



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID --TLEMEN-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Département d'Ecologie Et Environnement

Laboratoire : Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique

Mémoire présenté par

Melle BENTOUT Chaima

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

Filière: Hydrobiologie marine et continentale
Spécialité : Sciences de la Mer

Thème :

**L'extraction de la gélatine à partir
d'une espèce de poisson cas du Tilapia**

Soutenu le : Septembre 2024, devant le jury composé de :

Président: Mr. ZETTAM Amin

M.C.A

Université de Tlemcen

Examineur : Mr. BOUKLI HACENE Ahmed Sofiane

M.A.A

Université de Tlemcen

Encadreur: Mr. BENDIMERAD Med. El Amine

M.C.A

Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2023-2024

DEDICACE

A mes très chers parents

Aucune dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affections et mes immenses gratitudes pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mes études. Puisse dieu vous préserver et vous procurer santé, bonheur et une longue vie afin que je puisse, vous combler à mon tour.

A ma sœur aînée Hanane et son mari Mohammed

Sœur comme on ne peut trouver nulle part ailleurs, ma deuxième mère, ma source de sagesse et mon ange gardien, merci d'exister... J'implore Allah de te garder pour nous et protège ton mari.

A mes deux chers frères Sido et Anes

A tous les moments d'enfances passés avec vous mes frères, en gage de ma profonde estime pour l'aide que vous m'avez apporté. Vous m'avez soutenu, réconforté et encouragé. Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

A ma belle-sœur Ikram

Cela fait maintenant trois ans que tu partages la vie de mon frère, celle de notre famille, et la mienne par la même occasion. Ma belle-sœur, mais aussi ma 2eme grande Sœur. Je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité.

A mon neveu Amir et mes nièces Douaa et Alaa

Avoir un neveu et nièces est le plus beau cadeau qu'un frère et sœur puisse vous faire. Vous avez apportées beaucoup de bonheur à notre famille. Votre présence constitue une grande force pour moi. Affection profonde. Je vous aime.

A toute ma famille

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'offrez quotidiennement et votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A mes amies Nihed, Ghizlen, Ouiame, Faruk.

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce travail.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. **BENDIMERAD Mohammed El Amine**, Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, qui a accepté de m'encadrer, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Merci à Professeur **BELYAGOUBI Larbi** pour son soutien morale et pour son aide pratique et qui m'a toujours accordé un peu de son temps pour m'orienter et me conseiller.*

*Sans oublier les éminents enseignants et membres du jury Mr. **ZETTAM Amin** Maitre de Conférences à l'Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers et Mr. **BOUKLI HACENE Ahmed Soufiane** Maitre Assistant à l'Université de Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers ; merci beaucoup d'avoir accepté de juger ce modeste travail.*

*Je remercie aussi tous mes enseignants du **Département d'Ecologie et Environnement**. A celui qui m'a toujours aidé, écouté, soutenu et encouragé et mes amis et toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.*

Liste des tableaux

Tableau 1. Limites de tolérance de certains paramètres physico-chimique chez *O. niloticus* (Arrignon, 1996).

Tableau 2. Nombre d'acides aminés ($\times 1000$ résidus) présents dans les deux types de gélatine et dans le collagène (Terrien, 2005)

Tableau 3. Critères microbiologiques (GME, 2001)

Tableau 4. Applications de la gélatine de poisson dans la formation des os et les maladies osseuses

Liste des figures

Figure 1 : Caractéristique morphologique spécifiques d'*O. niloticus*.

Figure 2: Introduction d'*Oreochromis niloticus* dans le monde.
(<https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/aquaculture/>)

Figure 3 : L'incubation buccale des oeufs chez l'*O. niloticus*
(<https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/aquaculture/>)

Figure 4 : Tilapia rouge (Alpifood, 2022).

Figure 5 : Caractéristiques morphologiques du Tilapia (Kachou, 2022).

Figure 6 : Anatomie interne du Tilapia.

Figure 7 : Schéma représentant la reproduction de Tilapia. Nandlal & Pickering (2004).

Figure 8 : images montrant la structure fibreuse du collagène 63 constituant de base de la gélatine(Alvarez, 2014).

Figure 9 : Poisson de tilapia du Nil

Figure 10 : l'opération de récupération les écailles de poisson de tilapia du Nil

Figure 11 : le colis d'écailles de poisson de tilapia rouge

Figure 12 : les écailles des poissons de tilapia rouge et de tilapia de Nil après le séchage

Figure 13 : l'hydroxyde de sodium NaOH et l'acide acétique

Figure 14 : préparation de la solution d'hydroxyde de sodium NaOH

2g*100ml

Figure 15 : l'opération de trempage de NaOH pendant 2h

Figure 16 : l'opération de trempage d'acide acétique pendant 2h

Figure 17 : L'opération de chauffage des écailles dans le bain-marie

Figure 18 : La filtration des écailles

Figure 19 : Le séchage de l'eau collante

Figure 20 : l'évaporateur rotatif (ou rotavapor)

Figure 21 : les écailles de poisson du Nil avant et après de l'extraction

Figure 22 : les écailles de poisson rouge avant et après de l'extraction

Figure 23 : Gélatine extraite

Figure 24 : Le poisson de Tilapia du Nil, une fois les écailles retirées.

Sommaire

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....01

Chapitre 01 : Généralité sur le poisson de tilapia

1. Tilapia	04
1.1. Tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>)	04
1.2. Tilapia rouge (<i>Oreochromis sp</i>)	05
1.3. Culture du tilapia en Algérie	05
2. Présentation de l'espèce <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)	05
2.1. Position systématique	05
2.2. Synonymes et appellation vernaculaires	06
2.3. Caractéristiques morphologiques d'<i>oreochromis niloticus</i>	06
2.4. Habitat	07
2.5. Répartition géographique	08
2.6. Exigences écologiques	09
2.7. Régime alimentaire	10
2.8. La croissance	10
2.9. La reproduction	11
3. Présentation de l'espèce de tilapia rouge	13
3.1. Systématique	13
3.2. Caractéristiques morphologiques d'<i>oreochromis sp</i>	14
3.3. Exigences écologiques	16
3.4. Régime alimentaire	17
3.5. Reproduction de tilapia rouge	18

Chapitre 02 : Généralité sur La Gélatine animal et la Gélatine de poisson

1. La gélatine	20
1.1. Définition	20
1.2. Composition chimique de la gélatine	20
1.3. Caractéristiques microbiologiques	21
2. La Gélatine animal	21
3. La Gélatine De Poisson	22
3.1. La structure générale de la gélatine de poisson	24
3.2. Les nouvelles applications de la gélatine de poisson	24

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

1. L'objectif	31
2. Matériels et Méthodes	31
2.1.Extraction de la gélatine	31
2.1.1. Préparation des échantillons	31
2.1.2. Le séchage	32
2.1.3. Déminéralisation les écailles	33
2.1.4. L'extraction.....	36

Chapitre 04 : Résultats Et Discussion

1. Le rendement d'extraction.....	40
1.1.La comparaison	40
1.2.La couleur et l'odeur	42
2. Le poisson.....	43
Conclusion.....	44
Références bibliographiques.....	45

Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'explorer l'extraction de gélatine à partir des écailles de tilapia (*Oreochromis spp.*), dans une perspective de valorisation des sous-produits de l'aquaculture. La gélatine, traditionnellement extraite des os et peaux de mammifères, connaît une demande croissante pour des alternatives non-mammifères en raison des préoccupations sanitaires, religieuses et environnementales. Ce travail examine les différentes méthodes d'extraction, ainsi que les conditions optimales de traitement, en étudiant l'influence du pH, de la température et du temps d'extraction sur la qualité de la gélatine obtenue.

Les résultats montrent que la gélatine extraite des écailles de tilapia présente des propriétés physico-chimiques favorables, telles qu'une bonne capacité de gélification, une solubilité adéquate et une stabilité thermique. Ces caractéristiques rendent la gélatine de tilapia adaptée à de nombreuses applications industrielles, notamment dans les domaines alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. En outre, la valorisation des écailles de poisson contribue à une meilleure gestion des déchets et s'inscrit dans une démarche de développement durable.

En conclusion, cette étude démontre le potentiel des écailles de tilapia comme source alternative de gélatine de haute qualité, tout en ouvrant des perspectives pour une exploitation plus efficace des ressources marines et un impact environnemental réduit.

Mots clés : Gélatine, Écailles de tilapia, Extraction, Valorisation des sous-produits, Propriétés physico-chimiques, Développement durable.

Abstract

The aim of this thesis is to explore the extraction of gelatin from tilapia scales (*Oreochromis spp.*), with a view to valorizing aquaculture by-products. Gelatin, traditionally extracted from mammalian bones and skins, is experiencing a growing demand for non-mammalian alternatives due to health, religious and environmental concerns. This work examines the different extraction methods, as well as the optimal processing conditions, by studying the influence of pH, temperature and extraction time on the quality of the gelatin obtained.

The results show that gelatin extracted from tilapia scales has favorable physicochemical properties, such as good gelling capacity, adequate solubility and thermal stability. These characteristics make tilapia gelatin suitable for many industrial applications, particularly in the food, cosmetic and pharmaceutical fields. In addition, the valorization of fish scales contributes to better waste management and is part of a sustainable development approach.

In conclusion, this study demonstrates the potential of tilapia scales as an alternative source of high-quality gelatin, while opening up prospects for more efficient exploitation of marine resources and reduced environmental impact.

Keywords: Gelatin, Tilapia scales, Extraction, Valorization of by-products, Physicochemical properties, Sustainable development.

المخلص

يهدف تثمين المنتجات الثانوية للاستزراع المائي. الهدف من هذه الأطروحة هو استكشاف استخلاص الجيلاتين من قشور البلطي الجيلاتين، المستخرج تقليدياً من عظام وجلود الثدييات، يشهد طلباً متزايداً على البدائل غير الثديية بسبب المخاوف الصحية والدينية والبيئية. يتناول هذا العمل طرق الاستخلاص المختلفة، بالإضافة إلى ظروف المعالجة المثلى، من خلال دراسة تأثير الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ووقت الاستخلاص على جودة الجيلاتين الذي يتم الحصول عليه.

أظهرت النتائج أن الجيلاتين المستخرج من حراشف البلطي يظهر خصائص فيزيائية وكيميائية مناسبة، مثل قدرة التبلور الجيدة، والذوبان الكافي، والثبات الحراري. هذه الخصائص تجعل جيلاتين البلطي مناسباً للعديد من التطبيقات الصناعية، خاصة في مجالات الأغذية ومستحضرات التجميل والأدوية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن استعادة قشور الأسماك يساهم في تحسين إدارة النفايات ويشكل جزءاً من نهج التنمية المستدامة.

في الختام، توضح هذه الدراسة إمكانات حراشف البلطي كمصدر بديل للجيلاتين عالي الجودة، مع فتح آفاق لاستغلال أكثر كفاءة للموارد البحرية وتقليل التأثير البيئي.

الكلمات المفتاحية: الجيلاتين، قشور البلطي، الاستخلاص، تثمين المنتجات الثانوية، الخواص الفيزيائية والكيميائية، التنمية المستدامة.

Introduction

Introduction

La valorisation des sous-produits issus de l'industrie piscicole constitue un enjeu majeur dans le contexte actuel de développement durable et de gestion rationnelle des ressources naturelles. Parmi ces sous-produits, les écailles de poisson représentent une biomasse largement disponible, souvent considérée comme un déchet. Cependant, ces écailles, riches en collagène, offrent une opportunité intéressante pour l'extraction de gélatine, une protéine largement utilisée dans diverses industries, notamment dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

La gélatine est traditionnellement extraite des peaux et os de mammifères, en particulier les bovins et les porcs. Toutefois, l'augmentation des préoccupations liées à la sécurité sanitaire, aux considérations éthiques et religieuses, ainsi qu'à la demande croissante de produits plus respectueux de l'environnement, pousse à explorer de nouvelles sources de gélatine. Dans ce contexte, les poissons, et en particulier les écailles de tilapia, apparaissent comme une alternative prometteuse, en raison de leur disponibilité et de leur composition riche en collagène.

Le tilapia (*Oreochromis spp.*) est l'un des poissons les plus cultivés dans le monde, représentant une source importante de protéines pour l'alimentation humaine. L'aquaculture de tilapia génère une grande quantité de sous-produits, dont les écailles, qui sont souvent négligées ou éliminées. Ce mémoire se propose d'examiner les méthodes d'extraction de gélatine à partir de ces écailles.

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la valorisation des sous-produits de l'aquaculture, en proposant une approche innovante et durable pour l'extraction de gélatine de poisson. En explorant cette voie, il est possible de non seulement répondre à la demande croissante de gélatine issue de sources non-mammifères, mais également de promouvoir une utilisation plus efficace des ressources marines, réduisant ainsi l'impact environnemental de l'industrie piscicole.

Pour la réalisation de ce travail on a fixé les objectifs suivants :

- . Déterminer la quantité de gélatine extraite de diverses écailles de poisson.
- . Comparer la quantité de gélatine extraite de différentes écailles de poisson.

La présentation de notre travail est divisée sur deux parties, la première partie consacrée à la recherche bibliographique de généralité sur le poisson de tilapia et généralité sur la gélatine animal et la gélatine de poisson, la deuxième partie c'est pour le matériel et les méthodes qu'on a utilisés et l'interprétation des résultats obtenus.

Partie

Bibliographique

Chapitre 01

Généralités sur le poisson : Tilapia

1. Tilapia :

Le tilapia est un poisson d'eau douce et un poisson largement consommé dans le monde, particulièrement populaire en raison de son goût léger et de sa faible teneur en arêtes. Il appartient à la famille des Cichlidés et est largement cultivé en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud.

Sa production augmente considérablement de : 400 000 t en 1990 à 1 800 000 t en 2004. Le tilapia est l'un des poissons ayant fait l'objet du plus grand nombre d'introductions et de transferts à travers le monde (centaine de pays) à des fins d'élevage. (Lazard, 2007)

. Le WWF (ou Fonds mondial pour la nature est une organisation non gouvernementale internationale créée en 1961, vouée à la protection de l'environnement et au développement durable. Elle est l'une des plus importantes ONG environnementalistes de la planète, grâce à plus de cinq millions de soutiens à travers le monde), recommande le tilapia comme un choix de poisson respectueux de l'environnement, mais il est essentiel de s'assurer qu'il provient d'élevages durables

. Sur le plan nutritionnel, le tilapia est une bonne source de protéines complètes, d'acides gras oméga-3, de phosphore, de sélénium et de vitamines D et B12.

. Le tilapia du Nil, un type commun, est connu pour son comportement de reproduction par la bouche et est une espèce importante pour l'aquaculture dans le monde entier.

. En termes de reproduction, le tilapia se reproduit par nidation buccale : la femelle pond des œufs qui sont fécondés par le mâle et conservés dans la bouche des parents jusqu'à l'éclosion.

. Le tilapia est un poisson omnivore, souvent nourri avec des aliments composés contenant environ 25 à 30 % de protéines animales dans les élevages intensifs, et qui atteint sa taille marchande en 8 mois environ.

1.1. Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) :

Les tilapias sont un groupe de près de 100 espèces de poissons tropicaux d'eau douce de la famille des Cichlidae, originaires d'Afrique et du sud-ouest du Moyen-Orient (Skelton 2001). Le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L.) a été une composante importante des pêcheries aquacoles continentales en Asie et en Amérique du Sud au cours des 50 dernières années (Attayde et al. 2011).

Des illustrations sur des tombes égyptiennes indiquent que le tilapia du Nil a été élevé il y a plus de 4 000 ans. (Arrigon, 2000) Le Tilapia est le deuxième groupe le plus important des poissons cultivés après les carpes. En 2004, le tilapia a gagné la huitième place parmi les produits comestibles de la mer les plus populaires aux États-Unis d'Amérique. (FAO, 2017)

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) est une espèce très appréciée pour sa valeur nutritionnelle et ces potentialités aquacoles. Ces caractéristiques biologiques (croissance rapide, grande résistance au manque d'oxygène, supporte bien les manipulations) rendent ce poisson apte à toutes les formes d'élevage, avec tous les intermédiaires il est donc possible d'intégrer sa

pisciculture à différents schémas de développement. (Lazard, 1984). A été largement utilisé pour l'étude de la santé publique.

1.2. Tilapia rouge (*Oreochromis sp*) :

Le tilapia rouge hybride, comme toutes les autres espèces du même ordre *Oreochromis*, est l'une des plus importantes espèces élevées actuellement dans les eaux douces tropicales et subtropicales. Son élevage se fait toute l'année, en circuit ouvert ou fermé dans plusieurs régions du monde. Sa croissance rapide et son adaptation à des écosystèmes variés de même que sa chair savoureuse fait de lui un excellent candidat pour l'Aquaculture.

Leur consommation moyenne mondiale passerait de 14 à 25 kg par habitant d'ici 2030 (FAO, 2018).M

1.3. Culture du tilapia en Algérie :

En Algérie, l'espèce *Tilapia* est élevée en raison de sa rusticité aux conditions climatiques et surtout en zone saharienne dont la température de l'eau et la salinité stimulent sa croissance et sa reproduction. (Cherif et Djoumakh, 2015).

L'office national de développement et de production aquacole (O.N.D.P.A.) et les responsables de l'instance égyptienne des ressources halieutiques sont parvenus à un accord sur l'introduction du *Tilapia* en Algérie. Suite au succès de la première expérience concernant le lancement en 2001 de la production du tilapia en Algérie, une cargaison, estimée à 1,5 t d'alevins de tilapia a été livrée. Ces alevins destinés pour le repeuplement des barrages, bassins, et rivières, ont bien supporté le climat froid, des régions nord d'Algérie. Ensuite, l'Algérie est maintenant passée à l'étape de la production artificielle. Il s'agit de la création de fermes spécialisées dans la culture du tilapia selon des techniques modernes (par des promoteurs privés, de quelques 30 fermes aquacoles pour l'élevage du *Tilapia*. Les entrepreneurs privés qui ont reçu un soutien financier dans le cadre du programme d'appui à la relance économique et dont les projets devraient être opérationnels permettront la création de 303 emplois répartis comme suit : Ferme d'élevage de tilapia du Nil dans le Sud du pays : 139 emplois (six cadres, 10 techniciens, 123 ouvriers) (Benammar, 2017).

La disponibilité en eau, les nombreux bassins et canaux d'irrigation ont permis de planifier le développement d'un pôle d'aquaculture intégrée à l'agriculture, basée sur l'élevage extensif des poissons d'eau douce (principalement de tilapia du Nil et ses hybrides tels que le tilapia rouge) en synergie avec les activités agricoles (FAO, 2018).

2. Présentation de l'espèce *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) :

2.1. Position systématique :

La position systématique de *Tilapia* du Nil *Oreochromis niloticus* adoptée ici est inspirée de (Bailly, 2009) :

Règne : Animalia

Embranchement : Chordata

Sous-embranchement : Vertebrata

Super-classe : Gnathostomata

Classe : Actinopterygii

Ordre : Perciformes

Sous-ordre : Labroidei

Famille : Cichlidae

Sous-famille : Pseudocrenilabrinae

Genre : Oreochromis

Espèce : *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)

2.2. Synonymes et appellation vernaculaires :

Noms vernaculaires :

Nom FAO : **Anglais** - Nile tilapia, **Français** - tilapia du Nil, **Espagnol** - tilapia del Nilo (FAO, 2018)

En Algérie, il est appelé tilapia aussi et en **arabe** Balti.

Synonymes :

Selon la littérature ancienne et nouvelle (Bauchot et Pras, 1980 ; Whitehead et al., 1986 ; Quignard et Tomasini, 2000; Fricke et al., 2009), les synonymes du tilapia du Nil sont les suivants :

Chromis guentheri (Steindachner, 1864)

Chromis nilotica (Linnaeus, 1758)

Chromis niloticus (Linnaeus, 1758)

Oreochromis nilotica (Linnaeus, 1758)

Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)

Oreochromis niloticus niloticus (Linnaeus, 1758)

Perca nilotica (Linnaeus, 1758)

Sarotherodon niloticus (Linnaeus, 1758)

Tilapia calciati (Gianferrari, 1924)

Tilapia nilotica nilotica (Linnaeus, 1758)

Tilapia nilotica (Linnaeus, 1758)

2.3. Caractéristiques morphologiques d'*oreochromis niloticus* :

Le Tilapia du Nil est un Cichlidae appartenant au groupe des poissons incubateurs buccaux uniparentaux maternels. Il est caractérisé par: une coloration grisâtre avec poitrine et flancs rosâtres et une alternance de bandes verticales claires et noires nettement visibles notamment sur la nageoire caudale et la partie postérieure de la nageoire dorsale, un nombre élevé de branchiospines longues et fines (18-28 sur la partie inférieure du premier arc branchial, et 4-7 sur la partie supérieure), une nageoire dorsale longue à partie antérieure épineuse (17-18 épines) et à partie postérieure molle (12-14 rayons), et un liséré noir en bordure de la nageoire dorsale et caudale chez les mâles (Trewavas, 1983).

Sur chaque côté du corps, il existe deux lignes latérales. La 1ère ligne latérale va de l'opercule jusqu'au $\frac{3}{4}$ de la longueur totale du corps, la 2ème ligne située en dessous commence à la queue et va jusqu'au $\frac{3}{4}$ du corps (Ndiaye, 2017).

La nageoire anale est formée de 3 rayons épineux précédés de 09-10 rayons mous, les nageoires pelviennes portent un rayon dur suivi de 05 rayons mous, trois à quatre séries de dents sur chaque mâchoire et six chez les individus dépassant les 20 cm (Fig. 01), les taches blanches entre les rayons des nageoires impaires (Arrigon, 2000).



Figure 01 : Caractéristique morphologique spécifiques d'*O. niloticus*.

- 1: 1ère ligne latérale.
- 2: Rayons épineux de la nageoire dorsale.
- 3: Rayons mous de la nageoire dorsale.
- 4: 2ème ligne latérale.
- 5: Bandes verticales claires et noires sur la nageoire caudale.
- 6: Rayons mous de la nageoire anale.

- 7: Rayons épineux de la nageoire anale.
- 8: Rayon dur de la nageoire pelvienne.
- 9: Rayons mous de la nageoire pelvienne.

2.4. Habitat :

Tilapia du Nil est une espèce tropicale d'eau douce et d'estuaire. Elle préfère les eaux peu profondes et tranquilles sur le bord des lacs et les rivières larges avec la végétation suffisante (FAO, 2018), ainsi que les eaux fraîches d'une profondeur de 0 - 6 m (Froese et Pauly, 2017).

2.5. Répartition géographique :

Cette espèce est également cultivée, hors de sa zone originelle puisqu'elle a été introduite de par le monde et est couramment cultivée à travers les tropiques et les sous-tropiques (Fig.2). On la trouve dans les lacs, les fleuves et les piscicultures aussi bien d'Amérique Centrale (Guatemala, Mexique, Nicaragua, Honduras, Costa Rica, Panama), d'Amérique du Sud (Brésil), d'Amérique du Nord (Etats Unis, etc...) et d'Asie (Sri Lanka, Thaïlande, Bangladesh, Vietnam, Chine, Hong Kong, Indonésie, Japon, Philippines), ce qui lui vaut une distribution actuelle pan-tropicale (Welcomme, 1988). Elle est également cultivée dans les eaux chaudes industrielles en régions tempérées. C'est le cas en Europe, en Allemagne 1977 et en Belgique 1980 (Al Dilaimi, 2009).

Le tilapia est un poisson robuste, facile à reproduire et à élever de manière intensive et économique, ce qui en fait l'une des espèces aquacoles les plus populaires au monde.

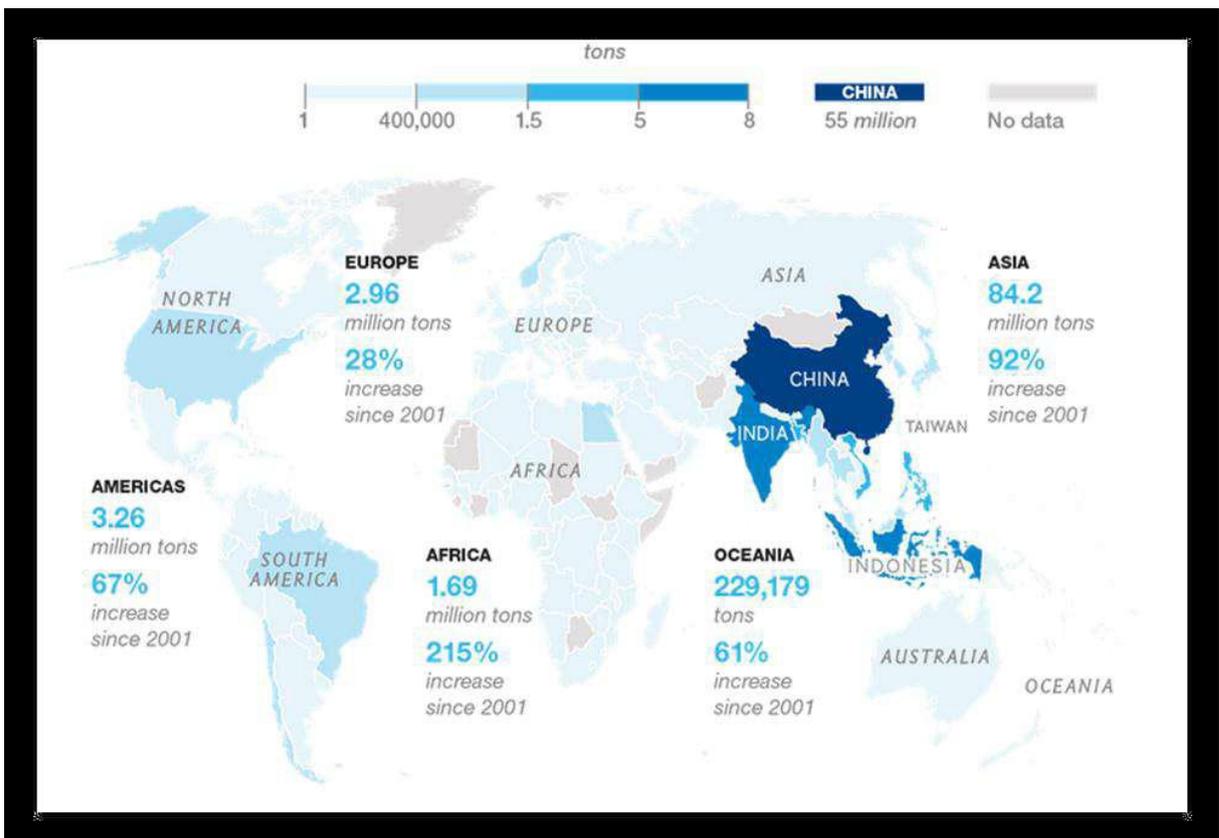


Figure 2: Introduction d'*Oreochromis niloticus* dans le monde.
<https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/aquaculture/>

Cette espèce a été largement répandue en Afrique hors de sa zone d'origine pour compléter le peuplement des lacs naturels ou de barrages déficients ou pauvres en espèces planctonophages ainsi que pour développer la pisciculture. Ainsi (**Welcomme, 1988**) signale son introduction au Burundi et au Rwanda en 1951, à Madagascar en 1956, en République centrafricaine et en Côte d'Ivoire en 1957, au Cameroun en 1958, en Tunisie en 1966, en Afrique du sud en 1976 et à des dates inconnues au Zaïre et en Tanzanie. En 2002 l'*Oreochromis niloticus* est introduite en Algérie.

En 2015, le groupe des Tilapias a occupé le troisième rang en termes de production à l'échelle mondiale après les Cyprinidéés et les Salmonidéés. La production globale de tilapia a augmenté rapidement depuis les années 80 et elle a atteint 3.670.259 tonnes en 2014 (**FAO, 2018**). En termes de localisation géographique, l'Asie représente plus de 80 % de la production de tilapia dans le monde, avec la Chine comme le plus grand producteur avec 1000000 tonnes. Par contre, et bien que l'Afrique soit le continent d'origine des tilapias, la production y reste encore extrêmement limitée (tout en excluant l'Egypte et le Zimbabwe) (**FAO, 2018**).

2.6. Exigences écologiques :

De nombreuses études de terrain et de laboratoire (**Pullin et Lowe-McConnell, 1982**) montrent qu'*O. niloticus* est une espèce relativement euryèce et eurytope adaptée à de larges variations des facteurs écologiques du milieu aquatique et colonisant des milieux extrêmement variés.

2.6.1. Température :

O. niloticus, espèce thermophile, se rencontre en milieu naturel entre 13,5 et 33 °C mais l'intervalle de tolérance thermique observé en laboratoire est plus large: 7 à 41 °C pendant plusieurs heures (**Balarin et Hatton, 1979**).

Tilapia du Nil est un poisson benthopélagique, qui vit dans les eaux chaudes. Son origine tropical et subtropical reflète ses exigences thermiques ; la croissance de ce poissons cesse à une température inférieure à 16 °C et ne peut pas survivre au-delà de quelques jours à des températures inférieures à 10 °C (**Chervinsk, 1982**). Tandis qu'il tolère des hautes degrés de température ; supérieure à 40 °C (**Azaza, 2004**).

2.6.2. Salinité :

O. niloticus c'est une espèce euryhaline est bien connue car, on le rencontre dans les eaux de salinité comprise entre 0,015 et 30 ‰.

Toutefois, au-delà de 20 ‰, l'espèce subit un stress important qui la rend sensible aux maladies, réduisant sa compétitivité par rapport à d'autres espèces. La reproduction serait inhibée en eau saumâtre à partir de 15 à 18 ‰. (**Malcom et al., 2000**).

2.6.3. Potentiel d'hydrogène (pH) :

De même, la tolérance aux variations de pH est très grande puisque l'espèce se rencontre dans des eaux présentant des valeurs de pH de 5 à 11. Ainsi que Le pH idéal étant situé entre 6,5 et 8,5 (**Malcom et al., 2000**).

2.6.4. Oxygène dissous (O₂ dissous) :

Pour la concentration en oxygène dissous, cette espèce tolère à la fois des déficits et des saturations importantes. Ainsi jusqu'à 3 mg/l d'oxygène dissous, *O. niloticus* ne présente pas de difficulté métabolique particulière mais lorsque la concentration d'oxygène dissous est inférieure à 3mg /l un stress respiratoire se manifeste, bien que la mortalité ne survienne qu'après 6 h d'exposition à des teneurs de 3 mg/l. Il n'empêche que cette espèce peut supporter, sur de courtes périodes, de faibles concentrations en oxygène dissous. L'optimum requis est de 5 mg/l. (**Malcom et al., 2000**).

2.6.5. Composés azotés :

La concentration des déchets azotés excrétés par les branchies et l'urine est en fonction de la température, taille des poissons, concentration de l'ammoniaque dans le milieu et la qualité de l'aliment, et doit être maintenue inférieure au seuil critique de tolérance d'*O. niloticus* (inférieur à 5 mg / l pour les nitrates à 500 mg / l pour les nitrites, à 15 mg / l pour l'ammoniaque total et à 200 mg / l pour les M.E.S) (Malcom *et al* ; 2000).

Le tableau suivant récapitule les différentes valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques tolérés pour la survie d'*O. niloticus*.

Tableau 1. Limites de tolérance de certains paramètres physico-chimique chez *O. niloticus* (Arrignon, 1996).

Paramètres	Limites de tolérance	Remarques
T (°C)	6,7 – 42	Valeurs extrêmes lors d'acclimatation progressive
	21 – 30	Reproduction et croissance
O ₂ (mg/l)	0,1	Survie quelques heures
	2 – 4	Survie des alevins
	> 5	Bonne croissance
S (‰)	< 29	-
	12,5	Déterminé expérimentalement
pH	5 -11	Limite de tolérance
	7 – 8	Valeurs recommandées

2.7. Régime alimentaire :

Oreochromis niloticus, en milieu naturel, essentiellement phytoplanctono-phage, ce qui ne l'empêche pas également d'absorber du zooplancton et même des sédiments riches en bactéries et Diatomées. (Trewavas, 1983)

Mais en milieu artificiel cette espèce est pratiquement omnivore valorisant divers déchets agricoles, tirant parti des excréments de porcs ou de volailles, de déchets ménagers, acceptant facilement des aliments composés sous forme de granulés, etc... Cette capacité d'adaptation à divers aliments et déchets est phénoménale et est à la base de sa haute potentialité pour la pisciculture. (Trewavas, 1983)

Les alevins de cette espèce sont omnivores et se nourrissent essentiellement de cyanobactéries ou de diatomées et algues vertes (25 mm<50 mm). (Feradji et Rouaba, 2017).

2.8. La croissance :

Il est couramment admis que les poissons ont un comportement de croissance prédéterminé sous la dépendance des facteurs génétiques et avec lesquels interagissent d'autres facteurs environnementaux. Ainsi, la vitesse de croissance est extrêmement variable selon des facteurs de contrôle (température) et limitant (nourriture, oxygène, ammoniac) qui affectent la quantité d'énergie disponible pour la croissance. Aussi, d'autres facteurs secondaires non négligeables comme la densité de peuplement et la photopériode peuvent sûrement affecter la croissance de l'espèce. (Lazard et Legendre, 1996)

En général, *O.niloticus* est connue pour sa croissance rapide et présente un indice de croissance plus performant que les autres espèces du genre, sa durée de vie étant relativement courte (6 à 8 ans). (Pauly *et al.* in Malcolm *et al* ; 2000)

Par ailleurs, il existe chez *O. niloticus* un phénomène de dimorphisme sexuel de croissance qui apparaît très rapidement en élevage, les mâles ayant de meilleures performances de croissance que les femelles, ceci est dû à la particularité du processus de la reproduction chez la femelle (incubation buccale) et du comportement social (territorialité...). (Trewavas, 1983)

Une autre caractéristique d'*O. niloticus* concerne son dimorphisme sexuel de croissance qui se marque dès 20 à 40 g de poids à partir duquel les femelles acquièrent la maturité sexuelle. (Malcolm *et al* ; 2000)

2.9. La reproduction:

O. niloticus fait partie du groupe des tilapias relativement évolués: les incubateurs buccaux uni parentaux maternels.

★ Lorsque les conditions abiotiques deviennent favorables, les adultes migrent vers la zone littorale peu profonde et les mâles se rassemblent en arène de reproduction sur une zone en pente faible à substrat meuble, sablonneux ou argileux où ils délimitent chacun leur petit territoire et creusent un nid en forme d'assiette creuse. (FAO, 2002)

★ **Saison de fraie** : la reproduction commence lorsque l'eau se réchauffe à environ 20°C, dans son aire de répartition et des conditions optimales de nourriture et de la température, l'espèce se reproduit tout au long du mois de Mai (Boschung et Mayden, 2004).

★ **Habitat de fraie** : Dans une dépression de nidification (Moyel, 1976).

★ **Comportement de fraie** : les poissons deviennent vert foncé brillant sur le dos et les coté avec le rouge et le noire sur la gorge et le ventre (Moyle, 1976). Les oeufs sont pondus sur un support solide (végétale ou minérale) ou directement au fond de la cavité buccale (Hensley et Coutenay, 1980). Un ou deux membres du poisson considéré comme un ventilateur du courant de l'eau pour récupérer les débris et les oeufs morts du nid (Boschung et Mayden, 2004).

★ **La fécondité**: la ponte et la fécondation externe durent 1h 30mn à 2h et se situent en général le matin de bonne heure, il en résulte entre 1000 et 6000 oeufs (Boschung et Mayden, 2004).

Les oeufs verts olive, ovoïdes (1.6 à 2 mm), sont fixés sur le support en une seule couche.

L'incubation dure 48 heures à 25°C. Une nouvelle ponte peut intervenir 30 jours après la première.

(Adjanke, 2011)



Figure 3 : L'incubation buccale des oeufs chez l'*O. niloticus*
(<https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/aquaculture/>)

3. Présentation de l'espèce de tilapia rouge :

Le Tilapia rouge (*Oreochromis sp*) est une espèce hybride de l'eau douce, ils sont des mutants génétiques choisis parmi les espèces de Tilapia du genre *Oreochromis*, Le premier hybride de Tilapia rouge a été produit à Taïwan à la fin des années 1960: Il s'agissait d'un croisement entre (*Oreochromis mossambicus*), une femelle orange rougeâtre mutante, et (*Oreochromis niloticus*) mâle, appelé Tilapia rouge taïwanais (Galman et Avtalion, 1983).

Tilapia est une appellation commerciale de certains poissons de la famille de Cichilidae (chapmen, 2003). Les appellations vernaculaires du tilapia rouge diffèrent d'un continent à un autre, d'une région à une autre et d'un pays à un autre (Rouget créole (Guadeloupe), St Pierre (Martinique). Gueule rouge (Réunion) et Tilapia rouge (Afrique).



Figure 4 : Tilapia rouge (Alpifood, 2022).

3.1. Systématique :

Oreochromis sp, appelée communément le Tilapia rouge, présente la Position systématique suivante :

Règne : Animalia.

Embranchement : Chordata.

Sous embranchement : Vertebrata

Super -classe : Osteichthyes

Classe : Actinopterygii.

Sous-classe : Neopterygii.

Super-ordre : Acanthopterygii

Ordre : Perciformes.

Sous-ordre : Labroidei

Famille : Cichlidae.

Genre : *Oreochromis*.

Espèce : *Oreochromis Sp*

3.2. Caractéristiques morphologiques d'*Oreochromis sp* :

3.2.1. Morphologie

Toutes les espèces qui appartiennent à ce genre *Oreochromis* (smith, 1840) sont caractérisées par un corps okale, assez haut et comprimé et une incubation buccale et une garde uni parentale maternelle (Trewavas, 1980, 1981et 1983).

Le Tilapia rouge se distingue de ces parents (*Oreochromis niloticus* et *Oreochromis mossambicus*) par certaines particularités morphologiques. Il possède un corps en général comprimé latéralement d'une couleur rouge et orange sur poitrine et les flancs, tendant vers l'ovale et allongée, il possède une tête portant une narine de chaque côté avec une bouche petite, le Tilapia est pourvu de 3 à 4 séries de dents sur chaque mâchoire et 6 chez les individus dépassant les 20cm (longueur standard).

Cette espèce présente un os operculaire non épineux, une ligne latérale supérieure renferme 21 à 24 écailles, une ligne latérale inférieure de 14 à 18 cm (Melard, 1986).

Une nageoire dorsale formée d'une seule pièce qui comprend une partie épineuse présentant 17 ou 18 épines et une partie molle avec 12 à 14 rayons souples, une nageoire caudale tronquée, une nageoire anale formée de 3 rayons épineux et des nageoires pelviennes portant un rayon dur suivi de 5 rayons mous, de couleur rouge (Trewavas, 1983).

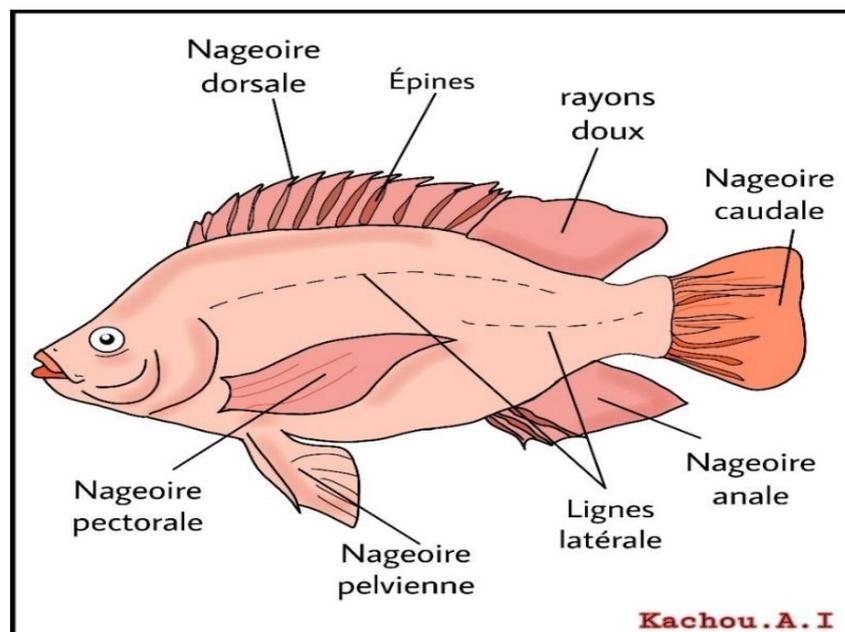


Figure 5 : Caractéristiques morphologiques du Tilapia (Kachou, 2022).

3.2.2. Anatomie :

L'anatomie d'*Oreochromis sp* est adaptée au comportement alimentaire. D'une manière générale, la taille du tube digestive d'*Oreochromis sp* est adaptée à la prise alimentaire de petits repas et avec une grande fréquence (FAO, 2010).

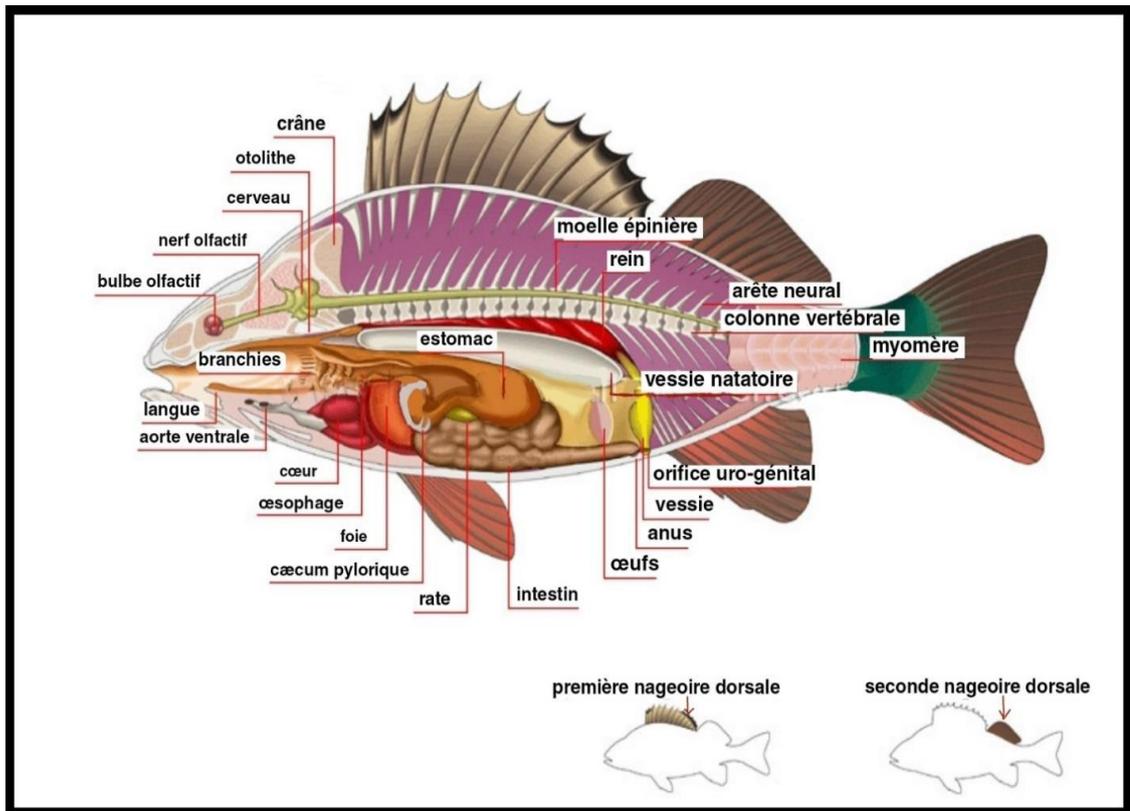


Figure 6 : Anatomie interne du Tilapia.

D'après la description d'Arrignon en 1993, l'anatomie de Tilapia est comme suite :

3.2.2.1. Squelette :

Le squelette est osseux, la tête comprend les os du crâne qui protègent les centres nerveux, et les os de la face, essentiellement les mâchoires, qui soutiennent les branchies. Les os du tronc comprennent la colonne vertébrale et des petits os supports des nageoires, elles-mêmes constituées de rayons osseux cartilagineux.

3.2.2.2. Muscles :

On distingue une masse musculaire composée de deux filets dorsaux. épais, et deux flancs moins épais. en étroite relation avec les arêtes. Cette masse musculaire assure la propulsion du poisson, d'autres muscles, plus petits, font fonctionner les mâchoires, le pharynx. les opercules et les nageoires.

3.2.2.3. Appareil digestive :

L'appareil digestif d'*Oreochromis sp* est simple et peu spécialisé. On distingue dans l'ordre antéropostérieur : les dents (maxillaires et pharyngiennes), l'œsophage, un estomac en forme de sac, et un long et sinueux intestin caractéristique des animaux à chaîne alimentaire courte. Une étude histologique de l'estomac d'*Oreochromis sp* révèle une structure autorisant une grande possibilité de distension, d'où une accommodation facile en cas de larges variations dans la quantité des particules ingérées. L'intestin est

différencié en un duodénum antérieur court à paroi mince, et une section postérieure très longue, avec un plus petit diamètre. La longueur totale de l'intestin entier varie de 5 fois la longueur du ceps (Moriarty, 1973).

3.2.2.4. Appareil respiratoire :

Le Tilapia possède une paire de quatre branchies. Elles sont protégées par une sorte de couvercle articulé : l'opercule.

3.2.2.5. Appareil circulatoire :

L'appareil circulatoire qui irrigue de sang le corps du Tilapia est un circuit fermé comprenant les artères, des vaisseaux très fins, les capillaires et un cœur qui anime le tout, situé en arrière des branchies.

3.2.2.6. Appareil excréteur :

L'appareil est essentiellement constitué par les reins, sortes de glandes brunes, très allongées et ramifiées, tapissant la partie dorsale de cavité viscérale, avec laquelle ils sont en relation. Les urines sont drainées vers l'orifice urinaire par deux uretères.

3.3. Exigences écologiques :

Les études de terrain et de laboratoire ont montré que Tilapia rouge (*Oreochromis sp*) est une espèce euryèce et eurytope adaptée à de larges variations des facteurs écologiques du milieu aquatique et elle résiste à des milieux extrêmement variés (Watanabe et al., 1997).

3.3.1. Température :

Oreochromis sp est une espèce thermophile, se rencontre en milieu naturel entre 13,5 et 33 °C mais l'intervalle de tolérance thermique observé en laboratoire est plus large : 7 à 41 °C pendant plusieurs heures (Balarin & Hatton, 1979 in Ait Hamouda, 2005).

La température optimale pour la croissance, alimentation, reproduction des alevins d'*Oreochromis sp* est 28 C°.

El Gamal en 1987 a constaté que la tolérance au froid des hybrides de Tilapia rouge dans l'eau douce n'était pas significativement différente de celle de leurs ancêtres. La température de l'eau à laquelle sont morts 50% d'*Oreochromis sp* et un hybride de Tilapia rouge est de 8.2 C° et 8.90 C° respectivement (exposés pendant 10 jours).

3.3.2. Salinité :

Bien que les Tilapias soient des poissons d'eau douce, plusieurs espèces sont euryhalines, la tolérance des juvéniles et des adultes a été discuté par plusieurs auteurs (Hadjadji N, Toumi M, 2003).

D'après Robert en 2003, les juvéniles de Tilapia rouge exposé à des salinités de 0 à 10 gl présentent une survie supérieure à 97%, pourcentage de la survie des juvéniles, qui sont exposés à salinité de 35g/L varie plus ou moins à 34% de l'ensemble de la population exposée.

3.3.3. Oxygène dissous :

L'oxygène qui représente environ 35% des gaz dissous dans l'eau se révèle indispensable à toutes formes de vie en général.

Le taux d'oxygène dissous optimal pour l'*Oreochromis sp* est de 5mg/l (Mélard, 2007).

Le Tilapia, plus que n'importe autre poisson, peut résister à des faibles taux d'oxygène dissous, de hauts taux d'azote. Cette espèce folère à la fois de nets déficits et des sursaturations mais sur de courtes périodes à des concentrations aussi faibles que 0,1 ppm d'oxygène dissous.

3.3.4. pH :

Cette espèce se rencontre dans des eaux qui présentent une grande variation avec des valeurs de pH de 5 à 11 ce qui fait que sa tolérance au pH est très grande.

Selon Malcolm et al. en 2000, des pH d'une valeur de 2 et de 3 provoquent un stress physiologique qui se manifeste généralement par une nage rapide, des mouvements operculaires accélérés, une incapacité de contrôler la position du corps, une remontée en surface pour avaler l'air et enfin la mort.

3.3.5. Composés azotés :

La concentration des déchets azotés excrétés par les branchies et l'urine est en fonction de la température. La taille de l'individu. la concentration de l'ammoniaque dans le milieu et la qualité de l'aliment, elle doit être maintenue inférieure au seuil critique, pour tilapia rouge (*Oreochromis sp*), elle ne doit pas dépasser 5mg/L pour les nitrites, 500mg/L pour les nitrates, 200 mg/L pour les matières en suspension (Malcom et al., 2000) et 0,1 mg/L pour l'ammoniaque totale (Suresh, 2003).

3.4. Régime alimentaire :

L'*Oreochromis sp* est classiquement rangé parmi les poissons microphytophages capables d'ingérer et de digérer de grandes quantités d'algues phytoplanctoniques et de cyanobactéries mais en réalité, le degré d'opportunisme de l'espèce est très grand et son régime alimentaire est souvent plus proche de celui des poissons omnivores détritivores que des herbivores stricts.

Les jeunes sont d'abord zooplancton phages jusqu'à une taille de 50 mm, puis de 50 à 100 mm ils deviennent omnivores et ils consomment des algues filamenteuses, du zooplancton, des larves d'insectes et des macrophytes. Au-dessus de 100 mm, la nourriture principale est formée de macrophytes. Si les plantes sont rares ils conservent un régime à base d'algues, d'insectes, de zooplancton, de débris végétaux supérieurs.

En milieu artificiel (système de pisciculture), cette espèce est pratiquement omnivore (euryphage), elle valorise diverse déchets agricole (déchets de brasserie ... etc.), en tirant une partie des excréments de pores ou de volailles, de déchets ménagers et en acceptant facilement des aliments composés sous forme de granulés (Kestmont et al 1989).

Il convient de relever que l'acidité gastrique particulièrement forte chez l'*Oreochromis sp* lui permet d'être parmi les rares espèces à pouvoir digérer les cyanophycées (abondante source de protéines) sans concurrence notable avec d'autres espèces piscicoles dans l'écosystème aquatique (Lauzanne, 1988). Cette capacité phénoménale d'adaptation à divers aliments et déchets est à la base de sa haute potentialité pour la pisciculture.

3.5. Reproduction de tilapia rouge :

- Reproduction toute l'année tant que la température est supérieure à 22°C. (Optimum entre 28 et 32° C) et la salinité est inférieure à 15 psu.
- Taille de première maturité sexuelle: entre 14 et 20 cm (selon le sexe et le milieu).
- Male délimite un petit territoire substrats sablonneux ou argileux sous forme d'assiette creuse où la femelle dépose ses ovules pour être fécondés immédiatement par le male.
- Puis la femelle reprend en bouche les œufs (incubateur buccal uni parents maternel).
- Eclosion dans la bouche de femelle 4 à 5 jours après la fécondation

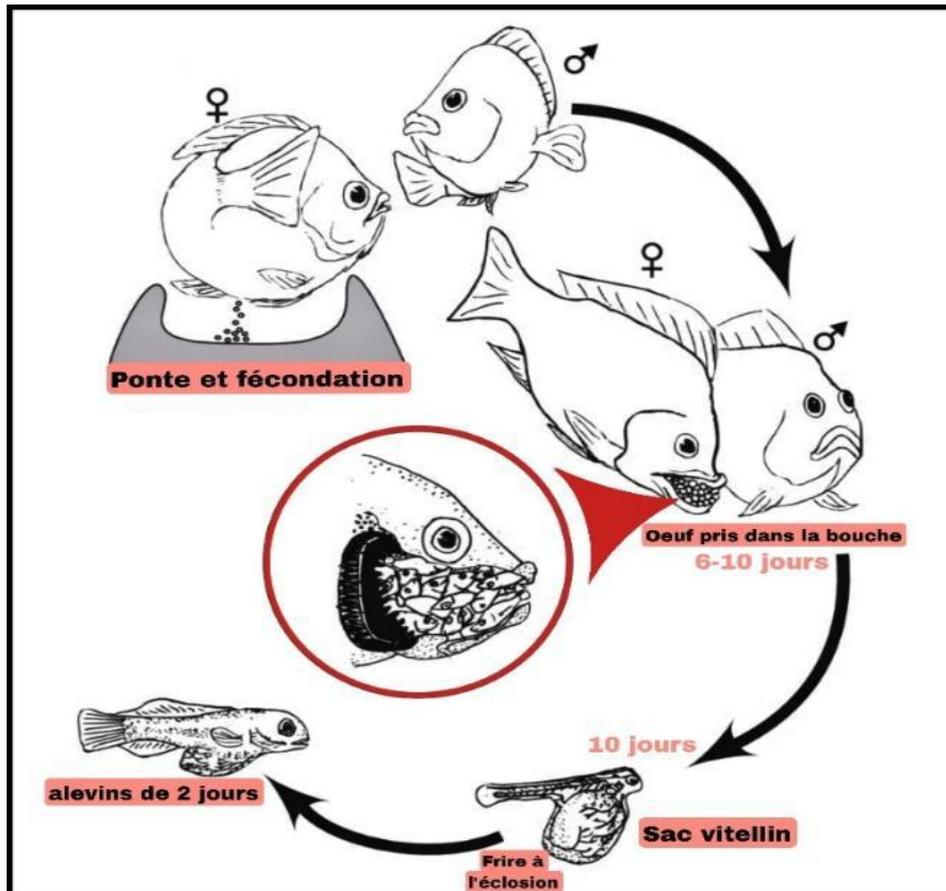


Figure 7 : Schéma représentant la reproduction de Tilapia. Nandlal & Pickering (2004).

Chapitre 02

Généralité sur

La Gélatine animale

et la Gélatine de

poisson

1. La gélatine :

1.1. Définition :

La gélatine est une substance protéique pure. Elle est obtenue généralement par hydrolyse acide partielle (type A) ou hydrolyse alcaline partielle (type B) des fibres du collagène 63 représenté par la figure suivante (**Figure 08**) (**Alvarez, 2014**). Comme elle peut être constituée par un mélange des deux types (**Brodsky et Persikov, 2005**).

La gélatine peut couvrir une gamme de produits possédant des propriétés différentes.

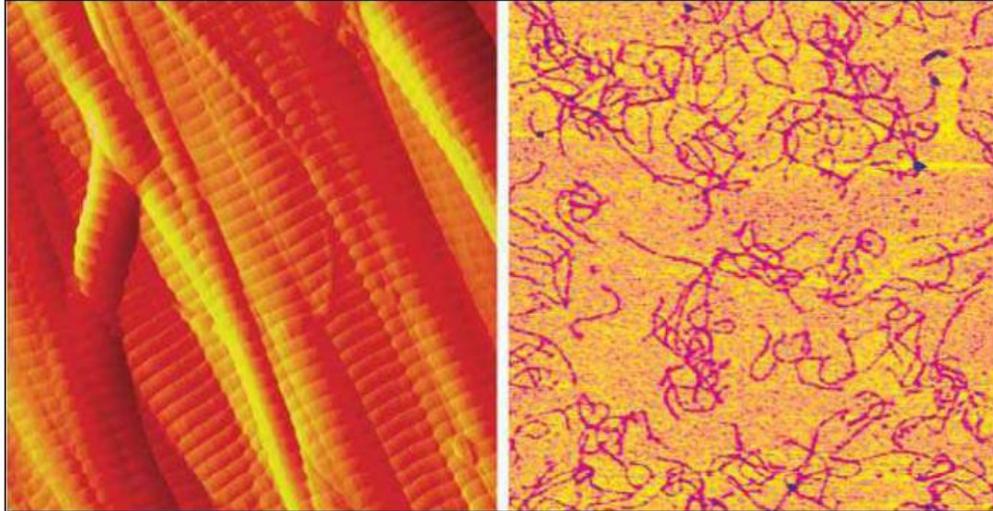


Figure 8 : images montrant la structure fibreuse du collagène 63 constituant de base de la gélatine (**Alvarez, 2014**).

1.2. Composition chimique de la gélatine

Les analyses montrent que la gélatine contient des pourcentages massiques de : 26,4 à 30,5% de glycine ; 14,8 à 18% de proline ; 13,3 à 14,5% d'hydroxyproline ; 11,1 à 11,7% d'acide glutamique ; et 8,6 à 11,3% d'alanine.

Les autres acides aminés sont en faibles pourcentages comme la tyrosine avec un pourcentage de 0,2% seulement (**ROSENBLOOM, 1973**).

Le tableau suivant donne les valeurs des acides aminés pour les deux types de gélatine et pour le collagène :

Tableau 2 : Nombre d'acides aminés ($\times 1000$ résidus) présents dans les deux types de gélatine et dans le collagène (**Terrien, 2005**)

L'acide aminé	Gélatine type A	Gélatine type B	Collagène
Alanine	112	117	114
Arginine	49	48	51
Aspartine	16	00	16
Acide aspartique	29	46	29
Cistéine	00	00	00
Acide glutamique	48	72	48
Glutamine	25	00	25
Glycine	330	335	332

Hystidine	4,0	4,2	4,4
Hydroxyproline	91	93	104
Hydroxylysine	6,4	4,3	5,4
Isoleucine	10	11	11
Leucine	24	24,3	24
Lysine	27	28	28
Méthionine	3,6	3,9	5,7
Phénylalanine	14	14	13
Proline	132	124	115
Sérine	35	33	35
Thréonine	18	18	17
Tryptophane	00	00	00
Tyrosine	2,6	1,2	4,4
Valine	26	22	22

1.3. Caractéristiques microbiologiques :

Chaque lot de production de gélatine sera soumis à des analyses pour assurer qu'il répond aux critères définis dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Critères microbiologiques (GME, 2001)

Paramètres microbiologiques	Normes (1)
Flore mésophile totale	< 10 ³ /g
Coliformes (30 °C)	abs. /g
Coliformes (44,5 °C)	abs. /10 g
Spores de bactéries anaérobies sulfite réductrices (absence de dégagement gazeux)	< 10/g
<i>Clostridium perfringens</i>	abs. /g
<i>Staphylococcus aureus</i>	abs. /g
Salmonelle	abs. /25 g

2. La Gélatine animal :

La gélatine est une protéine d'origine animale vitreuse, fragile, légèrement jaunâtre ou blanchâtre et quasiment sans goût et sans odeur. Elle est fournie sous différentes formes : gros granulés, poudre fine ou feuilles. La gélatine non gélifiante est utilisée principalement pour sa valeur riche en protéines. Ingrédient traditionnel de la cuisine familiale depuis des siècles, la gélatine est aujourd'hui devenue un produit industriel aux multiples utilisations. Elle est très utilisée pour ses applications culinaires, pharmaceutiques, photographiques et techniques ; mais c'est aussi un ingrédient primordial dans l'industrie agro-alimentaire.

La gélatine de type A est produite par un traitement acide de la matière première collagénique ; la gélatine de type B est produite par un traitement alcalin ou à la chaux. Étant donné qu'elle est obtenue à partir du collagène par hydrolyse partielle contrôlée et qu'elle n'existe pas dans la nature, la gélatine est classée comme une protéine dérivée. La colle animale et l'hydrolysate de gélatine, parfois appelé protéine liquide, sont des produits obtenus par une hydrolyse plus complète du collagène et peuvent donc être considérés comme contenant des fractions de gélatine de poids moléculaire inférieur. L'utilisation de colles animales a été signalée pour la première fois vers 4000 avant J.-C. dans l'Égypte ancienne (Koepf, 1985). Au cours des siècles suivants, des extraits de colle et de gélatine brute aux propriétés organoleptiques médiocres ont été préparés en faisant bouillir des morceaux d'os et de peau et en laissant la solution refroidir et se gélifier. À la fin du XVIIe siècle, la première fabrication commerciale de gélatine a commencé. Au début du dix-neuvième siècle, les méthodes de production commerciale ont été progressivement améliorées pour parvenir à la fabrication d'extraits de collagène de poids moléculaire élevé et de bonne qualité qui forment des gels de gélatine caractéristiques (Koepff, 1985 ; Bogue, 1922 ; Smith, 1929).

Les utilisations de la gélatine sont basées sur la combinaison de ses propriétés : transition réversible entre le gel et la solution aqueuse, viscosité des solutions aqueuses chaudes, capacité à agir comme un colloïde protecteur, perméabilité à l'eau et insolubilité dans l'eau froide, mais solubilité complète dans l'eau chaude. Il est également nutritif. Ces propriétés sont utilisées dans les industries alimentaire, pharmaceutique et photographique. En outre, la gélatine forme des revêtements solides, uniformes, clairs et modérément flexibles qui gonflent et absorbent facilement l'eau et sont idéaux pour la fabrication de films photographiques et de capsules pharmaceutiques.

3. La Gélatine De Poisson

Les gélatines porcine et bovine sont largement utilisées dans les produits alimentaires et non alimentaires ; toutefois, leur acceptation est limitée en raison d'interdictions religieuses, alors que la gélatine de poisson est acceptée par toutes les religions. En Asie du Sud-est, notamment en Chine, la gélatine obtenue à partir de peaux d'âne et de cerf est utilisée dans les médicaments.

La gélatine de poisson est une alternative à la gélatine animale, souvent utilisée par les personnes ayant des restrictions alimentaires ou des préférences alimentaires particulières, comme les végétariens ou les personnes suivant un régime halal . Contrairement à la gélatine animale, qui est dérivée de collagène d'animaux comme le porc ou le bœuf, la gélatine de poisson est fabriquée à partir de collagène provenant des peaux et des nageoires de poissons.

De plus, la gélatine de poisson a tendance à prendre moins de temps à se solidifier que la gélatine animale, et elle peut avoir un goût et une odeur plus neutres, ce qui la rend polyvalente pour une utilisation dans une variété de recettes.

En raison de ces avantages, la gélatine de poisson est de plus en plus utilisée dans l'industrie alimentaire pour gélifier des produits tels que les desserts, les confiseries et les produits laitiers, ainsi que dans l'industrie pharmaceutique pour les capsules de médicaments et d'autres applications.

Les gélatines d'origine aquatique, telles que la gélatine de poisson, sont une alternative aux gélatines bovines et porcines. La gélatine de poisson présente plusieurs avantages, notamment l'absence de risque d'ESB et de fièvre aphteuse, une acceptabilité pour l'islam. De plus, les produits aquatiques, tels que les poissons, sont une source abondante de gélatine, provenant principalement des sous-produits de l'industrie de la transformation des produits aquatiques. La gélatine de poisson est largement disponible depuis les années 1960 et son extraction et ses propriétés ont été décrites dans des brevets et des articles de recherche. Elle peut être extraite de différentes parties du poisson, telles que la peau, les écailles et les os, provenant de poissons d'eau froide et d'eau chaude.

La majeure partie de la gélatine est importée du Brésil, de l'Inde, de la Chine, des États-Unis et de l'Australie. En outre, la majorité de la gélatine est dérivée de la peau de porc (44 %), des peaux de bovins (28 %) et des os de bovins (27 %). Toutefois, ces sources mammaliennes se heurtent à certains obstacles liés à la religion, aux aspects socioculturels et sanitaires, ainsi qu'à l'apparition de virus. Il est donc urgent de trouver une gélatine alternative pour remplacer la gélatine traditionnelle des mammifères. La gélatine provenant des sous-produits de la transformation du poisson, en particulier la peau et les os, est la gélatine alternative la plus potentielle, qui est universellement acceptée en ce qui concerne les aspects mentionnés.

En Indonésie, les sous-produits du processus de filetage du poisson, tels que la peau et les arêtes, représentent environ 30% du poids total du poisson. Le ministère des Affaires marines et de la Pêche indique que la production de poisson dans le pays est d'environ 11,042 milliards de tonnes par an, ce qui équivaut à environ 3,512 milliards de tonnes de sous-produits de transformation de poisson. Selon des recherches antérieures, il est estimé que ces déchets peuvent produire jusqu'à 87, 675,177 kg de gélatine, soit plus de 20 fois les besoins nationaux en Indonésie. De plus, la gélatine de poisson provenant de poissons d'eau chaude offre des propriétés physiques supérieures à celle des poissons d'eau froide. Cela ouvre des perspectives de développement, y compris à des fins d'exportation.

Le marché des gélatines de poisson est encore faible par rapport aux gélatines bovines et porcines, principalement en raison de leurs propriétés rhéologiques moins bonnes. Cependant, les gélatines de poisson ont des propriétés uniques telles qu'une température de fusion plus basse, ce qui peut faciliter la libération des arômes et améliorer les sensations sensorielles. De plus, elles ont d'excellentes propriétés de filmage et de barrière, avec des films de gélatine de poisson à température ambiante présentant une perméabilité à la vapeur d'eau plus faible que les films de gélatine de poisson et mammifères à température élevée. Par conséquent, les gélatines de poisson pourraient être utilisées dans la fabrication de gélatines ainsi que dans d'autres applications industrielles telles que les micro-encapsulations, les revêtements sensibles à la lumière et les colles à faible temps de prise. L'utilisation de gélatines aquatiques dans ces domaines pourrait stimuler la croissance de l'industrie des gélatines de poisson.

En raison de leur bonne capacité à former des films, les gélatines de poisson peuvent constituer une bonne alternative aux plastiques synthétiques pour la fabrication de films destinés à la conservation des denrées alimentaires.

Les peaux et les arêtes de poisson, qui sont principalement composées de collagène, représentent environ 30% des déchets dans l'industrie des fruits de mer. Ainsi, la production industrielle de gélatine de poisson a augmenté ces dernières années en raison de l'intérêt croissant pour l'utilisation des sous-produits de l'industrie du poisson. Les études sur la production et la caractérisation de films utilisant des gélatines de poisson sont assez récentes, et toutes les gélatines de poisson ont montré de bonnes propriétés filmogènes, produisant des films transparents, presque incolores, solubles dans l'eau et très extensibles.

Les gélatines bovine et porcine sont largement utilisées dans le monde entier en raison de leur prix relativement bas et de leur grande disponibilité (Karim & Bhat, 2009). Toutefois, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB), la fièvre aphteuse et la grippe porcine étant devenues des problèmes de santé publique et des restrictions ayant été imposées aux produits porcins dans les pays et communautés musulmans, la gélatine de poisson a fait l'objet d'une grande attention, non seulement parce qu'elle constitue une alternative fiable aux autres types de gélatines, mais aussi en raison de ses propriétés fonctionnelles et de ses applications uniques (Bonne & Verbeke, 2008).

3.3. La structure générale de la gélatine de poisson :

La gélatine de poisson est un biopolymère composé de protéines (85 à 92 %), de sel minéral et d'eau. La gélatine de poisson est produite par l'hydroxylation partielle de la protéine de collagène dans des conditions (par exemple, acide, alcali, enzyme et température élevée). Le collagène est la protéine animale la plus omniprésente, représentant 20 à 25 % des protéines totales des mammifères, avec une composition unique en acides aminés (par exemple, hydroxyproline et hydroxylysine) (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2004). La structure de la gélatine de poisson est principalement composée de multiples répétitions d'une séquence "Glycine-X-Y", alors que "X" et "Y" sont souvent de la proline et de l'hydroxyproline, respectivement.

3.4. Les nouvelles applications de la gélatine de poisson :

3.4.1. Applications nutritionnelles de la gélatine de poisson :

Les chercheurs avaient l'habitude d'explorer l'utilisation de matériaux inhabituels pour résoudre les problèmes liés à la pénurie de nourriture et d'aliments (Oser, 1959). Étant donné que la gélatine de poisson contient un nombre considérable d'acides aminés et que la plupart de la gélatine de poisson provient de la peau et des écailles de poisson, il est raisonnablement prouvé que la gélatine de poisson peut contribuer à remédier à la pénurie de nourriture et d'aliments.

3.4.2. Applications de la gélatine de poisson dans l'ingénierie tissulaire et la cicatrisation des plaies :

Le collagène est depuis longtemps utilisé comme agent hémostatique en cas de lésions tissulaires, car il s'agit d'un composant majeur de la matrice extracellulaire (ECM) (Tayebjee, MacFadyen, & Lip, 2003). De même, la gélatine a été considérée comme un agent biomédical potentiel en médecine régénérative. Au début des années 1990, Lanza, Langer et Vacanti (1993) ont défini les trois exigences fondamentales de l'ingénierie tissulaire :

(1) le matériau qui supporte la matrice doit être biocompatible et pouvoir être transformé dans la forme souhaitée.

(2) l'interaction entre le matériau et la cellule hôte doit répondre aux exigences structurelles et métaboliques spécifiques du tissu.

(3) la performance de la matrice doit être testée à la fois *in vitro* et *in vivo* à l'aide d'essais moléculaires et histologiques quantitatifs.

La gélatine de poisson est un excellent matériau pour répondre à ces exigences en raison de sa bonne biocompatibilité, de sa biodégradabilité élevée, de son potentiel de croissance cellulaire et de sa faible antigénicité (Hayashi, Yamada, Guchi, Koyama, & Ikeda, 2012 ; Horch, Debus, Wagner, & Stark, 2000 ; Pati et al., 2012). Il a été prouvé que la gélatine de poisson peut servir d'échafaudage - un matériau biodégradable qui fournit des cellules, des gènes et des protéines au tissu et assure l'intégrité structurelle pour guider la prolifération des cellules donneuses (Hayashi et al., 2012).

3.4.3. Applications de la gélatine de poisson dans la formation des os et les maladies osseuses :

La gélatine de poisson peut être un bon complément alimentaire qui peut être utilisé en combinaison avec les médicaments actuels tels que les analgésiques et les anti-inflammatoires pour traiter l'arthrose et obtenir un meilleur effet curatif.

Le tableau 2 énumère les méthodes d'utilisation des produits à base de gélatine de poisson pour améliorer la formation des os et traiter les maladies osseuses (tableau 2). La source de gélatine, les produits chimiques incorporés dans les échafaudages, les avantages et les résultats importants ont également été répertoriés dans le tableau 2.

Tableau 4: Applications de la gélatine de poisson dans la formation des os et les maladies osseuses

Méthode	Produits chimiques incorporés	Source de gélatine	Avantage	Référence
Administration orale		Peau du grand requin bleu (Prionace glauca)	Augmentation de la densité minérale osseuse de l'épiphyse du fémur chez les rats ovariectomisés	(Nomura et al., 2005)
		Carpe argentée (Hypophthalmichthys molitrix) peau	Améliorer la densité minérale osseuse Augmentation de la teneur en hydroxyproline des os Augmenter le niveau d'ALP, Réduire l'activité de TRAP-5b dans le sérum	(Zhang et al., 2018)
Échafaudage de réticulation	P407	Gélatine de peau de poisson d'eau froide	Potentiel d'alternative pratique à la fusion vertébrale la procédure de fusion vertébrale	(Temofeew et al., 2017)
	CMC-Tyr et CaP	Écailles de poisson de la tête de serpent (Channa argus)	Faciliter la régénération osseuse	(Chun et al., 2016)
	Chitosan, hydroxyapatite	Requin bleu (Prionace glauca)	Plus grande rigidité Taux de biodégradation plus faible Meilleure biocompatibilité Favorise la formation de cellules ostéoblastes Activité ALP élevée	(Elango et al., 2016)

3.4.4. L'application anti-adhésion de la gélatine de poisson :

L'adhérence tissulaire est un effet secondaire grave de la chirurgie, qui entraîne un mauvais pronostic pour les tissus des sites opérés (Dai, Zou, & Chen, 2009).

La méthode de prévention de l'adhérence couramment utilisée consiste à adopter des films, des gels et des matériaux sol-gel comme barrières anti-adhésion (Park et al., 2012), mais ces matériaux anti-adhésion présentent des limites. Par exemple, les films solides doivent être coupés pour ajuster la forme du matériau, puis le film résiduel du processus de coupe sera gaspillé (Chiou et al., 2006). Les matériaux liquides (par exemple, les gels et les sol-gels) sont limités parce qu'ils ne peuvent pas être fixés directement sur le tissu de la plaie. Park et al. (2012) ont produit de la gélatine de poisson Furfuryl (F-f.gel) en incorporant un anneau de furane dans la gélatine de poisson pour utiliser cette gélatine comme agent anti-adhésion. Ce matériau présente l'avantage que le F-f.gel peut être converti de solution en film lorsqu'il est irradié par une lumière visible inoffensive. En outre, il a été constaté que les cellules fibroblastes ne s'attachaient pas aux plaques recouvertes d'un film de F-f.gel, ce qui prouve que le F-f.gel peut servir d'agent anti-adhésion (Park et al., 2012). Ainsi, la gélatine de poisson est un agent antiadhésif sûr et économique, candidat au futur domaine médical.

3.4.5. L'application antimicrobienne de la gélatine de poisson :

La gélatine de poisson contient également des peptides bioactifs aux propriétés antimicrobiennes. Les peptides antimicrobiens (AMPs) se trouvent dans une variété d'animaux dans la nature, y compris les insectes, les amphibiens, les invertébrés et les poissons, mammifères, et ils agissent comme des substances importantes chez les animaux, en fournissant la première ligne de défense contre un large éventail de maladies et d'infections.

La première ligne de défense contre un large spectre de microbes (Wang, Li, & Wang, 2015). Chez les poissons, les AMPs sont des composants essentiels du système immunitaire inné et peuvent tuer des agents pathogènes qui sont généralement résistants à une variété d'antibiotiques (Hancock, & Wang, 2015).

Antibiotiques (Hancock & Sahl, 2006). En général, les AMPs des poissons ont plusieurs fonctions : ils peuvent se diffuser rapidement vers le site d'infection et neutraliser les agents pathogènes et les bactéries. Puis recruter les cellules immunitaires (Nguyen, Haney, & Vogel, 2011).

En raison de ces propriétés, les AMPs de poisson des poissons pourraient être utilisés comme de nouveaux candidats pour le développement de traitements.

3.4.6. L'emballage antimicrobien à base de gélatine de poisson :

L'enduction ou la réticulation des films de gélatine de poisson avec d'autres composés chimiques ou naturels peut non seulement augmenter la résistance à la traction et l'élongation à la rupture et diminuer le WVP, mais aussi apporter sa capacité antimicrobienne (Padrão et al., 2015). Ces excellentes propriétés de barrière permettent à la gélatine de poisson d'être largement utilisée dans l'emballage alimentaire en raison de sa bonne résistance à la traction et de sa capacité antimicrobienne qui empêchent les aliments de se détériorer. Des produits chimiques tels que le sorbate de potassium (Jiang, Liu et Wang, 2011), le tripolyphosphate de sodium (Jiang et al., 2011), le carvacrol (Liu et al...) et la catéchine (Rawat et al...) sont également utilisés dans les emballages alimentaires, 2018) et la catéchine (Rawdkuen, Suthiluk, Kamhangwong, & Benjakul, 2012) et des produits naturels tels que l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* L. (OEO) (Hosseini, Rezaei, Zandi, & Farahmandghavi, 2016), l'huile d'Origan (*Thymus capitatus*) (Min & Oh, 2009) et la lactoferrine bovine (Padrão et al., 2015) ont été signalés ces dernières années comme ayant une bonne activité antimicrobienne lorsqu'ils sont incorporés dans des films de gélatine de poisson. Le film incorporé a également montré une fonction de barrière améliorée. Par conséquent, les films de gélatine de poisson ont un grand potentiel dans le domaine de l'emballage alimentaire.

Partie

expérimentale

Chapitre 03

Matériel et méthodes

1. L'objectif :

L'objectif de cette étude est inscrit dans le cadre de valorisation des sous-produits de l'industrie de la pêche.

Dans ce contexte, notre étude expérimentale portera sur :

- . Déterminer la quantité de gélatine extraite de diverses écailles de poisson.
- . Comparer la quantité de gélatine extraite de différentes écailles de poisson.

2. Matériel et Méthodes :

2.1. Extraction de la gélatine :

2.1.1. Préparation des échantillons :

Les écailles de poisson de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) ont été obtenues auprès la ferme aquacole Tafsout Honaine Tlemcen.



Figure 9 : Poisson de tilapia du Nil
(Photo originale 2024)



Figure 10 : l'opération de récupération des écailles de poisson de tilapia du Nil
(Photo originale 2024)

Les écailles de poisson de tilapia rouge (*Oreochromis sp*) ont été obtenues auprès la ferme aquacole de Skikda.



Figure 11 : le colis d'écailles de poisson de tilapia rouge

Selon la méthode : Manassaya, P., & Punnila, B. (2016). *Extraction and characterization of gelatin from fish scales.*

2.1.2. Le séchage :

Nous avons séché les écailles de poisson pendant 2 jours.



Figure 12 : les écailles des poissons de tilapia rouge et de tilapia de Nil après le séchage (Photo originale 2024)

2.1.3. Déminéralisation les écailles :

Faire tremper 25 g de chaque type d'écailles de poisson dans une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 % pendant 2 heures, puis 2 heures supplémentaires dans une solution d'acide acétique à 0,1 % dans de l'eau distillée 50 ml.

- La solution d'hydroxyde de sodium NaOH pour l'élimination des protéines.
- La solution d'acide acétique pour l'extraction enzymatique.



Figure 13 : l'hydroxyde de sodium NaOH et l'acide acétique (Photo originale 2024)

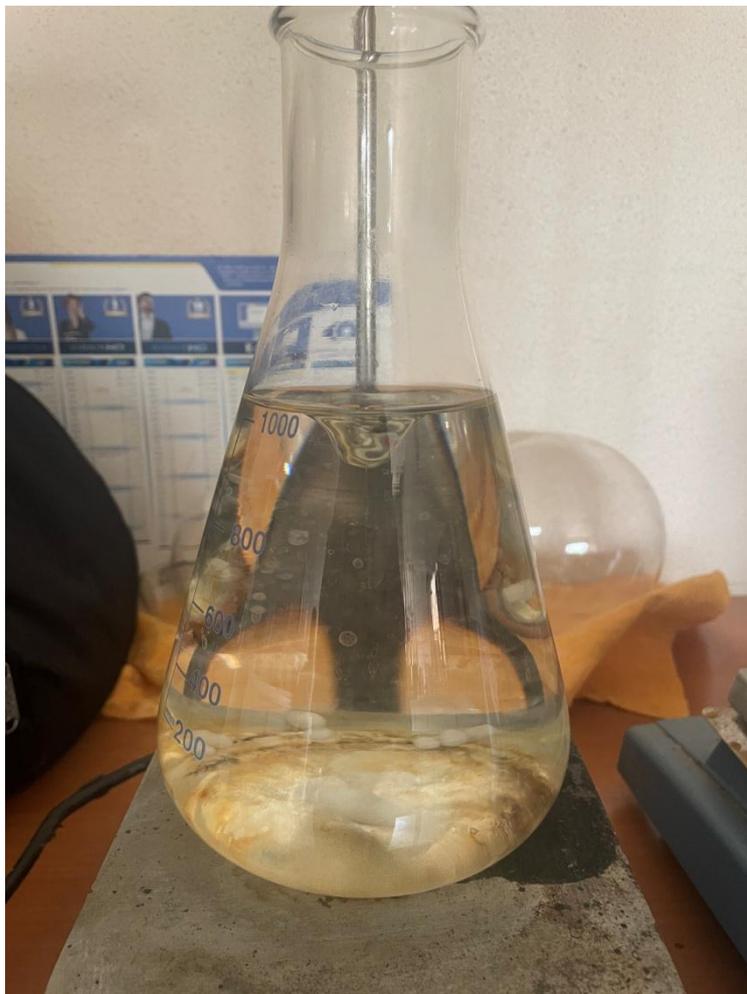


Figure 14 : préparation de la solution d'hydroxyde de sodium NaOH
2g*100ml (Photo originale 2024)



Figure 15 : l'opération de trempage de NaOH pendant 2h (Photo originale 2024)

- Après 2 heures, nous filtrons les écailles de poisson de la solution de NaOH et les plaçons dans la solution d'acide acétique.



Figure 16 : l'opération de trempage d'acide acétique pendant 2h (Photo originale 2024)

2.1.4. L'extraction :

Dans la troisième étape, nous filtrons les écailles de poisson à travers la solution d'acide acétique, nous les diluons dans de l'eau distillée, nous les chauffons à 80 °C pendant 2 heures et 30 minutes, puis nous abaissons la température à 60 °C pendant 3 heures.



Figure 17 : L'opération de chauffage des écailles dans le bain-marie (Photo originale 2024)

- Nous filtrons les écailles de poisson dans l'eau à l'aide de papier filtre, puis laissons l'eau sécher pendant deux heures pour obtenir une texture plus collante.



Figure 18 : La filtration des écailles (Photo originale 2024)



Figure 19 : Le séchage de l'eau collante (Photo originale 2024)

- Enfin, nous distillons la solution à l'aide d'un appareil rotavapor qui élimine tout le solvant.



Figure 20 : l'évaporateur rotatif (ou rotavapor) (Photo originale 2024)

Chapitre 4

Résultats

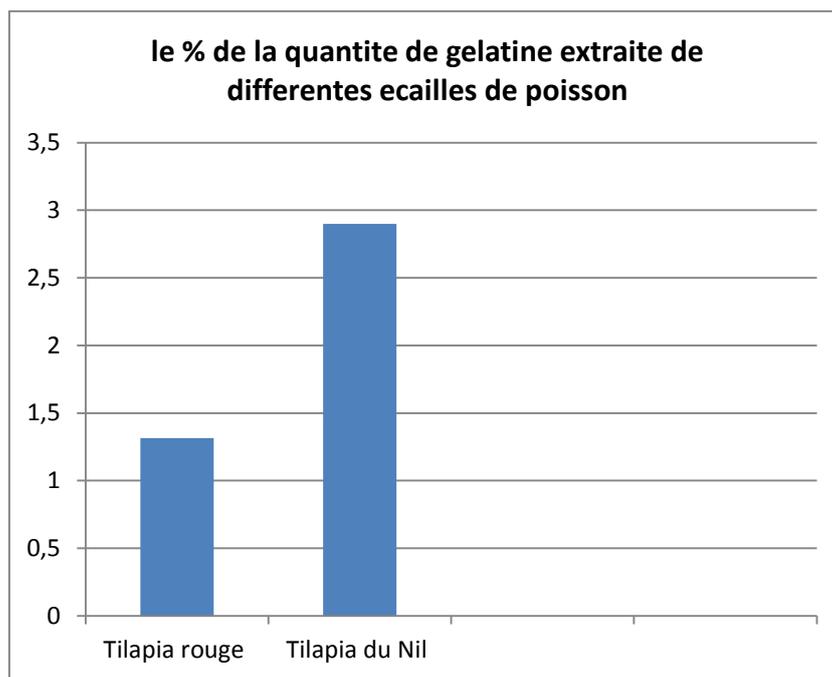
Et

Discussion

1. Le rendement d'extraction :

- En général, Le rendement et la composition physico-chimique de la gélatine dépendent principalement aux conditions d'extraction (type de traitement, concentration, température et temps), à l'origine de la matière première (l'espèce et au type de la matière utilisé).

1.1. La comparaison :



- Le pourcentage (%) de la quantité de gelatine extraite de différentes écailles de poisson montre que l'écaille de tilapia du Nil peut produire le plus de gelatine avec un surplus de 2,9 g, tandis que le tilapia Rouge produit le moins de gelatine avec seulement 1,315 g.

Dans cette expérience, nous n'avons observé la viscosité que lors de la dernière étape, et les écailles de tilapia Rouge étaient plus visqueuses que celles de tilapia du Nil, bien qu'en termes de quantité, c'était le contraire.

Nous avons remarqué une couleur grise sur les écailles du tilapia du Nil avant l'extraction et une couleur jaune sur le tilapia rouge. Après l'extraction, la couleur est devenue blanche et transparente pour les deux écailles.



Figure 21 : les écailles de poisson du Nil avant et après de l'extraction (Photo originale 2024)



Figure 22 : les écailles de poisson rouge avant et après de l'extraction (Photo originale 2024)

1.2. La couleur et l'odeur :

La gélatine extraite n'était pas de couleur transparente, mais conservait plutôt la couleur des écailles et l'odeur était absente.

Il existe d'autres moyens d'éliminer la couleur indésirable de la gélatine, dont nous n'avons pas discuté par le passé en raison du manque de capacités des outils nécessaires.



Figure 23 : Gélatine extraite (Photo originale 2024)

2. Le poisson :

Après avoir retiré les écailles du poisson, ce dernier est resté en vie. Certaines études affirment que le poisson a la capacité de renouveler ses écailles si certaines conditions sont remplies.



Figure 24 : Le poisson de Tilapia du Nil, une fois les écailles retirées (Photo originale 2024)

Conclusion :

L'extraction de gélatine à partir des écailles de tilapia s'inscrit dans une démarche innovante de valorisation des sous-produits de l'industrie piscicole. Ce travail de recherche a permis d'explorer les méthodes d'extraction les plus appropriées pour obtenir une gélatine de qualité à partir de cette matière première peu exploitée. Elle est biocompatible, biodégradable, sûre et peut être utilisée comme autre source de gélatine, en plus des sources mammifères (bovine et porcine). Elle est autorisée ou légale d'un point de vue islamique.

En particulier, la gélatine extraite des écailles de tilapia présente des caractéristiques intéressantes, telles que sa capacité de gélification, sa solubilité et ses propriétés thermiques, ce qui la rend adaptée à diverses applications dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et cosmétique. De plus, l'utilisation de sous-produits de poisson contribue à une approche plus durable de la gestion des ressources marines, en réduisant les déchets et en valorisant les matériaux qui seraient autrement négligés.

Cependant, malgré ces résultats encourageants, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne l'optimisation des procédés d'extraction et la stabilité de la gélatine à des températures élevées. De plus, des études supplémentaires seront nécessaires pour mieux comprendre les différences de qualité en fonction des conditions d'extraction, ainsi que pour améliorer la standardisation de la production à l'échelle industrielle.

En conclusion, l'extraction de gélatine à partir des écailles de tilapia ouvre la voie à une valorisation efficace des sous-produits de l'aquaculture, avec un impact positif potentiel sur l'économie circulaire et l'industrie des biomatériaux. Ce travail constitue une base solide pour des recherches futures visant à perfectionner cette technique et à étendre ses applications à divers secteurs industriels.

Références

Bibliographiques

- **Adjanke, S.** (2011). *Les poissons d'eau douce du Togo: Biodiversité, écologie et gestion*. Thèse de doctorat, Université de Lomé.
- **Ait Hamouda, S.** (2005). *Élevage du tilapia : Méthodes et techniques*. Thèse de doctorat, Université .
- **Arrigon, J.** (2000). *La gélatine : structure, propriétés et applications*. Paris: Éditions Lavoisier
- **Al Dilaimi, A.** (2009). *Fish Gelatin: Properties and Applications*. PhD Thesis, University of Basrah.
- **Alpifood.** (2022). *Trends in Fish Consumption and Aquaculture: An Overview of the European Market*.
- **Alvarez, M.** (2014). *Aquaculture Practices in the Caribbean: An Overview of the Industry*. Kingston: Caribbean Agricultural Research and Development Institute.
- **Arrignon, J.** (1996). *Gélatine: Propriétés et Applications*. Paris: Éditions Lavoisier.
- **Attayde, J. L., Brasil, J., & Menescal, R. A.** (2011). Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 18(6), 437-443
- **Azaza, M. S.** (2004). *Élevage du Tilapia: Étude des performances de reproduction et de croissance dans les conditions aquacoles en Tunisie*. Thèse de doctorat, Université de Tunis.
- **Bailly, J.** (2009). *Les ressources aquatiques: Évaluation et gestion durable*. Paris: Éditions Lavoisier.
- **Balarin, J. D., & Hatton, J. P.** (1979). *Tilapia: A Guide to Their Culture and Use in Aquaculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Benammar, S.** (2017). *Évaluation de la qualité des produits de la pêche et de l'aquaculture*. Paris: Éditions Lavoisier.
- **Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P.** (2004). *Food Chemistry* (3rd ed.). Berlin: Springer.
- **Bogue, R.** (1922). *Fisheries and Fishery Industries of the United States*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- **Bonne, K., & Verbeke, W.** (2008). *Food-related lifestyle and health-related food choice: The case of fish consumption*. *Appetite*, 51(2), 357-363
- **Boschung, H. T., & Mayden, R. L.** (2004). *The Freshwater Fishes of Alabama*. Montgomery: Alabama Agricultural Experiment Station.
- **Brodsky, I. G., & Persikov, A. V.** (2005). *The structure of fish gelatin: A review*. *Journal of Food Science*, 70(3), R38-R42
- **Chapman, D. W.** (2003). *The Role of Fish in Aquaculture Development: A Global Perspective*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 448. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- **Cherif, S., & Djoumakh, N.** (2015). Valorization of fish waste: Extraction of gelatin from fish skin and its application in food industry. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1120-1126.
- **Chervinsk, A. V.** (1982). *The Biology of Tilapia*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 220. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Chiou, B. S., et al.** (2006). *Fish gelatin: Properties and applications in food technology*. *Journal of Food Science*, 71(2), C45-C51.
- **Dai, Z., Zou, Z., & Chen, W.** (2009). *Physicochemical properties and functional characteristics of fish gelatin*. *Journal of Food Science*, 74(4), C332-C338
- **Domb, A. J., Kost, J., & Wiseman, D. M.** (1998). *Handbook of Biodegradable Polymers*. CRC Press.
- **El kolli H,** « Étude de la réticulation par le glutaraldéhyde de deux gélatines de nature et de Blooms différents et son effet sur certaines propriétés », mémoire de magister, université, université Ferhat Abbas-Sétif, (2009).
- **FAO.** (2002). *World Aquaculture 2002: A Review of the Aquaculture Sector in the World*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **FAO.** (2010). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **FAO.** (2017). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **FAO.** (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the sustainable development goals*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Feradji, F., & Rouaba, M.** (2017). Evaluation of the chemical composition and nutritional value of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 8(4), 1-6.
- **Froese, R., & Pauly, D.** (2017). *FishBase*. World Wide Web electronic publication
- **Galman, A., & Avtalion, R. R.** (1983). *The effect of temperature on the growth of tilapia (*Tilapia aurea*) in culture conditions*. *Aquaculture*, 33(2), 155-161.
- **Gelatin Manufacturers of Europe (GME).** (2001). *The Gelatin Market in Europe: Trends and Opportunities*. Brussels: GME.
- **Gelatin Manufacturers of Europe (GME).** (2012). *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*. GME Sector Group of CEFIC.
- **Hadjadji, N., & Toumi, M.** (2003). *Etude de la croissance et de la reproduction de *Tilapia niloticus* dans des conditions aquacoles*. *Journal of Aquaculture*, 4(2), 57-62.
- **Hancock, A. J., & Sahl, H. G.** (2006). *The role of fish gelatin in food processing and applications*. *Journal of Food Science*, 71(4), R123-R128.
- **Hancock, A. J., & Wang, J.** (2015). *Fish gelatin: A review of its properties and applications in food science*. *Food Hydrocolloids*, 51, 245-253.

- Hashim, D. M., Man, Y. B. C., Norakasha, R., Shuhaimi, M., Salmah, Y., & Syahariza, Z. A. (2010). Methods for the detection of porcine gelatin in food products for halal authentication. *Food Chemistry*, 118(3), 885-890.
- Hayashi, Y., Yamada, S., Guchi, K., Koyama, Y., & Ikeda, K. (2012). *Effects of fish gelatin on the texture and quality of gelled products. Journal of Food Science*, 77(1), C88-C94.
- Hensley, M., & Courtenay, W. R. (1980). *Tilapia: A New Species for Aquaculture in the United States. FAO Fisheries Technical Paper*, No. 201. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Horch, R. E., Debus, F., Wagner, K., & Stark, K. D. (2000). *Properties of gelatin from different fish species and its application in food industry. Food Chemistry*, 69(2), 235-241.
- Hosseini, S. F., Rezaei, K., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2016). *Extraction and characterization of gelatin from fish skin: A potential alternative to mammalian gelatin. Food Hydrocolloids*, 61, 472-479.
- Jridi, M., Souissi, N., Sila, A., Khoudja, S. B., Gelatin, M. A., & Nasri, M. (2014). Transforming pangasius catfish waste into innovative nano particles: Elevating fish gelatin from derivative to product enhancement. *Food Hydrocolloids*, 41, 22-29.
- Jiang, Y., Liu, H., & Wang, Y. (2011). *Functional properties of gelatin extracted from different fish species. Food Hydrocolloids*, 25(6), 1428-1435
- Jiang, Y., et al. (2011). *Characterization of gelatin extracted from fish skins and its potential applications in food products. Journal of Food Science*, 76(7), C938-C944.
- Kachou, M. (2022). *Aquaculture and Fish Farming: Current Trends and Future Perspectives*. Paris: Éditions Lavoisier.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: Properties, challenges, and future prospects. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 563-576.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). *Fish gelatin: Properties and food applications. Food Hydrocolloids*, 23(3), 714-720.
- Kestmont, P., Largillier, P., & Chappaz, R. (1989). *The reproductive biology of tilapia: A review. Aquaculture*, 76(1-2), 1-12
- Koepf, G. (1985). *Aquaculture: A Comprehensive Guide to Fish Farming Techniques*. New York: Wiley-Interscience.
- Lauzanne, L. (1988). *Aquaculture et environnement: Le cas des poissons tropicaux*. Paris : Éditions Lavoisier
- Lazard, J. (1984). *Aquaculture: Élevage et production de poissons d'eau douce*. Paris: Éditions Lavoisier.
- Lazard, J., & Legendre, M. (1996). *Aquaculture et développement durable : L'exemple des tilapias en Afrique*. Paris: Éditions Lavoisier.
- Lazard, J. (2007). *Les tilapias : Biologie et élevage*. Paris: Éditions Quae.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae, 10th edition*. Leiden: Laurentius Salvius.
- Malcom, H., McCarthy, I. D., & Hough, C. (2000). The influence of temperature on the growth of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 31(5), 419-426.
- Malcom, H. J., W. E., & R. J. (2000). The Effect of Dietary Protein Level on Growth and Body Composition of Tilapia. *Aquaculture Research*, 31(12), 973-979.

- **Malcolm, H. J., McCarthy, I. D., & Hough, C.** (2000). The influence of temperature on the growth of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In **Pauly, D., Froese, R., & others** (Eds.), *FishBase* (pp. xxx-xxx).
- **Manassaya, P., & Punnita, B.** (2016). *Extraction and characterization of gelatin from fish scales: A sustainable approach*. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 2939-2946.
- **Melard, C.** (1986). *Les poissons d'eau douce: Biologie et écologie des poissons de l'eau douce en France*. Paris: Éditions Lavoisier.
- **Mélard, C.** (2007). *Les poissons d'eau douce en France: Écologie et conservation*. Paris : Éditions Lavoisier.
- **Min, B. J., & Oh, H. I.** (2009). *Properties of fish gelatin and its application in food systems*. *Food Science and Technology Research*, 15(3), 285-292.
- **Moriarty, C.** (1973). *The Biology of Fish: An Introduction to Fish Physiology*. London: Academic Press.
- **Moyel, R.** (1976). *Fish Culture: A Comprehensive Study of Fish Farming and Management*. London: Fishing News Books.
- **Nandlal, S. K., & Pickering, A. D.** (2004). *The effects of stress on the growth and survival of juvenile tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in aquaculture*. *Aquaculture Research*, 35(3), 174-180.
- **Ndiaye, A.** (2017). *Aquaculture et développement durable en Afrique: État des lieux et perspectives*. Dakar: Éditions de l'Université Cheikh Anta Diop.
- **Nguyen, M. H., Haney, A. R., & Vogel, D.** (2011). *Fish gelatin: Composition, properties, and applications*. *Food Science and Nutrition*, 1(5), 348-355.
- **Oser, B. L.** (1959). *Nutritional Evaluation of Fish Proteins*. New York: Academic Press.
- **Padrão, J. G., et al.** (2015). *Extraction and characterization of gelatin from fish skin: A potential food ingredient*. *Journal of Food Science*, 80(9), C1933-C1940.
- **Park, J. W., Kim, H. W., & Lee, S. H.** (2012). *Characterization of gelatin from fish skin and its application in food products*. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 215-220.
- **Pati, P. K., et al.** (2012). *Sustainable fish farming practices: A review*. *Aquaculture Research*, 43(8), 1111-1131.
- **Poppe J.C**, « *Gelatin*. In: *Thickening and Gelling Agents for Food* », (Imeson, A.), Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland, ch. 7 pp: 144-168, (1999).
- **Pullin, R. S. V., & Lowe-McConnell, R. H.** (1982). *The Biology and Culture of Tilapia*. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- **Rawdkuen, S., Suthiluk, P., Kamhangwong, P., & Benjakul, S.** (2012). *Physicochemical properties and functional characteristics of gelatin from fish skin*. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 12-18.
- **Rosenbloom, S. J.** (1973). *The role of fish in the nutrition of man: The importance of fish protein*. *Journal of Nutrition*, 103(2), 280-283
- **Smith, C. L.** (1929). *The Freshwater Fishes of New York State*. Albany: New York State Museum.
- **Skelton, P.** (2001). *A Complete Guide to the Freshwater Fishes of Southern Africa*. Struik Publishers.

- **Tayebjee, H., MacFadyen, G., & Lip, K.** (2003). *Economic analysis of fish farming in aquaculture: A case study from Asia*. *Aquaculture Economics & Management*, 7(1-2), 27-45.
- **Terrien, J.** (2005). *Les poissons d'eau douce: Biologie, écologie et gestion des populations*. Paris : Éditions Lavoisier.
- **Trewavas, E.** (1980). *The classification of Tilapiine fishes (Cichlidae) of the world*. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Series*, 44(1), 1-12.
- **Trewavas, E.** (1981). *Tilapia: A major group of cichlid fishes*. *The Cichlid Yearbook*, 1, 75-80.
- **Trewavas, E.** (1983). *Fish Classification: A History of Fish Taxonomy and Its Use*. London: British Museum (Natural History).
- **Trewavas, E.** (1983). *The classification of cichlid fishes*. In *Cichlid Fishes: Behaviour, Ecology and Evolution* (pp. 1-10). London: Academic Press.
- **Trewavas, E.** (1983). *The classification of the Tilapiine fishes (Cichlidae) of the world*. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Series*, 44(1), 1-12.
- **Uresh, A.** (2003). *Fish Farming: A Practical Guide to Aquaculture*. New Delhi: National Institute of Fisheries Post Harvest Technology and Training.
- **Welcomme, R. L.** (1988). *Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for Use with Simple Models*. FAO Fisheries Technical Paper, No. 303. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Wang, Z., Li, Y., & Wang, Y.** (2015). *Extraction and characterization of gelatin from the skins of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix)*. *Food Science and Technology*, 65(3), 365-371
- **Watanabe, T., Ohta, H., & Kato, T.** (1997). *The role of fish in aquaculture: The case of tilapia*. *Aquaculture Research*, 28(6), 447-456.
- **Zhao, Y., Teng, L., Chen, P., Zhang, M., & Li, J.** (2020). *Fish gelatin: A renewable material for developing active biodegradable films*. *Food Chemistry*, 330, 127231.