defined as  $SSI = (\text{spleen weight}/W) \times 100$ . The  $SSI$  is used as an indicator of immunocompetence.

#### 2.4. Biochemical analysis

Catalase, (AChE) activities, hydrogen peroxide levels, and total protein concentration were assessed in the S9 fraction in five vital tissues; the heart, liver, muscle, intestine, and spleen. The tissues were homogenized in PBS (pH 7.4) and centrifuged for 30 min at 9000 g at 4 °C. The supernatant is stored at –80 before biochemical analysis.

**Protein estimation:** The total protein concentration was estimated by the method of (Bradford, 1976) using bovine serum albumin (BSA) as a standard protein. Various aliquots were created up to 100  $\mu\text{L}$  with distilled water, to which 900  $\mu\text{L}$  of Bradford's reagent was added, and the color developed was read at 595 nm.

**Catalase (CAT) activity** (E.C. 1. 11. 1. 6) was evaluated following the method of Aebi et al. (1974), which is based on a spectrophotometric measurement of 10 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  breakdown at 240 nm for 3 min. CAT was expressed in  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  protein.

**Acetylcholinesterase activity** (AChE; EC 3.1.1.7) was determined according to the method of (Ellman et al., 1961) using acetylthiocholine (ATCI). The reaction mixture (3.0 ml) in 0.1 M phosphate buffer (pH 7.4) contained 25 ml of 10 % (w/v) tissue homogenate, 0.33 mM DTNB and 0.5 mM ATCI at 37 °C. The addition of the substrate started the reaction, and the change in the absorbance at every 30 s for 5 min was read at 412 nm using a UV–vis spectrophotometer. The activity of AChE was expressed as  $\text{nmol}/\text{min}/\text{mg}$  protein.

**Hydrogen peroxide** ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) level was determined enzymatically using a commercially available kit (Cayman, USA). Briefly, in the presence of peroxidase,  $\text{H}_2\text{O}_2$  reacts with 4-amino-antipyrine and phenol to give a red-colored quinone imine which was read at 505 nm and results expressed as  $\text{mmol H}_2\text{O}_2$  generated/mg protein.

#### 2.5. Data analyses

All statistical studies were performed with STATISTICA 8.0 software. The results were expressed as mean  $\pm$  SE. Where appropriate, significant differences between groups were analyzed by one-way

analysis of variance (ANOVA) and Tukey HSD test. Asterisks indicated significant differences between parasitized groups and their corresponding controls ( $p < 0.05$ ).

### 3. Results

The present study was conducted on a fraction of the population of wild adult fish of Algerian barb (*Luciobarbus callensis*) sampled in February 2017 from two sites.

#### 3.1. Morphophysiological parameters

All fish sampled were sexually mature. Data on the morphology and physiology of barb fish have been reported in (Table 1). Under a stereomicroscope (Olympus, SZ), the morphoanatomic characteristics of endoparasites were observed. These observations led to the identification of the L3 larva of the genus *Anisakis*, nematode belonging to the family Anisakidae. Our study revealed that most fish groups (11 of 19) were infested by a larval of *Anisakis* sp. with an average parasite intensity of 1.09 (one parasite on average per infested fish). The composition in length and weight of the selected fish samples was almost homogeneous between control fish and fish parasitized by *Anisakis* sp. ( $29.01 \pm 3.56$  cm and  $349.60 \pm 120.8$  g;  $26.99 \pm 4.0$  cm and  $278.70 \pm 123.32$  g respectively). No significant differences ( $p < 0.05$ ) were found between the two groups. Similarly, the condition factor (CF), whose values ranged from  $1.33 \pm 0.09$  to  $1.37 \pm 0.18$  g/cm<sup>3</sup> (parasitized and healthy fish respectively). The viscerosomatic index of nematode infested fish decreased ( $2.79 \pm 0.3$  %) but not significantly ( $p < 0.05$ ) compared with those of the control group ( $3.08 \pm 0.9$  %). However, HSI and SSI were significantly increased ( $p < 0.05$ ) in infested fish compared to healthy specimens.

#### 3.2. Oxidative stress indices

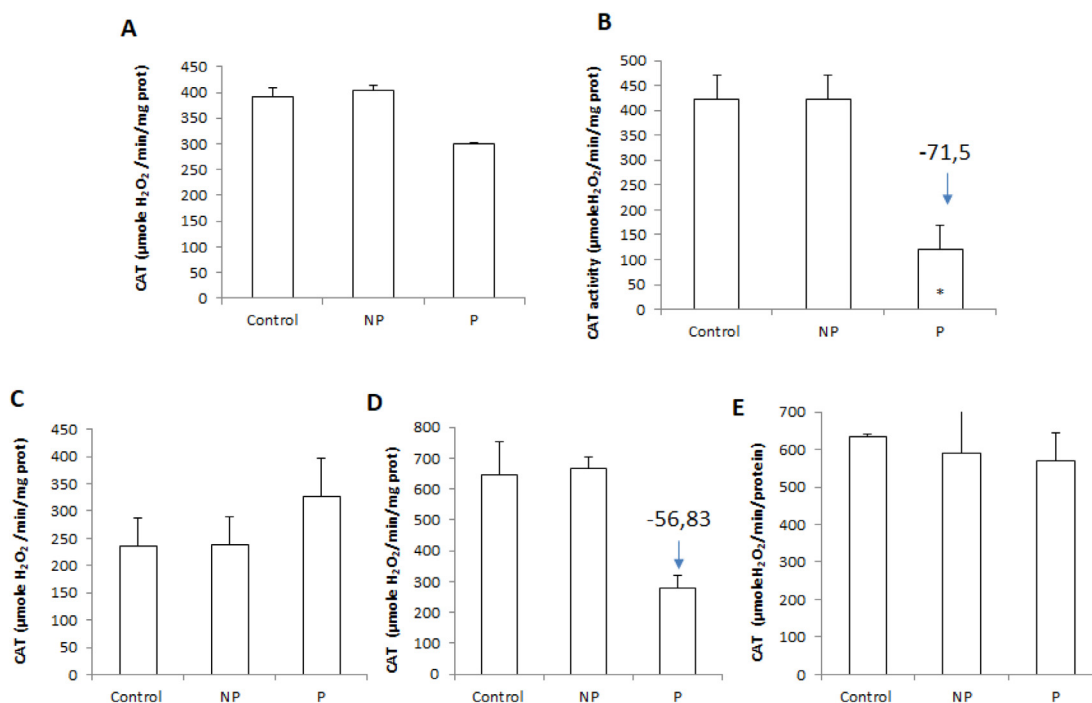
This study showed that the parasite-induced a non-significant increase in catalase activity in the heart, while in other tissues, it was reduced compared to the control group. About the effect of parasitic infection on hepatic and muscular CAT activities, a non-significant decrease ( $p < 0.05$ ) was observed between healthy *L. callensis* and infested with *Anisakis* sp. (Fig. 2). At the same time,

**Table 1**

The different morphophysiological condition indices measured (W, L, CF, SSI, HSI, and VSI) in freshwater wild adult barbel (*Luciobarbus callensis*) from the Oubéira lake (LO) and Oued Bounamoussa (OB). Parasitized fish (P), n = 11 and No-parasitized fish (NP), n = 14. Data are expressed as mean  $\pm$  S.E. (n = 25). Significant changes vs control are indicated by \* P < 0.05.

Fish barbel Site	Length (cm)	Weight (g)	CF %	HSI %	SSI %	VSI %
No-parasitized LO N = 8	29.01 $\pm$ 3.56	349.60 $\pm$ 120.8	1.37 $\pm$ 0.18	0.78 $\pm$ 0.12	0.06 $\pm$ 0.01	3.08 $\pm$ 0.9
Parasitized LO N = 11	26.99 $\pm$ 4.05	278.70 $\pm$ 123.32	1.33 $\pm$ 0.09	1.33 $\pm$ 0.12*	0.14 $\pm$ 0.02*	2.79 $\pm$ 0.3
No-parasitized OB N = 6	23,8 $\pm$ 2,52	173,58 $\pm$ 65,85	1,22 $\pm$ 0,05	1,05 $\pm$ 0,12	0,08 $\pm$ 0,02	9,10 $\pm$ 3,36

W. weight; L. length; CF. condition factor; SSI. splenosomatic index, HSI hepatosomatic index and VSI. viscerosomatic index.



**Fig. 2.** Tissue catalase (CAT) activity: in (a) liver, (b) spleen, (c) heart, (d) intestine, and (e) muscle of freshwater *Luciobarbus callensis* parasitized (n = 11) and control fish (n = 8). Data are expressed as mean  $\pm$  S.E. (n = 19). Significant changes vs control are indicated by \*P < 0.05.

an increase in  $H_2O_2$  levels was recorded generally in all studied organs of parasitized barbels compared to non-parasitized fish (Fig. 3).

### 3.3. Neurotoxic parameters

As expected, the nematode caused a significant inhibition of AChE activity, with the magnitude of this response highly dependent on the target tissue. The hydrolytic activity of this esterase was strongly depressed in the heart and muscle.

#### 3.3.1. Acetylcholinesterase activity

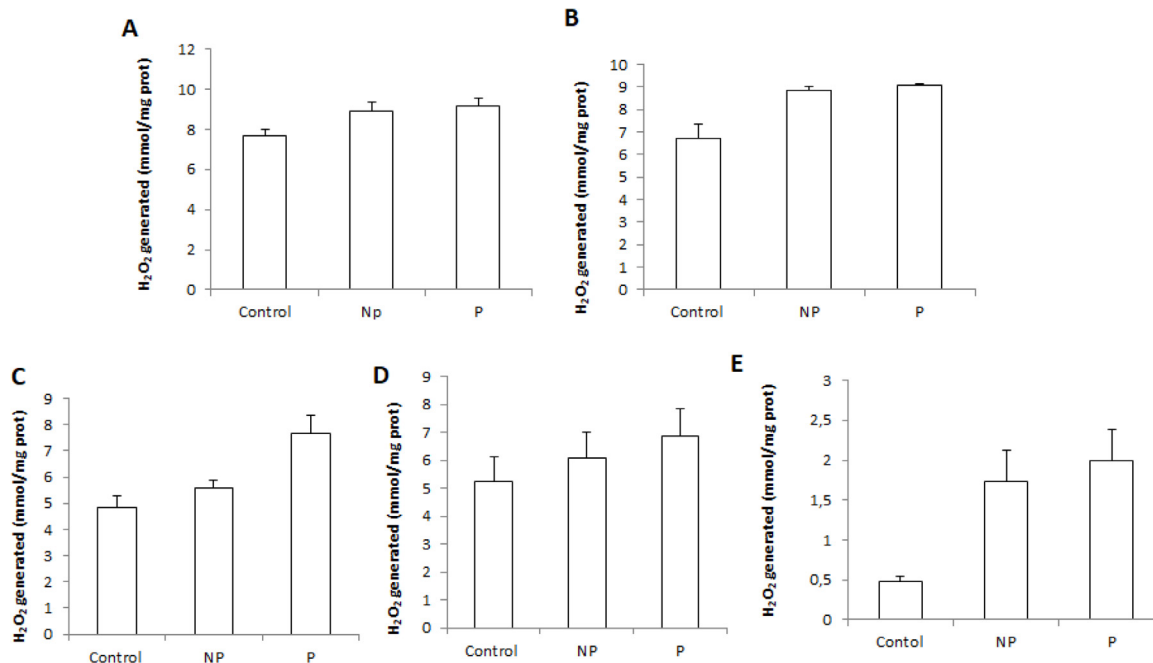
Compared with healthy fish (Fig. 4), AChE activity also decreased in the liver, intestine, muscle, and heart and increased in the spleen. The liver and intestine showed no significant ( $P < 0.05$ ) decrease in their activity in the parasitized fish when compared to control fish. However, a significant ( $P < 0.05$ ) decrease in activity was recorded in the heart and muscle. The highest level of decline in AChE activity (81.55 % in muscle and 68.39 % in heart) was observed in parasitized fish. Inversely, the spleen showed a significant ( $P < 0.05$ ) increase in AChE activity in parasitized fish compared to healthy fish.

## 4. Discussion

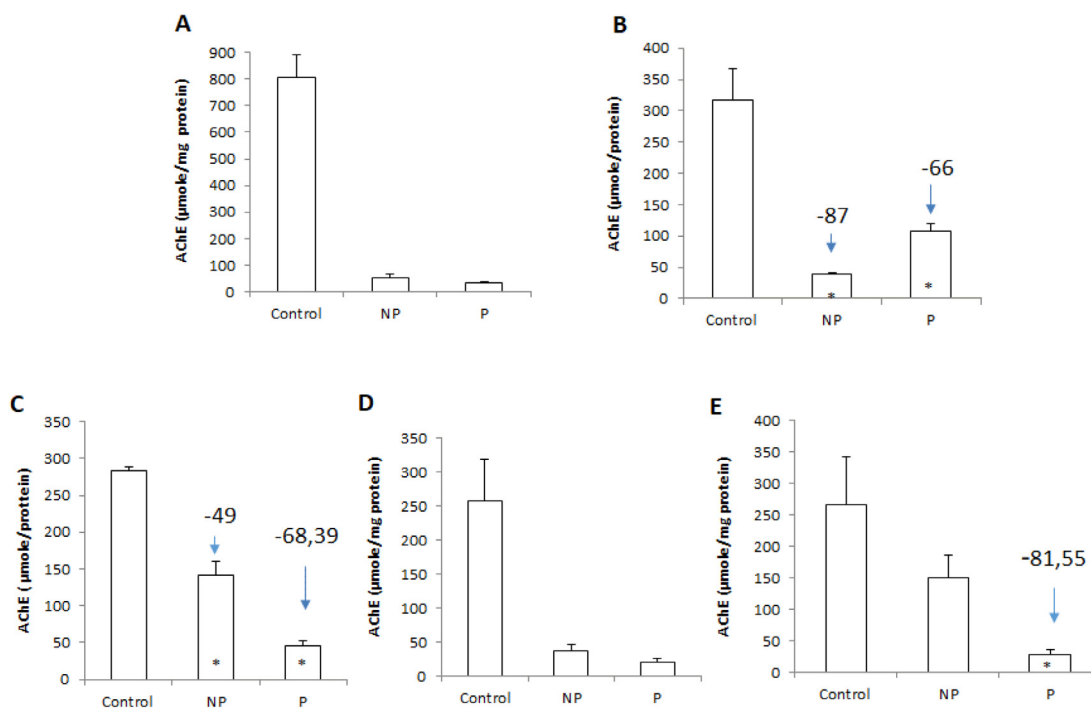
Evaluating the health status of fish is the missing cornerstone in the assessment and management of ecological risks that could appear as a relevant indicator of the quality of aquatic environments.

Different biomarkers that respond to natural stressors have been recommended to assess the influence of parasites on animal health, such as the morphophysiological indices. We expected parasitized individuals to be leaner than non-parasitized individuals due to the depletion of body reserves when fighting the infestation. Surprisingly, we found no evidence that the harmful effects of parasites were visible from the outside through the loss of condition. A CF value of 1.00 is ideal and indicates that fish have good health conditions. As an unexpected result, the *Anisakis* sp. had no significant effect on biometric indices at the sampling time. This result was consistent with the conclusions of Skuratovskaya et al. (2015). Indeed, the lack of modulation of CF in the natural environment is a positive element in our study. It is an indicator of long-term response and is relatively insensitive to short-term environmental changes (Adams, S. M. and McLean, R. B., 1985).

The hepatic index is a more sensitive indicator of food intake than the CF. It has been used to estimate fish health or well-being over short periods because it is a sensitive parameter that



**Fig. 3.** Tissue hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) level: in liver (a), spleen (b), heart (c), intestine(d), and muscle (e) of freshwater *Luciobarbus callensis* parasitized (n = 11) and control fish (n = 8). Data are expressed as mean ± S.E. (n = 19). Significant changes vs control are indicated by \*P < 0.05.



**Fig. 4.** Tissue acetylcholinesterase (AChE) activity: in liver (a), spleen (b), heart (c), intestine (d), and muscle (e) of freshwater *Luciobarbus callensis* parasitized (n = 11) and control fish (n = 8). Data are expressed as mean ± S.E. (n = 19). Significant changes vs control are indicated by \*P < 0.05.

responds quickly to changing environmental conditions (Van der Oost et al., 2003). As long as fish can feed, this index increases with detoxification systems (Roche et al., 2003). Our results revealed that HSI was significantly increased in parasitized barbels compared to non-parasitized barbels. This increase can be explained by liver enzymes or energy storage induction. This result was supported by Seppänen et al. (2009) and Skuratovskaya et al. (2015). These authors proposed that the increase in HSI in fish may testify

to the hypertrophy of the organ due to tissue transformation and the strengthening of the function of metabolites of the detoxification of parasites and the products of peroxidation and oxidation of free radicals. In fact, the nematode induced glucose absorption, increasing energy intake and food and, consequently, an increase in the hepatic index of the host.

The ISS (or spleen weight) is a good indicator of the state of activity of the immune system and the onset and intensity of infec-

tion and disease (Dekić et al., 2016). In fish, few studies have shown the effect of metazoan parasites on the spleen, scavenging lymphoid organs, which, at its level, immune cells develop and store themselves. On the other hand, many pathogenic effects have focused on bacteria, viruses, or protozoa responses. A common feature of responses to these agents was splenomegaly. However, an increase and decrease in the ISS appear to be possible outcomes of toxic exposure. In addition, SSI showed a significant increase similar to HIS. This result is consistent with data from several researchers (Seppänen et al., 2009) who reported that the increase in spleen mass may lead to the rise in ISS, which may be explained by splenic immune cell infiltration attributed to the proliferation of lymphocytes, thrombocytes, and macrophages, and dilatation of blood vessels following hyper-synthesis of erythrocyte by the spleen in response to the hematophagous activity of worms. In contrast, (Skuratovskaya et al., 2015) found a significant decrease in ISS in the Black Sea whiting with medium and high intensity of infection with myxosporeans and nematodes. However, the increase in ISS and HSI in parasitized fish species may indicate a relationship between parasites and biomarkers of oxidative stress and neurotoxicity, as endoparasites are intimately linked to the physiology of their host mainly oxidative processes.

The interactions between nematodes and fish have rarely been studied in natural environments because these interactions are quite complex and promote constant changes in the delicate balance between pro-oxidant and antioxidant molecules since the host and parasite can produce both. Generally, oxidative stress comes from inflammatory processes initiated in the host in response to parasitic infection and the parasite's direct production of reactive species (Percário et al., 2012). The reaction in the host is characterized by an increase in oxygen consumption in leukocytes (Skuratovskaya et al., 2015), causing oxidative stress that can be detected and measured by giving a quantitative indication of the health status of fish.

This result indicated that parasitism did not lead to oxidative stress in the muscle and liver of fish. In contrast, significant differences ( $p < 0.05$ ) were observed between activities measured in the spleen and intestines of *L. callensis* infested and non-infested fish. Our results are supported by other researchers who suggested that the inhibition of CAT activity is likely due to increased ROS generation of host macrophages and high content of parasite metabolites, which affect fish metabolism stimulating oxidative stress and thus modulating the antioxidant status of the host (Tkachenko et al., 2014).

In the context of neurotoxicity, the activity of AChE is more convincing and clearer. Monitoring AChE activity in fish has become a technique commonly applied to diagnose environmental exposure to cholinergic poisons (Podolska and Napierska, 2006). AChE is found in nerve tissue and some non-neural cells such as erythrocytes (Massoulié et al., 1993) and is most often assessed in the brain and muscles of fish in the presence of pesticides. We found it very interesting to evaluate the effect of *Anisakis* sp. (Nematode, Anisakidae) larvae (L3) on AChE activity in vital tissues of the *L. callensis*: the heart, spleen, intestine, liver, and muscles. AChE is involved in the transmission of nerve impulses; it is not surprising that this enzyme was localized mainly in these two tissues (heart and muscle). Our results are consistent with the studies of Podolska and Napierska (2006), which suggest that parasites are generally considered stressors for their host by inhibiting AChE that blocks the transmission of nerve impulses to various types of cholinergic synapses. What is surprising is that the response pattern observed in this study was similar in terms of sensitivity of AChE activity to those described in many aquatic organisms after exposure to pesticides (organophosphates and carbamates (Al-Ghais, 2013).

In fact, AChE activity in hosts and parasites was inversely related (Pritchard, 1993). Indeed, the secretory form plays an important role in host-parasite interactions (Poisot et al., 2009) because parasites that establish long-term infections are relatively non-pathogenic and secrete large amounts of AChE, while parasites that show acute infections secrete relatively small amounts of AChE (Pritchard, 1993). In addition, AChE can also modulate intestinal peristalsis and modify the permeability of the host's intestinal cells to ensure the parasite's diet and, therefore its survival; by destroying host ACh, thereby providing the parasite with biochemical retention by affecting glycogenesis in the host and acting as an anticoagulant by inactivating platelet-activating factor (Lee, 1996). The cellular exudates that initially accompany the visceral reaction consist mainly of fibroblasts; this is found in our study. In addition, the AChE produced by some gastrointestinal nematodes (hookworm) may also reduce inflammation and local ulceration by hydrolyzing the ACh that stimulates this gastric acid secretion (Lee, 1996). ACh is an anti-inflammatory molecule with an important role in host immunomodulation (Jaguezeski et al., 2018). Moreover, inflammation is a source of oxygen radicals produced directly by activated phagocytic cells. Interestingly, one of the essential functions of AChE secreted by nematodes is the induction of an immune response in their hosts and modulation of that response interfering with cholinergic stimulation of receptors on leukocyte membranes (You et al., 2018).

In fish, the spleen, a secondary lymphatic organ, and erythrocyte reservoir, plays a potential role in the immune response against parasitic infection through the degradation of the antigen and the production of antibodies. In this sense, the ISS clarifies the information given by other biomarkers such as AChE. A significant increase in splenic activity of AChE was recorded in parasitized fish compared to non-parasitized fish. This result raises the possibility of a role for AChE other than in synaptic transmission but also as a potential immunological target (You et al., 2018). This suggests that the changes in the SSI which occurred after handling stress were probably attributed to the AChE secretion by the nematode. Indeed, AChE secreted by the filarial nematode where the suppressive effect is due to the degradation of ACh, a neurotransmitter, was responsible for releasing lysosomal enzymes and phagocytosis in the host (Torrealba et al., 2018). The changes also observed by (Scharsack et al., 2007) on the leukocyte responses of three-spined sticklebacks, during a late infection with the cestode *Schistocephalus solidus* led to neuronal changes, inducing behavioral changes in this fish.

## 5. Conclusion

Our results indicate that the presence of the *Anisakis* sp. nematode showed a host immune response against infection, manifested by enlargement of the spleen and liver of infested barbels. It was also associated with a significant increase in somatic indices (HSI, SSI) and no significant effect on the biometric index (FC, VSI). In addition, antioxidant defense disorders (CAT) suggest oxidative stress due to a direct inhibitory action of nematode toxic products on this molecule and an increase in ROS production in these animals, leading to a high pro-oxidant state ( $H_2O_2$ ), causing neurological effects (AChE) observed in this study., antioxidant defense disorders (CAT), suggest oxidative stress due to a direct inhibitory action of nematode toxic products on this molecule and an increase in ROS production in these animals, leading to a high pro-oxidant state ( $H_2O_2$ ), causing neurological effects (AChE) observed in this study.

This study also highlights the importance of considering the effects of pathogens as stressors in the natural environment. In

addition, further investigations are still needed to assess the cost of stress responses in the context of multiple exposures, and in several wild fish populations. Indeed, this work should be completed by monitoring other biomarkers of oxidizing stress (lipid peroxidation rate, superoxide dismutase activity, glutathione peroxidase, GST, etc.) and Lysozyme activity. It would also be important to supplement this work by studying the variation of catalase and AChE activities in beards according to season, sex, and water quality being important factors in the variation of biomarkers.

### Declaration of Competing Interest

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

### Acknowledgments

The authors extend their appreciation to the Deanship of Scientific Research, King Saud University for funding through Vice Deanship of Scientific Research Chairs; Research Chair of Bioproducts Research.

### References

- Adams, S.M., 2001. Biomarker/bioindicator response profiles of organisms can help differentiate between sources of anthropogenic stressors in aquatic ecosystems. *Biomarkers* 6 (1), 33–44.
- Adams, S.M., McLean, R.B., 1985. Estimation of largemouth bass, *Micropterus salmoides* Lacepede, growth using the liver somatic index and physiological variables. *J. of Fish Biol.* 26 (2), 111–126.
- Aebi, H., Wyss, S.R., Scherz, B., Skvaril, F., 1974. Heterogeneity of erythrocyte catalase II: isolation and characterization of normal and variant erythrocyte catalase and their subunits. *Eur. J. Biochem.* 48 (1), 137–145.
- Allan, B.J., Illing, B., Fakan, E.P., Narvaez, P., Grutter, A.S., Sikkil, P.C., McClure, E.C., Rummer, J.L., McCormick, M.I., 2020. Parasite infection directly impacts escape response and stress levels in fish. *J. Exp. Biol.* 223 (16), jeb230904.
- Aminisarteshnizi, M., 2021. Length-Weight Relationship and Fulton's Condition Factor of *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849) in Siah Darvishan River, Iran. *Egypt. J. Aquat. Biol. Fisheries* 25 (2), 551–560.
- Belló, A.R.R., Fortes, E., Belló-Klein, A., Belló, A.A., Llesuy, S.F., Robaldo, R.B., Bianchini, A., 2000. Lipid peroxidation induced by *Clinostomum detrunctum* in muscle of the freshwater fish *Rhamdia quelen*. *Diseases of aquatic organisms* 42 (3), 233–236.
- Boumezeur, A., 2003. Réserve intégrale du lac oubeira, Wilaya El Tarf. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Ministère de l'Agriculture et du développement rural 7. <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/280>. (Accessed in 1/7/2022).
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72 (1–2), 248–254.
- Brahmia, S., Barour, C., Abbaci, S., Bouallag, C., Bensouilah, M., 2016. Environmental parameters and parasitism in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) caught from Oubeira Lake (North-East of Algeria). *Res. J. Fisheries Hydrobiol.* 11 (4), 27–36.
- Brethead, S., Toutant, J.-P., Saglio, P., 2000. Effects of carbofuran, diuron, and nicosulfuron on acetylcholinesterase activity in goldfish (*Carassius auratus*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 47 (2), 117–124.
- Brown, M., Murphy, B., 2004. Seasonal dynamics of direct and indirect condition indices in relation to energy allocation in largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede). *Ecol. Freshw. Fish* 13 (1), 23–36.
- CCAC, 2005. Canadian Council on Animal Care Guidelines on: The Care and Use of Fish in Research, Teaching and Testing. <https://norecopa.no/3r-guide/ccac-guidelines-on-the-care-and-use-of-fish-in-research-teaching-and-testing> (accessed 1/7/2022).
- Crivelli, A.J., 2006. IUCN Red List of Threatened Species: *Luciobarbus setivimensis*. Dautremepuits, C., Betoulle, S., Vernet, G., 2003. Stimulation of antioxidant enzymes levels in carp (*Cyprinus carpio* L.) infected by *Ptychobothrium* sp. (Cestoda). *Fish Shellfish Immunol.* 15 (5), 467–471.
- Dekić, R., Savić, N., Manojlović, M., Golub, D., Pavličević, J., 2016. Condition factor and organosomatic indices of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*, Wal.) from different brood stock. *Biotechnol. Anim. Husbandry* 32 (2), 229–237.
- Di Giulio, R., Meyer, J., 2008. Reactive oxygen species and oxidative stress. In: Di Giulio, R., Hinton, D. (Eds.), *The Toxicology of Fishes*. CRC Press, pp. 273–324.
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres Jr, V., Featherstone, R.M., 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7 (2), 88–95.
- Jaguezeski, A.M., Perin, G., Rhoden, L.A., da Silva, T.M.A., Mendes, R.E., Bottari, N.B., Baldissera, M.D., Morsch, V.M., Schetinger, M.R.C., Stefani, L.M., da Silva, A.S., 2018. Changes on the activity of cholinesterase's in an immunomodulatory response of cattle infected by *Listeria monocytogenes*. *Microb. Pathog.* 114, 36–40.
- Khalil, L.F., Polling, L., 1997. Check list of the helminth parasites of African freshwater fishes. Check list of the helminth parasites of African freshwater fishes (Ed. 2).
- Kiron, V., 2012. Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173 (1–2), 111–133.
- Lee, D., 1996. Why do some nematode parasites of the alimentary tract secrete acetylcholinesterase? *Int. J. Parasitol.* 26 (5), 499–508.
- Marcogliese, D.J., Giamberini, L., 2013. Parasites and ecotoxicology: fish and amphibians. In: Féraud, J.-F., Blaise, C. (Eds.), *Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 815–826.
- Martin, S.A., Dehler, C.E., Król, E., 2016. Transcriptomic responses in the fish intestine. *Dev. Comp. Immunol.* 64, 103–117.
- Massoulié, J., Pezzementi, L., Bon, S., Krejci, E., Vallette, F.-M., 1993. Molecular and cellular biology of cholinesterases. *Prog. Neurobiol.* 41 (1), 31–91.
- Mehrdana, F., Buchmann, K., 2017. Excretory/secretory products of anisakid nematodes: biological and pathological roles. *Acta Vet. Scand.* 59 (1), 1–12.
- Percário, S., Moreira, D.R., Gomes, B.A., Ferreira, M.E., Gonçalves, A.C.M., Laurindo, P. S., Vilhena, T.C., Dolabela, M.F., Green, M.D., 2012. Oxidative stress in malaria. *Int. J. Mol. Sci.* 13 (12), 16346–16372.
- Podolska, M., Napierska, D., 2006. Acetylcholinesterase activity in hosts (herring *Clupea harengus*) and parasites (*Anisakis simplex* larvae) from the southern Baltic. *ICES J. Mar. Sci.* 63 (1), 161–168.
- Poisot, T., Šimková, A., Hyršl, P., Morand, S., 2009. Interactions between immunocompetence, somatic condition and parasitism in the chub *Leuciscus cephalus* in early spring. *J. Fish Biol.* 75 (7), 1667–1682.
- Pritchard, D., 1993. Why do some parasitic nematodes secrete acetylcholinesterase (AChE)? *Int. J. Parasitol.* 23 (5), 549–550.
- Rasmussen, R.S., Ostenfeld, T., Ronsholdt, B., McLean, E., 2000. Manipulation of end-product quality of rainbow trout with finishing diets. *Aquac. Nutr.* 6 (1), 17–24.
- Roche, H., Buet, A., Ramade, F., 2003. Caractéristiques écophysiological d'une population d'anguilles de Camargue exposée à une pollution clandestine par des polluants organiques persistants. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie* 58 (1), 103–126.
- Rohlenová, K., Morand, S., Hyršl, P., Tolarová, S., Flajšhans, M., Šimková, A., 2011. Are fish immune systems really affected by parasites? An immunological study of common carp (*Cyprinus carpio*). *Parasites Vectors* 4 (1), 1–18.
- Ryberg, M.P., Skov, P.V., Vendramin, N., Buchmann, K., Nielsen, A., Behrens, J.W., 2020. Physiological condition of Eastern Baltic cod, *Gadus morhua*, infected with the parasitic nematode *Contracaecum osculatum*. *Conserv. Physiol.* 8 (1), coaa093.
- Scharsack, J.P., Koch, K., Hammerschmidt, K., 2007. Who is in control of the stickleback immune system: interactions between *Schistocephalus solidus* and its specific vertebrate host. *Proc. R. Soc. B* 274 (1629) 3151–3158.
- Seppänen, M., Kuukka, H., Vuolilainen, A., Huuskonen, H., Peuhkuri, N., 2009. Metabolic depression and spleen and liver enlargement in juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* exposed to chronic parasite infection. *J. Fish Biol.* 74 (3), 553–561.
- Shamsi, S., Rogers, L., Sales, E., Kopf, R.K., Freire, R., 2021. Do parasites influence behavioural traits of wild and hatchery-reared Murray cod, *Maccullochella peelii*? *Parasitol. Res.* 120 (2), 515–523.
- Skuratovskaya, E., Zav'yalov, A., Rudneva, I., 2015. Response of the antioxidant system of Black Sea whiting *Merlangius merlangus* eurusinus (Nordmann, 1840) to parasitic nematode *Hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802) infection. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol.* 35 (5), 170–176.
- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., Marcogliese, D.J., 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites Vectors* 10 (1), 1–19.
- Tkachenko, H., Kurhaluk, N., Grudniewska, J., Andriichuk, A., 2014. Tissue-specific responses of oxidative stress biomarkers and antioxidant defenses in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* during a vaccination against furunculosis. *Fish Physiol. Biochem.* 40 (4), 1289–1300.
- Torraalba, D., Balasch, J.C., Criado, M., Tort, L., Mackenzie, S., Roher, N., 2018. Functional evidence for the inflammatory reflex in teleosts: A novel  $\alpha 7$  nicotinic acetylcholine receptor modulates the macrophage response to dsRNA. *Dev. Comp. Immunol.* 84, 279–291.
- Van der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N.P., 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 13 (2), 57–149.
- Yang, C., Lim, W., Song, G., 2020. Mediation of oxidative stress toxicity induced by pyrethroid pesticides in fish. *Comp. Biochem. Physiol. C: Toxicol. Pharmacol.* 234, 108758.
- You, H., Liu, C., Du, X., Nawaratna, S., Rivera, V., Harvie, M., Jones, M., McManus, D.P., 2018. Suppression of *Schistosoma japonicum* acetylcholinesterase affects parasite growth and development. *Int. J. Mol. Sci.* 19 (8), 2426.