



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمدة لخضر الوادي

Université d'Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED-

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

Valorisation des tourteaux de graines de figue de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) dans l'alimentation du Tilapia rouge (*Oreochromis*) , évaluation des performances de croissance et de survie en aquaculture dans la région d'El Oued, Algérie.

Présenté Par :

M^{elle}: Aya BOUSBIA BRAHIM

M^{elle} Alya MEKKI

M^{elle}: Ibtihal AHMED SALAH

Devant le jury:

Président	Dr . El hafnaoui El ANEZ	Université d'El Oued.
Examineur	Dr . Safia BEN AMOR	Université d'El Oued.
Promoteur	Dr . Ibrahim Elkhail BEHMENE	Ecole Supérieur d'Agriculture Saharienne- El Oued.

Année universitaire : 2025/2026

Rémerciements

Louange à Allah qui m'a accordé la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail. Après cela, je ne peux que mentionner avec gratitude et reconnaissance toutes

les personnes qui m'ont soutenu.

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma reconnaissance au **Dr. Behmen Ibrahim El Khalil**, mon directeur de mémoire. Il a bien suivi le travail, m'a donné des orientations utiles et des conseils pratiques qui m'ont aidé à surmonter les difficultés rencontrées durant la recherche. J'apprécie sincèrement son temps et les efforts qu'il a déployés avec moi.*

*Je remercie également **Dr.El hafnaoui EL ANEZ** qui a accepté de présider le jury de soutenance, malgré ses nombreuses responsabilités. Je le remercie aussi d'avoir consacré une partie de son temps à la lecture et à la correction de ce travail.*

*Je n'oublie pas de remercier **Dr.Safia BEN AMOR** , qui a bien voulu accepter de discuter ce travail et y a ajouté ses précieuses remarques qui ont contribué à son amélioration.*

Je remercie tous les professeurs de la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université d'Echahid Hamma Lakdhar - EL OUED, pour tout ce qu'ils m'ont apporté durant mes années d'études. Je remercie également le Chef du Département des Sciences Naturelles et de la Vie pour son soutien et sa compréhension.

*Un merci tout particulier au Professeur **El Habib Geudda**, Directeur de l'École Supérieure d'Agriculture Saharienne - El Oued, qui a accepté que nous menions nos expériences au sein de la ferme expérimentale aquacole de l'école, ce qui a grandement contribué à la réalisation de la partie pratique de ce travail.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, que ce soit par un soutien direct, un conseil ou un encouragement, et dont les pages ne suffiraient pas à les citer tous. Merci à tous.

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي علم بالقلم، علم الإنسان ما لم يعلم، ورفع العلماء درجات

قال الله تعالى:

(أَقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ، خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ، اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ، الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ) (العلق: 1-4)
وقال تعالى: (يُرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ) (المجادلة: 11)

فالشكر لله أولاً وآخرأ على نعمة العلم والتوفيق والإتمام

إلى من كل العرق جبينه ومن علمني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر والإصرار،
إلى النور الذي أثار دربي وسراج الذي لا ينطفئ، نوره بقلبي أبداً، من بذل الغالي والنفيس واستمدت منه قوتي
واعترازي وفخري
والدي العزيز...

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى الإنسانية العظيمة التي لطالما تمت أن تقر عينها
برؤيتي في يوم كهذا
أمي العزيزة...

إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي، إلى ما شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع أرتوي منها، إلى خيرة أيامي
وصفوتها، إلى قرة عيني
إلى إخواني وأخواتي الغاليين

لكل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق، للأصدقاء الأوفياء ورفقاء السنين، لأصحاب الشدائد والأزمات
إليكم عاتلي أهدىكم هذا الإنجاز وثمره نجاحي التي لطالما تمنيتها،
ها أنا اليوم أكملت وأتممت أول ثمراته بفضل سبجانه وتعالى، فالحمد لله على ما وهبني، وأن يجعلني مباركاً وأن يعينني
أينما كنت

فمن قال أنا لها "ناله"، فأناله وإن أبت رغماً عنها أتيت بها، فالحمد لله شكراً وحياً وإمتناناً على البدء والختام،

"وأخردعوهم إن الحمد لله رب العالمين"

Liste des tableaux

Tableau 1 Tolérance de la température chez le tilapia rouge (Xia, 2018).....	15
Tableau 2 Composition détaillée en acides gras et acides aminés du Tilapia du Nil (pour 100 g).....	21
Tableau 3 Classification scientifique de Figuier de barbarie (Britton et al., 1963).....	26
Tableau 4 Les utilisations du figuier de Barbarie (Inglese et al., 1995).....	27
Tableau 5 Composition chimique de la figue de barbarie	28
Tableau 6 Synthèse des principaux constituants du Nopal.....	32
Tableau 7 Composition chimique des graines de la figue de barbarie	34
Tableau 8 Composition chimique des graines de la figue de barbarie	35
Tableau 9 Composition en minéraux de la graine de la figue de barbarie	36
Tableau 10 Répartition initiale des effectifs et des régimes par lot.....	59
Tableau 11 Variables de température dans les bassins d'élevage	69
Tableau 12 Mesures initiales du nombre de poissons dans les quatre bassins	74
Tableau 13 Paramètres de croissance finale des poissons nourris avec un régime alimentaire	77
Tableau 14 Gain de poids moyen (AWG) des poissons.....	78
Tableau 15 Gain de longueur totale moyen (ATLG)	79
Tableau 16 Gain de longueur standard moyenne	81
Tableau 17 Gain de hauteur moyen (AHLG) des poissons selon les traitements.	82
Tableau 18 Taux de croissance journalier (GR).....	84
Tableau 19 Taux de croissance spécifique (SGR) des poissons selon les traitements. ..	85
Tableau 20 Indice de conversion alimentaire (FCR) selon les traitements.	86
Tableau 21 Facteur de condition (K) des poissons en fin d'expérience	87
Tableau 22 Taux de survie (SR) des poissons à la fin de l'expérience.....	89

Liste des figures

Figure 1 Production mondiale d'animaux aquatiques (pêches et aquaculture).....	6
Figure 2 Production aquacole dans le monde, 1990-2022.(FAO, 2024).....	7
Figure 3 Production d'animaux aquatiques (pêche et aquaculture) dans le monde par région, 1950-2022.(FAO, 2024).....	8
Figure 4 Contribution des aliments aquatiques d'origine animale aux apports en protéines animales par habitant, moyenne 2019-2021.(FAO, 2024).....	9
Figure 5 Carte montrant les principaux pays producteurs de tilapia (FAO 2006)	11
Figure 6 Tilapia rouge	13
Figure 7 Effet de la température et du pH sur l'ammoniac (Xia, 2018)	19
Figure 8 Cycle de l'azote(Francis-Floyd et al., 2006).....	20
Figure 9 Morphologie de l'Opuntia ou figuier de Barbarie (Opuntia ficus-indica).(Encyclopædia Universalis France, 2026).....	24
Figure 10 Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde (Schweizer, 1997).....	25
Figure 11 Figuier de Barbarie.....	31
Figure 12 Coupe transversale de la graine de la Figue de barbarie	33
Figure 13 Endosperme de la graine de la figue de barbarie (MEB) (Drali et Ikhlef, 2017)	34
Figure 14 Institut National spécialisé en formation professionnelle (Hassani Abdelkrim	39
Figure 15 Tilapia en phase de reproduction contrôlé	40
Figure 16 Bassins d'alevinage(Pré-grossissement).....	40
Figure 17 Réservoir de stockage des eaux usées issues de la pisciculture.	41
Figure 18 Intégration de l'aquaculture à l'agriculture saharienne : cas d'une production de tomates sous serre.	41
Figure 19 Cadre géographique de la wilaya d'El Oued (D-maps, 2008-2026).....	44
Figure 20 Température moyenne d'El Oued (2011 - 2020)	45
Figure 21 Vents relatifs moyens mensuels d'El Oued (2011 - 2020).	46
Figure 22 Taux précipitation mensuel d'El Oued (2011-2020).	47
Figure 23 L'humidité relative d'El Oued (2011 - 2020).	48
Figure 24 Ecole Supérieure d'Agriculture Saharienne -El Oued.....	49
Figure 25 Dispositif expérimental et infrastructures d'élevage de l'ESAS (El Oued)....	50
Figure 26 Transport et acclimatation des Tilapias rouges (ESAS, 2026).	51
Figure 27 Vue d'ensemble des bassins d'expérimentation (ESAS, 2026).....	52

Figure 28 Système de vidange partielle et de maintenance du milieu d'étude.	53
Figure 29 Mécanisme de transfert hydrique par différence de pression hydrostatique (Siphon).	53
Figure 30 Dispositif de maintien de l'homogénéité thermique et gazeuse du milieu.	54
Figure 31 Appareil de mesure numérique des températures de l'eau.	54
Figure 32 Dispositif JBL ProScan utilisé pour le contrôle instantané de la qualité de l'eau.	55
Figure 33 Capture d'écran des résultats obtenus via le smartphone	56
Figure 34 Lecture automatisée de la bandelette réactive par smartphone via l'application JBL ProScan.	57
Figure 35 différents produit du figuer de Barbarie.....	58
Figure 36 Aspect du tourteau de figue de Barbarie à son arrivée de l'usine.	58
Figure 37 Tourteau de figue de barbarie après broyage	58
Figure 38 Séchage du tourteau de figue de barbarie à aide de l'étuve	60
Figure 39 Stockage des aliments expérimentaux par taux d'incorporation.	60
Figure 40 Granulés alimentaires formulés.....	62
Figure 41 Aliment expérimental après réduction mécanique manuelle.	62
Figure 42 Technique de distribution manuelle	63
Figure 43 Pesée des alevins de Tilapia (Balance de précision MH-885)	64
Figure 44 Mesure de la longueur totale (TL) en centimètres.	64
Figure 45 Mesure de la hauteur du corps (HL) des alevins.....	65
Figure 46 Variations de la température pendant l'expérience	69
Figure 47 Variation de la concentration des nitrates	70
Figure 48 Variations de la concentration des nitrites	70
Figure 49 Variations de la concentration de la dureté carbonatée (KH)	71
Figure 50 Variations de la concentration la dureté générale de l'eau (GH).....	71
Figure 51 Variations de la concentration de dioxyde de carbone (CO2)	72
Figure 52 Variations de la concentration le Ph.....	72
Figure 53 Variations de la concentration de chlore.....	73
Figure 54 Valeurs en gain moyenne de poids (g) entre les quatre traitements.....	79
Figure 55 Valeurs en Gain de longueur total moyen (cm) entre les quatre traitements .	80
Figure 56 Évaluation Gain de longueur standard moyenne (cm) entre les quatre traitements	82
Figure 57 Gain de hauteurs moyen (g) entre les quatre traitements.....	83
Figure 58 Valeurs en Gain de Poids Quotidien (g) entre les quatre traitements	84

Figure 59 Valeurs en Taux croissance spécifique (%) entre les quatre traitements.....	86
Figure 60 Valeurs en taux de conversion alimentaire (%) entre les quatre traitements .	87
Figure 61 Valeurs de Facteur de condition (%) entre les quatre traitements	88
Figure 62 Valeurs en Taux de survie (%) entre les quatre traitements.....	90

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Chapitre1: Revue bibliographique.....	4
1. GENERALITE SUR L’AQUACULTURE.....	5
1.1 Production halieutique et aquacole totale	5
1.2. Consommation apparente de produits alimentaires aquatiques	9
1.3. Une feuille de route sur la transformation bleue	9
1.4. Les piliers de la Transformation Bleue (FAO, 2024)	10
2. GÉNÉRALITÉS SUR LE TILAPIA.....	10
2.1. Contexte historique du tilapia	10
2.2. Caractéristiques morphologiques	11
2.3. Systématique	13
2.4. Production du tilapia en Algérie	14
2.5. Exigences écologique.....	15
2.5.1. Tolérance thermique et limites de survie.....	15
2.5.2. Oxygène dissous (OD).....	15
2.5.3. Potentiel Hydrogène (pH) de l'eau.....	17
2.5.4. Les composés azotés.....	18
2.5.5. Salinité.....	20
2.5.6. Valeur nutritive du Tilapia du Nil.....	20
2.5.7. Marché et commerce.....	21
3. GENERALITES SUR LE FIGUIER DE BARBARIE	23
3.1. Définition et taxonomie.....	23

3.2. Caractéristiques morphologiques et phénologie	23
3.3. Distribution géographique de la plante	24
3.4. Classification systématique	25
3.5. Utilisation de la figue de Barbarie	26
3.6. Description morphologique du figuier de Barbarie	29
3.7. Composition biochimique globale du Fiquier de Barbarie	31
3.8. La graine de la figue de barbarie.....	32
4. PISCICULTURE DANS LE SUD ALGERIEN : ÉTUDE DE CAS DE LA WILAYA D'EL OUED.....	38
Chapitre 2 : Matériel et Méthodes.....	42
1. Présentation de la zone d'étude.....	43
1.1. Régime thermique	44
1.2. Régime éolien.....	45
1.3. Pluviométrie	46
1.4. Humidité et zones humides	47
2. Site d'étude et cadre temporel.....	48
3. Dispositif expérimental et équipements	49
4. Matériel biologique : Origine et caractéristiques	50
5. Dispositif expérimental et mise en charge.....	51
6. Maintenance du milieu d'élevage et renouvellement de l'eau	52
7. Contrôle des paramètres physico-chimiques (Température).....	53
8. Suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	54
9. Origine et préparation de la matière première.....	57

10. Formulation des régimes et dispositif expérimental.....	59
11. Conduite de l'alimentation.....	61
12. Suivi des paramètres morphologiques et calculs zootechniques	63
12.1. Gain moyen en poids (AWG)	63
12.2. Gain de longueur totale moyen (ATLG).....	64
12.3. Gain de longueur standard moyenne (ASLG).....	64
12.4. Gain moyen en Hauteur (AHLG).....	65
12.5. Taux de croissance journalière (GR) (g /jour).....	65
12.6. Taux de croissance spécifique (SGR) (%/jour).....	66
12.7. Ratio de conversion de l'alimentation (FCR)	66
12.8. Facteur de condition (k).....	66
12.9. Taux de Survie	66
13. L'Analyse des données.....	67
Chapitre 3 : Résultats.....	68
1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	69
1.1. Température	69
1.2. Mesure des normes de qualité de l'eau	70
2. PARAMETRES DE CROISSANCE	73
2.1. Analyse des Mesures Initiales des Poissons.....	73
2.2. Paramètres de croissance finale des poissons à la fin de l'expérience....	75

Chapitre4:Discussion.....	92
Conclusion.....	98
Références Bibliographies.....	101

Résumé

Valorisation des tourteaux de graines de figue de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) dans l'alimentation du Tilapia rouge: évaluation des performances de croissance et de survie en aquaculture dans la région d'El Oued, Algérie.

L'aquaculture en Algérie, particulièrement dans les régions sahariennes, représente un levier économique majeur pour la sécurité alimentaire. Cette étude, réalisée à l'École Supérieure d'Agriculture Saharienne d'El Oued, vise à évaluer le potentiel du fruit du figuier de Barbarie comme additif alimentaire naturel. L'objectif est de déterminer le taux d'inclusion optimal pour stimuler la croissance, améliorer la survie et optimiser l'efficacité alimentaire des alevins de tilapia rouge dans une optique de durabilité. L'expérimentation s'est étalée sur une période de 50 jours. Elle a porté sur un effectif de 200 alevins de tilapia rouge, répartis selon quatre régimes alimentaires distincts basés sur le taux d'incorporation du fruit du figuier de Barbarie : **T0 (Témoin) : 0 % ; T10 : 10 % ; T20 : 20 % ; T30 : 30 %**. Les paramètres suivis incluent le Gain de Poids Moyen (AWG), le Taux de Croissance Spécifique (SGR), l'Indice de Conversion Alimentaire (FCR) et le taux de survie. Les analyses statistiques montrent des différences significatives ($P < 0,01$) entre les traitements : Le traitement T20 s'est révélé le plus performant avec le meilleur Taux de Croissance Spécifique ($SGR = 0,74$) et l'Indice de Conversion le plus bas ($FCR = 3,34$), indiquant une transformation optimale de l'aliment en biomasse. Si le traitement T10 présente des résultats similaires au témoin, le T20 surpasse les autres lots en termes d'efficacité métabolique. Les lots T20 et T30 ont enregistré un taux de survie exceptionnel de 100 %, contre 98 % pour le témoin et 90 % pour le T10. L'incorporation de 20 % de fruit de figuier de Barbarie constitue le seuil optimal pour améliorer la rentabilité économique et la santé des alevins de tilapia rouge. Ces résultats valident l'utilisation de ressources locales sahariennes pour développer une aquaculture résiliente et performante en Algérie. L'intégration de tels additifs naturels offre des bases scientifiques solides pour un élevage contrôlé et durable.

Mots-clés :

Tilapia rouge, Fiquier de Barbarie, Croissance, Indice de conversion, Survie, Aquaculture Saharienne, El Oued.

Abstract

Utilisation of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) seed cake in the diet of red tilapia: evaluation of growth and survival performance in aquaculture in the El Oued region, Algeria.

Aquaculture in Algeria, particularly in the Saharan regions, represents a major economic driver for food security. This study, conducted at the Higher School of Saharan Agriculture in El Oued, aims to assess the potential of prickly pear fruit as a natural feed additive. The objective is to determine the optimal inclusion rate to stimulate growth, improve survival and optimise feed efficiency in red tilapia fry with a view to sustainability. The experiment spanned a period of 50 days. It involved a sample of 200 red tilapia fry, divided into four distinct diets based on the inclusion rate of prickly pear fruit: T0 (Control): 0%; T10: 10%; T20: 20%; T30: 30%. The parameters monitored include Average Weight Gain (AWG), Specific Growth Rate (SGR), Feed Conversion Ratio (FCR) and survival rate. Statistical analyses show significant differences ($P < 0.01$) between the treatments: Treatment T20 proved to be the most effective, with the highest Specific Growth Rate ($SGR = 0.74$) and the lowest Feed Conversion Ratio ($FCR = 3.34$), indicating optimal conversion of feed into biomass. While the T10 treatment showed results similar to the control, the T20 outperformed the other treatments in terms of metabolic efficiency. The T20 and T30 treatments recorded an exceptional survival rate of 100%, compared to 98% for the control and 90% for the T10.

The incorporation of 20% prickly pear fruit represents the optimal threshold for improving the economic profitability and health of red tilapia fry. These results validate the use of local Saharan resources to develop a resilient and high-performing aquaculture system in Algeria. The integration of such natural additives provides a solid scientific basis for controlled and sustainable farming.

Keywords: Red tilapia; Prickly pear; Growth; Feed conversion ratio; Survival, Saharan aquaculture, El Oued.

الملخص

استخدام كعكة بذور التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica*) في النظام الغذائي للبطني الأحمر :تقييم أداء النمو والبقاء في تربية الأحياء المائية بمنطقة الوادي، الجزائر.

يمثل تربية الأحياء المائية في الجزائر، ولا سيما في المناطق الصحراوية، محركًا اقتصاديًا رئيسيًا للأمن الغذائي. تهدف هذه الدراسة، التي أجريت في المدرسة العليا للزراعة الصحراوية في الوادي، إلى تقييم إمكانات كعكة ثمرة التين الشوكي كمضاف طبيعي للأعلاف. والهدف هو تحديد النسبة المثلى لإدراجها لتحفيز النمو وتحسين البقاء على قيد الحياة وتحسين كفاءة التغذية في زريعة البطني الأحمر بهدف تحقيق الاستدامة. استمرت التجربة لمدة 50 يومًا. وشملت عينة من 200 من زريعة البطني الأحمر، تم تقسيمها إلى أربعة أنظمة غذائية مختلفة بناءً على نسبة إدراج فاكهة التين الشوكي T0: (المجموعة الضابطة): 0٪؛ T10: 10٪؛ T20: 20٪؛ T30: 30٪. وتشمل المعلومات التي تمت مراقبتها متوسط زيادة الوزن (AWG) ، ومعدل النمو النوعي (SGR) ، ونسبة تحويل العلف (FCR) ، ومعدل البقاء على قيد الحياة. تُظهر التحليلات الإحصائية اختلافات كبيرة ($P < 0.01$) بين المعالجات: أثبتت المعالجة T20 أنها الأكثر فعالية، حيث سجلت أعلى معدل نمو محدد ($SGR = 0.74$) وأدنى نسبة تحويل العلف ($FCR = 3.34$) ، مما يشير إلى تحويل مثالي للعلف إلى كتلة حيوية. بينما أظهرت المعالجة T10 نتائج مشابهة للمجموعة الضابطة، تفوقت المعالجة T20 على المعالجات الأخرى من حيث كفاءة التمثيل الغذائي. سجلت المعالجات T20 و T30 معدل بقاء استثنائيًا بلغ 100٪، مقارنة بـ 98٪ للمجموعة الضابطة و 90٪ للمعالجة T10.

يمثل إدخال 20٪ من ثمرة التين الشوكي الحد الأمثل لتحسين الربحية الاقتصادية وصحة زريعة البطني الأحمر. تؤكد هذه النتائج صحة استخدام الموارد الصحراوية المحلية لتطوير نظام تربية مائية مرن وعالي الأداء في الجزائر. ويوفر دمج هذه الإضافات الطبيعية أساسًا علميًا متينًا للتربية الخاضعة للرقابة والمستدامة.

الكلمات المفتاحية: البطني الأحمر؛ كعكة التين الشوكي؛ النمو؛ معدل تحويل العلف؛ البقاء على قيد الحياة؛ تربية الأحياء المائية في الصحراء؛ الوادي .

Introduction

Introduction

L'aquaculture connaît un développement mondial important et figure parmi les secteurs alimentaires à la croissance la plus rapide au monde. En 2020, la production aquacole mondiale a atteint environ 122,6 millions de tonnes, soit une augmentation de 6,7 millions de tonnes par rapport à 2018 **(FAO, 2022)**.

Le tilapia est le deuxième poisson le plus produit après les carpes, avec une production mondiale d'environ 5,477 millions de tonnes. Cette croissance est liée à l'augmentation continue de la consommation mondiale de poisson, la consommation moyenne par habitant passant de 9,9 kg par an dans les années 1960 à plus de 20,5 kg en 2019, avant de légèrement diminuer à 20,2 kg en 2020 **(Molly et al., 2021)**. Cette augmentation témoigne de l'importance croissante des ressources aquatiques pour la sécurité alimentaire mondiale.

Le tilapia est considéré comme l'une des espèces les plus importantes en aquaculture en raison de sa grande adaptabilité à différents systèmes d'élevage, tant traditionnels qu'intensifs. Le tilapia se caractérise également par sa facilité de reproduction, ses faibles besoins en protéines et sa capacité à utiliser les protéines végétales, ce qui en fait un poisson économiquement viable, particulièrement adapté aux zones rurales.

L'Asie est le premier producteur et consommateur de tilapia, la Chine étant le premier producteur mondial, suivie de l'Égypte, de l'Indonésie, de la Thaïlande, des Philippines, du Brésil, du Bangladesh, du Vietnam, de la Colombie et de la Malaisie **(Prabu et al., 2020)**. En Afrique, l'élevage du tilapia présente un potentiel important pour contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire, la malnutrition et la pauvreté **(Béné et al., 2005)**.

En Algérie, malgré un long littoral et des ressources en eau propices au développement de l'aquaculture, la consommation de poisson reste relativement faible, avec une consommation moyenne estimée par habitant d'environ 2,39 kg par an **(Naji et al., 2023)**, soit nettement moins que la moyenne mondiale. Cette situation s'explique par plusieurs facteurs, notamment le prix élevé du poisson de mer, l'offre limitée et les habitudes alimentaires locales. Cependant, la croissance démographique et l'amélioration du pouvoir d'achat contribuent progressivement à une augmentation de la

demande de produits de la pêche. Le développement de l'aquaculture intensive nécessite de fournir des aliments composés de haute qualité au moindre coût.

Le tourteau de graines de figue de barbarie se caractérise par la présence de composés nutritionnels importants, notamment des protéines et des lipides insaturés, ce qui en fait une matière première prometteuse dans l'alimentation des poissons. Pour cette raison, il a été incorporé dans l'aliment expérimental utilisé dans cette étude afin de valoriser sa valeur nutritive et d'améliorer les performances zootechniques

Cette étude vise à déterminer l'impact de l'incorporation des tourteaux et/ou des enveloppes de graines de figue de Barbarie à différentes doses dans la ration des alevins de Tilapia rouge, en mesurant leurs effets sur les performances zootechniques (croissance et survie).

Les expériences menées à la station aquacole d'ESAS-El Oued permettront d'identifier la dose optimale pour une production aquacole plus durable, économiquement viable, et bénéfique pour la santé du poisson en milieu aride

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre : présente une vue d'ensemble de l'aquaculture, un aperçu sur le tilapia rouge ainsi que des informations relatives à la figue de barbarie et à ses bienfaits pour la santé.

Le deuxième chapitre : est consacré à la présentation du matériel utilisé et à la description des protocoles expérimentaux adoptés.

Le troisième chapitre : porte sur l'interprétation et l'analyse des différents résultats obtenus.

Enfin, ce travail se conclut par une conclusion générale, suivie d'une bibliographie et d'annexes.

Chapitre 1: Revue bibliographique

1. GENERALITE SUR L'AQUACULTURE

L'aquaculture désigne l'ensemble des activités d'élevage des animaux aquatiques et de culture des algues. Elle se différencie de la pêche par l'intervention humaine dans une partie ou la totalité des étapes du cycle biologique.

L'aquaculture marine actuelle rassemble des formes traditionnelles, en particulier la conchyliculture, et des élevages récents de poissons, de mollusques, de crevettes et d'algues dont le développement date des années 1990 comme une possibilité de pallier la baisse de la production des pêches de capture .

L'aquaculture rencontre actuellement des limites à son développement et sa croissance se ralentit. Quelques épizooties, destructions de mangroves et marées noires ont montré la fragilité de cette production et les conséquences négatives sur le milieu et les espèces sauvages.

L'aquaculture est dévoreuse d'espaces littoraux, ceux-là mêmes qui sont déjà très convoités par les autres activités humaines (industries, transports, tourisme,...). **(Bouvet, 2014 ; Tabarly, 2012)**

1.1 Production halieutique et aquacole totale

En 2022, la production halieutique et aquacole mondiale a atteint un volume inédit de 223,2 millions de tonnes, dont 185,4 millions de tonnes d'animaux aquatiques et 37,8 millions de tonnes d'algues.

En 2022, 62 % de la production d'animaux aquatiques provenaient de la mer (à 69 % de la pêche de capture et à 31 % de l'aquaculture) et 38 % des eaux continentales (à 84 % de l'aquaculture et à 16 % de la pêche de capture). **(FAO, 2024)**

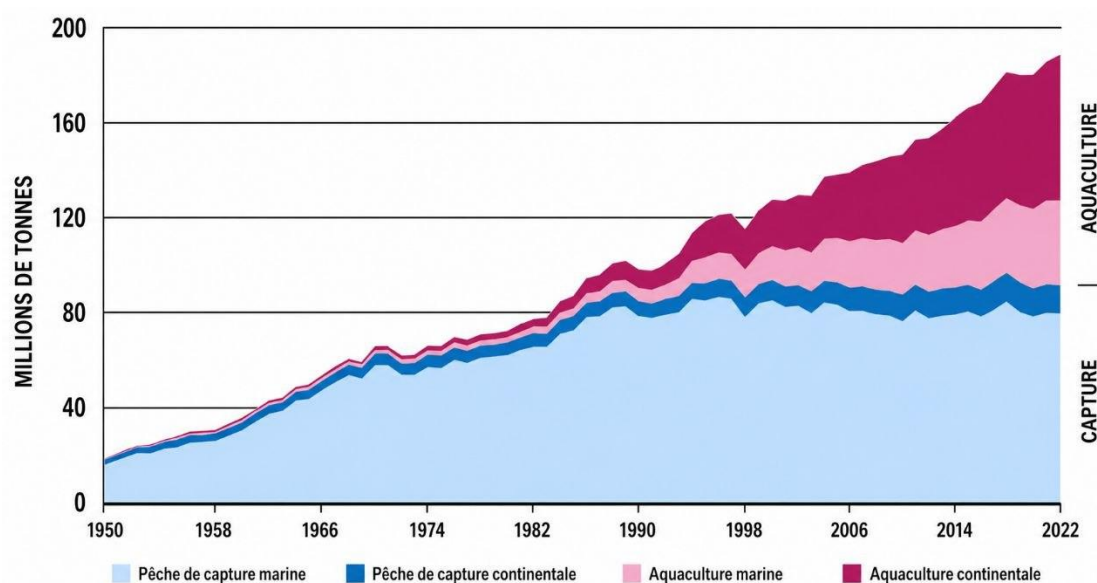


Figure 1: Production mondiale d'animaux aquatiques (pêches et aquaculture) (FAO, 2024)

En 2022, la production aquacole mondiale a atteint un record sans précédent de 130,9 millions de tonnes, dont 94,4 millions de tonnes d'animaux aquatiques et 36,5 millions de tonnes d'algues, d'une valeur de 312,8 milliards de dollars américains. Pour la première fois, la production aquacole d'animaux aquatiques (51%) a dépassé celle des pêches sauvages.

L'Asie est en tête du monde avec 91,4% de la production, suivie de l'Amérique latine et des Caraïbes avec 3,3%, de l'Europe avec 2,7% et de l'Afrique avec 1,9%. L'aquaculture continentale représente 62,6% du total des animaux d'aquaculture, tandis que l'aquaculture nourricière représente 73,1% de la production. Environ 22,1 millions de personnes sont employées dans ce secteur et les dix premiers pays (Chine, Indonésie, Inde, Vietnam, Bangladesh, Philippines, Corée, Norvège, Égypte, Chili) représentent 89,8% de la production mondiale.(FAO, 2024)

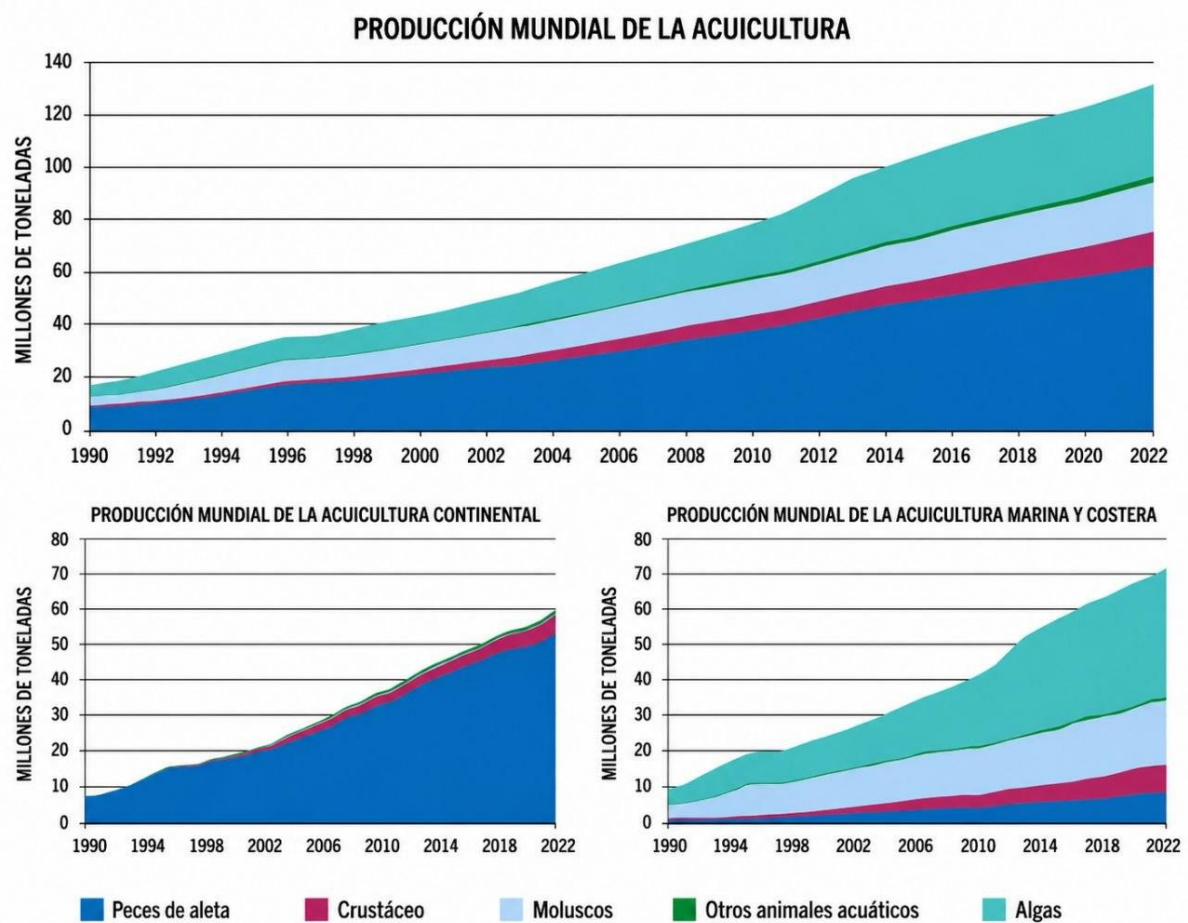


Figure 2: Production aquacole dans le monde, 1990-2022.(FAO, 2024)

Ces chiffres masquent d'importantes disparités entre les régions et les pays. Ainsi, on doit aux pays asiatiques 70 pour cent de la production totale d'animaux aquatiques. Viennent ensuite les pays d'Europe ainsi que d'Amérique latine et des Caraïbes (9 % pour chaque région), d'Afrique (7 %), d'Amérique du Nord (3 %) et d'Océanie (1 %) (**Fig . 3**). En 2022, la Chine est restée le principal producteur (36 pour cent), suivie de l'Inde (8 %), de l'Indonésie (7 %), du Viet Nam (5 %) et du Pérou (3 pour cent) (**FAO, 2024**).

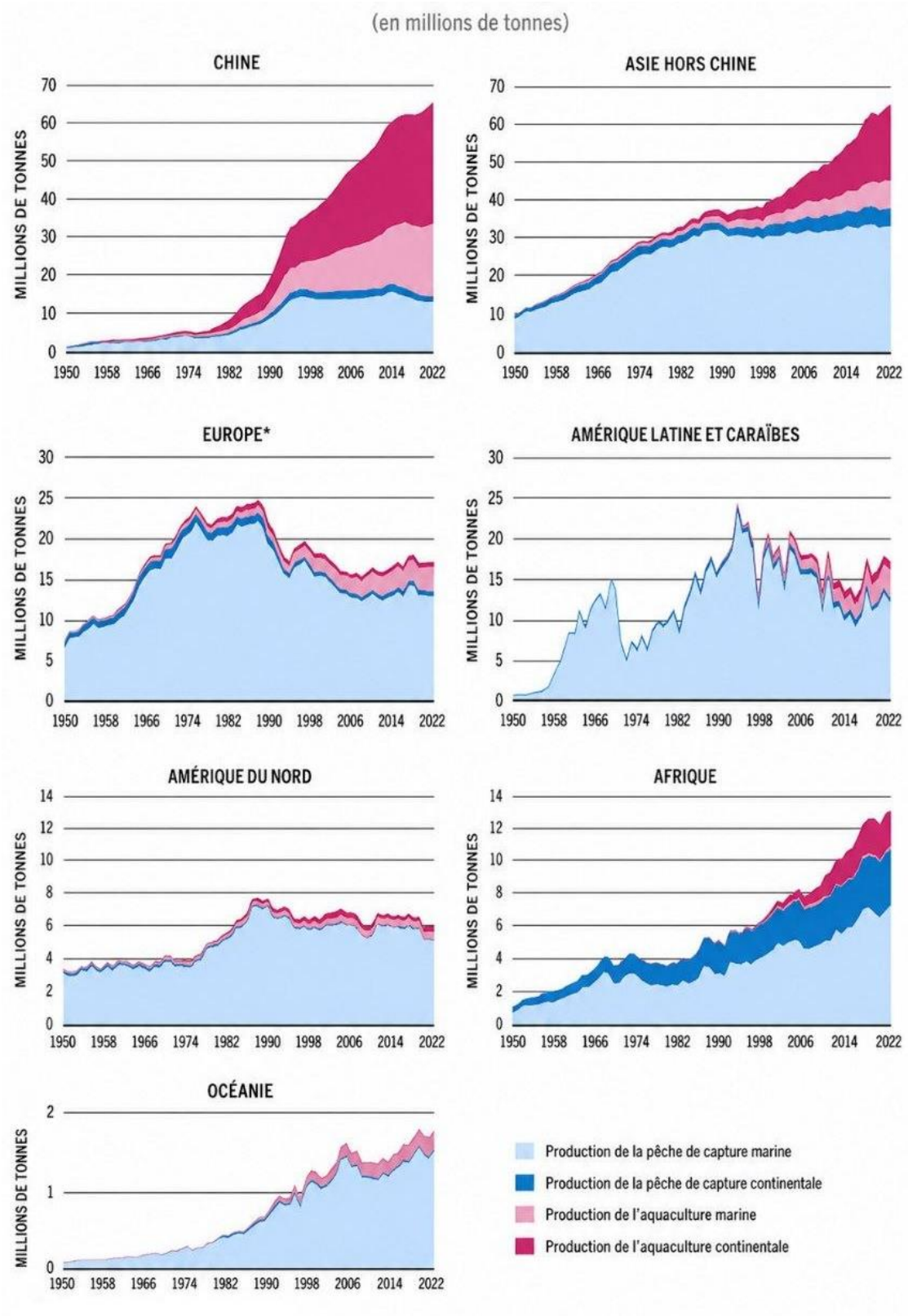


Figure 3: Production d'animaux aquatiques (pêche et aquaculture) dans le monde par région, 1950-2022.(FAO, 2024)

1.2. Consommation apparente de produits alimentaires aquatiques

Selon le rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) de 2024, la (**Fig . 4**) montre que les aliments aquatiques d'origine animale contribuent à hauteur de 15 % des apports en protéines animales à l'échelle mondiale, et à 6 % de l'ensemble des protéines (animales et végétales). Les données indiquent également qu'environ 3,2 milliards de personnes obtiennent au moins 20 % de leurs apports en protéines animales à partir de poissons et de produits aquatiques.

La carte montre que cette proportion est plus élevée dans les pays à revenu faible ou intermédiaire que dans les pays à revenu élevé, en raison du coût abordable des produits aquatiques et de leur accessibilité. (**FAO, 2024**)

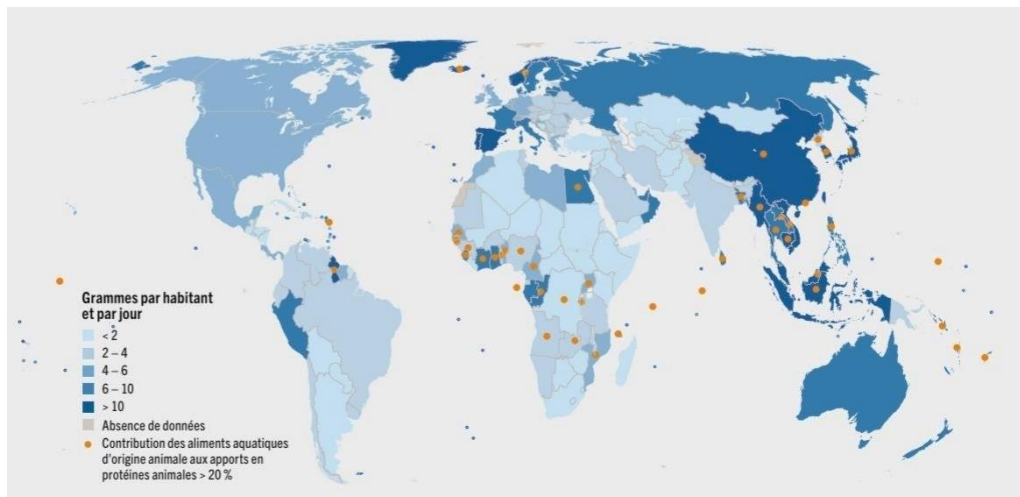


Figure 4: Contribution des aliments aquatiques d'origine animale aux apports en protéines animales par habitant, moyenne 2019-2021.(FAO, 2024)

1.3. Une feuille de route sur la transformation bleue

En 2021, la FAO a présenté officiellement son projet de transformation bleue, qui vise à tirer parti au mieux des possibilités qu'offrent les systèmes alimentaires aquatiques pour renforcer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition, éradiquer la pauvreté et soutenir la réalisation du programme de développement durable à l'horizon 2030 (programme 2030). en accord avec le cadre stratégique 2022-2031 de FAO et sa ligne générale d'action, la feuille de route sur la transformation bleue définit des objectifs clairs, des mesures prioritaires concrètes et des cibles quantifiables qui

permettent d'orienter l'action mondiale visant à réaliser ce projet, à suivre son état d'avancement et à en rendre compte (FAO, 2024).

1.4. Les piliers de la Transformation Bleue (FAO, 2024)

La stratégie de "Transformation Bleue" initiée par la FAO vise à optimiser la contribution des systèmes alimentaires aquatiques à la sécurité alimentaire mondiale et au développement durable. Cette vision repose sur trois axes stratégiques complémentaires (FAO, 2022) :

- 1) **L'Expansion Durable de l'Aquaculture** : L'objectif est de répondre à la demande croissante en aliments aquatiques par une intensification raisonnée. Cela implique une gouvernance régionale forte, l'adoption de technologies innovantes à faible impact environnemental et la garantie d'un accès équitable aux ressources pour protéger les moyens d'existence.
- 2) **La Gestion Efficace des Pêches** : Cet axe cible la santé des stocks halieutiques à travers des politiques de gestion rigoureuses. Il s'agit de moderniser les flottes pour les rendre plus sûres et rentables, tout en équilibrant les impératifs écologiques et sociaux afin d'assurer des revenus stables aux travailleurs du secteur.
- 3) **L'Optimisation des Chaînes de Valeur** : La finalité est de garantir la viabilité économique et sociale de la filière. Les cibles prioritaires incluent la réduction des pertes et du gaspillage, l'amélioration de l'accès aux marchés internationaux et la promotion de la consommation de produits sains et de haute qualité, particulièrement dans les régions souffrant d'insécurité nutritionnelle.

En somme, la Transformation Bleue propose un modèle de croissance inclusive où l'innovation technologique et la transparence des marchés soutiennent la résilience des écosystèmes et l'équité sociale (FAO, 2022)

2. GÉNÉRALITÉS SUR LE TILAPIA

2.1. Contexte historique du tilapia

La culture du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) remonte à l'Égypte ancienne (plus de 4 000 ans), où il était déjà élevé dans des étangs. Bien que d'autres espèces

aient circulé plus tôt, c'est entre les années 60 et 80 que le tilapia du Nil s'impose mondialement, voyageant du Japon vers l'Asie et de l'Afrique vers les Amériques. La Chine en devient le leader mondial dès les années 90.

Initialement, la production était freinée par la reproduction incontrôlée des poissons (donnant des individus trop petits). La découverte de l'inversion sexuelle hormonale dans les années 70 a tout changé : elle a permis d'élever uniquement des mâles, garantissant une croissance rapide et uniforme.

Grâce aux progrès de la nutrition et de la transformation, l'industrie a explosé depuis 1980. Aujourd'hui, le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) est l'espèce d'élevage la plus cultivée au monde **(Fig.5) (FAO 2006)** .



Figure 5: Carte montrant les principaux pays producteurs de tilapia (FAO 2006)

2.2. Caractéristiques morphologiques

Les Cichlidae appartiennent à l'ordre des Perciformes, qui regroupe environ 150 familles (**Nelson, 2006**). Cette famille se distingue par des traits anatomiques et comportementaux spécifiques qui permettent de différencier les genres au sein du groupe des tilapias.

❖ Morphologie générale

🚩 **Tête :** La famille se caractérise par la présence d'une narine unique de chaque côté de la tête.

- ✚ **Corps** : Bien que sa forme soit variable, le corps n'est jamais très allongé. Il est généralement comprimé latéralement et recouvert d'écailles de type cycloïdes ou cténoïdes (Lévêque et al., 1990 ; Paugy et al., 2004).
- ✚ **Nageoires** : L'ensemble des nageoires (dorsale, anale, pectorale et pelvienne) est présent.
- ✚ **Structure pharyngienne** : Les os pharyngiens inférieurs sont soudés, formant une pièce triangulaire dentée (Lévêque et al., 1992 ; Paugy et al., 2004).

Sur la base de critères morphométriques, méristiques et comportementaux, la famille des Cichlidae est subdivisée en 14 genres. Parmi eux, trois genres principaux sont communément désignés sous le nom de « Tilapias » : Tilapia, Oreochromis et Sarotherodon.

Le genre Tilapia se distingue par les particularités suivantes :

Reproduction : Ce sont des pondéurs sur substrat. Les parents pratiquent une garde biparentale et surveillent les œufs jusqu'à l'éclosion (Lévêque et al., 1994).

Appareil branchial : Ils possèdent un maximum de 17 branchiospines sur la partie inférieure du premier arc branchial (Paugy et al., 2004).

Régime alimentaire : Ces espèces présentent souvent un régime **macrophytophage** (Behmene et al., 2022).

Le tilapia rouge est l'une des espèces de poissons tilapia, caractérisé par sa couleur rougeâtre ou rosâtre, c'est un poisson tropical appartenant à la famille des cichlidés (Cichlidae) (Fig. 6) . Il se caractérise par sa grande capacité d'adaptation à divers milieux aquatiques, frais et saumâtres, ce qui en fait un choix idéal pour les projets aquacoles.

Le tilapia rouge est un produit hybride issu du croisement de deux types de tilapia (le tilapia du Mozambique et le tilapia du Nil), et il est maintenant élevé dans divers pays du monde.

Il se caractérise par sa couleur rouge ou orange rosé, qui varie en fonction de l'environnement et des conditions de reproduction. Sa longueur peut atteindre 40-50 cm , et il pèse généralement entre 1 et 2,5 kg, et dans certains cas peut atteindre 3 kg lorsque des conditions optimales de croissance sont fournies.

Il vit dans les eaux douces et saumâtres, préfère des températures comprises entre 20 et 30 C° et tolère également de faibles niveaux d'oxygène (**DPRHE, 2026**).



Figure 6: Tilapia rouge

2.3. Systématique

Règne: Animalia (**Linnaeus, 1758**)

Embranchement: Chordata (**Haeckel, 1874**)

Sous-embranchement: Vertebrata (**Linnaeus, 1758**)

Super-Classe: Osteichthyes

Classe: Actinopterygii (**Klein, 1885**)

Sous-Classe: Neopterygii

Super ordre : Acanthopterygii

Ordre: Perciformes

Sous-Ordre: Labroidei

Famille: Cichlidae (**Bonaparte, 1835**)

Genre: Oreochromis (**Günther, 1889**)

Espèce: *O.niloticus* (**Linnaeus,1758**) X *O.mossambicus* (**Peters , 1852**)

2.4. Production du tilapia en Algérie

L'aquaculture du tilapia rouge connaît un essor stratégique en Algérie, s'affirmant comme un levier majeur de l'économie bleue nationale. Sous l'impulsion de la Direction de la Pêche et de l'Aquaculture, le secteur s'engage dans une phase de modernisation profonde, marquée par plusieurs initiatives clés présentées lors du Salon SIPA 2025 à Oran.

a) Numérisation et commercialisation

Pour dynamiser la filière, une plateforme numérique dédiée est en phase finale de déploiement. Gérée par la Chambre Nationale de la Pêche et de l'Aquaculture (CNPA), cet outil permettra :

Le recensement : L'inscription des pisciculteurs et le partage de données de production en temps réel.

La vente directe : La facilitation de la commercialisation des produits en ligne.

La logistique : Une meilleure coordination avec l'Office National de l'Alimentation Animale (ONAB) pour la distribution à travers un réseau de 200 points de vente nationaux.

b) Structuration institutionnelle et croissance

L'engagement de l'État se traduit également par la volonté de l'ONAB de créer une filiale spécialisée en aquaculture, visant à structurer l'approvisionnement et la transformation.

Les résultats de cette stratégie sont tangibles. Selon les prévisions pour l'année 2025, la production de tilapia devrait atteindre 1 800 tonnes, soit une croissance significative de 40 % par rapport à l'exercice 2024 (**Horizons, 2025**). Cette progression témoigne de l'intégration croissante de cette espèce dans les habitudes de consommation et dans le paysage économique algérien.

2.5. Exigences écologique

2.5.1. Tolérance thermique et limites de survie

La température est un facteur limitant déterminant pour la répartition géographique du tilapia, particulièrement dans les zones tempérées où les eaux hivernales deviennent létales pour ces espèces tropicales.

Le Tilapia bleu (*Oreochromis aureus*) : Il se distingue par la tolérance au froid la plus élevée du groupe. Sa température létale inférieure est fixée à 7 °C (Xia, 2018).

Autres espèces de tilapias : La majorité des autres espèces présentent une sensibilité thermique plus marquée, avec un seuil de mortalité compris entre 11 et 17 °C voir (Tab.1).

Cette incapacité physiologique à survivre dans des eaux froides explique pourquoi l'élevage du tilapia en milieu naturel est généralement restreint aux régions tropicales ou nécessite des installations thermorégulées dans les climats tempérés.

Tableau 1: Tolérance de la température chez le tilapia rouge (Xia, 2018)

Activité du tilapia	La plage de température
Alimentation	Arrête en dessous de 17 °C
Récolte	Stress et la mortalité dus à la manipulation augmentent en dessous de 18 ° C
reproduction	Meilleur au-dessus de 27°C, pas de reproduction en dessous de 20 ° C
Croissance	Optimal à partir de 28-29 ° C

2.5.2. Oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous est un paramètre critique en pisciculture. Bien que le tilapia soit capable de supporter des périodes d'hypoxie naturelle en milieu sauvage, l'exposition à de faibles niveaux d'OD en élevage induit un stress physiologique et psychologique majeur, altérant la croissance et la santé globale des poissons (Abdel-Tawwab et al., 2015).

✚ Impacts de l'hypoxie sur la physiologie et le bien-être

Une carence en oxygène déclenche une cascade d'effets négatifs :

- 1) **Performance zootechnique** : On observe un retard de croissance et une baisse de l'efficacité alimentaire, phénomènes exacerbés par des densités de peuplement élevées (**Abdel-Tawwab et al., 2014**).
- 2) **Système immunitaire** : Le stress chronique lié au manque d'oxygène affaiblit l'immunité, augmentant la sensibilité aux maladies (**Huntingford et al., 2010 ; Abdel-Tawwab et al., 2014**).
- 3) **Adaptation métabolique** : Pour survivre à l'hypoxie, le tilapia du Nil réduit activement son activité métabolique.

✚ Seuils critiques pour le tilapia du Nil

Les réponses physiologiques varient selon le taux de saturation en oxygène (**Pedrazzani et al., 2020**) :

- a) **45 % à 50 % de saturation (3,0 - 3,5 mg/l à 28-30 °C)** : Déclenchement des mécanismes de régulation métabolique, entraînant une réduction de la respiration et de la croissance.
- b) **10 % à 20 % de saturation (0,7 - 1,6 mg/l à 26-35 °C)** : In confort extrême et risque élevé de mortalité.

✚ Variabilité des besoins selon la taille

Les besoins en oxygène augmentent avec la biomasse et la taille des individus (**Abdel-Tawwab et al., 2015**). Selon (**Tran-Duy et al. 2012**), les seuils optimaux sont :

Individus de 60 à 100 g : environ 3 mg/l.

Individus de 200 à 270 g : supérieur à 5,5 mg/l.

✚ Stratégies de gestion technique

La régulation de l'OD dépend étroitement du système d'élevage choisi (**FAO, 2023 ; Emam et al., 2025**) :

Systèmes extensifs et intensifs (bassins, étangs) : Recours fréquent à l'aération mécanique pour compenser la consommation d'oxygène.

Systèmes de recirculation (RAS) : Le maintien de niveaux satisfaisants repose sur un taux de renouvellement quotidien de l'eau (5 à 15 %) par de l'eau fraîche, assurant une oxygénation constante.

2.5.3. Potentiel Hydrogène (pH) de l'eau

Le pH est un indicateur de la concentration en ions hydrogène et constitue, avec les niveaux d'ammoniac, l'un des facteurs les plus critiques pour la réussite de l'élevage du tilapia. Un écart par rapport à la plage optimale entraîne des modifications comportementales et une altération des fonctions vitales des poissons.

Impact sur la croissance et la performance

Les études sur les alevins de tilapia du Nil (*O. niloticus*) démontrent une corrélation directe entre le pH et les performances zootechniques (**El-Sherif et El-Feky, 2009**) :

Plage optimale (pH 7 à 8) : Les meilleurs taux de croissance et d'efficacité alimentaire sont observés dans cet intervalle.

Seuils critiques (pH 6 et 9) : Bien que ces niveaux ne provoquent pas de mortalité immédiate, ils réduisent significativement la croissance ($p < 0,05$). À un pH de 6, l'indice de consommation (FCR) augmente, indiquant une mauvaise assimilation de la nourriture.

Recommandations techniques

Bien que le tilapia puisse s'adapter à des pH légèrement alcalins, leur élevage dans des conditions extrêmes est déconseillé (**Rebouças et al., 2015**).

Pour une production intensive, un pH maintenu entre 7 et 8 est préconisé. Dans certains environnements spécifiques, comme les systèmes d'eau verte, une tolérance plus large comprise entre 5 et 8 est parfois admise (**Nobre et al., 2014**).

Dynamique environnementale et chimique

Le pH des eaux d'élevage est influencé par le système des carbonates (CO_3^{2-} , HCO^-), la géologie locale et la présence de dioxyde de carbone (CO^{2-}) (**Kreger, 2004**). Ses variations affectent l'ensemble de l'écosystème :

Biodiversité : Les changements brusques de pH réduisent la diversité des organismes aquatiques, les poissons y étant particulièrement sensibles (**Salih, 2007**).

✚ **Disponibilité des nutriments** : Les fluctuations du pH modifient la concentration de phosphates, de nitrates et de matières organiques. Cela peut perturber la production primaire (algues et plantes) et réduire la productivité globale du système par des effets en cascade (**Amico, 2000**).

En résumé, la physiologie du tilapia s'adapte aux conditions environnementales spécifiques, mais sa survie et ses performances optimales dépendent du maintien d'un équilibre acido-basique stable (**White et al., 2014 ; Abd El-Hack et al., 2022**).

2.5.4. Les composés azotés

✚ **Origine et toxicité de l'ammoniac**

L'ingestion d'aliments par les poissons déclenche des processus métaboliques essentiels à leur survie et à leur croissance. Ces mécanismes génèrent naturellement des déchets, dont le principal est l'ammoniac. Inodore et incolore à faible concentration, ce composé ne peut être détecté que par des analyses physico-chimiques régulières de l'eau.

En aquaculture, l'ammoniac représente le paramètre de qualité de l'eau le plus critique après l'oxygène dissous, particulièrement au sein des systèmes intensifs. Son impact sur la santé des poissons est significatif :

À faible concentration : il induit un stress physiologique et des lésions branchiales, affaiblissant le système immunitaire face aux infections bactériennes et réduisant les performances de croissance.

À forte concentration : il devient directement létal, expliquant de nombreuses pertes de production massives.

✚ **Dynamique chimique : NH_4^+ et NH_3**

Dans le milieu aquatique, l'azote ammoniacal total (TAN) se manifeste sous deux formes en équilibre chimique :

L'ammonium (NH_4^+) : forme ionisée, chargée positivement et peu toxique.

L'ammoniac non ionisé (NH_3) : forme non chargée (UIA), extrêmement toxique pour l'ichtyofaune.

La proportion de la forme toxique (NH_3) est directement corrélée aux variations du pH et de la température de l'eau (**Fig. 7**). Une augmentation de ces deux paramètres favorise la prédominance de l'ammoniac non ionisé, accentuant ainsi le risque pour l'élevage.

✚ Le cycle de l'azote et la nitrification

La gestion de la toxicité ammoniacale repose sur le processus de nitrification, un mécanisme biologique séquentiel assuré par des bactéries spécialisées (**Fig. 8**) :

Nitritation : Les bactéries du genre *Nitrosomonas* oxydent l'ammoniac en nitrites (NO_2^-). Bien que transformés, les nitrites demeurent dangereux pour les poissons.

Nitratation : Les bactéries du genre *Nitrobacter* convertissent ensuite les nitrites en nitrates (NO_3^-). Les nitrates sont considérés comme inoffensifs, sauf à des seuils de concentration très élevés, et servent de nutriments pour les végétaux et les algues.

L'efficacité de ce cycle biologique dépend étroitement de la disponibilité en oxygène. En situation d'hypoxie, l'activité des bactéries nitrifiantes est entravée, provoquant une accumulation délétère d'ammoniac et de nitrites dans le système (**Francis-Floyd et al., 2006**).

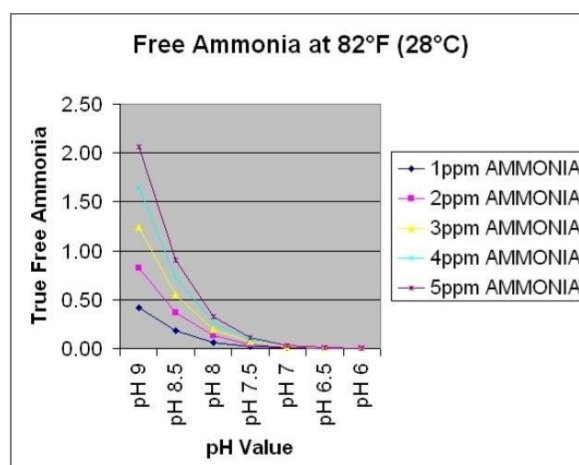


Figure 7 : Effet de la température et du pH sur l'ammoniac (Xia, 2018)

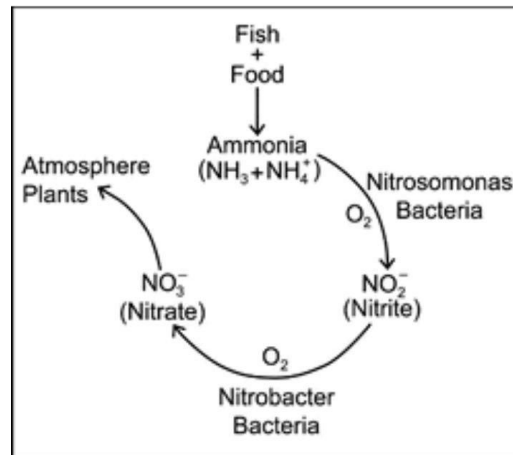


Figure 8 : Cycle de l'azote (Francis-Floyd et al., 2006)

2.5.5. Salinité

La tolérance à la salinité chez les juvéniles de tilapia rouge présente un seuil critique impactant directement la viabilité de l'élevage. Selon les travaux de **(Robert 2003)**, une excellente survie (supérieure à 97 %) est observée pour des concentrations comprises entre 0 et 10 g/l.

À l'inverse, l'exposition à une salinité marine de 35 g/l entraîne une chute drastique du taux de survie, qui stagne aux alentours de 34 %. Ces données soulignent que, bien que le tilapia rouge possède une certaine capacité d'adaptation osmotique, les salinités élevées constituent un stress physiologique majeur pour les juvéniles.

2.5.6. Valeur nutritive du Tilapia du Nil

Le Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) se distingue par une densité nutritionnelle élevée, en faisant une source de protéines de qualité. Selon les analyses de **(Nuryanto et al. 2022)**, une portion de 100 g de filet apporte environ 100 kcal et se caractérise par une très faible teneur en lipides (0,12 g), confirmant son statut de poisson maigre.

✚ Composition globale et minérale

La teneur en protéines s'élève à 18,46 g/100 g, accompagnée d'un apport notable en calcium (74,38 mg). Les analyses de sécurité alimentaire concernant les métaux

lourds révèlent une concentration en plomb de 0,9 ppm, une valeur demeurant inférieure au seuil de toxicité réglementaire fixé à 1,14 ppm.

Profil en acides gras et acides aminés

Le profil lipidique et protéique du tilapia est complexe et équilibré, comme le détaille le tableau suivant (Tab .2) (Nuryanto et *al.*, 2022) :

Tableau 2 : Composition détaillée en acides gras et acides aminés du Tilapia du Nil (pour 100 g).

Catégorie	Composants principaux	Teneur / Proportion
Acides Gras	Total	30,39 % des lipides totaux
Saturés	Acide palmitique / stéarique	7,87 % / 4,30 %
Mono-insaturés	Acide oléique	8,13 %
Poly-insaturés	Linoléique / Arachidonique / DHA	3,67 % / 0,97 % / 0,62 %
Acides Aminés	Total	21,56 %
Essentiels	Arginine / Lysine / Leucine	1,88 % / 1,84 % / 1,69 %
Non-essentiels	Acide glutamique / Aspartique	3,45 % / 2,16 %

L'analyse montre une prédominance de l'acide oléique parmi les acides gras et une richesse particulière en acide glutamique et en arginine, confirmant la haute valeur biologique de sa chair.

2.5.7. Marché et commerce

Évolution de la consommation : de la subsistance au marché mondial

Initialement introduit dans les pays en développement pour garantir la sécurité alimentaire et l'apport en protéines des populations locales, le Tilapia du Nil a vu son statut évoluer radicalement. Grâce aux innovations technologiques et à l'amélioration de la qualité organoleptique de sa chair (élimination des odeurs terreuses), il est passé

d'une production d'autoconsommation familiale à un produit phare du commerce international.

Aux États-Unis, le tilapia est devenu un incontournable de la restauration (des fast-foods aux établissements de luxe) et de la grande distribution. Ce succès repose sur quatre piliers :

- Un prix de vente compétitif ;
- Une disponibilité permanente tout au long de l'année ;
- Une saveur neutre et appréciée ;
- Une grande polyvalence culinaire.

Si le marché européen est encore en phase de découverte, il représente un potentiel de croissance majeur. Parallèlement, la Chine, premier exportateur mondial, restructure son marché intérieur pour répondre à la demande croissante de sa classe moyenne, positionnant le tilapia comme une alternative sérieuse à la carpe traditionnelle (FAO, 2006).

Diversification et transformation des produits

L'industrie du tilapia a su s'adapter aux exigences spécifiques des marchés régionaux en diversifiant l'offre de produits :

Produits bruts : Le poisson entier (frais, congelé ou éviscéré) reste prisé, principalement par les marchés ethniques.

Produits transformés : Les filets (frais ou surgelés) dominent le marché américain. Ils se déclinent sous plusieurs formes : avec ou sans peau, surgelés individuellement (IQF), fumés, ou préparés pour le sashimi. Des traitements spécifiques au monoxyde de carbone ou à l'ozone sont parfois utilisés pour optimiser la conservation et l'aspect visuel.

Valorisation des sous-produits

Au-delà de la consommation de la chair, l'industrie du tilapia génère des sous-produits à haute valeur ajoutée, s'inscrivant dans une démarche de valorisation intégrale de la ressource :

Cuir : Utilisation de la peau pour la confection de vêtements et d'articles de décoration ;

Pharmacologie : Extraction de gélatine à partir de la peau pour des applications médicales ;

Artisanat : Confection de fleurs ornementales à partir des écailles séchées et colorée

3. GENERALITES SUR LE FIGUIER DE BARBARIE

3.1. Définition et taxonomie

Le figuier de Barbarie, scientifiquement nommé *Opuntia ficus-indica*, appartient à la famille des Cactacées. Cette famille regroupe environ 1 600 espèces, dont la diversité culmine au Mexique, pays qui en dénombre à lui seul 669 (**Benkkaddouri, 2011**). Au sein de la tribu des Opuntieae, le genre *Opuntia* se segmente en quatre sous-genres distincts :

- *Platyopuntia*
- *Cylindropuntia*
- *Tephrocactus*
- *Brasiliopuntia* (**Benattia, 2017**).

Le sous-genre *Platyopuntia* rassemble entre 150 et 300 espèces. Parmi elles, *Opuntia ficus-indica* occupe une place prépondérante dans le secteur agricole. Son intérêt réside tant dans ses fruits destinés à la consommation humaine que dans ses raquettes (cladodes), utilisées comme fourrage pour le bétail ou comme légume (**Benattia, 2017**).

3.2. Caractéristiques morphologiques et phénologie

Sur le plan botanique, le figuier de Barbarie est une plante succulente arboricole. Sa structure se compose de tiges charnues et aplaties, appelées cladodes, dont les dimensions moyennes varient de 30 à 40 cm de longueur pour 15 à 25 cm de largeur, avec une épaisseur comprise entre 1,5 et 3 cm.

Le cycle biologique de la plante est marqué par :

- **La floraison** : Apparition de fleurs jaunes durant le printemps.

- **La fructification** : Récolte de fruits globuleux, souvent de couleur violette, entre fin juillet et septembre.

Très prisée durant la saison estivale, la figue de Barbarie est reconnue pour sa haute densité nutritionnelle et sa richesse en métabolites secondaires (Gregora, 2012).

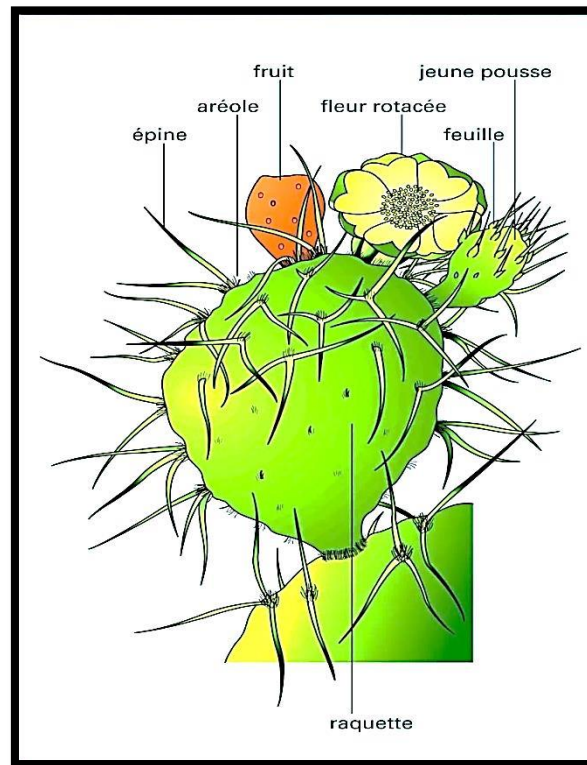


Figure 9 : Morphologie de l'Opuntia ou figuier de Barbarie (Opuntia ficus-indica).(Encyclopædia Universalis France, 2026)

3.3. Distribution géographique de la plante

Le figuier de Barbarie bénéficie d'une distribution mondiale extrêmement vaste. Originaire des zones arides, on le retrouve aujourd'hui sur plusieurs continents, notamment au Mexique, en Sicile, au Chili, au Brésil, en Turquie, en Corée, en Argentine ainsi qu'en Afrique du Nord (Barbera et al., 1992 ; Nerd et Mizrahi, 1991).

Historique de l'introduction

L'expansion de l'espèce s'est faite par étapes historiques marquantes :

XVI^e siècle : Introduction initiale en Espagne, suivie d'une diffusion vers les régions septentrionales et méridionales de l'Afrique.

Naturalisation : La plante s'est rapidement adaptée au climat du bassin méditerranéen, s'implantant durablement dans le sud de la péninsule ibérique (Espagne, Portugal) et dans les pays du Maghreb (Tunisie, Algérie, Maroc) (**Bensalem et al., 2002 ; Arba, 2009**).

Situation en Algérie

En Algérie, le figuier de Barbarie occupe des superficies considérables, particulièrement dans la partie Ouest du pays. Sa présence est signalée dans plusieurs wilayas stratégiques :

-  Chlef, Relizane et Mostaganem ;
-  Aïn Témouchent et Oran ;
-  Mascara, Sidi Bel Abbès et Tlemcen.

Il est à noter que, selon (**Araba et al. 2000**), la qualité optimale des fruits est généralement observée sur les cultures situées sur les hauteurs montagneuses, où les conditions climatiques favorisent une meilleure maturation.

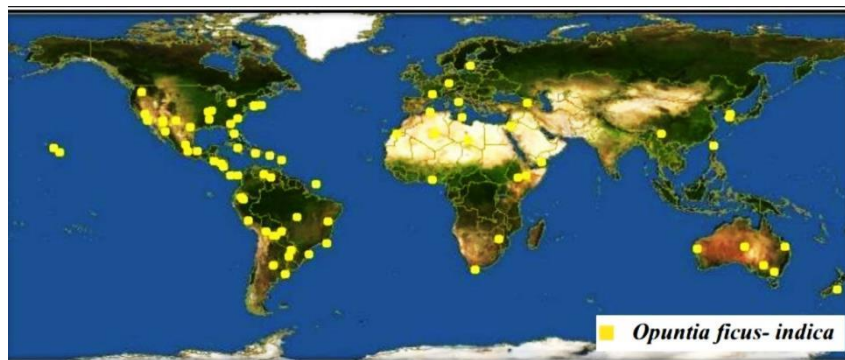


Figure 10 : Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde (Schweizer, 1997).

3.4. Classification systématique

La taxonomie du genre *Opuntia* a fait l'objet de nombreuses propositions au fil du temps. Cependant, la classification établie par (**Britton et al., 1963**) demeure, à ce

jour, la référence la plus largement reconnue et acceptée par la communauté scientifique (Mulas M. et al., 2004).

Conformément aux travaux de (Wallace et Gibson 2002), la position systématique du figuier de Barbarie est détaillée dans le tableau ci-dessous (Tab .3) :

Tableau 3 : Classification scientifique de Figuier de barbarie (Britton et al., 1963).

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Sous classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Cactaceae
Sous-famill	Opuntioideae
Tribu	Opuntieae
Genre	Opuntia
Espèce	Opuntia ficus indica

3.5. Utilisation de la figue de Barbarie

Le figuier de Barbarie constitue une ressource polyvalente dont l'exploitation s'étend de l'agroalimentaire à la pharmacologie de pointe (Tab.4). Ses fruits et cladodes sont valorisés pour la production de jus, de confitures et de compléments alimentaires riches en fibres et en antioxydants, tels que les bétalaïnes (Koubaier et al., 2015). En médecine traditionnelle et cosmétique, l'huile extraite de ses graines est particulièrement prisée pour ses propriétés anti-âge et cicatrisantes dues à sa forte concentration en vitamine E et en stérols (Ciriminna et al., 2017).

Par ailleurs, la plante joue un rôle écologique et agricole majeur : elle sert de barrière naturelle contre l'érosion des sols et de réserve hydrique cruciale pour le bétail en zones arides (Arba, 2009). Enfin, des recherches récentes explorent son potentiel

industriel dans la fabrication de bioplastiques et le traitement des eaux usées grâce à son mucilage (Gheribi et al., 2014)

Tableau 4 : Les utilisations du figuier de Barbarie (Inglese et al., 1995).

Aires commerciales	Usager spécifiques
Production alimentaire	Fruits, nopalitos, jus de fruits, extraction de l'huile des graines, confiture.
Aliment de bétail	fourrage, déchets de fruits.
Usage médical	fleurs pour les diurétiques, cladodes pour diabète, mucilages.
Usage agronomique	fixation du sol, source d'eau complémentaire
Colorants	bétalaines dans les fruits, acide carminique.

3.5.1. Importance nutritionnelle de la figue de Barbarie en alimentation animale

Le figuier de Barbarie s'impose comme une ressource fourragère stratégique, offrant une culture polyvalente et une alternative alimentaire robuste pour le bétail. Sa composition chimique se caractérise par des teneurs équilibrées en glucides (sucres et amidon), en extrait éthéré, en protéines brutes et en fibres. Elle constitue également un apport essentiel en minéraux, notamment en calcium, ainsi qu'en vitamines indispensables au métabolisme animal (Mahrose, 2021).

Au-delà de sa valeur énergétique, les bénéfices de cette plante pour la santé animale sont étroitement liés à ses propriétés antioxydantes, portées par une concentration élevée en acide ascorbique (vitamine C) et en composés phénoliques.

Sur le plan digestif, l'intégration du figuier de Barbarie dans les rations présente des avantages physiologiques majeurs :

- ✚ Amélioration de la digestibilité globale de la ration alimentaire.

- ✚ Optimisation du métabolisme azoté : elle favorise la conversion de l'ammoniac ruminal en protéines microbiennes, limitant ainsi les pertes et améliorant l'efficacité protéique chez les ruminants (**Mahrose, 2021**).

3.5.2. Composition chimique de la figue de Barbarie

Le fruit d'*Opuntia ficus-indica* se caractérise par une structure hétérogène répartie comme suit :

- ✚ Écorce (péricarpe) : 33 à 55 %
- ✚ Pulpe : 43 à 57 %
- ✚ Graines : 2 à 10 %

Sur le plan organoleptique, la figue de Barbarie est un fruit succulent dont la saveur douce s'explique par une forte teneur en sucres et une très faible acidité (pH compris entre 5,3 et 7,1, avec une acidité titrable oscillant entre 0,05 et 0,18 %).

Le tableau suivant synthétise (**Tab.5**) la composition physico-chimique moyenne du fruit, établie à partir de plusieurs travaux de référence (**Kaanane, 2000 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006**).

Tableau 5 : Composition chimique de la figue de barbarie

	Paramètres	valeur
Grands groupes (%)	Eau	84-90
	sucres totaux	10-17
	lipides	0.09-0.7
	protéines	0.2-1.6
Acides aminés (mg/l)	lysine	53.3
	méthionine	76.9
	serine	217.5
Fibres(%)	Fibres	0.2-3.1

Matière inorganique (%) sels minéraux (mg/100g)	Cendres	0.3-1
	Ca (mg/100g)	12.8-59
	Mg (mg/100g)	16.1-98.4
	Na (mg/100g)	0.6-1.1
	K (mg/100g)	90-217
	P (mg/100g)	15-32.8
Antioxydants (/100g) vitamines et polyphénols	Vitamines C	12-81mg
	Vitamines E	111-115 ug
	Vitamines K1	53mg
	Caroténoïdes (is carotènes)	1.2-3.0ug
	Flavonoïdes	0.11-2.41g/67%

3.6. Description morphologique du figuier de Barbarie

Le figuier de Barbarie se présente comme une plante arborescente robuste, capable d'atteindre une hauteur comprise entre 3 et 5 mètres. Son architecture se distingue par une organisation singulière en cladodes, communément appelés « raquettes ».

Tiges et appareil végétatif

Les cladodes sont des tiges modifiées, de forme aplatie et mesurant généralement de 30 à 40 cm de long. En raison de l'atrophie des feuilles, ces structures assurent la fonction photosynthétique. Leur surface est ponctuée d'alvéoles (**Fig.11**). L'appareil racinaire, bien que superficiel (localisé majoritairement dans les 30 premiers centimètres du sol), est extrêmement étendu, permettant une capture optimale des précipitations légères.

Appareil reproducteur : fleurs et fruits

La floraison : Les fleurs, à ovaire infère, arborent de larges corolles aux teintes variant du jaune à l'orange ou au rouge. Un cladode fertile peut produire jusqu'à une trentaine de fleurs, nombre qui fluctue selon l'exposition et la vigueur physiologique de la plante (**Fig.11;C**).

Le fruit : La fleur évolue en une baie charnue, ovale ou allongée, pesant entre 100 et 150 g. La pulpe juteuse est protégée par un péricarpe dont la couleur varie selon les variétés (jaune, rouge ou blanc).

Graines et sous-produits

Le fruit est polyspermique, contenant de nombreuses graines dures. Bien qu'indigestes à l'état brut, ces graines sont exceptionnellement riches en nutriments. Leur transformation permet d'obtenir :

Une huile précieuse : Très sollicitée en cosmétique pour ses propriétés antioxydantes.

Une farine nourrissante : Utilisée comme complément alimentaire (**Schweizer, 1997 ; Piga, 2004 ; Feugang et al., 2006 ; Reyes-Aguero et al., 2006**).

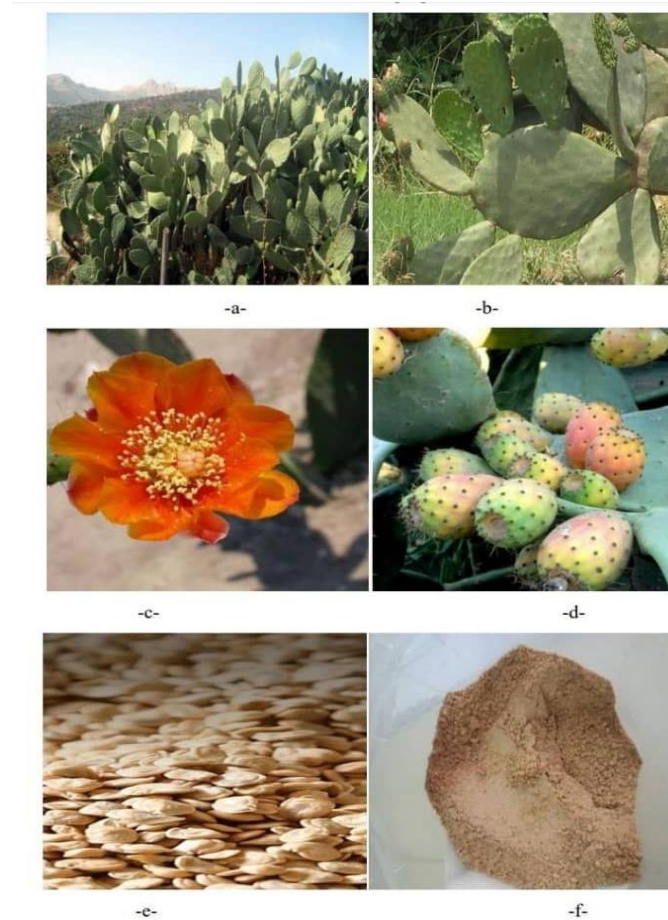


Figure 11 : Figuier de Barbarie(Habibi, 2004 ; anonyme, 2007).

(a .la plante, b . les cladodes, C . les fleurs, D . les fruits ,E. les graines, F .la poudre des graines) (Habibi, 2004 ; anonyme, 2007)

3.7. Composition biochimique globale du Figuier de Barbarie

Les différentes composantes d'*Opuntia ficus-indica* (cladodes, fruits et fleurs) se caractérisent avant tout par une forte teneur en eau. Sur le plan nutritionnel, elles constituent une source minérale de premier plan, fournissant des éléments essentiels tels que le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore et le cuivre. De plus, la plante offre un profil protéique remarquable, intégrant des acides aminés essentiels, avec une prédominance marquée pour la proline et la sérine (Habibi, 2004 ; Nerd et *al.*, 1991).

Focus sur les fibres et le métabolisme

Le Nopal (nom usuel des cladodes) se distingue par la qualité de ses fibres, essentielles à la régulation du transit intestinal et à la prévention de la constipation. Sa composition complexe inclut :

Fibres insolubles et solubles : Lignine, cellulose, hémicellulose, pectine, mucilages et gommes.

Vitamines : Un complexe vitaminique varié (A, B1, B2, B3 et C).

Sels minéraux : Notamment le sodium, le potassium et le fer.

Cette synergie entre fibres, vitamines et acides aminés confère à la plante des propriétés détoxifiantes, agissant sur l'organisme de manière systémique, avec une action protectrice particulièrement bénéfique pour les fonctions hépatiques (**Schweizer, 1997**).

Tableau 6 : Synthèse des principaux constituants du Nopal

Catégorie	Éléments clés	Rôle physiologique
Minéraux	Ca, Mg, K, P, Cu	Métabolisme osseux et enzymatique
Acides aminés	Proline, Sérine	Synthèse protéique et réparation tissulaire
Fibres	Pectine, Mucilage, Cellulose	Régulation du transit et détoxification
Vitamines	A, B (complexe), C	Antioxydant et soutien immunitaire

3.8. La graine de la figue de barbarie

3.8.1. Description morphologique des graines

Les graines du figuier de Barbarie se distinguent par leur grande dureté et leur morphologie aplatie, présentant une forme variable, généralement réniforme (en forme de rein) ou lenticulaire. Leur abondance au sein du fruit, exprimée en nombre ou en pourcentage de la masse totale, n'est pas constante : elle fluctue selon la variété de la

plante, son état physiologique et les conditions environnementales du site de culture (Boudjellaba *et al.*, 2012).

✚ Organisation histologique

L'examen morphologique approfondi, réalisé par microscopie optique et électronique à transmission, révèle une organisation tissulaire structurée en deux compartiments principaux (Fig. 12) :

- ✚ **L'enveloppe protectrice (péricarpe)** : Une couche externe lignifiée et très résistante qui assure la protection de l'embryon.
- ✚ **L'albumen (endosperme)** : Le tissu de réserve nutritif entourant l'embryon, essentiel lors des premières phases de germination (Boudjellaba & Yassa, 2012).

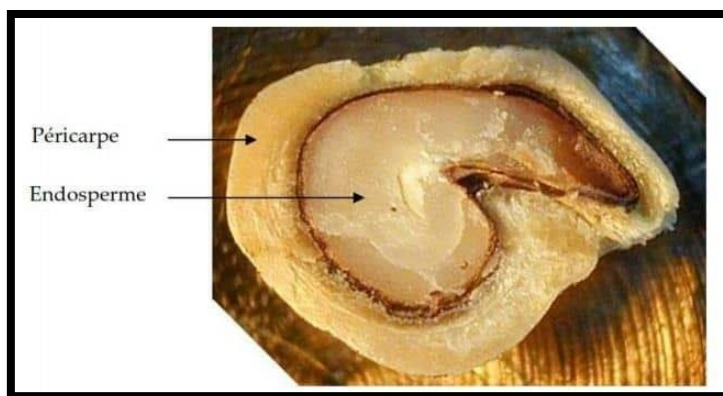


Figure 12 : Coupe transversale de la graine de la Figue de barbarie(Habibi, 2004)

✚ L'endosperme

L'endosperme représente environ 5 à 10 % de la masse totale des graines du figuier de Barbarie. Sur le plan histologique, il est composé d'un parenchyme de réserve dont les cellules possèdent des parois très fines. Celles-ci abritent de nombreux leucoplastes, responsables de la synthèse et du stockage de petits grains d'amidon (Drali *et al.*, 2017).

Une particularité de ce tissu est la présence d'une couche d'aleurone (ou couche de gluten) intercalée entre les zones amyloacées, ce qui confère au noyau de la graine un aspect caractéristique et visqueux. L'ensemble de cette structure cellulaire est protégé

par une paroi épaisse, dont l'agencement morphologique rappelle la forme de tuiles inversées (Fig. 13) (Drali et al., 2017).

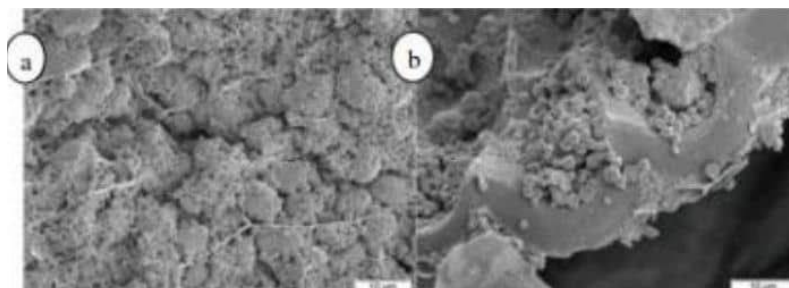


Figure 13 : Endosperme de la graine de la figue de barbarie (MEB) (Drali et Ikhlef, 2017)

Le péricarpe

Constituant majeur de la graine d'*Opuntia ficus-indica*, le péricarpe représente entre 90 et 95 % de sa masse totale. Cette enveloppe se caractérise par une structure hautement densifiée, principalement composée de deux types cellulaires distincts :

Les fibres fusiformes : Des cellules allongées et extrêmement compactes qui forment l'essentiel de la paroi. Leur agencement serré confère à la graine sa dureté mécanique caractéristique et sa résistance aux agressions extérieures.

Les vaisseaux spiralés : Présents en plus faible proportion, ces éléments conducteurs assurent l'organisation vasculaire résiduelle au sein de l'enveloppe.

Cette prédominance de tissus lignifiés explique la rigidité exceptionnelle de la graine, nécessitant souvent des procédés de broyage spécifiques lors de la valorisation industrielle pour l'extraction de l'huile.

3.8.2. Composition chimique des graines de la figue de barbarie

La teneur des différents constituants des graines de la figue de barbarie est représentée dans le (Tab.7) (Boudjellaba al., 2012)

Tableau 7 : Composition chimique des graines de la figue de barbarie

Constituants	teneur	Constituants	teneur
--------------	--------	--------------	--------

Eau	5-6%	Lignine	18%
Huile	7-8.5%	protéines	11-12%
Minéraux	1.3%	cellulose	30%

L'analyse préliminaire des graines d'*Opuntia ficus-indica* confirme leur nature fortement lignifiée, caractérisée par une teneur élevée en lignine qui leur confère une rigidité structurelle importante. Par ailleurs, ces graines constituent un réservoir nutritionnel et industriel de premier plan, renfermant des quantités substantielles de protéines et de lipides (huiles). Cette richesse en huile, bien que concentrée dans une faible fraction du grain, fait aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant dans les secteurs cosmétique et nutraceutique.

Fibres

Les graines constituent la source majeure de fibres au sein de la figue de Barbarie. Sur le plan biochimique, elles se caractérisent par la présence de deux types de fibres aux propriétés distinctes :

Les fibres solubles : Composées essentiellement de mucilages, de pectines et d'hémicelluloses, elles jouent un rôle clé dans la rétention d'eau et la texture.

Les fibres insolubles : Représentées principalement par la cellulose, elles assurent la rigidité structurelle de la graine (**Boudjellaba et al., 2012**).

Cette double constitution fibreuse contribue non seulement à la résistance mécanique de la graine, mais aussi à ses propriétés fonctionnelles lors de son utilisation en alimentation humaine ou animale.

Tableau 8 : Composition en fibre de la graines de la figue de barbarie (%)

Fibre	Teneur
Hémicellulose	9.95
Cellulose	83.2
Pectine	6.69

Lignine	0.19
----------------	------

Glucides

Les graines du figuier de Barbarie renferment une proportion significative de polysaccharides. Ces derniers sont majoritairement composés de glucose et de xylose, qui constituent les monomères de base des polymères structuraux de la graine, à savoir la cellulose et les hémicelluloses.

Cette richesse en polysaccharides structuraux explique la solidité de l'enveloppe de la graine et souligne son potentiel en tant que source de fibres alimentaires complexes.

Acides aminés et minéraux

Les protéines extraites de la graine se distinguent par leur richesse en acides aminés soufrés. En effet, les teneurs en méthionine et en cystine sont particulièrement élevées, représentant près du double des apports recommandés par les standards de la FAO/OMS. Cette concentration en composés soufrés est d'ailleurs à l'origine de l'odeur caractéristique de ces tissus.

Parallèlement à son profil protéique, la graine constitue une source minérale non négligeable. Elle renferme des concentrations importantes en macro-éléments essentiels, dont les valeurs moyennes sont les suivantes :

 Potassium : 275 mg / 100 g

 Calcium : 258 mg / 100 g

 Magnésium : 208 mg / 100 g

Le tableau 10 ci-dessous détaille la composition minérale complète des graines d'*Opuntia ficus-indica* (Boudjellaba et al., 2012).

Tableau 9 : Composition en minéraux de la graine de la figue de barbarie

Les minéraux	Teneur (mg/100g)	Les minéraux	Tenur (mg/100g)
Ca	258	Fe	12.1
Mg	208	Cu	0.83

Na	0.83	Zn	4.16
k	275	Mn	0.83
p	110	Mb	0.33

Lipides et protéines

Au sein du fruit, la graine représente le compartiment le plus concentré en protéines. Toutefois, l'intérêt scientifique et industriel s'est intensifié autour de sa fraction lipidique. L'huile de pépins de figue de Barbarie est en effet reconnue pour sa richesse exceptionnelle en acides gras insaturés et en stérols (**Boudjellaba et al., 2012**).

Profil en acides gras

L'huile se compose principalement d'acides palmitique, stéarique et oléique. Sa caractéristique majeure réside dans sa teneur prédominante en acide linoléique (oméga-6), qui peut atteindre 70 % de la composition totale. Cette forte concentration lui confère des propriétés nutritionnelles et cosmétiques de premier plan.

Fraction des stérols

Les stérols constituent une part essentielle des composés bioactifs de l'huile. Deux molécules dominent largement ce profil :

 Le β -sitostérol

 Le campesterol

À eux seuls, ils représentent environ 90 % des stérols totaux. Ces phytostérols sont particulièrement recherchés pour leur capacité à réguler le taux de cholestérol et leurs propriétés antioxydantes (**Boudjellaba et al., 2012**).

Vitamines et caroténoïdes

La fraction lipidique des graines de figue de Barbarie recèle des composés liposolubles à haute valeur biologique, notamment les tocophérols (vitamine E) et le β -carotène.

La vitamine E présente dans l'huile se décline sous plusieurs formes isomères, dont la répartition est la suivante :

γ -tocophérol : Il constitue le composant prédominant, représentant environ 80 % de la teneur totale en vitamine E.

α -tocophérol : Il se place en seconde position avec une proportion variant de 14 à 16 % (Boudjellaba et *al.*, 2012).

Cette forte concentration en γ -tocophérol confère à l'huile une stabilité oxydative remarquable et des propriétés protectrices exceptionnelles contre les radicaux libres, ce qui justifie son succès croissant dans les formulations cosmétiques haut de gamme et les compléments alimentaires.

4. PISCICULTURE DANS LE SUD ALGERIEN : ÉTUDE DE CAS DE LA WILAYA D'EL OUED

Dans le cadre d'une immersion pratique visant à consolider les acquis théoriques en pisciculture, une sortie de terrain a été organisée le 12 février 2026. Cette visite s'est déroulée à l'Institut national spécialisé de la formation professionnelle (INSFP) « Hassani Abdelkrim » d'El Zouqm (wilaya d'El Oued). Cet établissement a été choisi pour son expertise reconnue dans les filières agricoles, tant végétales qu'animales (**Fig. 14**).



**Figure 14 : Institut National spécialisé en formation professionnelle
(Hassani Abdelkrim)**

Cette immersion a permis d'analyser les protocoles d'élevage du tilapia rouge, en se focalisant sur l'infrastructure des bassins, les paramètres physico-chimiques de l'eau et les dispositifs d'aération. Le site dispose de bassins couverts où l'oxygénation est assurée par un système de brassage via les conduites de vidange. La structure comprend également des unités spécifiques pour l'alevinage, garantissant un suivi optimal du cycle de reproduction et de croissance (stades larvaires et juvéniles).

L'étude sur site a mis en exergue les paramètres biotiques et abiotiques régulant la croissance, notamment la température, la densité d'empoissonnement et le taux de rationnement (fixé à deux distributions quotidiennes). La maintenance du milieu est assurée par un système de renouvellement d'eau en continu (24h/24h), garantissant l'évacuation des métabolites. Sur le plan biologique, la gestion du cheptel repose sur une segmentation par stades de développement : les géniteurs sont isolés pour favoriser la reproduction. À ce stade, nous avons pu observer la spécificité biologique du tilapia, à savoir l'incubation buccale pratiquée par la femelle pour protéger la ponte (**Fig. 15**).



Figure 15 : Tilapia en phase de reproduction contrôlé

Afin d'optimiser le taux de survie et de favoriser le développement initial, les alevins sont transférés dans des unités de grossissement à faible densité, sous un contrôle rigoureux des paramètres environnementaux. Une segmentation par classes de taille est rigoureusement appliquée dans des bassins gradués ; ce tri par taille permet de prévenir tout phénomène de prédation intraspécifique (cannibalisme) et de limiter la compétition alimentaire (**Fig. 16**).



Figure 16 : Bassins d'alevinage(Pré-grossissement)

L'exploitation optimise la gestion de la ressource hydrique par une approche d'économie circulaire : les effluents des bassins ne sont pas rejetés, mais valorisés pour l'irrigation (**Fig. 17**). Cette eau est naturellement enrichie en nutriments grâce au cycle de l'azote : l'ammoniac issu des déjections des poissons est transformé par voie bactérienne en nitrates. Ce fertilisant organique hautement assimilable remplace

avantageusement les engrais chimiques pour la croissance des cultures agricoles (Fig.18).



Figure 17 : Réservoir de stockage des eaux usées issues de la pisciculture.



Figure 18 : Intégration de l'aquaculture à l'agriculture saharienne : cas d'une production de tomates sous serre.

En conclusion, cette immersion technique a permis de consolider nos acquis théoriques en nous confrontant aux réalités de l'élevage du tilapia en milieu professionnel. Elle a mis en lumière la pertinence du modèle d'intégration agriculture-aquaculture (**IAA**). Ce système, proche de l'aquaponie, s'impose comme une solution stratégique pour la gestion durable des ressources hydriques, particulièrement adaptée aux enjeux climatiques du sud algérien.

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

Ce chapitre est structuré en deux grandes parties. La première est consacrée à la monographie de la zone d'étude, offrant un aperçu détaillé de la région d'El Oued à travers ses caractéristiques géographiques, géologiques, hydrologiques et climatiques. Un état des lieux de l'aquaculture saharienne y est également dressé, avec un focus particulier sur la wilaya d'El Oued et l'École d'Agriculture Saharienne (ESAS-ELOUED), site ayant accueilli nos travaux expérimentaux.

La seconde partie expose le protocole expérimental mis en œuvre. Cette recherche a pour objectif d'évaluer l'influence de l'incorporation de doses croissantes de tourteaux d'enveloppes de graines de figue de Barbarie dans la ration alimentaire des alevins de Tilapia rouge. L'analyse porte spécifiquement sur le suivi des performances zootechniques, notamment les paramètres de croissance et le taux de survie des individus.

1. Présentation de la zone d'étude

Située dans le Sud-Est algérien, la wilaya d'El Oued s'étend sur une superficie totale de 44 585 km². Son chef-lieu, la cité d'El Oued (capitale du Souf), culmine à une altitude moyenne de 80 m et se situe à environ 390 km du littoral méditerranéen (**Fig. 19**). Sur le plan administratif et géographique, la région est délimitée comme suit (**D.T.P, 2026**) :

- **Au Nord** : par les wilayas de Tébessa, Khenchela et Biskra ;
- **Au Sud** : par la wilaya d'Ouargla ;
- **À l'Est** : par la frontière de la République tunisienne ;
- **À l'Ouest** : par les wilayas de Djelfa, Biskra et Ouargla.

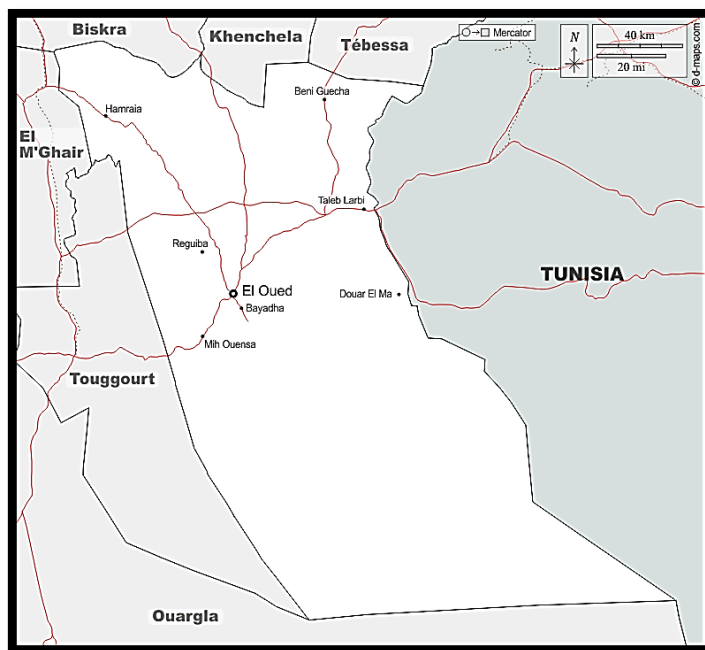


Figure 19 : Cadre géographique de la wilaya d'El Oued (D-maps, 2008-2026).

1.1. Régime thermique

Le climat de la région d'El Oued se caractérise par des amplitudes thermiques marquées. Durant la période estivale, la température moyenne s'établit autour de 34 °C, bien que des pics extrêmes dépassant les 50 °C soient fréquemment enregistrés, provoquant un échauffement intense de la couche superficielle du sol (**Fig. 20**). À l'inverse, la saison hivernale est marquée par une moyenne de 10 °C, avec des chutes de température pouvant atteindre des valeurs négatives (< 0 °C) lors des nuits de grand froid (**D.T.P, 2026**).

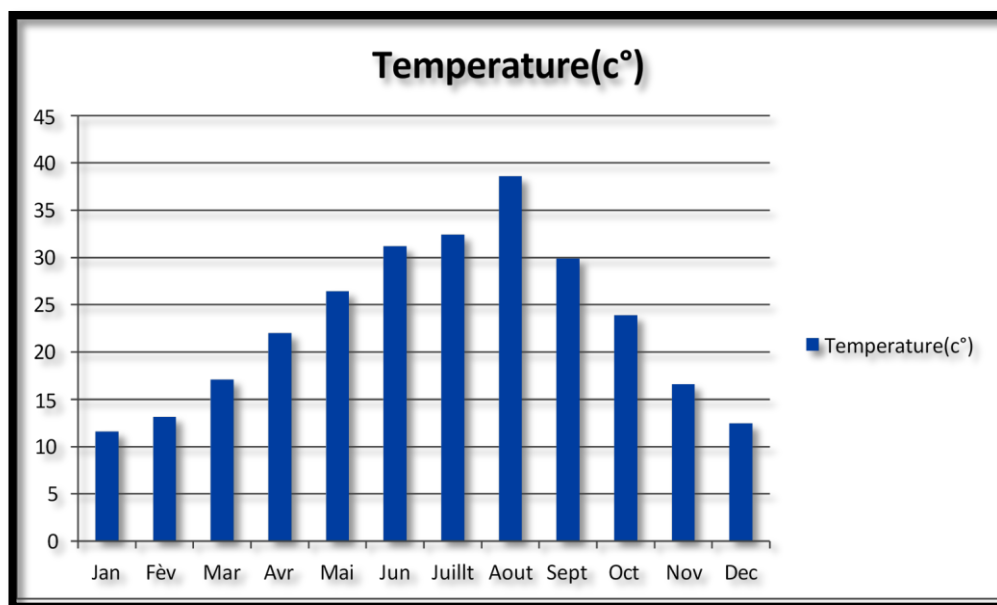


Figure 20 : Température moyenne d’El Oued (2011 - 2020) (Ben Nacer et al., 2021) .

1.2. Régime éolien

L'activité éolienne dans la wilaya d’El Oued est soutenue et permanente, jouant un rôle écologique ambivalent : elle peut constituer un frein au déplacement des organismes ou, au contraire, agir comme un vecteur de dispersion vers de nouveaux habitats (**Ben Nacer et al., 2021**) (**Fig. 21**).

Selon les données de la (**D.T.P 2026**) , la dynamique des vents dans la région se segmente en trois flux saisonniers distincts :

- **Vents de secteur Nord à Nord-Ouest (*Edhrahraoui*)** : prédominants durant la période allant de février à avril.
- **Vents de secteur Est (*El Bahri*)** : soufflant d'août à octobre, ces flux apportent une relative fraîcheur à la région.
- **Vents de secteur Sud (*Echahili*)** : caractéristiques de la saison estivale, ces vents chauds et secs influencent fortement l'évapotranspiration.

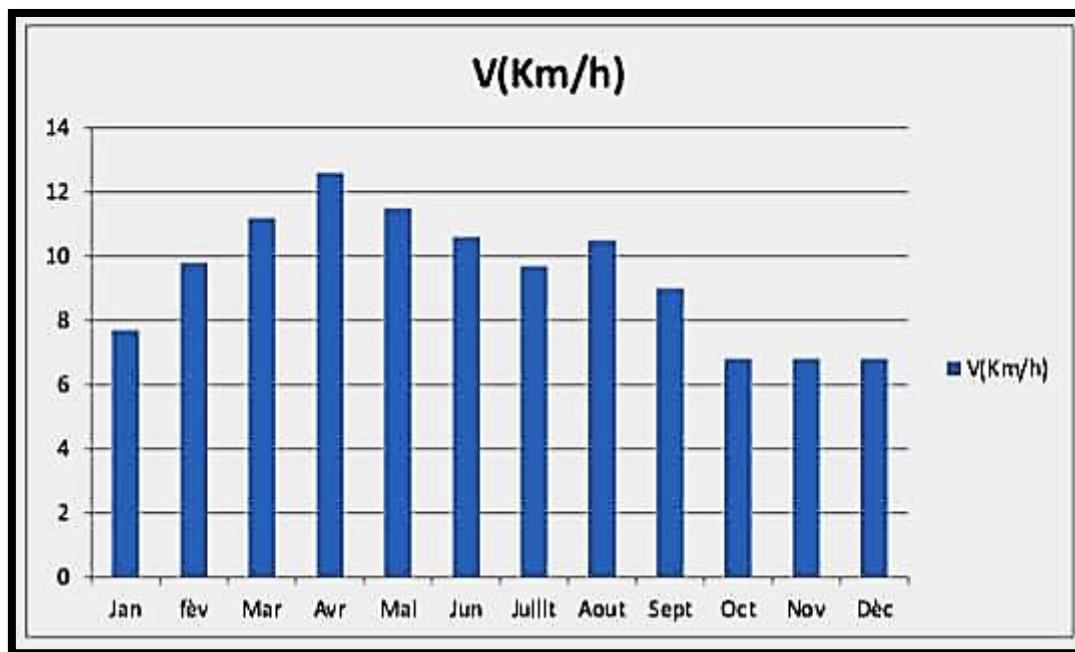


Figure 21 : Vents relatifs moyens mensuels d'El Oued (2011 - 2020) (Ben Nacer *et al.*, 2021) .

1.3. Pluviométrie

En raison de sa position continentale et de son éloignement des influences maritimes, la région d'El Oued se caractérise par des précipitations rares et irrégulières. La moyenne annuelle est estimée à 80,3 mm (D.T.P, 2026).

Toutefois, au-delà du volume annuel, c'est la saisonnalité des pluies qui exerce une influence déterminante sur les cycles biologiques (Fig. 22). En humidifiant le substrat et en stimulant la productivité primaire, ces apports hydriques jouent un rôle moteur dans la dynamique et la répartition spatiale des organismes au sein de cet écosystème aride (Ben Nacer *et al.*, 2021).

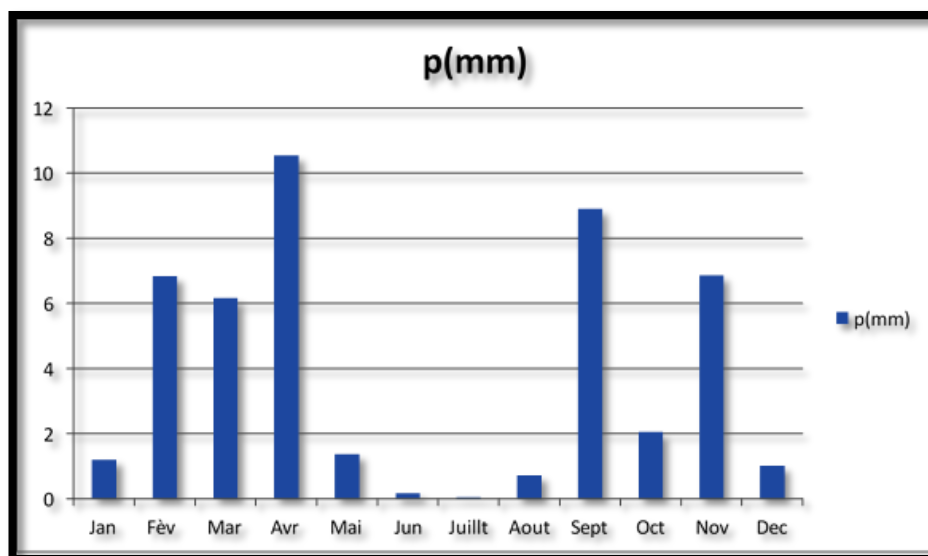


Figure 22 : Taux précipitation mensuel d'El Oued (2011-2020) (Ben Nacer et al., 2021) .

1.4. Humidité et zones humides

L'humidité atmosphérique constitue un paramètre écologique déterminant, influençant directement les fonctions vitales des organismes, telles que la respiration et les processus de croissance (**Fig. 23**). Même en milieu aride, le maintien d'un certain seuil d'humidité est indispensable à l'équilibre et au fonctionnement des écosystèmes sahariens (**Ben Nacer et al., 2021**).

Malgré son caractère aride, la région d'El Oued abrite d'importantes zones humides. Ces écosystèmes, souvent classés comme sites RAMSAR, jouent un rôle biogéographique majeur. Parmi les sites les plus notables, nous recensons (**D.T.P, 2026**) :

Le Chott Merouane : Localisé dans la commune d'El M'Ghair, il s'étend sur une superficie vaste de 8 534 km².

- **Le Chott Melghir** : Situé à l'interface des wilayas d'El Oued et de Biskra, il représente l'un des plus grands réceptacles salins de la région.
- **Les Chotts Oued Kharouf et Etadjir** : Respectivement situés près des communes de Still et des zones environnantes.
- **Le Chott Ayata** : Situé dans la commune de Sidi Amrane.

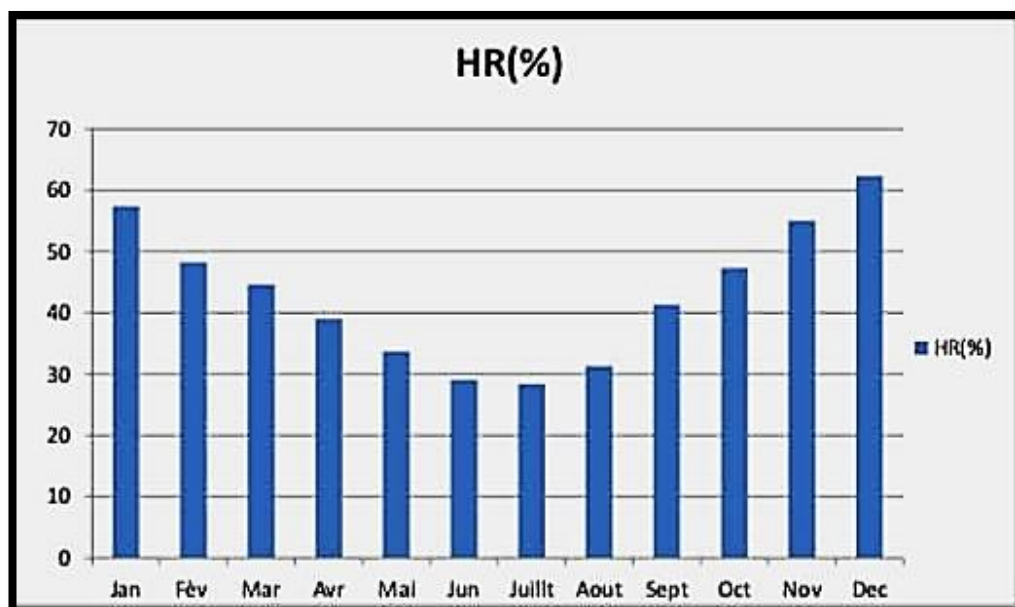


Figure 23 : L'humidité relative d'El Oued (2011 - 2020) (Ben Nacer et al., 2021).

2. Site d'étude et cadre temporel

L'expérimentation a été réalisée au sein de la station de recherche aquacole de l'École Supérieure d'Agriculture Saharienne (ESAS) d'El Oued. Cette institution, créée par arrêté ministériel le 29 décembre 2021, est implantée dans un environnement désertique caractérisé par un climat aride aux amplitudes thermiques marquées (**Fig. 24**).

Les travaux de recherche se sont déroulés sur une période globale de deux mois. La phase expérimentale proprement dite, dédiée au suivi des alevins, a couvert une durée totale de 50 jours, s'étendant du 22 février 2026 au 14 avril 2026.



Figure 24 : Ecole Supérieure d'Agriculture Saharienne -El Oued.

3. Dispositif expérimental et équipements

La station expérimentale de l'école est équipée de deux bassins circulaires en béton, d'une capacité unitaire de 2 m³. Ces structures font office de réservoirs de stockage et d'approvisionnement pour l'ensemble du dispositif durant les 50 jours de la phase expérimentale (**Fig. 25**). L'alimentation en eau est assurée par un forage captant la nappe souterraine locale.

Concernant la photopériode, les individus ont été maintenus sous un cycle nyctéméral naturel de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité (12L/12O). Afin de permettre le suivi nocturne et la surveillance de la ferme, un système d'éclairage artificiel d'appoint a été mis en place. Ce mémoire de master relève de l'équipe "Biotechnologie et Valorisation des sous-produits" du Laboratoire SALAMALab (Saharan Area Laboratory for Agriculture Modernization and Advancement).



Figure 25 : Dispositif expérimental et infrastructures d'élevage de l'ESAS (El Oued).

4. Matériel biologique : Origine et caractéristiques

Le modèle biologique utilisé dans cette étude est le Tilapia rouge . Ce poisson est un hybride issu du croisement interspécifique entre *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852).

Pour les besoins de l'expérimentation, un effectif de deux cents (200) alevins a été sélectionné. Ces individus proviennent d'une exploitation piscicole privée située dans la commune de Debila (Wilaya d'El Oued) (**Fig. 26**). Le choix de ces spécimens garantit une homogénéité du stock pour le suivi des performances zootechniques au sein de l'ESAS



Figure 26 :Transport et acclimatation des Tilapias rouges (ESAS, 2026).

5. Dispositif expérimental et mise en charge

Le protocole a été réalisé en répartissant les deux cents alevins de Tilapia rouge dans quatre bassins rectangulaires de dimensions identiques (56 cm × 37,5 cm × 40 cm). Chaque unité d'élevage a été peuplée avec un effectif de 50 individus, garantissant ainsi une densité de mise en charge homogène entre les répétitions (**Fig. 27**).

Au début de l'expérience, les caractéristiques biométriques initiales du lot étaient les suivantes :

Poids moyen initiale (Wi) : 0% (3.01g) , 10% (2.89g) , 20% (2.42g) , 30% (2.81g)

Longueur totale moyenne initiale (LTi) : 0% (5.34cm), 10% (5.18cm) , 20%(4.98cm)
, 30% (5.07cm)

Longueur Standare initiale (LSi): 0%(4.37cm) ,10%(4.22cm) ,20%(3.91cm), 30%
(4.21cm)



Figure 27 : Vue d'ensemble des bassins d'expérimentation (ESAS, 2026).

6. Maintenance du milieu d'élevage et renouvellement de l'eau

Afin de garantir une qualité d'eau optimale, un renouvellement quotidien de 10 % du volume total a été effectué par siphonage (**Fig. 28**). Cette opération avait pour objectif principal l'élimination des matières en suspension, des déjections des poissons ainsi que des restes d'aliments non consommés, prévenant ainsi toute dégradation des paramètres physico-chimiques du milieu.

Le dispositif utilisé consiste en un tuyau de plastique souple fonctionnant selon le principe des vases communicants (**Fig. 29**). Cette technique permet de transférer l'eau chargée de déchets vers l'extérieur par différence de pression hydrostatique, assurant ainsi un nettoyage efficace et peu stressant pour les alevins.



Figure 28 : Système de vidange partielle et de maintenance du milieu d'étude.



Figure 29 : Mécanisme de transfert hydrique par différence de pression hydrostatique (Siphon).

7. Contrôle des paramètres physico-chimiques (Température)

Afin d'assurer la stabilité thermique du milieu, chaque unité d'élevage a été équipée d'une résistance chauffante avec thermostat, réglée à une température constante (**Fig. 30**). Le suivi et la vérification quotidienne de ce paramètre ont été effectués à l'aide d'un thermomètre électronique de précision (**Fig. 31**).

Par ailleurs, l'oxygénation de l'eau a été maintenue de manière continue par l'installation d'une pompe à air reliée à des diffuseurs via des tuyaux souples. Il est important de souligner que les quatre bassins ont été soumis à des conditions

expérimentales strictement identiques (température, oxygénation, photopériode et densité de mise en charge), garantissant ainsi que seule la composition de la ration alimentaire constitue la variable de l'étude.



Figure 30 : Dispositif de maintien de l'homogénéité thermique et gazeuse du milieu.

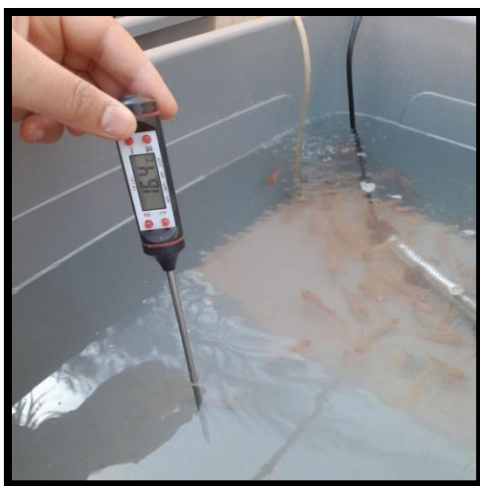


Figure 31 : Appareil de mesure numérique des températures de l'eau.

8. Suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau

Le suivi de la qualité du milieu d'élevage a été réalisé grâce à un dispositif d'analyse numérique de type JBL ProScan, mis à disposition par le Dr. Behmene Ibrahim Elkhailil. Ce système d'origine hongroise repose sur l'utilisation de bandelettes réactives multi-paramètres (**Fig .32**).

La lecture des résultats s'effectue via une application mobile dédiée, qui convertit les variations colorimétriques de la bandelette en données numériques précises. Cette méthode a permis de déterminer, de manière quasi instantanée, les paramètres essentiels au bien-être des tilapias (tels que le pH, les nitrates, les nitrites et la dureté), garantissant ainsi un contrôle rigoureux et régulier de l'environnement aquatique.



Figure 32 : Dispositif JBL ProScan utilisé pour le contrôle instantané de la qualité de l'eau.

Le dispositif JBL ProScan a permis le contrôle régulier des sept indicateurs physico-chimiques essentiels à la survie et à la croissance des tilapias en eau douce (**Fig .33**):

- **Cycle de l'azote** : Nitrites (NO₂⁻) et Nitrates (NO₃⁻).
- **Équilibre acide-base** : Potentiel Hydrogène (pH) et Dioxyde de carbone (CO₂).
- **Minéralisation et stabilité** : Dureté totale (GH) et Dureté carbonatée ou alcalinité (KH).
- **Sécurité sanitaire** : Chlore libre (Cl₂), pour s'assurer de l'innocuité de l'eau de source après renouvellement.

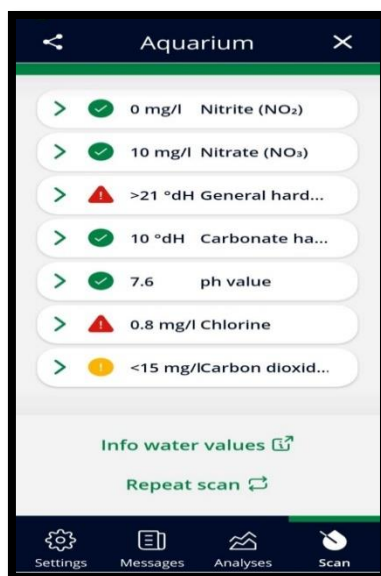


Figure 33 : Capture d'écran des résultats obtenus via le smartphone

Protocole opératoire de l'analyse numérique

Le suivi de la qualité de l'eau a été réalisé selon une séquence de mesures standardisées pour garantir la reproductibilité des résultats :

1. **Échantillonnage** : La bandelette réactive a été immergée dans l'unité d'élevage durant 30 secondes permettant ainsi la réaction complète des réactifs et le développement des couleurs.
2. **Développement chimique** : Après retrait, la bandelette a été maintenue horizontalement et éliminer toutes trace l'eau
3. **Étalonnage et lecture** : L'application JBL ProScan a été activée sur smartphone. La bandelette a été positionnée sur la carte d'étalonnage (**ColorCard**) fournie avec le kit.
4. **Numérisation et traitement** : Une capture photographique a été effectuée via l'interface de l'application. Cette dernière a interprété les variations chromatiques pour afficher instantanément les concentrations des différents paramètres (**Fig. 34**).



Figure 34 : Lecture automatisée de la bandelette réactive par smartphone via l'application JBL ProScan.

9. Origine et préparation de la matière première

La valorisation du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) a été réalisée en collaboration avec l'usine de transformation de Sidi-Fredj (wilaya de Souk Ahras). S'étendant sur une superficie de 5 000 m² et dotée d'une capacité de traitement d'environ 2 tonnes par heure, cette infrastructure joue un rôle clé dans l'économie locale en produisant des jus, confitures, huiles essentielles, produits pharmaceutiques et aliments pour le bétail (Agence Ecofin, 2015) (Fig. 35).

La farine brute de graines de figue de Barbarie, directement issue de l'usine, se présente initialement sous sa forme brute (Fig. 36). Afin de faciliter son incorporation homogène aux autres ingrédients de la ration animale, cette matière première a subi un broyage fin jusqu'à l'obtention d'une texture parfaitement régulière (Fig. 37).

Pour finaliser la préparation de l'aliment, le mélange a été soumis à un séchage thermique au sein d'une étuve (DAIHAN Scientific) pendant 24 heures à une température constante de 40 °C (Fig. 38). Ce traitement a permis de réduire la teneur en humidité et d'optimiser la conservation ainsi que l'homogénéité des nutriments.



Figure 35 : différents produit du figuer de Barbarie



Figure 36 : Aspect du tourteau de figue de Barbarie à son arrivée de l'usine.



Figure 37 : Tourteau de figue de barbarie après broyage

10. Formulation des régimes et dispositif expérimental

Afin d'évaluer l'effet de l'incorporation de la farine de figue de Barbarie sur la croissance des alevins, quatre régimes alimentaires basés sur la substitution graduelle de l'aliment standard ont été formulés (**Tab.10**):

Lot Témoin (0 %) : Alimentation standard sans apport de figue de Barbarie.

Lot 1 (10 %) : Ration contenant 10 % de farine de figue de Barbarie.

Lot 2 (20 %) : Ration contenant 20 % de farine de figue de Barbarie.

Lot 3 (30 %) : Ration contenant 30 % de farine de figue de Barbarie.

L'expérimentation s'est étalée sur une durée totale de 50 jours. Le dispositif comprenait quatre unités d'élevage (aquariums), correspondant chacune à un taux d'incorporation spécifique et abritant initialement un effectif de 50 alevins.

Pour garantir la fiabilité des résultats et s'assurer que le régime alimentaire soit la seule variable discriminante, l'ensemble des lots a été maintenu dans des conditions environnementales rigoureusement identiques :

Stabilité thermique : Température régulée en continu par un thermostat individuel dans chaque unité.

Oxygénation : Système d'aération uniforme assuré par une pompe à air, des tubulures et des diffuseurs.

Paramètres fixes : Le volume d'eau, la luminosité et la densité de peuplement ont été strictement standardisés.

Tableau 10 : Répartition initiale des effectifs et des régimes par lot

Lots expérimentaux	Taux d'incorporation (Opuntia ficus-indica)	Effectif initial (n)	Durée de l'essai (jours)
Témoin	0 %	50	50
Lot 1	10 %	50	50
Lot 2	20 %	50	50

Lot 3	30 %	49	50
-------	------	----	----



Figure 38 : Séchage du tourteau de figue de barbarie à aide de l'étuve



Figure 39 : Stockage des aliments expérimentaux par taux d'incorporation.

11. Conduite de l'alimentation

Un effectif total de deux cents (200) alevins de tilapia rouge (hybrides *O. niloticus* x *O. mossambicus*) a été réparti de manière homogène dans quatre unités d'élevage. Conformément aux recommandations d'El-Sayed (2000), une densité initiale de deux alevins par litre d'eau de source a été instaurée afin de favoriser une croissance optimale tout en limitant les comportements de stress.

La stratégie de nourrissage a été définie comme suit :

- **Fréquence** : Les rations ont été distribuées quotidiennement en deux repas, fixés à **9 h 00** et **14 h 00 (Fig. 40 ; Fig. 41)**.
- **Nature de l'aliment** : Les poissons ont reçu un aliment formulé et produit localement au sein de l'École Supérieure d'Agriculture Saharienne (ESAS) d'El Oued.
- **Rationnement** : Le taux d'incorporation alimentaire a été fixé à 10 % de la biomasse totale par jour. Ce taux a fait l'objet d'un ajustement hebdomadaire après chaque séance de pesée, permettant d'adapter précisément les quantités distribuées à l'évolution du poids des poissons (Fig. 42).



Figure 40 :Granulés alimentaires formulés



Figure 41 : Aliment expérimental après réduction mécanique manuelle.



Figure 42 : Technique de distribution manuelle

12. Suivi des paramètres morphologiques et calculs zootechniques

Le suivi de la croissance a été réalisé de manière hebdomadaire (chaque lundi). Lors de cette journée, un renouvellement total de l'eau a été effectué, permettant ainsi de manipuler les poissons pour les pesées et les mesures morphométriques. Chaque lot initial comptait 50 individus.

Pour évaluer l'efficacité des régimes à base de tourteaux de graines de figue de Barbarie, les paramètres suivants ont été calculés selon les protocoles d'(Aderolu et al. 2010) et (Sarr et al. 2015) :

12.1. Gain moyen en poids (AWG)

Le gain de masse corporelle, souvent appelé gain de poids moyen, est un critère utilisé pour évaluer la croissance pondérale des poissons sur une période donnée (Fig .43) Il est calculé en grammes à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Gain moyen en poids (AWG)} = W2 - W1$$



Figure 43 : Pesée des alevins de Tilapia (Balance de précision MH-885)

12.2. Gain de longueur totale moyen (ATLG)

Le gain de longueur totale moyen (ATLG), souvent appelé gain de longueur moyenne, est un critère utilisé pour évaluer la croissance en longueur totale des poissons sur une période donnée (**Fig.44**). Il est calculé en centimètres à l'aide de la formule suivante :

$$\text{ATLG} = \text{Longueur totale finale moyenne} \\ - \text{Longueur totale initiale moyenne}$$

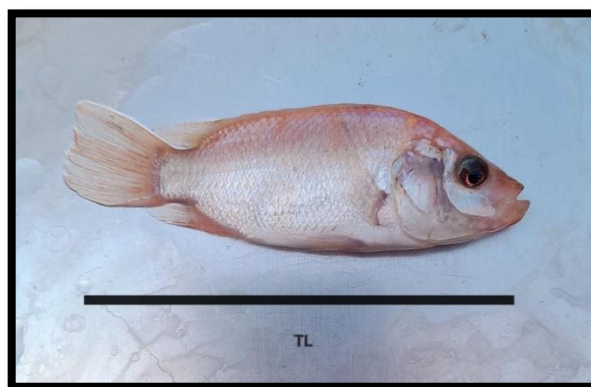


Figure 44 : Mesure de la longueur totale (TL) en centimètres.

12.3. Gain de longueur standard moyenne (ASLG)

Le gain de longueur standard moyenne (ASLG), souvent appelé gain de longueur moyenne, est un critère biologique utilisé pour évaluer la croissance en

longueur standard (mesurée de l'extrémité du museau jusqu'à la base de la nageoire caudale) des poissons sur une période donnée . Ce paramètre permet d'exclure les variations ou les dommages potentiels liés à la nageoire caudale pour obtenir une estimation plus rigoureuse de la croissance squelettique.

Il est calculé en centimètres (cm) à l'aide de la formule suivante :

$$\text{ASLG} = \text{longueur standard finale moyenne} \\ - \text{longueur standard initiale moyenne}$$

12.4. Gain moyen en Hauteur (AHLG)

Gain en hauteur, appelé couramment gain de hauteur moyen, ce critère permet d'évaluer la croissance en hauteur des poissons pendant un temps donné. Il est calculé à partir de la formule suivante en (centimètre) (Fig.45) :

$$\text{AHLG} = \text{Hauteur finale moyenne} - \text{Hauteur initiale moyenne}$$



Figure 45 : Mesure de la hauteur du corps (HL) des alevins.

12.5. Taux de croissance journalière (GR) (g /jour)

La croissance individuelle journalière (CIJ), également appelée gain de poids quotidien (GPQ), est un indice qui permet d'évaluer l'augmentation de poids quotidienne des poissons en élevage. Elle est déterminée à partir de la relation suivante :

$$\text{Taux de croissance} \left(\frac{g}{\text{jour}} \right) = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

12.6. Taux de croissance spécifique (SGR) (%/jour)

Selon (Lawan et al. 2017), le taux de croissance d'un poisson est un indicateur sensible de la qualité des protéines. Dans des conditions contrôlées, le gain de poids est proportionnel à la quantité d'acides aminés essentiels fournie.

$$\text{Taux de croissance spécifique (SGR)} = \frac{\log W_2 - \log W_1}{t_2 - t_1} * 100$$

W₁ = poids initial (g), W₂ = poids final (g), (t₂ - t₁) = durée entre w₂ et W₁ (en jour).

12.7. Ratio de conversion de l'alimentation (FCR)

Il s'agit de la quantité d'aliment nécessaire pour produire une unité de poisson, ou du nombre de grammes d'aliment consommés par gramme de gain de poids corporel.

$$\begin{aligned} \text{Ration de conversion de l'alimentation (FCR)} \\ = \frac{\text{Consommation alimentaire totale (g)}}{\text{gain total en poids humide (g)}} \end{aligned}$$

12.8. Facteur de condition (k)

$$\text{Facteur de condition (K)(\%)} = \frac{W}{TL^3} * 100$$

Où : W : Poids corporel en grammes, TL : Longueur totale (cm).

12.9. Taux de Survie

Taux de Survie est le nombre de poissons en vie après un intervalle de temps spécifiée, divisé par le nombre initial.

$$\text{Taux de Survie} = \frac{\text{Nombre de poisson finale}}{\text{Nombre de poisson initiale}} * 100$$

13. L'Analyse des données

Les données statistique descriptives , sont analysées à l'aide d'Excel 2016 , pour partie des plantes nous avons utilisé le logicielle (R) et testées pour l'homogénéité de la variance , avant d'avoir été soumis à l'analyse de variance (ANOVA ; $p < 0,05$) et de la méthode de Duncan , Un test de plage multiple a été utilisé pour comparer les différentes moyennes

Chapitre 3 : Résultats

1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

1.1. Température

Le suivi thermique du bassin a été assuré par des relevés thermométriques quotidiens durant toute la phase expérimentale, s'étalant du 22 février au 14 avril 2026. Les résultats, synthétisés dans le **Tableau 11**.

Les valeurs enregistrées oscillent entre un minimum de 17,9 °C et un maximum de 31,8 °C, pour une moyenne générale de 26,16 °C. Ce régime thermique témoigne d'un milieu globalement chaud, dont la stabilité relative s'articule autour de sa valeur moyenne malgré des pics ponctuels.

Tableau 11 : Variables de température dans les bassins d'élevage

variables	Température (C°)
Max	31.8
Min	17.9
Moy	26.16

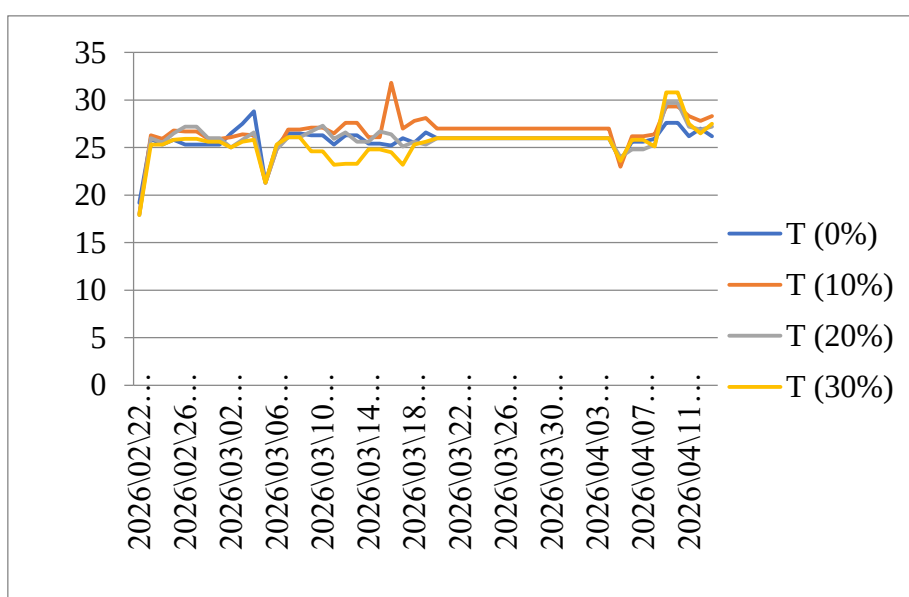


Figure 46 : Variations de la température pendant l'expérience

1.2. Mesure des normes de qualité de l'eau

✚ Nitrates (NO_3^-)

Le suivi de la concentration en nitrates (NO_3^-) durant la période d'étude révèle une fluctuation significative des valeurs. Le minimum détecté a été de 0 mg/l, tandis que le pic maximal a atteint 25 mg/l. Sur l'ensemble de l'expérimentation, la concentration moyenne s'est établie à 10 mg/l, comme l'illustre la (**Fig. 47**).

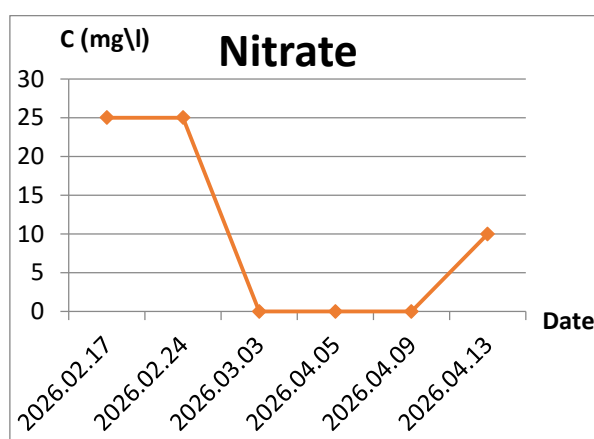


Figure 47 : Variation de la concentration des nitrates

✚ Nitrites (NO_2^-)

Le suivi de la concentration en nitrites (NO_2^-) durant l'expérimentation révèle des valeurs comprises entre un minimum de 0 mg/l et un maximum de 0,5 mg/l. La moyenne globale enregistrée sur toute la période d'étude s'élève à 0,2 mg/l (**Fig. 48**).

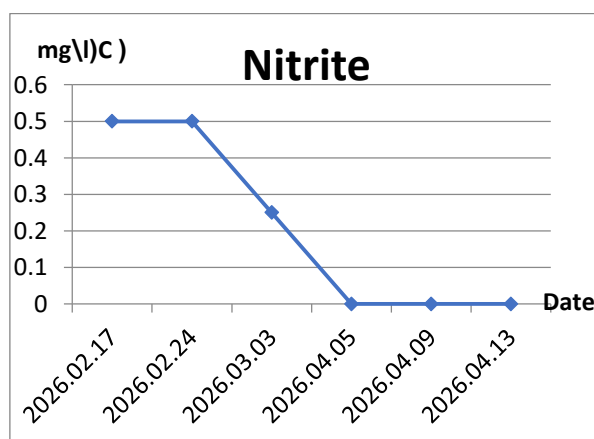


Figure 48 : Variations de la concentration des nitrites

Dureté carbonatée (KH)

Les mesures de la dureté carbonatée (KH) effectuées au cours de l'étude indiquent une fluctuation entre une valeur minimale de 10 °dH et un maximum de 20 °dH. La moyenne calculée sur l'ensemble de la période expérimentale s'établit à 14,16 °dH, comme le montre la (Fig. 49).

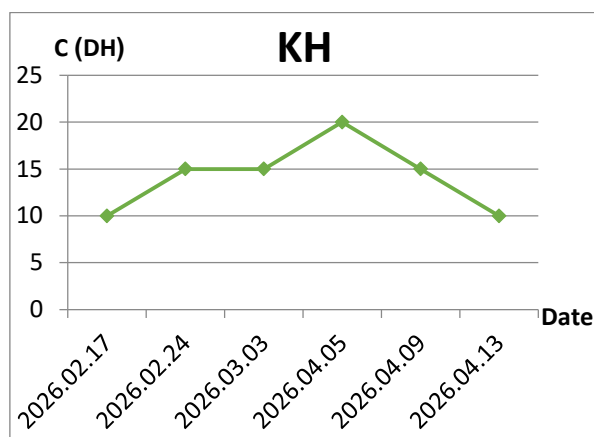


Figure 49 : Variations de la concentration de la dureté carbonatée (KH)

Dureté totale (GH)

La dureté totale (GH) s'est caractérisée par une stabilité absolue durant toute la période d'étude. La valeur est restée constante à 21 °dH, sans qu'aucune fluctuation ne soit observée, comme l'illustre la (Fig. 50).

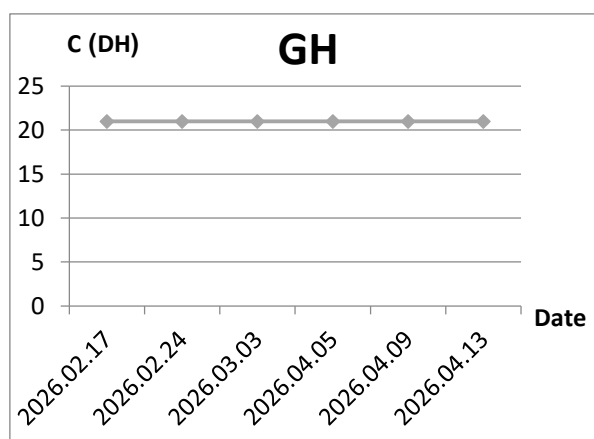


Figure 50 : Variations de la concentration la dureté générale de l'eau (GH)

Dioxyde de carbone (CO₂)

Le suivi du dioxyde de carbone (CO₂) dissous révèle des concentrations oscillant entre un minimum de 15 mg/l et un maximum de 25 mg/l. Sur l'ensemble de la période

d'étude, la valeur moyenne s'établit à 15,83 mg/l, conformément aux données présentées sur la (Fig. 51).

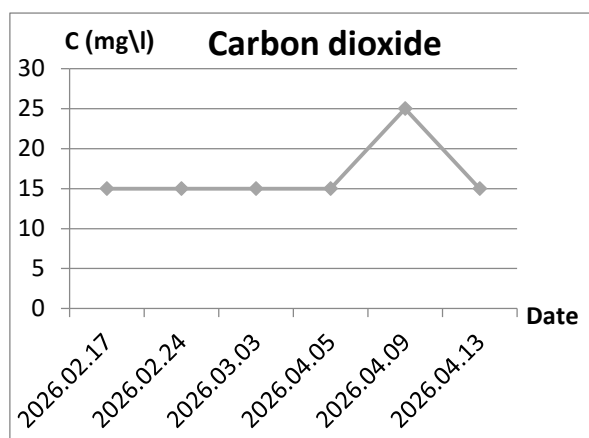


Figure 51 : Variations de la concentration de dioxyde de carbone (CO2)

Le pH

Les mesures du pH effectuées durant la période d'étude révèlent une fluctuation modérée des valeurs. Le minimum enregistré s'établit à 7,2, tandis que le maximum atteint 8,2. Sur l'ensemble de l'expérimentation, le pH moyen calculé est de 7,6, comme l'illustre la (Fig. 52).

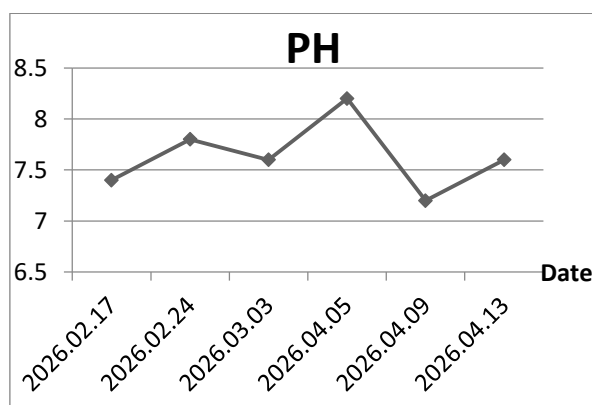


Figure 52 : Variations de la concentration le Ph

Chlorine

Le suivi de la concentration en chlore révèle des variations notables durant la période d'étude.

Les valeurs oscillent entre un minimum de 0 mg/l et un maximum de 1,5 mg/l, avec une moyenne générale établie à 0,65 mg/l. L'évolution de ces mesures est illustrée par la (Fig. 53).

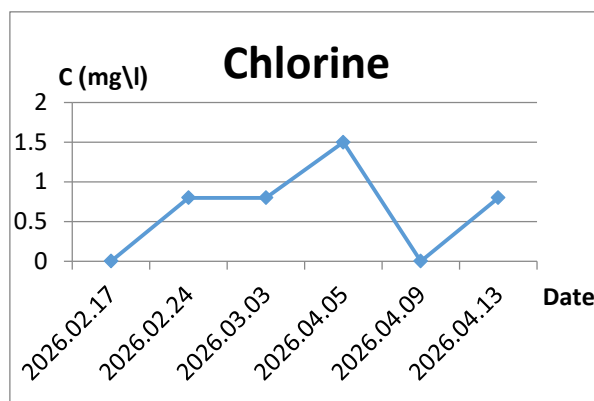


Figure 53 : Variations de la concentration de chlore

2. PARAMETRES DE CROISSANCE

2.1. Analyse des Mesures Initiales des Poissons

Les caractéristiques morphométriques initiales des poissons, réparties selon les quatre lots expérimentaux (0 %, 10 %, 20 % et 30 % d'incorporation de figue de barbarie), sont synthétisées dans le Tableau 14. Ces mesures établissent l'état de référence (t_0) indispensable pour évaluer ultérieurement l'impact nutritionnel des différents régimes formulés sur le développement des individus.

A. Homogénéité des effectifs et densité d'élevage

L'expérimentation a débuté avec un effectif standardisé par unité : 50 individus pour les lots témoin (0 %), 10 % et 20 %, et 49 individus pour le lot 30 %. Cette répartition équilibrée garantit une densité de stockage initiale quasi identique entre les bassins. Ce paramètre est crucial pour minimiser les biais expérimentaux liés à la compétition spatiale ou à l'accès à la nourriture.

B. Paramètres Pondéraux (W_i)

Contrairement à ce que l'on pourrait attendre d'une homogénéité parfaite, le poids initial moyen (W_i) montre de légères fluctuations entre les groupes :

Les lots 0 % (témoin), 10 % et 30 % affichent des poids moyens initiaux relativement homogènes et proches, se situant respectivement à 3,01 g, 2,89 g et 2,81 g.

Le lot 20 % se distingue par une moyenne initialement plus faible (2,42 g), avec des valeurs extrêmes oscillant entre 0,83 g (minimum) et 4,17 g (maximum).

C. Paramètres de Longueur (TLi et SLi)

Les données relatives à la longueur totale (TLi) et à la longueur standard (SLi) suivent de manière cohérente la dynamique observée pour le poids corporel :

Longueur Totale (TLi) : Les moyennes s'étendent de 4,98 cm (pour le lot 20 %, logiquement corrélé à son poids plus faible) à 5,34 cm (pour le lot témoin).

Longueur Standard (SLi) : Les valeurs moyennes se resserrent dans une fourchette étroite allant de 3,91 cm (lot 20 %) à 4,37 cm (lot témoin).

La linéarité entre ces longueurs et le poids initial confirme un développement morphologique harmonieux des poissons au moment de l'empoissonnement.

D. Paramètre de Hauteur (HLi)

La hauteur initiale (HLi) se révèle être le paramètre le plus stable et le plus homogène entre les différents lots. Les moyennes se situent dans un intervalle très restreint, allant de 1,53 cm (lot 20 %) à 1,79 cm (lot 30 %). Cette uniformité structurelle servira de base de calcul fiable pour déterminer le Gain de hauteur moyen (AHLG) en fin d'élevage, un indicateur complémentaire de la croissance somatique et de l'état d'embonpoint des poissons.

Tableau 12 : Mesures initiales du nombre de poissons dans les quatre bassins

Treatment	Paramètres	Wi (g)	TLi (cm)	SLi(cm)	HLi(cm)	Nombre de Poisson initiale
0%	Moy	3,01	5,34	4,37	1,60	50
	Min	1,02	4,00	3,00	1,00	

	Max	5,95	7,00	5,60	2,30	
10%	Moy	2,893	5,18	4,22	1,64	50
	Min	1,06	4	3	1,1	
	Max	5,62	6,5	5,5	2,1	
20%	Moy	2,42	4,98	3,91	1,53	50
	Min	0,83	3,5	2,6	1	
	Max	4,17	6,4	5	2	
30%	Moy	2,81	5,07	4,21	1,79	49
	Min	1,23	2,6	3	1,1	
	Max	5,45	6,6	5	1,9	

E* Poids initial (Wi) ; longueur initiale (Li) ; longueur finale (Lf); hauteur initial (HLi)

2.2. Paramètres de croissance finale des poissons à la fin de l'expérience

Cette section est dédiée à l'analyse des caractéristiques morphométriques des poissons au terme de la période expérimentale. L'examen des données synthétisées dans le Tableau 15 permet de caractériser l'impact de l'incorporation de la figue de barbarie sur le développement global des individus.

✓ Survie et Évolution des Effectifs

À la clôture de l'expérimentation, le taux de survie global s'avère particulièrement élevé, bien que de légères variations soient observables entre les structures d'élevage :

Le lot 20 % enregistre une survie optimale de 100 %, maintenant son effectif initial intact (50/50 individus).

Le lot 30 % affiche également une survie de 100 %, conservant la totalité de ses 49 individus de départ.

Le lot témoin (0 %) affiche une mortalité isolée, terminant avec 49 individus sur 50.

Le lot 10 % présente la mortalité la plus notable de l'expérience avec la perte de 5 individus, stabilisant son effectif final à 45 poissons.

✓ **Croissance Pondérale Finale (Wf)**

L'analyse du poids final moyen (Wf) met en évidence une tendance inversement proportionnelle au taux d'incorporation de la figue de barbarie :

Performances des lots 0 % et 10 % : Les poissons soumis au régime témoin (0%) et à l'incorporation minimale (10%) obtiennent les performances pondérales les plus robustes, atteignant respectivement des moyennes de 6,48 g et 6,37 g.

Évolution des lots 20 % et 30 % : Les lots nourris avec des taux d'incorporation plus élevés terminent avec des poids moyens inférieurs, à savoir 5,78 g (pour le lot 20 %) et 5,26 g (pour le lot 30 %).

Analyse comparative (t0 ; tf) : En confrontant ces résultats aux données initiales, on constate que les lots 20 % et 30 % affichent des valeurs finales très proches des moyennes observées lors de la mise en charge (respectivement 2,42 g et 2,81 g au départ). Bien qu'une croissance ait eu lieu, elle s'avère nettement plus ralentie à ces concentrations, suggérant un effet de saturation ou une moins bonne assimilation nutritionnelle de la figue de barbarie à forte dose.

✓ **Paramètres de Longueur et de Hauteur (TLf, SLf, HLf)**

Les dimensions linéaires confirment et complètent la dynamique de croissance corporelle :

Longueur Totale (TLf) : Le lot 10 % se démarque de façon singulière en affichant la longueur totale moyenne la plus élevée (7,36 cm), devançant le lot témoin (7,04 cm). Ce résultat indique un allongement squelettique significatif des poissons, en dépit d'un poids moyen légèrement inférieur à celui du témoin. Les lots 20 % et 30 % ferment la marche avec des longueurs respectives de 6,87 cm et 6,70 cm.

Longueur Standard (SLf) : Les valeurs moyennes se structurent de manière similaire, s'étendant de 5,30 cm (lot 30 %) à 5,74 cm (lot 10 %).

Hauteur Finale (HLf) : Ce paramètre architectural demeure homogène et stable pour les lots 0 %, 10 % et 20 %, gravitant autour de 2,10 cm. En revanche, une légère

dépression morphologique est enregistrée chez le lot 30 %, dont la hauteur moyenne n'atteint que 1,98 cm.

✓ Variabilité Individuelle et Hétérogénéité des Lots

Il subsiste une forte dispersion des valeurs individuelles (minima et maxima) au sein de l'ensemble des lots expérimentaux en fin d'expérience. À titre d'illustration, dans le lot 10 %, le spectre pondéral s'étend de 2,41 g à 12,60 g.

Cette hétérogénéité intra-lot, fréquente en aquaculture, peut être le reflet de deux phénomènes conjoints : d'une part, l'instauration de relations de dominance sociale lors de l'accès à la ration alimentaire (compétition interindividuelle), et d'autre part, l'existence de disparités métaboliques et génétiques individuelles face à l'utilisation des nutriments issus de la figue de barbarie.

Tableau 13 : Paramètres de croissance finale des poissons nourris avec un régime alimentaire

Treatment	Paramètres	Wf (g)	TLf (cm)	SLf(cm)	HLf(cm)	Nombre de poisson
0%	Moy	6,48	7,04	5,57	2,10	49
	Min	1,20	4,30	3,30	1,20	
	Max	12,52	9,20	7,40	2,90	
10%	Moy	6,37	7,36	5,74	2,17	45
	Min	2,41	5,60	4,40	1,60	
	Max	12,60	9,00	7,10	2,90	
20%	Moy	5,78	6,87	5,53	2,08	50
	Min	0,71	4,50	3,50	1,30	
	Max	12,08	9,10	7,20	2,90	
30%	Moy	5,26	6,70	5,30	1,98	49

	Min	1,47	4,60	3,60	1,30	
	Max	10,22	8,60	6,80	2,60	

* Poids initial (Wi) ; poids final (Wf) ; longueur initiale (Li) ; longueur finale (Lf) ; hauteur initial (HLi) , hauteur finale (HLf) ,

Gain de poids moyen (AWG)

Le gain de poids moyen (AWG - Average Weight Gain) est un indicateur fondamental de l'efficacité métabolique des régimes testés. Il représente la différence entre le poids final moyen et le poids initial moyen pour chaque lot. Les résultats du gain de poids moyen pour les quatre traitements sont consignés dans le **Tableau 14** ci-dessous :

Tableau 14 : Gain de poids moyen (AWG) des poissons

Treatment	AWG
0%	3.47
10%	3.48
20%	3.35
30%	2.44

*Gain de poids moyen (AWG)

L'examen des données montre que les meilleures performances de croissance sont obtenues avec les lots 0 % (3,47 g) et 10 % (3,48 g), dont les résultats sont quasi identiques. Une légère baisse de performance est amorcée à 20 % (3,35 g), tandis que le lot 30 % affiche le gain de poids le plus faible de l'expérience avec seulement 2,44 g. L'analyse de la variance (ANOVA), illustrée par la (**Fig. 54**) , confirme l'existence d'une différence statistiquement hautement significative entre les quatre traitements ($P = 1.10 \times 10^{-11} < 0,001$) .

Cette forte significativité statistique suggère que l'incorporation de la figue de barbarie influence directement la croissance pondérale.

Si le taux de 10 % semble être parfaitement toléré par les poissons (résultat équivalent au témoin), un taux d'incorporation de 30 % semble en revanche inhiber la croissance, possiblement en raison d'une appétence moindre ou de la présence de facteurs antinutritionnels à haute dose.

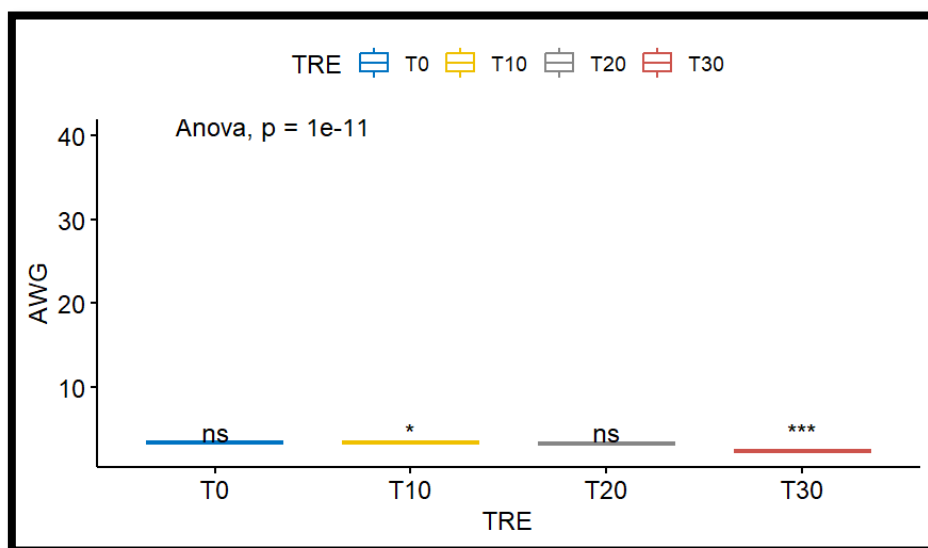


Figure 54 : Valeurs en gain moyenne de poids (g) entre les quatre traitements

Gain de longueur totale moyenne (ATLG)

Le gain de longueur totale moyenne (ATLG - *Average Total Length Gain*) permet d'évaluer la croissance linéaire des poissons en réponse aux différents régimes. Ce paramètre complète l'analyse pondérale en précisant le développement morphologique des individus. Les résultats du gain de longueur pour les quatre lots sont résumés dans le **Tableau15**

Tableau 15 : Gain de longueur totale moyen (ATLG)

Treatment	ATLG
0%	1.7
10%	2.18
20%	1.89
30%	1.63

*Gain de longueur totale moyen (ATLG)

Les données indiquent que le développement linéaire le plus important a été observé chez les poissons du groupe 10 % avec un gain moyen de 2,18 cm, surpassant le lot témoin (1,70 cm). À l'inverse, le groupe 30 % présente la croissance la plus faible avec un gain de 1,63 cm.

L'analyse de la variance (ANOVA), illustrée par la (**Fig.55**), révèle une différence statistiquement hautement significative ($P = 3.4 \times 10^{-9} < 0,001$) entre les quatre doses étudiées.

Cette significativité démontre que le taux d'incorporation de figue de barbarie a un impact réel sur la croissance squelettique des poissons. Bien que les valeurs brutes semblent proches, la puissance statistique du test ANOVA confirme que le régime à 10 % favorise de manière optimale l'allongement des poissons par rapport aux autres traitements, tandis qu'une dose de 30 % semble limiter ce développement.

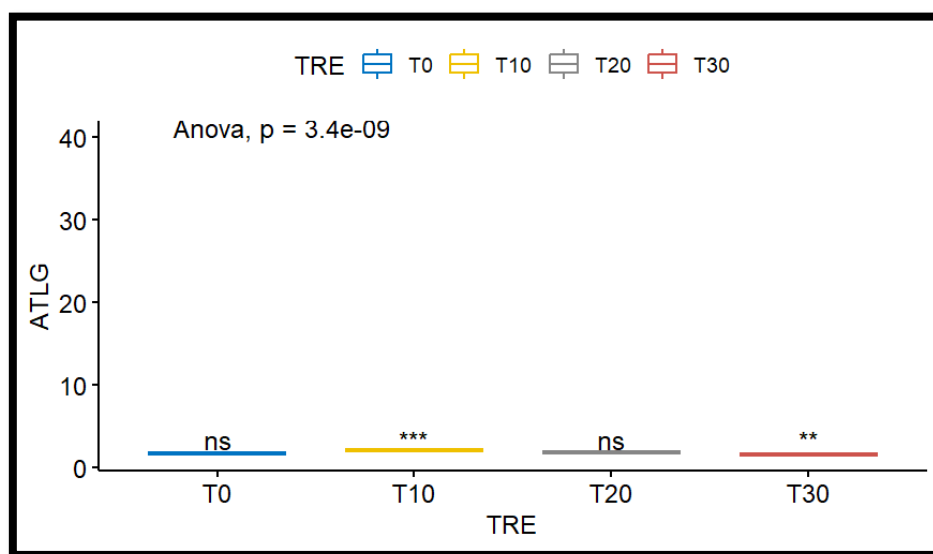


Figure 55 : Valeurs en Gain de longueur total moyen (cm) entre les quatre traitements

Gain de longueur standard moyenne (ASLG)

Le gain de longueur standard moyenne (ASLG - *Average Standard Length Gain*) mesure la croissance du corps du poisson en excluant la nageoire caudale. C'est un indicateur précis de la croissance structurelle de la colonne vertébrale. Les résultats du gain de longueur standard pour les quatre lots sont présentés dans le **Tableau 16**

Tableau 16 : Gain de longueur standard moyenne

Treatment	ASLG
0%	1.2
10%	1.52
20%	1.62
30%	1.09

*Gain de longueur totale moyen (ATLG)

Les résultats indiquent que le gain de longueur standard le plus important est enregistré dans le lot 20 % avec une valeur de 1,62 cm, suivi de près par le lot 10 % (1,52 cm). Le lot témoin (1,20 cm) et le lot 30 % (1,09 cm) présentent les performances les plus faibles.

L'analyse statistique par ANOVA (**Fig. 56**) confirme une différence hautement significative entre les quatre groupes étudiés ($P = 2,3 \times 10^{-9} < 0,001$).

Cette tendance suggère que l'incorporation de la figue de barbarie jusqu'à un taux de 20 % favorise le développement structurel du poisson de manière plus marquée que le régime témoin. Cependant, au-delà de ce seuil (à 30 %), on observe une chute brutale de la croissance standard, ramenant les performances à un niveau inférieur à celui du lot témoin.

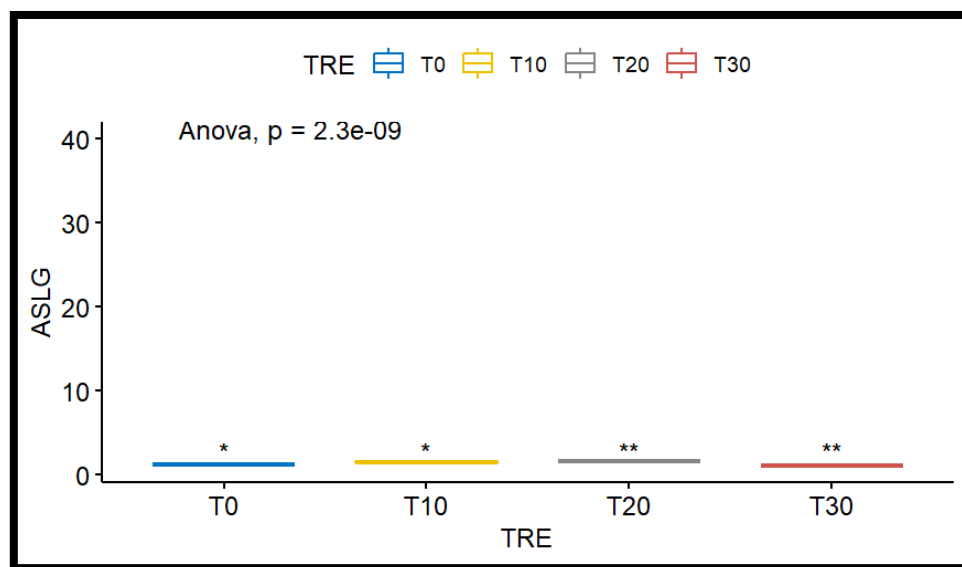


Figure 56 :Évaluation Gain de longueur standard moyenne (cm) entre les quatre traitements

Gain de hauteur moyen (AHLG)

Le gain de hauteur moyen (AHLG - Average Height Gain) complète les mesures de croissance longitudinale en évaluant le développement dorso-ventral des poissons. Ce paramètre est souvent corrélé à l'état d'embonpoint et à la musculature dorsale des individus.

Les résultats du gain de hauteur pour les quatre lots sont consignés dans le **Tableau 17** :

Tableau 17:Gain de hauteur moyen (AHLG) des poissons selon les traitements.

Treatment	AHLG
0%	0.5
10%	0.53
20%	0.55
30%	0.19

*Gain de hauteurs moyen (AHLG)

Les mesures indiquent que les poissons des lots 10 % (0,53 cm) et 20 % (0,55 cm) présentent les gains de hauteur les plus élevés, surpassant légèrement le lot témoin

(0,50 cm). En revanche, on observe une chute drastique du développement en hauteur pour le lot 30 %, qui enregistre la valeur la plus faible avec seulement 0,19 cm.

L'analyse statistique par ANOVA (illustrée par la (**Fig. 57**) confirme que cette différence est hautement significative ($P = 5,4 \times 10^{-8} < 0,001$).

Cette observation renforce l'idée d'un "seuil de tolérance" nutritionnel. Jusqu'à une incorporation de 20 %, la figue de barbarie semble favoriser un développement harmonieux du corps (longueur et hauteur). Cependant, l'incorporation à 30 % semble induire une cassure nette dans la croissance globale de l'animal, affectant ici de manière très marquée sa croissance dorso-ventrale.

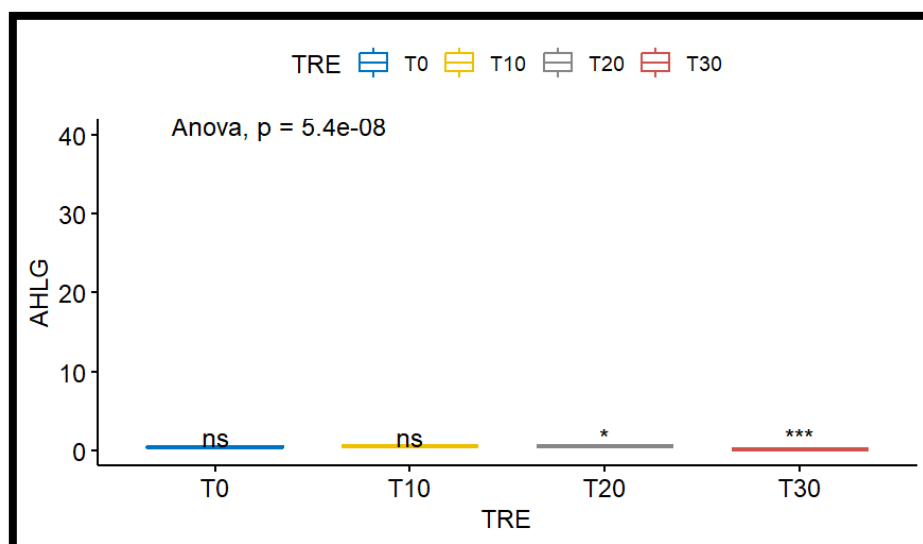


Figure 57 : Gain de hauteurs moyen (g) entre les quatre traitements

Taux de croissance journalier (GR)

Le taux de croissance journalier (GR - *Growth Rate*) exprime la vitesse moyenne à laquelle le poisson gagne du poids chaque jour durant la période expérimentale. C'est un indicateur dynamique essentiel pour évaluer la rentabilité d'un régime alimentaire. Les valeurs calculées pour les quatre traitements sont regroupées dans le **Tableau 28** :

Tableau 18 :Taux de croissance journalier (GR)

Treatment	GR
0%	6.79
10%	6.82
20%	6.57
30%	4.79

*Taux de croissance par jour (GR)

Les résultats montrent que la vitesse de croissance la plus élevée est atteinte par le lot 10 % avec 6,82 g/jour, suivi de très près par le lot témoin (6,79 g/jour). Le lot 20 % montre une légère baisse de régime avec 6,57 g/jour, tandis que le lot 30 % présente une croissance nettement ralentie avec un taux de 4,79 g/jour. L'analyse statistique par ANOVA (illustrée par la **(Fig. 58)** indique une valeur $P = 0,55$. Une valeur $P = 0,55$ (supérieure à 0,05) signifie que, d'un point de vue strictement statistique, la différence de gain quotidien n'est pas considérée comme significative entre les groupes, malgré l'écart observé visuellement pour le lot 30 %. Cela suggère que la variabilité individuelle au sein de chaque bassin est importante par rapport à l'effet du traitement lui-même sur ce paramètre précis.

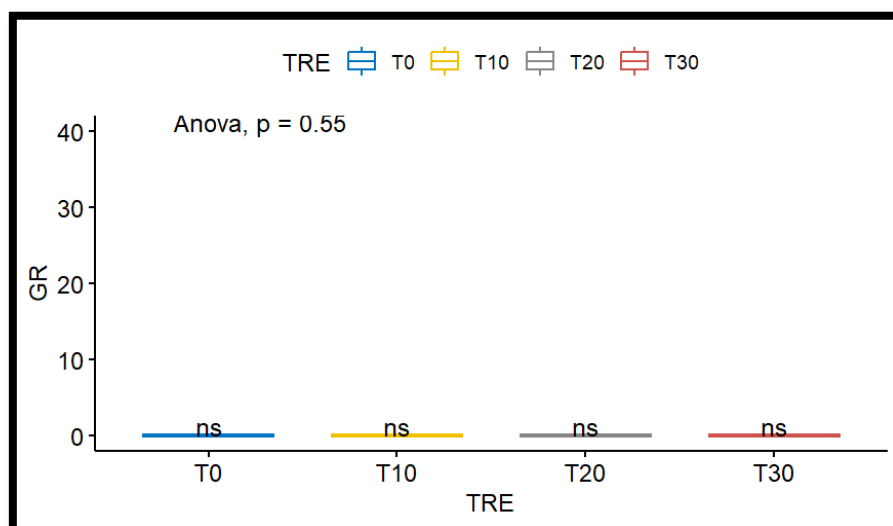


Figure 58 :Valeurs en Gain de Poids Quotidien (g) entre les quatre traitements

 Taux de croissance spécifique (SGR)

Le taux de croissance spécifique (SGR - *Specific Growth Rate*) est un indicateur plus précis que le simple gain de poids, car il exprime la croissance en pourcentage de gain de poids par jour, tenant compte de la taille initiale des individus. Les résultats du SGR pour les quatre lots sont consignés dans le **Tableau 19** :

Tableau 19 : Taux de croissance spécifique (SGR) des poissons selon les traitements.

Treatment	SGR
0%	0.65
10%	0.67
20%	0.74
30%	0.53

*Taux de croissance spécifique (SGR)

Les résultats indiquent que le lot 20 % présente le SGR le plus élevé (0,74 %/jour), suivi du lot 10 % (0,67 %/jour). La valeur la plus faible est observée pour le lot 30 % (0,53 %/jour).

L'analyse de la variance (ANOVA), illustrée par la(**Fig.59**) , confirme que cette différence est statistiquement hautement significative ($P = 1,1 \times 10^{-5} < 0,001$). Ces données suggèrent qu'une incorporation modérée de figue de barbarie (notamment à 20 %) optimise le potentiel de croissance relative des poissons par rapport au régime standard.

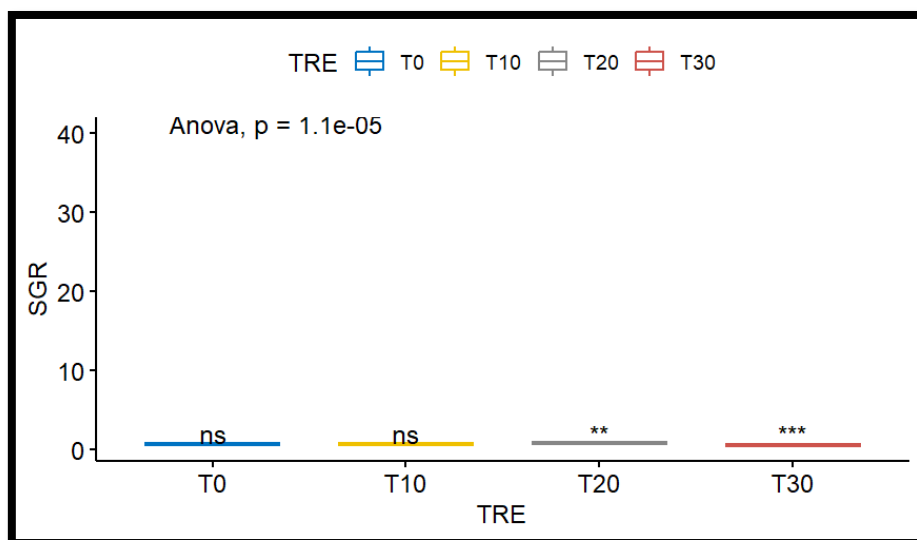


Figure 59 : Valeurs en Taux croissance spécifique (%) entre les quatre traitements

Taux de conversion alimentaire (FCR)

L'indice de conversion alimentaire (FCR - *Feed Conversion Ratio*) est un paramètre biologique et économique fondamental. Il permet de quantifier l'efficacité avec laquelle les poissons transforment l'aliment distribué en biomasse corporelle. Un indice **faible** traduit une meilleure assimilation nutritionnelle. Les résultats de l'indice de conversion pour les quatre régimes sont présentés dans le **Tableau 20** :

Tableau 20 : Indice de conversion alimentaire (FCR) selon les traitements.

Treatment	FCR (%)
0%	3.95
10%	4.51
20%	3.34
30%	5.44

*Taux de conversion alimentaire (FCR)

Les résultats mettent en évidence une variation marquée de l'efficacité alimentaire en fonction du taux d'incorporation de figue de barbarie. L'indice le plus performant (le plus bas) est enregistré pour le lot 20 % avec une valeur de 3,34, ce qui suggère une synergie optimale entre l'aliment de base et les nutriments de la figue de barbarie à cette dose.

À l'inverse, le groupe 30 % présente l'indice le plus élevé (5,44), ce qui indique une baisse de l'efficacité métabolique ou une moins bonne digestibilité de l'aliment à ce niveau d'incorporation.

L'analyse statistique (ANOVA, (**Fig. 60**) confirme que cette variation est hautement significative ($P = 1,5 \times 10^{-13} < 0,001$) entre les quatre groupes. Ces données démontrent que le régime à 20 % optimise l'utilisation de la ration alimentaire, tandis que le passage à un taux de 30 % dégrade fortement ce paramètre.

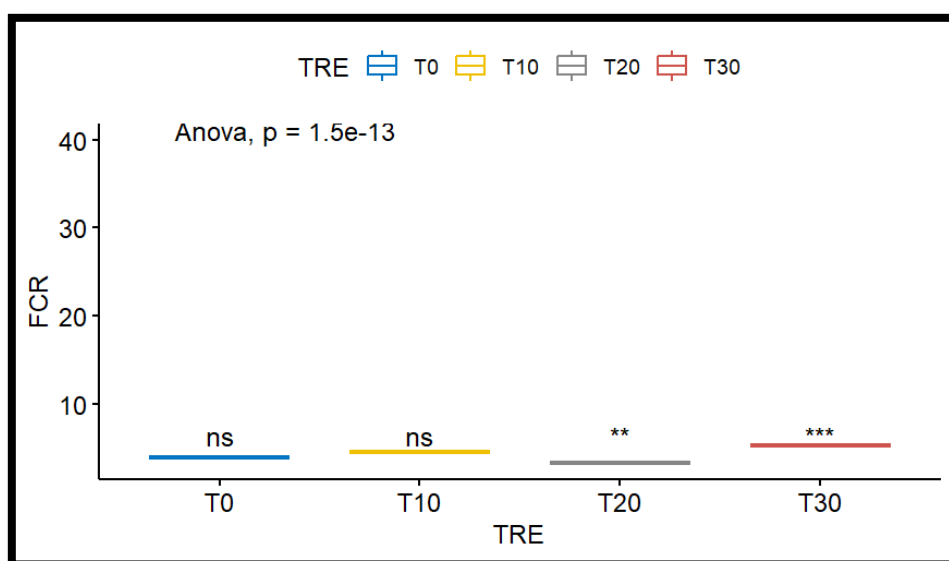


Figure 60 : Valeurs en taux de conversion alimentaire (%) entre les quatre traitements

Facteur de condition (K)

Le facteur de condition (K), ou indice d'embonpoint de Fulton, est un indicateur de l'état de santé physiologique et de la "propreté" du développement du poisson. Il permet de déterminer si le poisson est plus "lourd" pour sa longueur, reflétant ainsi ses réserves énergétiques.

Les résultats du facteur de condition pour les quatre lots sont regroupés dans le **Tableau 21** :

Tableau 21 : Facteur de condition (K) des poissons en fin d'expérience

Treatment	K
0%	1.86

10%	1.6
20%	1.78
30%	1.75

*Facteur de condition (K)

Les résultats montrent que le facteur de condition le plus élevé est observé chez le lot témoin (1,86), suivi de près par les lots 20 % (1,78) et 30 % (1,75). Le lot 10 % présente la valeur la plus faible avec 1,60. L'analyse de la variance (ANOVA), illustrée par la (**Fig. 61**), révèle une différence hautement significative ($P = 1,8 \times 10^{-6} < 0,001$) entre les quatre traitements.

Bien que les valeurs de K soient toutes supérieures à 1 (ce qui indique généralement un bon état de santé global des poissons dans tous les bassins), la supériorité statistique du lot témoin suggère que le régime standard favorise un embonpoint plus prononcé. À l'inverse, l'incorporation de figue de barbarie, particulièrement à 10 %, semble orienter la croissance davantage vers un allongement du corps (comme vu avec l'ATLG) plutôt que vers une accumulation de masse par rapport à la taille.

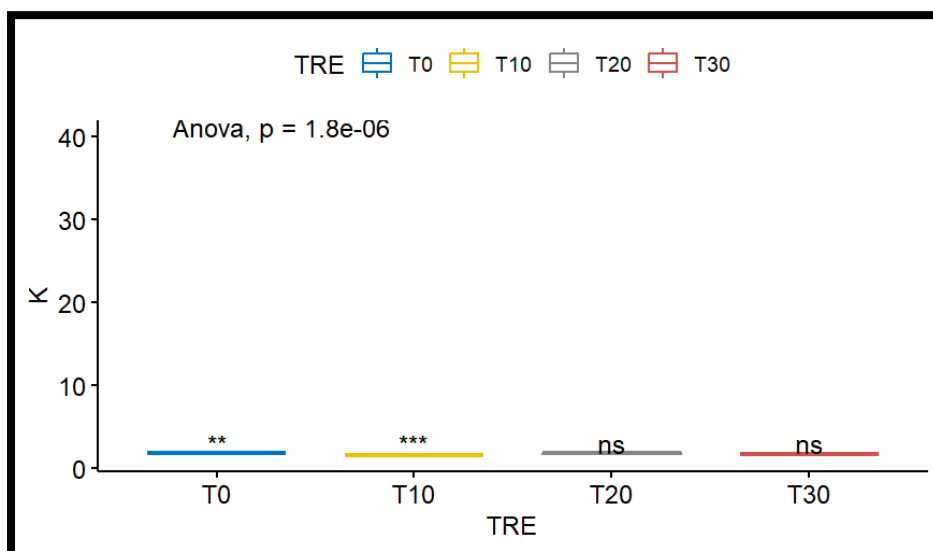


Figure 61 : Valeurs de Facteur de condition (%) entre les quatre traitements

Taux de survie (SR)

Le taux de survie (SR - Survival Rate) est l'indicateur ultime de la tolérance biologique des poissons aux régimes alimentaires testés. Il permet de vérifier si l'incorporation de la figue de barbarie présente une éventuelle toxicité ou, au contraire, un effet protecteur. Les résultats de survie pour les quatre lots sont présentés dans le **Tableau 22** :

Tableau 22 : Taux de survie (SR) des poissons à la fin de l'expérience.

Treatment	SR (%)
0%	98
10%	90
20%	100
30%	100

*Taux de survie (RS)

Les résultats démontrent une excellente viabilité globale des individus. Les lots 20 % et 30 % affichent un taux de survie maximal de 100 %, ne déplorant aucune perte durant toute la durée de l'étude.

Le lot témoin présente également une survie très élevée de 98 %. En revanche, le lot 10 % enregistre le taux le plus faible avec 90 %, ce qui correspond aux 5 individus manquants observés lors du comptage final (45 poissons restants sur 50 initiaux).

L'analyse statistique ANOVA, (**Fig.62**) confirme que ces variations sont hautement significatives ($P < 2,2 \times 10^{-16}$).

Ces données suggèrent que l'incorporation de figue de barbarie à des doses de 20 % et 30 % pourrait avoir un effet bénéfique sur la résilience des poissons, garantissant une survie totale. La baisse de survie observée à 10 % pourrait être liée à des facteurs externes ou à une sensibilité individuelle accrue, mais reste dans des normes acceptables pour une expérimentation aquacole.

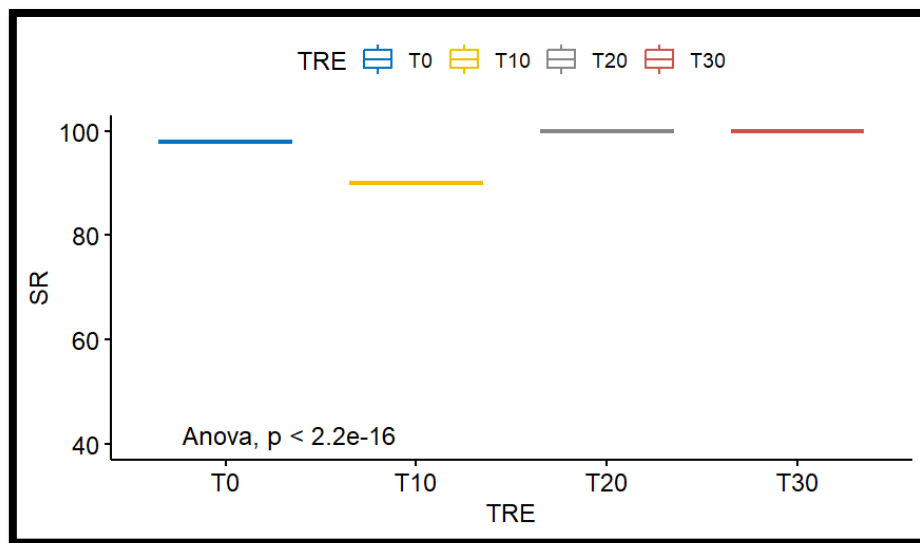


Figure 62 : Valeurs en Taux de survie (%) entre les quatre traitements

Chapitre 4 : Discussion

Chapitre4: Discussion

Les paramètres physico-chimiques de l'eau d'élevage enregistrés durant cette étude s'inscrivent globalement dans les normes de croissance optimales. En effet, la température observée (entre 25 °C et 28 °C) correspond parfaitement aux exigences biologiques du tilapia. Le maintien dans cette plage est crucial, car tout écart thermique significatif qu'il soit inférieur à 17 °C (**FAO, 2023**) ou supérieur à 36 °C s'avère délétère.

De telles conditions extrêmes engendrent un stress oxydatif chronique et perturbent les systèmes reproducteur et immunitaire, freinant ainsi le développement des poissons (**El-Sayed, 1999**). Au-delà de la croissance, la température agit comme un régulateur central influençant le métabolisme, la toxicité de l'ammoniac et la résistance globale aux pathologies (**El-Sayed, 1999**).

L'oxygène dissous constitue un paramètre environnemental critique en aquaculture, sa concentration dépendant de la température, de la salinité, de la pression atmosphérique et de la densité de mise en charge (**Pedrazzani et al., 2020**). Une hypoxie prolongée engendre un stress physiologique sévère, un retard de croissance et un affaiblissement du système immunitaire, proportionnels à l'intensité de la carence (**Wing et al., 2021**). Chez le tilapia rouge, il est établi qu'un taux de saturation tombant entre 45 % et 50 % (soit 3 à 3,5 mg/l à 28-30 °C) ralentit significativement le métabolisme et l'activité respiratoire. En deçà de 10 % à 20 % de saturation (0,7 à 1,6 mg/l à 26-35 °C), les poissons entrent en état de détresse respiratoire aiguë, pouvant conduire à une mortalité élevée.

L'ammoniac est l'un des composés les plus toxiques en environnement aquatique. À fortes concentrations, il induit une neurotoxicité aiguë se manifestant par une hyperexcitabilité, une hyperventilation, des mouvements erratiques, une perte d'équilibre et des convulsions, évoluant rapidement vers une issue fatale (**Cooper et al., 1987**).

À des niveaux inférieurs, bien que non létaux, l'ammoniac exerce un impact délétère sur les performances zootechniques. Il entraîne notamment une anorexie, une baisse de l'indice de consommation (FCR) et un ralentissement marqué de la croissance,

reflétant un dysfonctionnement général des fonctions métaboliques (**Person-Le Ruyet et al., 1997a, 1997b**).

Le processus de nitrification se déroule en deux étapes, l'ammoniac est d'abord oxydé en nitrite (NO_2), puis le nitrite est oxydé en nitrate (NO_3).

Les résultats de notre étude ont montré que le taux de nitrite variait entre la valeur la plus élevée (0,5 mg/l) et la valeur la plus faible (0 mg / l). Qui est considéré comme un domaine sans risque selon des études antérieures. Les espèces de tilapia sont généralement considérées comme plus tolérantes aux nitrites que de nombreux poissons d'eau douce d'élevage. Néanmoins, une exposition sublétales aux nitrites est connue pour avoir des effets significatifs sur les paramètres hématologiques et biochimiques du tilapia du Nil, provoquant des augmentations du cortisol, du glucose et de la cholinestérase (**Cogun et al., 2017**).

La dynamique des composés azotés est un déterminant majeur de la performance en système d'aquaculture en recirculation (RAS). Concernant les nitrates (NO_3^-), bien que le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) présente une tolérance notable, des concentrations excédant 500 mg/L s'avèrent délétères, entraînant un ralentissement de la croissance et une dégradation de l'état de santé général (**Monsees et al., 2017 ; Emam et al., 2025**). Comme pour d'autres paramètres physico-chimiques, la toxicité des nitrites est modulée par les conditions du milieu, notamment le taux d'oxygène dissous, le pH, la densité de peuplement et l'intensité de l'alimentation (**Mengistu et al., 2020**).

Par ailleurs, les nitrates (NO_3^-), produits finaux de la nitrification, affichent une toxicité bien moindre. Dans cette étude, les concentrations mesurées se situaient dans la zone optimale (0 à 20 mg/L). Dans les systèmes RAS, la gestion des nitrates repose généralement sur le renouvellement quotidien de l'eau. Toutefois, il convient de souligner que l'optimisation du temps de rétention hydraulique permet de réduire la dépendance au renouvellement d'eau en favorisant les processus de dénitrification biologique.

Au cours de cette expérimentation, le pH de l'eau a été maintenu dans une plage comprise entre 7,2 et 8,2. Ces valeurs correspondent aux normes optimales pour le développement du tilapia du Nil, la neutralité étant généralement considérée comme le

niveau idéal pour la physiologie de cette espèce (**Debnath et al., 2023 ; Tesfahun et al., 2018**).

Le maintien d'un pH stable est primordial : des variations extrêmes, ou une exposition prolongée à des valeurs hors de cet intervalle, peuvent engendrer des lésions épithéliales au niveau des branchies, perturber l'homéostasie interne et accroître significativement la sensibilité aux agents pathogènes.

Par ailleurs, il convient de souligner que le pH est un paramètre multifactoriel. Son évolution est étroitement liée à la densité de mise en charge et à la dureté de l'eau. De plus, le pH exerce une influence directe sur la cinétique du cycle de l'azote, notamment en modulant l'équilibre entre l'ammoniac non ionisé (NH_3) et l'ion ammonium (NH_4^+), un processus déterminant pour la gestion de la qualité de l'eau dans nos conditions d'élevage (**Da Lemos et al., 2018**).

Dans le cadre de cette étude, nous avons exploré l'utilisation de la farine de figue de Barbarie en tant que complément végétal incorporé à des taux variables, en substitution partielle du tourteau de soja. Ce choix nutritionnel se justifie par la composition biochimique riche de la figue de Barbarie, qui constitue une source intéressante de fibres, de glucides solubles, de lipides, de minéraux et de composés antioxydants (**Nebbache et al., 2009 ; Abidi et al., 2009 ; Boudechiche, 2012 ; Andreu et al., 2017 ; Mena et al., 2018 ; El-Beltagi et al., 2019**). L'objectif principal de ces formulations est d'évaluer l'impact de ce substitut végétal sur les performances de croissance du tilapia rouge (*Oreochromis sp.*) en comparaison avec une alimentation témoin exclusivement basée sur le tourteau de soja.

Bien que le traitement T20 n'ait pas généré le gain de poids quotidien (AWG) le plus élevé comparativement au groupe témoin (T0), il s'est distingué par les meilleures performances globales. En effet, ce traitement a enregistré le taux de croissance spécifique le plus élevé ($\text{SGR} = 0,74$) ainsi que le coefficient de conversion alimentaire le plus optimal ($\text{FCR} = 3,34$). Ces écarts, statistiquement significatifs ($P < 0,01$), démontrent une efficacité supérieure dans la conversion de l'aliment en biomasse, un indicateur de rentabilité économique majeur pour les exploitations piscicoles.

Cette amélioration de l'indice de conversion nutritionnelle peut être attribuée à la composition spécifique de la farine de figue de Barbarie intégrée au T20. La présence notable de fibres alimentaires (82-84 %) ainsi que de composés bioactifs, tels que la rutine et la quercétine, favoriserait l'intégrité de la barrière intestinale et optimiserait l'absorption des nutriments (**Masmoudi et al., 2024**). Ces résultats suggèrent que l'ajout de ce complément végétal permet une valorisation métabolique plus efficace de la ration alimentaire.

Ces résultats corroborent les conclusions de travaux antérieurs menés sur d'autres espèces monogastriques. À titre d'exemple, (**Cherif et al. 2022**) ont démontré que l'incorporation de 20 % de graines de figue de Barbarie dans la ration des poulets de chair améliore significativement l'indice de consommation et le rendement en carcasse. De même, (**Benali et al. 2024**) ont observé chez le lapin qu'un ratio similaire favorise l'augmentation de la surface d'absorption intestinale et optimise la digestibilité des fibres et des minéraux.

À l'inverse, l'utilisation d'un taux d'incorporation de 30 % (T30) a induit une baisse significative du gain de poids quotidien (AWG) et du taux de croissance spécifique (SGR), accompagnée d'une dégradation marquée du coefficient de conversion alimentaire (FCR = 5,33), surpassant ainsi les valeurs du groupe témoin.

Ce phénomène de seuil d'efficacité est cohérent avec les observations de Salem et al. (2024), qui, lors de l'utilisation d'écorces de figue de Barbarie chez le tilapia, ont noté une diminution des performances zootechniques dès que la dose dépassait 4 g/kg. Ce déclin au-delà de 20 % d'incorporation pourrait s'expliquer par :

Une réduction de l'appétence : L'altération des propriétés organoleptiques de l'aliment à forte concentration.

Des facteurs antinutritionnels : La présence de composés secondaires (tels que certains polyphénols ou tanins en excès) susceptibles de limiter l'efficacité digestive et l'absorption des nutriments lorsqu'ils sont ingérés en quantités élevées.

Le traitement T10 a généré des performances zootechniques comparables à celles du groupe témoin (T0), suggérant que ce niveau d'incorporation, bien qu'innocent

pour la santé des poissons, n'offre aucun avantage compétitif notable par rapport au traitement T20.

En revanche, une observation significative concerne le taux de survie : les traitements T20 et T30 ont atteint une survie totale (100 %), dépassant ainsi le groupe témoin (98 %) et le traitement T10 (90 %). Ces résultats tendent à démontrer que l'inclusion de la farine de figue de Barbarie exerce un effet protecteur sur le système immunitaire des tilapias. Cette hypothèse est soutenue par les travaux de Salem et al. (2024), qui ont mis en évidence l'aptitude des dérivés de la figue de Barbarie — notamment ses composés antioxydants à réduire les marqueurs du stress oxydatif (tels que la malondialdéhyde, MDA) et à stimuler l'activité des enzymes antioxydantes endogènes. L'amélioration du taux de survie, particulièrement marquée au-delà du seuil de 10 % d'incorporation, souligne le rôle potentiel de ces composés bioactifs comme agents de prévention contre les stress environnementaux et métaboliques en milieu d'élevage

Conclusion

Conclusion

Cette étude expérimentale, menée du 22 février au 14 avril 2026, visait à évaluer l'impact de l'incorporation de la figue de barbarie dans l'alimentation des poissons sur leur croissance et leur survie, tout en assurant un suivi rigoureux de la qualité du milieu d'élevage.

1. Qualité de l'environnement d'élevage

Le suivi des paramètres physico-chimiques a démontré que les conditions environnementales sont restées globalement favorables au développement des individus. La température moyenne de l'eau s'est établie à 26,16 °C. Les paramètres azotés, tels que les nitrates (moyenne de 10 mg/l) et les nitrites (moyenne de 0,2 mg/l), sont restés dans des normes acceptables, garantissant l'absence de toxicité environnementale majeure durant toute l'expérience.

2. Performances de croissance et survie

L'analyse des paramètres zootechniques révèle que l'incorporation de la figue de barbarie influence de manière significative le développement des poissons :

Survie optimale : Les taux d'incorporation de 20 % et 30 % ont permis d'atteindre une survie maximale de 100 %, suggérant un effet bénéfique de la figue de barbarie sur la résilience et la viabilité des individus par rapport au lot témoin (98 %).

Croissance pondérale et linéaire : Le lot nourri avec 10 % de figue de barbarie a montré les meilleures performances, avec un gain de poids moyen (3,48 g) et un gain de longueur totale (2,18 cm) supérieurs ou équivalents au lot témoin.

Efficacité alimentaire : Le taux d'incorporation de 20 % s'est avéré être le plus efficace sur le plan métabolique, enregistrant l'indice de conversion alimentaire (FCR) le plus bas (3,34) et le taux de croissance spécifique (SGR) le plus élevé (0,74 %/jour).

Seuil de tolérance : À l'inverse, une incorporation à 30 % semble marquer un seuil critique, entraînant une chute significative de la croissance (AWG de 2,44 g et SGR de 0,53 %/jour) et une dégradation de l'efficacité alimentaire (FCR de 5,44).

En conclusion, l'utilisation de la figue de barbarie comme ingrédient alimentaire en aquaculture présente un potentiel réel. Le taux d'incorporation optimal se situe entre 10 % et 20 %, permettant de maximiser à la fois la croissance squelettique, l'efficacité de la transformation alimentaire et la survie totale des poissons. En revanche, l'utilisation de doses supérieures (30 %) est déconseillée car elle inhibe le développement global de l'animal.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour la formulation d'aliments aquacoles plus durables et économiques, utilisant des ressources locales pour améliorer la résilience des élevages.

Références Bibliographies

Références Bibliographies

- A .Nerd, A. Karadi, Y. Mizhari (1991). Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica*). *Plant Soil*, 137:201-207.
- Abd El-Hack ME, Abdelnour SA, Khafaga AF, Taha AE, Abdel-Latif HM (2021). *Nigella sativa* seeds and its derivatives in fish feed. In (Black cumin (*Nigella sativa*) seeds: chemistry, technology, functionality, and applications). Springer, Cham, pp 297-315.
- Abdel-Tawwab M, Hagraas AE, Elbaghdady HAM, Monier MN (2014). Effets du taux d'oxygène dissous et de la densité de peuplement sur la croissance, l'utilisation des aliments, la physiologie et l'immunité innée du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). *J. Appl. Aquac.*, 26:340-355. doi:10.1080/10454438.2014.959830
- Abdel-Tawwab M, Hagraas AE, Elbaghdady HAM, Monier MN (2015). Effets de l'oxygène dissous et de la taille des poissons sur le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L.) : croissance, composition corporelle et immunité innée. *Aquacult. Int.*, 23:1261-1274. doi:10.1007/s10499-015-9882-y
- Abidi S., BenSalem H., Martín-García A.I., Molina-Alcaide E. (2009). Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 149:333–340. doi:10.1016/j.anifeedsci.2008.06.00
- Aderolu, A. Z., Seriki, B. M., Apatira, A. L., & Ajaegbo, C. U. (2010). Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerlings and juveniles. *Afr. J. Food Sci.*, 4(5):286-290. <https://doi.org/10.5897/AJFS.9000110>
- Andreu L., Nuncio-Jáuregui N., Carbonell-Barrachina A.A., Legua P., Hernández F. (2017). Antioxidant properties and chemical characterization of Spanish *Opuntia ficus-indica* Mill. cladodes and fruits. *J. Sci. Food Agric.*, 98:566–1573. doi:10.1002/jsfa.8628
- Anonyme (2007). <http://www.cactustunisie.com> (Consulté le 19/05/2012).
- Arba, M. (2009). Le cactus, *Opuntia* , une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. Symposium International "Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)":215-222.
- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. (1992). Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus* (L.) Miller. *J. Hortic. Sci.*, 3:307-312
- Behmene, I. E., Bachir Bouiadjra, B., Attou, M., & Homrani, A. (2022). Embryonic and larval development stages of the African catfish *Clarias gariepinus*(Burchell, 1822) (Teleostei, Clariidae) in the Ouargla, Algeria. *J.*

- Aquac. Fish Health, 11(3):327-334.
- Ben Nacer Fatma Zahra, Derdourb Hanan (2021). Contribution à l'étude de l'ethnobotanique et de la toxicité de deux plantes médicinales de la famille des Astéracées : *Artemisia herba-alba* et *Artemisia campestris* sur les larves de moustiques dans la région de Oued Souf. Mémoire de Master, Université Chahid Hamma Lakhdar – El Oued.
 - Benali, N., Belabbas, R., Sais, M., AinBaziz, H., Djellout, B., Ettouahria, F.N., Oulebsir, N., Brecchia, G., Quattrone, A., Curone, G. and Menchetti, L. (2024). Effect of using prickly pear seed cake (*Opuntia ficus indica* L.) on growth performance, digestibility, physiological and histometric parameters in rabbits. Vet. Sci., 11(10):513. doi:10.3390/vetsci11100513
 - Benattia, FK. (2017). Analyse et application des extraits de pépins de figues de Barbarie. Thèse de doctorat en chimie, Université Abiubeker Belkaid Tlemce
 - Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Hemre, G.-I., Williams, M. (2005). Feeding 9 billion fish on the menu – Food security. Food Security. doi:10.1007/s12571-015-0427.
 - Benkaddouri, A. (2011). Etude des huiles essentielles de l'*Opuntia ficus-indica* région de Mascara. Mémoire du magister, Université d'Oran. 11p.
 - Bensalem, H., Nefzaoui, A., Bensalem, L. (2002). Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis* and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. Anim. Feed Sci. Technol., 96:15-30.
 - Bonaparte, C.L. (1835). Travaux sur la classification des Cichlidae.
 - Boudechiche L. (2012). Valorization of the prickly pear in animal. Renc. Rech. Rumin., 19. [Google Scholar]
 - Boudjellaba.S, A. Yassa (2011/2012). Activité antioxydante des graines de quelques variétés de figue de barbarie de la région de Bejaia. Mémoire de fin d'étud, Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
 - Bouvet Yvanne (2014). Le parcours de la mer à l'assiette : présentation de la filière halieutique dans le monde. Géoconfluences.
 - Britton N.L., Rose J.N. (1919-1923). The Cactaceae: Descriptions and Illustrations of Plants of the Cactus Family. 4 vols. Carnegie Institution of Washington, Washington. (Réimprimé par Dover Publications, New York, 1963).
 - Cherif, I., Arbouche, R., Arbouche, Y., Mennani, A. and Arbouche, F. (2022). Dehydrated husks and cake of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) processing for broiler feed: Effects on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. Vet. World, 15(3):551–557. doi:10.14202/vetworld.2022.551-557

- Ciriminna, R., et al. (2017). Opuntia ficus-indica seed oil: One of the most promising prickly pear components for health and cosmetic applications.
- Cogun HY, Firidin G, Aytekin T, Firat O, Firat O, Temiz O, et al. (2017). Toxicité aiguë des nitrites sur certains paramètres biochimiques, hématologiques et antioxydants chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus* L., 1758). *Fresenius Environ. Bull.*, 26:1712-1719. <https://www.researchgate.net/publication/313766757>
- COOPER A.J.L., PLUM F. (1987). Biochemistry and physiology of brain ammonia. *Physiol. Rev.*, 67:440-519.
- Da Lemos CHP, Ribeiro CVDM, de Oliveira CPB, Couto RD, Copatti CE. (2018). Effets de l'interaction entre le pH et la densité de peuplement sur la croissance et les réponses hématologiques et biochimiques des juvéniles de tilapia du Nil. *Aquaculture*, 495:62-67. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.05.037
- Debnath, S. C., McMurtrie, J., Temperton, B., & Prabu, P. (2023). Tilapia aquaculture, emerging diseases, and the roles of the skin microbiomes in health and disease. *Aquacult. Int.*, 31(12):2945-2976. <https://doi.org/10.1007/S10499-023-01117-4>
- Direction de la Pêche et des Ressources Halieutiques et Aquatiques – Wilaya d'El Oued (DPRHE) (2026). Document d'information sur le tilapia rouge.
- Direction des Travaux Publics de la Wilaya El Oued. DTP (2026). Climat et relief de la région d'El Oued. Consulté le 20 avril 2026 sur : www.dtp-eloued.com
- D-maps (2026). Cartes géographiques en ligne. <https://www.d-maps.com> (Consulté le 06 mai 2026).
- El-Beltagi H.S., Mohamed H.I., Elmelegy A.A., Eldesoky S.E., Safwat G. (2019). Phytochemical screening, antimicrobial, antioxidant, anticancer activities and nutritional values of cactus (*Opuntia ficus indica*) pulp and peel. *Fresenius Environ. Bull.*, 28:1534–1551.
- El-Sayed, A. F. M. (1999). Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.*. *Aquaculture*, 179(1-4):149-168. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00159-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00159-3)
- El-Sherif MS, El-Feky AM (2009) . Performance of Nile tilapia fingerlings. Effect of pH. *Int. J. Agric. Biol.*, 11:297-300.
- Emam W, Lambert H et Brown C (2025). Le bien-être du tilapia du Nil d'élevage : une revue. *Front. Vet. Sci.*, 12:1567984. doi:10.3389/fvets.2025.1567984

- Encyclopædia Universalis France (2026). Opuntia, morphologie. In : Cactacées. <https://www.universalis.fr/media/opuntia-morphologie-v040723a/> (Consulté le 6 mai 2026).
- FAO (2022). Blue Transformation - Roadmap 2022–2030: A vision for FAO's work on aquatic food systems. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0459en>
- FAO (2022). La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0461fr>
- FAO (2024). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture – Résumé. Rome.
- FAO. (2023). Title of The Report Or Document. Food and Agriculture Organization Of The United Nations
- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front. Biosci.*, 11:2574–2589.
- FOA (2023). programme d'information sur les espèces aquatiques cultivées (casip). division des pêches et de l'aquaculture [en ligne]. (n° tilapia du nil). rome : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *Oreochromis niloticus*. In J. E. Rakocy (Text), V. Crespi & M. New (Eds.), *Cultured aquatic species fact sheets* (CD-ROM). Rome: FAO.
- Francis-Floyd, R., & Watson, C. (2006). *Ammonia in Aquatic Systems*. University of Florida, 28 août 2006.
- Gheribi, R., & Khwaldia, K. (2014). Cactus mucilage for food packaging applications.
- Gregory, J. (2012). Default Probability, Credit Spreads and Credit Derivatives. In J. Gregory (Ed.), *Counterparty Credit Risk and Credit Value Adjustment* (p. 197). Wiley.
- Günther, A. (1889). Révision du genre *Oreochromis*. *Ichthyological Studies*.
- Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble I & Université Cadi Ayyad Marrakech. pp.222-264.
- Haeckel, E. (1874). *Anthropogenie, oder, Entwicklungsgeschichte des Menschen*. Leipzig.
- Horizons (2025, November). Fishing industry goes online. <https://www.horizons.dz>

- Huntingford FA, Andrew G, Mackenzie S, Morera D, Coyle SM, Pilarczyk M, et al. (2010). Stratégies d'adaptation chez un poisson très grégaire, la carpe commune *Cyprinus carpio*. *J. Fish Biol.*, 76:1576-1591. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02582.x
- Inglese, P., Barbera, G., La-Manti, T. (1995). Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *J. Arid Environ.*, 29:455-468.
- Kaanane A, Fadili M (2000). Physico-chemical characteristics of prickly pears of Musa variety and "Rehamna clone". 2nd national day on cultivation of cacti, El Kelaa des Sraghna-Morocco.
- Klein, E.E. (1885). Communication à la Royal Society de Londres.
- Koubaier, H. B. H., et al. (2015). Fractionation of prickly pear peel and pulp: Composition and antioxidant activities.
- Kreger C (2004). Exploring the environment water quality. Wheeling Jesuit University /NASA-supported classroom. Paper p.1-6.
- Lévêque, C., Paugy, D., & Teugels, G. G. (1990). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest (1st ed.). Musée Royal de l'Afrique Centrale & ORSTOM.
- Lévêque, C., Paugy, D., & Teugels, G. G. (1992). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest (2nd ed.). Musée Royal de l'Afrique Centrale.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae* (10e éd.). Holmiae.
- 60. M. Drali, L. Ikhlef (2016/2017). Étude physico-chimique de la pulpe et de l'huile extraite à partir des graines de figue de barbarie. Mémoire de fin d'étude, Université M'hamed Bougara Boumerdes.
- M. Schweizer (1997). Docteur nopal le médecin du bon dieu. APB Edition, Paris, 81pp.
- Mahrose, K. M. (2021). Prickly Pear (*Opuntia* spp.) in Animal and Poultry Feed. In M. F. Ramadan et al. (Eds.), *Opuntia* spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications (1st ed., pp. 827–839). Springer.
- Masmoudi, M., Baccouche, A., Borchani, M., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2021). Physico-chemical and antioxidant properties of oils and by-products obtained by cold press-extraction of Tunisian *Opuntia* spp. seeds. *Appl. Food Res.*, 1(2):100024. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100024>
- Mena P., Tassotti M., Andreu L., Nuncio-Jáuregui N., Legua P., Del Rio D., Hernández F. (2018). Phytochemical characterization of different prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cultivars and botanical parts: UHPLC-ESI-

- MSn metabolomics profiles and their chemometric analysis. *Food Res. Int.*, 108:301–308. doi:10.1016/j.foodres.2018.03.062
- Mengistu SB, Mulder HA, Benzie JAH, Komen H. (2020). Revue systématique de la littérature sur les principaux facteurs à l'origine des écarts de rendement affectant la croissance, l'indice de consommation et la survie du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Aquacult.*, 12:524-541. doi:10.1111/raq.12331
 - Molly, A., Shakuntala, H., Thilsted, Stineke, O. (2021). Le rôle des produits alimentaires d'origine aquatique dans une alimentation saine et durable. *ONU-Nutrition*, pp64.
 - Monsees H, Klatt L, Kloas W, Wuertz S. (2017). L'exposition chronique aux nitrates réduit significativement la croissance et affecte l'état de santé des juvéniles de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus* L.) en aquaculture en recirculation. *Aquac. Res.*, 48:3482-3492. doi:10.1111/are.13174
 - Mulas M., Mulas G. (2004). Potentialité d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari, Term Priority Environmental Action Programme (SMAP).
 - Naji, M., Kara, M.H., Abdel Hamid, M.L., Bouslama, N., Crespi, N. (2023). Analyse des marchés des produits de la pêche et de l'aquaculture continentales dans les pays du Maghreb. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Tunis.
 - Nebbache S., Chibani A., Chadli R., Bouznad A. (2009). Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *Afr. J. Biotechnol.*, 8:1623–1624.
 - Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World* (4th ed.). John Wiley & Sons.
 - Nobre MKB, Lima FR, Magalhães FB (2014). Alternative liming blends for fish culture. *Acta Sci. Anim. Sci.*, 36(1):11-16.
 - Nuryanto, N., Afifah, D. N., Sulchan, M., Martosuyono, P., Ihsani, K., & Kurniastuti, P. L. (2022). Potential of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) as an alternative complementary food ingredient for stunting children. *Open Access Maced. J. Med. Sci.*, 10(A):1-9.
 - Paugy D, Lévêque C, Teugels GG (2004). Faune des poissons d'eau douce et saumâtre d'Afrique de l'Ouest (2nd ed.). Faune et Flore tropicales : Paris.
 - Pedrazzani AS, Quintiliano MH, Bolfe F, Sans ECO, Molento CFM. (2020). Protocole d'évaluation du bien-être des tilapias à la ferme pour les systèmes de production semi-intensifs. *Front. Vet. Sci.*, 7:606388. doi:10.3389/fvets.2020.606388
 - PERSON-LE RUYET J., GALLAND R., LE ROUX A., CHARTOIS H. (1997). Chronic ammonia toxicity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 154:155-171.

- Peters, W. (1852). Description originale d'*Oreochromis mossambicus*.
- Piga, A. (2004). Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. J. PACD, 9-22.
- Prabu, E, Rajagopalsamy, C. B. T. , Ahilan, B, Jegan Michael , I, Jeevagan , A , Renuhadevi,M. (2020). Tilapia – An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. Annual Research & Review in Biology. ISSN: 2347-565X, NLM ID: 101632869
- Reboucas VT, dos Santos Lima FR, Cavalcante DD, do Carmo MV (2015). Tolerance of Nile tilapia juveniles to highly acidic rearing water. Acta Sci. Anim. Sci., 37(3):227-233.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre Rivera, J. R., & Valiente-Banuet, A. (2006). Reproductive biology of *Opuntia*: A review. Journal of Arid Environments, 64(4), 549-585
- Robert w n. (2003). Salinity tolerance of juveniles of four varieties of tilapia.
- Salem, M.E., Almisherfi, H.M., El-Sayed, A.F.M., Makled, S.O. and Abdel-Ghany, H.M. (2024). Modulatory effects of dietary prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) peel on high salinity tolerance, growth rate, immunity and antioxidant capacity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish Physiol. Biochem., 50(2):543–556. doi:10.1007/s10695-023-01289-z
- Salih MAA (2007). Ecology and fisheries of El-Rahad Lake Turda. Master Thesis, University of Kordofan, Sudan.
- Sarr, S.O., Fall, A.D., Gueye, R., Diop, A., Sene, B., Diatta, K., Ndiaye, B. And Diop, Y.M. (2015). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits des feuilles de *Aphania senegalensis* (Sapindaceae) et de *Saba senegalensis* (Apocynaceae). Int. J. Biol. Chem. Sci., 9(6):2676-2684. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.13>
- Tabarly Sylviane (2012). L'aquaculture marine et ses dynamiques. L'exemple de la salmoniculture Norvège, Chili : caractéristiques de deux modèles. Géoconfluences.
- Terfahun, A., et al. (2018). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Int. J. Biometeorol., 62(11):2183-2194. <https://doi.org/10.1007/S00484-018-1584-6>
- Tran-Duy A, van Dam AA, Schrama JW. (2012). Apport alimentaire, croissance et métabolisme du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) en fonction de la concentration en oxygène dissous. Aquac. Res., 43:730-744. doi:10.1111/j.1365-2109.2011.02882.x
- White RS, McHugh PA, Glover CN, McIntosh AR (2014). Multiple environmental stressors increase the realized niche breadth of a forest dwelling fish. Ecology, 38(2):154-162.

- Wing JDB, Champneys TS, Loannou CC. (2021). Impact de la turbidité sur la recherche de nourriture et la prise de risque chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), espèce envahissante, et un cichlidé indigène menacé (*Oreochromis amphimelas*). *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 75:49. doi:10.1007/s00265-021-02984-8
- Xia, J. (2018). The biology and culture status worldwide of tilapia. FAO/China Intensive Training Course on Tilapia Lake Virus (TiLV), Sun Yat-sen University, Guangzhou, China.