



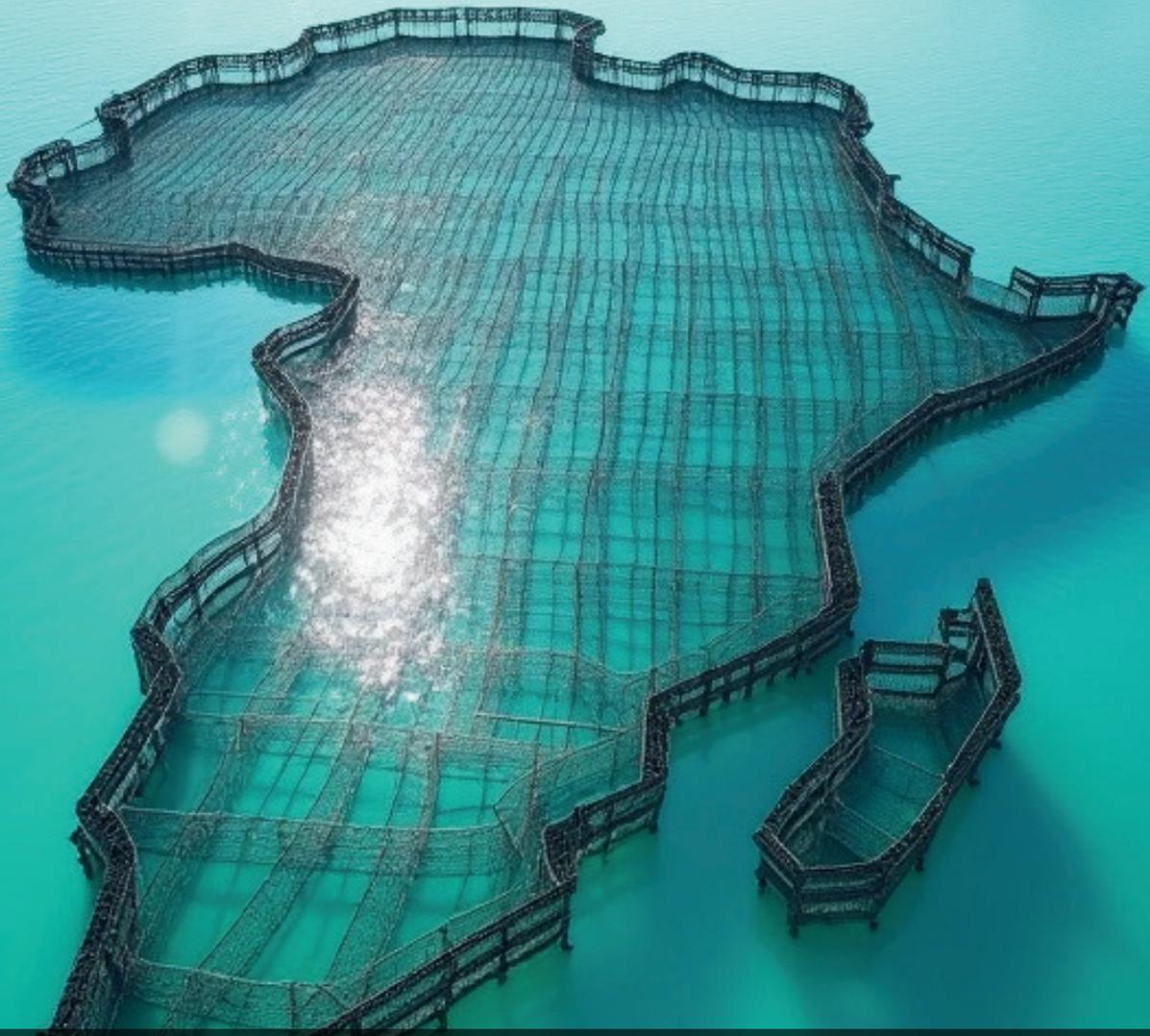
# ALIMENT D'AQUACULTURE

MAGAZINE AFRIQUE

VOLUME 1 - NUMERO 1 - 2025

**VERS UNE AQUACULTURE RÉSILIENTE EN AFRIQUE : DES ALIMENTS POUR ANIMAUX INNOVANTS ET DURABLES GRÂCE À DES SOURCES DE PROTÉINES ALTERNATIVES**

**COMMENT ÉQUILIBRER LA DURABILITÉ ET L'APPÉTENCE DES ALIMENTS D'AQUACULTURE EN AFRIQUE**



**LA SUPPLÉMENTATION ENZYMATIQUE (PHYTASE ET XYLANASE) AMÉLIORE LES RÉGIMES ALIMENTAIRES DE FAIBLE QUALITÉ CHEZ LE TILAPIA DU NIL POUR UNE AQUACULTURE DURABLE**

**MÉCANISMES, DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DE L'EXTRUSION D'ALIMENTS D'AQUACULTURES**



Le magazine de l'aliment aquacole de l'Afrique est un outil essentiel pour le développement de la gestion de l'alimentation en aquaculture dans la région. En effet, ce magazine offre une source d'informations précieuse et actualisée sur les dernières avancées en matière d'alimentation en aquaculture, les nouvelles tendances du marché, les meilleures pratiques de gestion et les recommandations techniques pour améliorer la production aquacole.

En fournissant des articles de fond, des études de cas, des analyses de marché et des interviews d'experts du secteur, le magazine de l'aliment aquacole de l'Afrique permet aux professionnels de l'aquaculture de rester informés et de se tenir au courant des dernières innovations en matière d'alimentation pour les poissons et les crustacés. Cela leur permet d'adapter leurs pratiques de façon plus durable et efficace, en tenant compte des enjeux environnementaux, économiques et sociaux liés à la production aquacole.

De plus, le magazine de l'aliment aquacole de l'Afrique contribue également à promouvoir les bonnes pratiques en matière d'alimentation en aquaculture, en mettant en lumière les initiatives et les projets innovants qui ont un impact positif sur la durabilité de la production aquacole dans la région. En favorisant le partage de connaissances et d'expériences entre les acteurs de l'industrie, le magazine joue un rôle essentiel dans le renforcement des capacités des professionnels de l'aquaculture et dans l'amélioration continue des pratiques de gestion de l'alimentation en aquaculture en Afrique.

Le magazine de l'aliment d'aquaculture de l'Afrique est un outil contribuant pour le développement de la gestion de l'alimentation en aquaculture dans la région, en informant, en sensibilisant et en inspirant les acteurs de l'industrie à adopter des pratiques plus durables et à contribuer à la croissance et à la prospérité de l'aquaculture en Afrique.

## LISTE DE L'EQUIPE EDITORIALE DU MAGAZINE ALIMENT D'AQUACULTURE AFRIQUE



**Dr Arnold Ebuka Irabor.** Aquaculture durable, Département de la nutrition des poissons, Université Dennis Osadebay, Asaba, Nigeria.

**Dr Abd El Rahman Khattaby** Chercheur principal au laboratoire central d'aquaculture. Centre de recherche agricole. Égypte.

**Dr Mohamed Abo Elsoud.** Expert en qualité des aliments aquacoles Egypte.

**Dr Mostafa A. M. Soliman.** Département de l'utilisation des sous-produits, Institut de recherche sur la production animale (APRI). Centre de recherche agricole, ElDokki, Giza, Égypte.

**Dr Mustapha ABA.** Expert en Aquaculture Nutrition des Poissons. Rabat Maroc.

**Dr Nesara K.M.** Fish nutritionniste, Expertise qualité et nutrition des aliments pour poissons . Inde.

**Dr Prasanta Jana.** Division de la nutrition, de la biochimie et de la physiologie des poissons, ICAR- Institut central de l'éducation halieutique, Versova, Mumbai 400061, Maharashtra, Inde.

**Dr Samwel Limbu.** Nutrition aquacole et santé environnementale. Chargé de cours à l'université de Dar es Salaam. Tanzanie.

**Dr - Vaitheeswaran Thiruvengadam.** Département des Pêches et aquaculture. Université internationale d'Afrique de l'Est, Kampala, République d'Ouganda.

**Dr Prasanta Jana.** Division de la nutrition, de la biochimie et de la physiologie des poissons, ICAR- Institut central de l'éducation halieutique, Versova, Mumbai 400061, Maharashtra, Inde.

**Dr Eman Abo Shady.** Chercheur en Aquaculture / Biologie-Aquaculture Durable. Technologie d'Alimentation. Le Caire. Égypte.

**Dr Rachid Ganga.** Département Aquaculture. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Agadir.

**Paul Mosnier.** Diplômé des STEM avec une spécialisation en aquaculture. Forte connaissance du secteur de l'aquaculture et du paysage de l'édition scientifique. Journal Aquaculture. Frontiers.

**Dr Osama A. Zenhom.** Nutrition des poissons. Laboratoire central de recherche en aquaculture, Centre de Recherche Agricole, Abbasa. Égypte.

# ÉDITORIAL

## CHERS LECTEURS

L'aquaculture apparaît rapidement comme un secteur vital pour la sécurité alimentaire et le développement économique en Afrique. Alors que le continent est confronté aux défis de la croissance démographique et de la diminution des stocks de poissons sauvages, le besoin de pratiques aquacoles durables et efficaces n'a jamais été aussi pressant.

La recherche sur la nutrition en aquaculture a considérablement évolué au cours des dernières décennies, stimulée par la croissance de l'aquaculture en tant que source alimentaire importante, désormais reconnue comme la principale alternative pour répondre aux besoins d'une population Africaine croissante, de plus en plus consciente de la qualité et de l'importance du poisson dans l'alimentation pour une vie plus longue et plus saine.

Donc, l'optimisation de la nutrition des poissons n'est pas seulement un défi technique, mais une stratégie de rentabilité et de durabilité.

En outre, la viabilité économique des exploitations aquacoles est étroitement liée à la qualité des aliments, cette efficacité stimule non seulement la rentabilité, mais contribue également à la durabilité des pratiques aquacoles en réduisant les déchets et en minimisant l'impact sur l'environnement.

En revanche, le recours à des aliments de mauvaise qualité peut entraîner une augmentation des coûts d'exploitation et une diminution des bénéfices, ce qui décourage les investissements dans le secteur, donc le développement d'une industrie robuste de l'alimentation aquatique en Afrique est essentiel pour développer les économies et sociétés locales.

En investissant dans la recherche et le développement pour améliorer les formulations d'aliments et le processus de fabrication, l'Afrique peut ouvrir la voie à des pratiques aquacoles durables.

La qualité de l'alimentation aquatique, qui joue un rôle crucial dans la santé, la croissance et la productivité globale des poissons d'élevage, est au cœur de cet effort. Ce numéro du magazine explore l'importance de la qualité des aliments pour poissons dans la promotion d'une industrie aquacole florissante en Afrique, car elle influence directement les taux de croissance et la santé des espèces aquatiques et au succès de la production aquacole. Une alimentation de mauvaise qualité, en revanche, peut entraîner un retard de croissance, une sensibilité accrue aux maladies et des taux de mortalité plus élevés. Sur un continent où l'aquaculture est considérée comme une solution à l'insécurité alimentaire, les conséquences d'une alimentation de mauvaise qualité peuvent être préjudiciables et saper les objectifs mêmes du secteur.

En outre, l'importance de la qualité des aliments pour animaux va au-delà des considérations économiques et sociales ; elle englobe également la durabilité environnementale. Le secteur de l'aquaculture doit s'efforcer de minimiser son empreinte écologique, et cela commence par l'alimentation

Bonne Lecture.

# SOMMAIRE

## ARTICLES

- VERS UNE AQUACULTURE RÉSILIENTE EN AFRIQUE : DES ALIMENTS POUR ANIMAUX INNOVANTS ET DURABLES GRÂCE À DES SOURCES DE PROTÉINES ALTERNATIVES [page 6....page 20](#)
- COMMENT ÉQUILIBRER LA DURABILITÉ ET L'APPÉTENCE DES ALIMENTS D'AQUACULTURE EN AFRIQUE [page 21....page 31](#)
- LA SUPPLÉMENTATION ENZYMATIQUE (PHYTASE ET XYLANASE) AMÉLIORE LES RÉGIMES ALIMENTAIRES DE FAIBLE QUALITÉ CHEZ LE TILAPIA DU NIL POUR UNE AQUACULTURE DURABLE [page 32....page 39](#)
- MÉCANISMES, DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DE L'EXTRUSION D'ALIMENTS D'AQUACULTURES [page 40....page 55](#)
- PROGRES TECHNOLOGIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU EN AQUACULTURE [page 56....page 67](#)
- UNE PRODUCTION AQUACOLE DURABLE POUR UNE MEILLEURE SECURITE ALIMENTAIRE [page 68....page 70](#)
- TRANSFORMER L'AVENIR DE L'AFRIQUE AUSTRALE GRÂCE À L'AQUACULTURE MULTITROPHIQUE INTÉGRÉE [page 71....page 74](#)
- FACTEURS INFLUANT SUR LA CROISSANCE DE LA CREVETTE VANNAMEI (*Litopenaeus vannamei*) [page 75....page 76](#)
- UTILISATION DE CHAMPIGNONS PIGMENTÉS COMME ADDITIFS EN AQUACULTURE [page 77....page 83](#)
- **AQUI9** [page 84....page 94](#)

## ACTUALITÉS

- LES JOURNEES PORTES OUVERTES DU LIVING LAB DANS LE SITE DE VICINAQUA, KISUMU, AU KENYA, POUR PRESENTER L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ET DE L'AQUACULTURE [page 96](#)
- AU MALAWI, LE MINISTRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, DR. OWEN CHOMANIKA REND VISITE AU CENTRE D'AQUACULTURE DE KASINTHULA [page 97](#)
- L'ILRE ET L'UA-BIRA RENFORCENT LEUR COLLABORATION AVEC UN NOUVEAU PROTOCOLE D'ACCORD SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ELEVAGE [page 98....page 99](#)
- LE PROGRAMME STRATEGIQUE DE TRANSFORMATION DE L'AQUACULTURE EN COTE D'IVOIRE CIBLE LA FORMATION DE 3000 JEUNES AQUAPRENEURS [page 100](#)
- INAUGURATION D'UNE FERME PISCICOLE A MERINA NDAKHAR AU SENEGAL [page 101](#)
- L'AFRIQUE A BESOIN DE POLITIQUES INNOVANTES POUR REpondre AUX DEMANDES FUTURES DU SECTEUR DE L'AQUACULTURE [page 102....page 103](#)

## ÉVÈNEMENTS

- AQUACULTURE EUROPE 2025, VALENCE, ESPAGNE, DU 22 AU 25 SEPTEMBRE [page 105](#)
- LE FORUM DES FRUITS DE MER POUR L'AFRIQUE SE TIENDRA AU PALAIS DES CONGRES DE DAKHLA, AU MAROC DU 4 AU 6 DECEMBRE 2024 [page 106](#)
- AQUAFUTURE ESPAGNE LE SALON INTERNATIONAL DE L'INDUSTRIE DE L'AQUACULTURE, DU 20 AU 22 MAI 2025 [page 107](#)
- LE WORLD AQUACULTURE SAFARI 2025 SE TIENDRA DU 24 AU 27 JUIN 2025 AU SPEKE RESORT MUNYONYO, A ENTEBBE, EN OUGANDA. [page 108](#)

# ARTICLES

# VERS UNE AQUACULTURE RÉSILIENTE EN AFRIQUE : DES ALIMENTS POUR ANIMAUX INNOVANTS ET DURABLES GRÂCE À DES SOURCES DE PROTÉINES ALTERNATIVES



Ce document explore les défis et les opportunités du secteur de l'aquaculture en Afrique, en se concentrant particulièrement sur le besoin d'aliments pour animaux innovants et durables dérivés de sources de protéines alternatives. Alors que la demande en aquaculture continue d'augmenter, la dépendance à l'égard des farines de poisson traditionnelles présente des risques socio-économiques et écologiques importants. Cette étude synthétise les connaissances actuelles sur les sources de protéines alternatives, identifie les défis liés à leur utilisation et propose des solutions pour améliorer la durabilité et la résilience de l'aquaculture en Afrique.

## 1. INTRODUCTION

La production aquacole en Afrique se développe progressivement afin de stimuler la production alimentaire, d'améliorer la qualité de la nutrition et d'assurer la sécurité alimentaire. En outre, le secteur est une source importante de moyens de subsistance pour plus de 6,1 millions de personnes sur le continent, suivant les différents segments de la chaîne de production. Malgré un volume de production de 2,5 millions de tonnes de fruits de mer, le secteur aquacole africain doit croître de 74 % pour maintenir la consommation actuelle par habitant jusqu'en 2050.

Cependant, d'autres espèces de poissons produites en Afrique nécessitent des niveaux d'inclusion de farine de poisson plus élevés.

Cependant, le manque d'accès à des aliments de haute qualité et abordables pour les espèces d'élevage constitue un obstacle potentiel à la croissance du secteur. On estime actuellement que le volume de production augmentera de plus de 20 %, passant de 2,3 millions de tonnes à 2,8 millions de tonnes entre 2022 et 2032.

Les espèces les plus couramment produites dans l'aquaculture africaine sont le tilapia, le poisson-chat africain et la carpe commune, dont l'alimentation contient généralement de 1 à 3 % de farine de poisson.

En supposant une moyenne de seulement 3 % de farine de poisson dans les régimes d'aquaculture des espèces africaines, 15 000 tonnes de farine de poisson supplémentaires seront nécessaires pour augmenter la production aquacole des 500 000 tonnes mentionnées précédemment jusqu'en 2032 (en supposant un ratio de conversion des aliments de 1). En 2020, la production africaine de farine de poisson a été estimée à 420 000 tonnes, dont plus de 90 % ont été exportées. Si l'on tient compte des importations, environ 80 000 tonnes de farine de poisson ont été utilisées pour la fabrication d'aliments pour animaux en Afrique en 2020. La production africaine de farine de poisson équivaut à environ 8 % de la production mondiale, mais seulement 1,5 % de la production mondiale est utilisée comme ingrédients pour l'alimentation animale en Afrique. La farine de poisson et les aliments pour animaux aquatiques à base de farine de poisson produits en Afrique ou sur d'autres continents ne sont généralement pas rentables pour les petits éleveurs de poissons des pays africains.

Tenter d'augmenter la production aquacole africaine par le biais d'une production accrue de farine de poisson sauvage pour la production d'aliments pour animaux reviendrait à exploiter davantage les stocks de poissons fourrage sur les côtes africaines et à augmenter les exportations grâce à des marges financières plus importantes. L'exploitation du poisson fourrage dans les écosystèmes naturels affecte considérablement le réseau trophique et les facteurs socio-économiques. Plus de 30 % des stocks de poissons de la côte africaine sont déjà considérés comme biologiquement non durables, y compris les espèces fourragères comme la sardinelle et le bonga utilisées pour la production de farine de poisson. Une augmentation des captures de poissons fourrage peut donc avoir des conséquences néfastes sur les écosystèmes des eaux africaines. En outre, l'épuisement des stocks de poissons pourrait avoir de profondes répercussions sur les moyens de subsistance des communautés qui dépendent de la pêche et des industries connexes, comme c'est le cas dans de nombreuses régions d'Afrique.

Les industries de la farine de poisson peuvent entrer en concurrence directe avec les secteurs de la pêche artisanale et de l'après-récolte, menaçant ainsi les emplois et les moyens de subsistance des pêcheurs et des travailleurs de l'après-récolte.

En outre, nourrir les poissons d'élevage avec du poisson fourrage dans une Afrique en manque de protéines est socialement discutable. Par conséquent, l'aquaculture africaine doit s'appuyer sur des alternatives à la farine de poisson moins adaptées à la consommation humaine, comme les protéines d'origine végétale, les sous-produits animaux, les farines d'insectes, la biomasse microbienne ou les protéines unicellulaires, afin de garantir une croissance à long terme écologiquement et socialement durable. Au fil des ans, plusieurs matières premières d'origine animale (insectes, sous-produits animaux) et végétale (colza, soja, graines de bambara, arachide, pois d'Angole) ont été testées en tant que substituts de farine de poisson dans l'aquaculture en utilisant plusieurs espèces de poissons commerciales africaines. Malgré la disponibilité de ces sources d'alimentation innovantes en Afrique, leur utilisation commerciale est limitée ou n'est pas réalisée en raison du manque de compétences requises et de technologies de transformation avancées pour garantir un accès régulier, améliorer leur qualité nutritionnelle et une production sans contamination, en raison du manque d'infrastructures essentielles, de soutien politique et de financement. En supposant une teneur en protéines de 70 % dans la farine de poisson, au moins 10 500 tonnes de protéines doivent être dérivées de nouvelles sources pour la croissance estimée de l'industrie aquacole africaine d'ici 2032.

Cette étude complète vise donc à (i) synthétiser les connaissances actuelles concernant la santé et la valeur nutritionnelle des sources de protéines alternatives pour les espèces aquacoles africaines, (ii) identifier les avantages potentiels de ces sources de protéines alternatives pour le secteur aquacole africain et les principaux défis qui entravent leur utilisation commerciale, et (iii) suggérer des solutions pratiques pour exploiter l'utilisation potentielle de ces sources d'aliments innovantes pour une croissance durable du secteur aquacole africain. Nous fournissons une base pour une prise de décision éclairée dans la poursuite d'une aquaculture africaine plus durable et résiliente en évaluant de manière critique les ressources protéiques alternatives et leurs implications.

## 2. SITUATION ACTUELLE DE L'AQUACULTURE ET DE LA PRODUCTION D'ALIMENTS POUR ANIMAUX EN AFRIQUE

L'Afrique est le quatrième producteur aquacole mondial, avec une production d'environ 2,5 millions de tonnes de produits de la mer et 1,9 % de la production aquacole mondiale en 2022 (Fig. 1).

Selon les statistiques de la production aquacole africaine, les poissons ont contribué à hauteur de 91,8 %, suivis par les algues (7,5 %), les crustacés (0,35 %), les mollusques (0,33 %) et les autres animaux aquatiques (0,01 %).

L'aquaculture continentale en eau douce de l'Afrique a contribué à 91,9 % de la production totale d'animaux aquatiques, contre 8,1 % pour l'aquaculture marine.

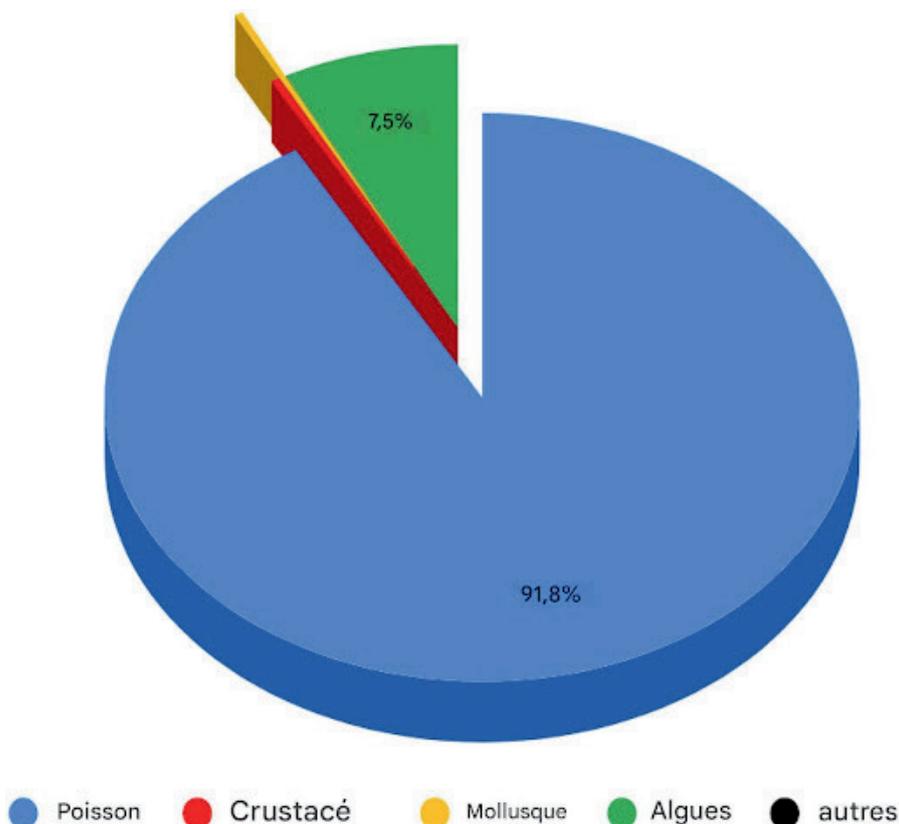


Fig 1 : Contribution relative des divisions aquacoles à la production totale en Afrique

Sur la base des statistiques de production aquacole entre 2000 et 2021, l'Égypte a contribué à environ 65,5 % de la production africaine, ce qui en fait le plus grand producteur aquacole de la région. Le Nigeria est le deuxième producteur (12,6 %), suivi de la Tanzanie (7,8 %) et de l'Ouganda (4,9 %). Le continent est connu pour être l'un des plus grands producteurs mondiaux d'espèces de poissons-chats africains. D'autres espèces de poissons commerciales populaires produites dans la région comprennent le tilapia (l'Égypte étant le troisième producteur mondial) et la carpe. La production de poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*) en Afrique est passée de 65 000 tonnes à environ 200 000 tonnes entre 2006 et 2022, et la production aquacole de tilapia est passée de 27 000 tonnes en 1990 à 1 287 053 tonnes en 2019.

L'Afrique a été le continent où la production aquacole a connu la plus forte croissance entre 2000 et 2022, et on estime qu'elle sera le deuxième à l'avenir.

Pour assurer la croissance durable du secteur aquacole africain, il est essentiel de considérer l'alimentation comme un facteur de production critique. La production africaine d'aliments pour poissons a connu une baisse de 2,38 %, passant de 1,484 million de tonnes en 2021 à 1,449 million de tonnes en 2022. En raison de la faiblesse et de la stagnation du volume de production et de la faible qualité des aliments pour poissons produits localement, la production aquacole du continent est actuellement fortement dépendante des aliments pour poissons et des ingrédients importés d'Asie (Chine, Inde, Thaïlande), du Moyen-Orient (Israël) et d'Europe (Allemagne, Russie, Pays-Bas, Norvège, Danemark).

En 2016, on estime que 1 651 146 tonnes d'aliments pour poissons ont été importées pour la production de tilapia et de poisson-chat africain en Égypte et au Nigéria. Une inflation importante affecte souvent ces importations, ce qui constitue un défi majeur pour le développement de l'aquaculture africaine. Cette inflation est imputée à l'effondrement de l'économie mondiale et aux conflits, en particulier dans certaines parties du Moyen-Orient et de l'Europe, qui entraînent une pénurie et une volatilité des prix des aliments pour animaux et de leurs ingrédients.

Chez les espèces susmentionnées, le BSF a amélioré divers paramètres de croissance ainsi que la réponse immunitaire à certaines maladies affectant les espèces aquatiques.

En Égypte, 85 % des coûts de production du poisson sont attribués aux dépenses d'alimentation, principalement en raison des coûts d'importation élevés et de la dépendance à l'égard d'ingrédients étrangers pour l'alimentation.

Par exemple, les aliments pour poissons importés au Ghana sont fortement affectés par les droits d'importation, les taxes et le transport, qui représentent environ 80 % du coût total. Le Nigeria est confronté à une situation comparable : environ 95 % des aliments pour poissons sont importés et plus de 70 % du coût des aliments est imputé aux taxes, aux droits d'importation et au transport. Un rapport d'enquête a révélé que plus de 84 % des pisciculteurs de la République du Bénin dépendent d'aliments et d'ingrédients importés pour la production de poissons.

De même, l'industrie aquacole ougandaise dépend d'aliments importés d'Europe en raison du nombre insuffisant de producteurs locaux d'aliments pour poissons, de la faiblesse des incitations à l'investissement et de la négligence de la politique gouvernementale.

### **3. PRODUCTION ET TRANSFORMATION DE BIOMASSE D'INSECTES POUR L'ALIMENTATION AQUACOLE**

#### **3.1 PROTÉINES VÉGÉTALES**

Les protéines végétales sont abondantes, rentables et adéquates sur le plan nutritionnel pour diverses espèces de poissons.

Les facteurs nutritionnels clés pour les alternatives à la farine de poisson comprennent une faible teneur en hydrates de carbone, des niveaux élevés de protéines, un profil d'acides aminés approprié et une bonne digestibilité. Les sources de protéines végétales prometteuses produites en Afrique comprennent le pois, le colza, le sésame, le soja, le sorgho et le tournesol.

- **Protéine de soja** : Largement utilisée et étudiée, la protéine de soja remplace efficacement la farine de poisson dans les régimes alimentaires du tilapia, de la carpe et du poisson-chat africain, démontrant de bonnes performances de croissance et une bonne utilisation des nutriments.

- **Protéines de pois** : étudiées pour leur potentiel en tant qu'alternatives aux farines de poisson, les protéines de pois sont confrontées à des défis liés aux fibres et aux facteurs antinutritionnels, ce qui limite leur inclusion dans le régime alimentaire.

- **Protéines de sésame** : Dérivées de l'extraction de l'huile, les protéines de sésame ont une teneur élevée en protéines mais manquent de certains acides aminés. Elles ont été incluses avec succès dans les régimes alimentaires du tilapia et de la carpe sans impact négatif sur la croissance.

- **Protéines de tournesol** : Adaptables à différents climats, les protéines de tournesol peuvent remplacer partiellement les farines de poisson, bien que leur teneur élevée en fibres limite les niveaux d'inclusion.

- **Protéines de colza** : Avec un profil d'acides aminés équilibré, les protéines de colza sont prometteuses en tant que substituts de la farine de poisson, bien que les facteurs antinutritionnels puissent nuire à la croissance des poissons. La transformation peut améliorer leur valeur nutritionnelle.

- **Sorgho** : bien qu'abondant et résistant à la sécheresse, le sorgho a une faible teneur en protéines et manque d'acides aminés essentiels, ce qui nécessite des recherches supplémentaires pour évaluer son potentiel dans les aliments pour animaux aquatiques.

### 3.2 SOUS-PRODUITS ANIMAUX

Les sous-produits animaux sont considérés comme d'excellentes alternatives aux farines de poisson en raison de leur teneur élevée en protéines et de leur appétence, sources de protéines facilement disponibles et économiquement intéressantes. L'Afrique produit des quantités importantes de sous-produits animaux provenant du bétail, de la volaille et des porcs, qui peuvent être utilisés dans les aliments pour animaux aquatiques.

- Les sous-produits animaux couramment testés comprennent la farine de plumes, les sous-produits de volaille, la farine de viande et d'os, la farine de sang et les sous-produits de la pêche. Il a été démontré que ces derniers pouvaient remplacer les farines de poisson dans l'alimentation du tilapia et du poisson-chat africain sans nuire à la croissance.

- Des sous-produits moins connus, tels que la farine de sang d'âne et la farine de crocodile, présentent également un potentiel pour les aliments pour animaux.

- Les sous-produits de la pêche, y compris les crevettes et les restes de poisson, peuvent partiellement remplacer les farines de poisson, bien que des niveaux de substitution élevés puissent compromettre les performances de croissance.

### 3.3 LES INSECTES

Les insectes sont de plus en plus reconnus comme une source durable de protéines pour les aliments pour animaux aquatiques, en particulier en Afrique, où ils ont toujours fait partie du régime alimentaire humain. Le continent s'enorgueillit d'une riche diversité d'environ 2 300 espèces d'insectes, dont 644 sont considérées comme propres à la consommation humaine. Si plusieurs régions d'Afrique, telles que l'Afrique du Sud, l'Afrique centrale, l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique de l'Est et l'Afrique du Nord, sont connues pour la diversité de leurs populations d'insectes, les données fiables sur leurs volumes de production restent rares.

La recherche indique que de nombreux insectes sont riches en protéines brutes et peuvent remplacer efficacement les farines de poisson dans les aliments aquacoles sans avoir d'impact négatif sur la santé ou la croissance des poissons. La mouche soldat noire (BSF) s'est notamment révélée prometteuse à cet égard, avec une production réussie en Afrique de l'Est qui permet d'obtenir environ 9780 MT de protéines séchées par an, ce qui pourrait répondre à 15 % de la demande de protéines brutes pour l'alimentation des poissons.

La viabilité économique de la production de la mouche soldat noire laisse également entrevoir un potentiel de marché mondial important, étant donné que la demande d'aliments pour animaux ne cesse de croître.

### 3.4 INGRÉDIENTS ALIMENTAIRES D'ORIGINE MICROBIENNE

La biomasse protéique microbienne, ou protéine unicellulaire (PUC), est récoltée à partir de micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les microalgues. Ces micro-organismes sont cultivés sur différents substrats, principalement des déchets agricoles (tels que la paille, les tiges de maïs, la bagasse de canne à sucre et les déchets de fruits et légumes) et des sous-produits industriels (y compris la mélasse, le lactosérum et les produits de brasserie usés). Le processus de culture permet à ces micro-organismes de convertir les déchets en une biomasse riche en protéines, ce qui fait de l'industrie des PUC l'un des producteurs de protéines dont la croissance est la plus rapide au monde.

En 2021, la production mondiale de PUC était évaluée à 8 milliards d'USD, et devrait atteindre 18 milliards d'USD d'ici 2030, soit un taux de croissance annuel de 9 à 10 %. Les recherches indiquent que les MCS pourraient remplacer jusqu'à 19 % des protéines végétales et animales d'ici 2050. L'Afrique, avec sa riche diversité microbienne, a identifié une dizaine de pays comme points chauds pour la diversité microbienne, notamment l'Algérie, l'Égypte, le Nigeria, l'Afrique du Sud, le Kenya, le Cameroun, la Tanzanie, l'Ouganda, la Côte d'Ivoire et la Tunisie. Toutefois, les profils de diversité microbienne de nombreux autres pays africains restent peu étudiés.

En outre, des études ont fait état d'une meilleure utilisation des aliments et des nutriments chez le tilapia (*Oreochromis niloticus*) lorsqu'il est nourri avec des régimes contenant des protéines de levure sèche.

Malgré le potentiel de la PUC, son application dans l'aquaculture commerciale africaine est limitée et les données de production sont rares. La faible production de recherche sur les PUC en Afrique par rapport à d'autres continents a été notée, et alors que le concept en est encore à ses débuts dans la région, l'application commerciale est confrontée à des défis liés à l'infrastructure et à l'expertise technique. Il est donc essentiel de poursuivre l'exploration des protéines microbiennes pour la nutrition aquacole.

Les protéines microbiennes présentent des opportunités significatives pour l'aquaculture africaine, notamment en raison de l'abondance des sous-produits sous-utilisés de l'agro-industrie, qui pourraient favoriser la circularité économique et les pratiques durables. La recherche a montré que des quantités substantielles de farine de poisson peuvent être remplacées par des sources microbiennes chez des espèces telles que le poisson-chat africain et le tilapia sans avoir d'impact négatif sur les performances de croissance. Par exemple, le remplacement de la farine de poisson par des protéines bactériennes (BP) a amélioré la croissance du poisson-chat africain (*C. gariepinus*) lors d'un essai d'alimentation de 56 jours, sans effets négatifs sur le sang, l'histoarchitecture intestinale ou les fonctions enzymatiques hépatiques.

## 4. AVANTAGES ET DÉFIS DES SOURCES ALTERNATIVES DE PROTÉINES POUR L'AQUACULTURE AFRICAINE

### 4.1 VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

Plusieurs alternatives à la farine de poisson sont écologiquement durables et potentiellement plus abordables que la farine de poisson traditionnelle dérivée de poissons fourrage surexploités. Une part importante de la farine de poisson produite en Afrique est exportée, ce qui rend l'aquaculture locale peu abordable.

Même si la production locale augmentait, les problèmes financiers persisteraient, ce qui limiterait la durabilité de la farine de poisson sauvage. Les protéines végétales, en particulier le soja, sont considérées comme des alternatives plus abordables.

En 2022, le soja a été produit à un coût inférieur en Afrique par rapport au prix mondial de la farine de poisson, qui est de 1 550 USD/t. Le colza est moins cher que la farine de poisson. Si le colza est moins cher que le soja, sa plus faible teneur en protéines entraîne des coûts plus élevés par tonne de protéines. Les graines de tournesol sont également moins chères que la farine de poisson, mais leur teneur en protéines est inférieure à celle du soja. D'autres cultures, comme les pois verts et le sorgho, présentent des coûts de production et des teneurs en protéines variables, les pois verts étant particulièrement rentables.

Le document note que des investissements ciblés dans la production d'oléagineux pourraient produire environ 1,4 million de tonnes de protéines pour l'aquaculture africaine, ce qui suffirait à répondre aux besoins alimentaires de 3,5 millions de tonnes de poisson-chat africain.

En conclusion, s'il existe des alternatives prometteuses à la farine de poisson en Afrique, la viabilité économique de ces sources dépend de leur accessibilité financière et de la concurrence avec les demandes de nutrition humaine.

#### **4.2 DISPONIBILITÉ DE PROTÉINES ALTERNATIVES ET CONFLITS SOCIAUX**

Des protéines alternatives sont potentiellement disponibles en Afrique. Toutefois, leur accessibilité pour les aliments commerciaux pour animaux aquatiques n'a pas été exploitée de manière optimale. Outre les déficiences technologiques, d'autres défis, notamment la production saisonnière, le climat et les conflits entre agriculteurs et éleveurs, affectent l'abondance des protéines alternatives en Afrique. La demande croissante de protéines alternatives soulève des inquiétudes quant à leur suffisance, leur disponibilité et leur accessibilité pour l'aquaculture. Bien que la production de protéines alternatives (protéines végétales, insectes comestibles, sous-produits animaux) soit en augmentation au niveau mondial, on manque d'informations scientifiques concernant leur statut et les statistiques de production dans certains pays africains. Cette situation s'explique par une coopération insuffisante entre les États africains en ce qui concerne les données relatives à la production végétale et animale, ainsi que l'échange de connaissances.

Les variations des précipitations et les températures élevées ont un impact négatif sur le développement et la croissance des cultures.

En outre, les sous-produits animaux, qui n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation humaine, pourraient constituer des sources importantes de protéines, avec une estimation de 4,2 millions de tonnes disponibles rien que pour les bovins.

La production annuelle totale de sous-produits animaux en Afrique est d'environ 16 millions de tonnes, ce qui pourrait couvrir les besoins en protéines de 4 à 8 millions de tonnes de poisson-chat. En outre, les protéines d'insectes et les protéines microbiennes, en particulier celles des larves de la mouche soldat noire, pourraient considérablement améliorer la production aquacole et remplacer jusqu'à 60 millions de tonnes d'aliments pour animaux par an. Même une petite fraction de ce potentiel pourrait répondre aux besoins en protéines de 7,5 millions de tonnes de poisson-chat africain.

La production de la plupart des protéines alternatives en Afrique ne fait aucun doute ; cependant, leur viabilité commerciale, leur disponibilité et leur accessibilité pourraient poser des problèmes en raison de plusieurs contraintes. L'abondance saisonnière de certaines protéines alternatives (cultures et insectes comestibles) pourrait être attribuée aux systèmes agronomiques et aux particularités climatiques de la région. Les technologies avancées pour la production et la disponibilité sans saison sont confrontées à des défis techniques et économiques. Le régime climatique erratique de la région affecte les cultures et la production générale. Par exemple, l'augmentation de la température a été signalée comme supprimant la période de croissance, et l'évapotranspiration des cultures diminue invariablement le rendement. Le changement climatique (augmentation de la température) et le stress thermique orchestré affectent négativement les caractéristiques qualitatives des cultures, réduisant ainsi leur rendement.

L'insécurité dans certaines parties du continent a eu un impact sur la production et la disponibilité des protéines d'origine végétale. Depuis des décennies, les conflits entre agriculteurs et éleveurs constituent un défi majeur pour l'agriculture et les pratiques agronomiques dans certaines régions des pays de l'Ouest (Nigeria, Tchad, Burkina Faso, Mali) et de l'Afrique centrale (République centrafricaine). L'intensification de ce conflit a limité la fréquence des cultures liées aux protéines les plus essentielles (légumineuses, céréales) et a privé les secteurs de l'alimentation et de l'aquaculture de leur disponibilité commerciale. Un scénario typique est celui des activités criminelles des bandits dans le nord du Nigeria, qui ont affecté les activités agronomiques et plongé la production de certaines cultures de rente liées aux protéines à des niveaux abyssaux.

Il met en évidence les avantages potentiels et les défis associés à l'adoption de ces sources de protéines, en particulier dans le contexte du paysage socio-économique et environnemental unique du continent.

La discussion porte notamment sur l'accessibilité financière des différentes sources de protéines, l'impact des conflits sociaux sur la disponibilité et la nécessité d'adopter des pratiques durables en matière d'aquaculture.

### **4.3 DURABILITÉ**

Il est essentiel d'orienter le choix de la production de protéines vers des options plus durables afin d'éviter d'aggraver les dommages causés à l'environnement et au changement climatique. Les émissions de l'aquaculture dépendent fortement de la source d'alimentation.

Les protéines animales d'origine terrestre produisent des émissions de gaz à effet de serre (GES) nettement plus élevées que les farines de poisson et la plupart des substituts de farines de poisson.

Les émissions de GES causées par les protéines de viande (bœuf, porc et volaille) sont considérablement plus élevées que celles des farines de poisson, ce qui souligne la nécessité d'une transition vers des sources de protéines plus durables dans l'aquaculture.

### **4.4 SÉCURITÉ ET SÛRETÉ DES ALIMENTS POUR ANIMAUX**

La qualité et l'état nutritionnel des régimes alimentaires influencent invariablement la croissance des animaux d'élevage et la qualité de la viande. Bien que la farine de poisson réponde aux besoins en nutriments des espèces d'élevage commercial en Afrique, le volume important de farine de poisson utilisé dans l'alimentation aquacole provient de poissons sauvages. Malheureusement, cette farine de poisson peut être contaminée par des substances toxiques provenant de sources ponctuelles et diffuses, telles que les métaux lourds, les biphényles polychlorés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les microplastiques/nanoplastiques.

Cette contamination représente un défi important pour l'aquaculture. Bien qu'il existe des méthodes de décontamination réalisables, la mise en œuvre de ces solutions augmente considérablement les coûts de production des aliments pour animaux d'aquaculture. Ces substances toxiques peuvent se bioaccumuler dans les systèmes piscicoles et provoquer des effets toxiques tels que la détresse oxydative, la neurotoxicité, les troubles métaboliques, la cancérogénicité, la génotoxicité, les troubles hématologiques, l'histopathologie, la diminution des performances de croissance, et compromettre la santé des poissons d'élevage en général. Trouver un équilibre entre la garantie d'aliments sûrs et le maintien de la durabilité économique est un défi permanent pour l'industrie. Le passage à des alternatives aux farines de poisson pourrait potentiellement réduire le risque de contamination des aliments pour animaux d'aquaculture par diverses substances nocives.

Cependant, il est important de considérer que les protéines végétales sont également susceptibles d'être contaminées par des pesticides, des herbicides, des mycotoxines et des métaux lourds. Ces risques découlent souvent des pratiques agricoles courantes, notamment des engrais et des pesticides inorganiques.

#### 4.5 ANTI-NUTRIMENTS

La présence d'antinutriments dans les protéines alternatives a suscité des débats quant à leur pertinence pour l'alimentation aquacole. La chitine, un polysaccharide présent dans les exosquelettes d'insectes, les carapaces de crustacés et les parois cellulaires des champignons, est reconnue pour ses propriétés bénéfiques, telles que ses effets antimicrobiens et la stimulation des nutriments. Cependant, elle peut également agir comme un antinutriment, affectant négativement la croissance des poissons et la digestibilité des nutriments, comme le montrent des études sur la truite arc-en-ciel, le turbot et la carpe commune.

Les méthodes actuelles de traitement de la chitine et d'autres protéines alternatives en Afrique sont souvent dépassées et inefficaces, ce qui pose des problèmes d'hygiène.

En outre, des traces de bactéries pathogènes, de dioxines, de produits pharmaceutiques et de colorants marqueurs ont été signalées dans certaines nouvelles protéines basées sur des produits animaux et utilisées pour les aliments pour animaux aquatiques. Toutefois, ce problème touche principalement les fermes aquacoles de subsistance et à petite échelle, y compris les producteurs locaux d'aliments pour poissons, et pourrait être attribué à de mauvaises méthodes de traitement et de stockage.

Les lacunes dans les connaissances en matière de sécurité alimentaire liées aux produits protéiques alternatifs sont principalement dues au fait que la plupart des recherches se concentrent sur l'optimisation des moyens et des possibilités de production. L'industrie africaine de l'aliment d'aquaculture sous-utilise certaines protéines alternatives en raison des défis posés par les contaminations autogènes (allergènes) et exogènes (métaux lourds, pesticides, xénobiotiques, pathogènes), qui peuvent entraver leurs fonctions nutritionnelles et favoriser des situations toxiques.

Les méthodes conventionnelles telles que l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique et l'hydrolyse enzymatique ne sont pas largement adoptées, ce qui aggrave le problème. En outre, les insectes, bien qu'ils constituent une source de protéines durable, peuvent retenir les antinutriments nocifs des plantes, notamment les glucosinolates et les phytates, qui présentent des risques pour la santé des poissons.

Les protéines végétales alternatives contiennent également diverses substances antinutritionnelles, telles que des saponines, des tanins et des inhibiteurs de protéase, qui entravent l'absorption des nutriments. Par exemple, les tanins peuvent se lier aux enzymes et aux protéines, réduisant ainsi la digestibilité, tandis que les phytates limitent la disponibilité du phosphore chez les animaux non ruminants.

Les méthodes de transformation telles que le broyage, la fermentation et le traitement thermique peuvent atténuer ces effets négatifs, bien qu'elles puissent augmenter les coûts de production. Les sous-produits animaux, y compris les sous-produits de la pêche et la farine de crevettes, peuvent également contenir des substances antinutritionnelles, ce qui nécessite un traitement minutieux pour réduire la teneur en cendres et améliorer la qualité nutritionnelle.

Dans l'ensemble, il est essentiel de relever les défis posés par les substances antinutritionnelles pour améliorer l'efficacité des protéines alternatives dans l'aquaculture.

#### **4.6 INSUFFISANCE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSFORMATION**

L'aquaculture africaine est entravée par des technologies de transformation dépassées, qui empêchent la région de tirer pleinement parti de ses abondantes ressources en aliments pour animaux, y compris les sous-produits animaux qui remplacent les farines de poisson.

Les méthodes de transformation actuelles posent des problèmes d'hygiène, mettent en péril la santé des animaux et augmentent les risques de maladie. En outre, de nombreuses protéines alternatives contiennent des toxines qui nécessitent des techniques de traitement avancées pour être incorporées en toute sécurité dans les régimes alimentaires de l'aquaculture, mais ces technologies font défaut dans la région. Les coûts élevés associés à ces technologies et aux intrants énergétiques compliquent encore la situation, ce qui nécessite l'exploration d'options énergétiques durables à faible coût, telles que l'énergie solaire et l'hydroélectricité.

La production limitée de protéines unicellulaires et la dépendance à l'égard d'une électricité coûteuse pour les opérations d'aquaculture limitent la disponibilité et la qualité des ingrédients des aliments pour animaux, ce qui compromet le développement de l'aquaculture rurale.

Malgré la présence de diverses espèces d'insectes en Afrique, l'industrie de l'élevage d'insectes reste sous-développée en raison d'investissements insuffisants dans la technologie et d'un manque de personnel qualifié. En outre, l'inaccessibilité des sous-produits animaux pour la production commerciale d'aliments pour poissons pose d'importants problèmes environnementaux, notamment en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre dues à une mauvaise gestion des déchets.

L'absence de technologies de transformation avancées limite considérablement l'évolutivité de la production de protéines alternatives dans l'industrie de l'aquaculture en Afrique, ce qui limite le potentiel de croissance et de durabilité de l'aquaculture.

#### **4.7 RÉGLEMENTATIONS POLITIQUES**

La croissance du secteur de l'alimentation aquatique en Afrique nécessite un modèle stratégique basé sur la politique afin de redéfinir la priorité de l'industrie pour une productivité accrue. Malgré l'importance des protéines alternatives pour l'expansion de l'industrie de l'aquaculture, l'industrie des protéines alternatives est confrontée à d'importants défis politiques en Afrique.

Les producteurs de protéines alternatives sont confrontés à des défis critiques, tels que les droits de production, les licences, les ventes et les achats, en raison de goulets d'étranglement bureaucratiques. Le potentiel d'investissement dans les protéines alternatives en Afrique n'est actuellement pas pleinement exploité malgré les avantages économiques substantiels qu'il promet.

Cette situation peut être attribuée à la faiblesse des politiques et à l'imprévisibilité du climat des affaires (inflation, ralentissement économique), qui pourraient dissuader les investisseurs potentiels.

En outre, l'incohérence des réglementations, les préjugés politiques et le manque de coopération entre les États membres constituent des obstacles importants à la croissance de l'industrie. Dans la plupart des pays africains, la production de protéines alternatives et les règles d'engagement associées ne sont pas orientées vers la politique et, par conséquent, ne peuvent pas contribuer de manière significative à la croissance de l'industrie.

Par exemple, il n'existe pas de données scientifiques exhaustives sur les PUC et la production d'insectes en Afrique, à l'exception de l'enquête de Tanga et Kababu, dont le rapport était basé sur des estimations au moment de la présente étude.

En ce qui concerne la production de protéines alternatives, certains pays africains ne produisent pas au maximum de leurs capacités. Cela pourrait être dû à un manque de soutien politique pour renforcer leurs opérations et contribuer à la croissance du marché des protéines alternatives en Afrique.

#### **4.8 IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES**

L'utilisation de sources d'alimentation alternatives à base de protéines dans l'industrie de l'aquaculture est une occasion unique de stimuler la production alimentaire et de répondre à la demande croissante de nourriture, en particulier dans le contexte actuel de crise alimentaire mondiale. Alors que les Nations unies prévoient que la population mondiale atteindra 9,7 milliards d'habitants d'ici 2050, il est essentiel d'investir de manière ciblée dans des sources de protéines alternatives pour une production aquacole robuste afin de promouvoir la sécurité alimentaire et la santé nutritionnelle. Le passage à des sources de protéines alternatives dans l'aquaculture pourrait créer de nombreuses opportunités d'emploi tout au long de la chaîne de valeur de la production. La production de protéines alternatives implique des étapes de production allant de la recherche et du développement de produits à la production et à l'essai des produits alimentaires pour vérifier leurs effets sur les performances nutritionnelles des poissons.

Cependant, une autre contrainte importante est le manque d'information et de documentation concernant les opérations des industries de protéines alternatives dans la région, ce qui limite les statistiques précises pour une législation, une réglementation, une évaluation périodique et une validation adéquates, l'évaluation périodique et la validation.

Cela nécessite une main-d'œuvre relativement qualifiée (scientifiques aquacoles, techniciens, biotechnologues, décideurs, spécialistes de la chaîne d'approvisionnement et nutritionnistes) pour travailler aux différents stades de la chaîne de production, tels que la culture, la transformation, la logistique, la chaîne d'approvisionnement, la politique et la réglementation, créant ainsi des opportunités d'emploi au sein de l'industrie. En outre, le développement de l'industrie des protéines alternatives peut offrir de précieuses opportunités d'investissement dans de nouvelles infrastructures et chaînes d'approvisionnement locales afin de soutenir les petits exploitants agricoles et les groupes régionaux, en particulier les femmes et les jeunes. Plus important encore, la création d'emplois devrait permettre de réduire le taux de chômage, en particulier en Afrique, estimé à 5,3 % - 7,0 % par les Nations unies, et d'augmenter le PIB africain, estimé à 3 000 milliards d'USD.

#### **4.9 ACCEPTATION SOCIALE DES PROTÉINES ALTERNATIVES**

De nombreuses protéines alternatives ont fait l'objet d'une attention accrue ces dernières années, et leurs avantages économiques, nutritionnels et environnementaux potentiels ont été principalement reconnus.

Cependant, il existe des préoccupations et des critiques concernant les sources et les méthodes de propagation de certaines protéines alternatives, qui peuvent entrer en conflit avec les normes et les croyances culturelles, sociales et religieuses, ce qui affecte leur acceptabilité en tant qu'aliments pour l'aquaculture dans certaines parties de l'Afrique. Par exemple, les protéines végétales génétiquement modifiées (GM) peuvent constituer une source précieuse de protéines pour l'alimentation aquatique. Bien que les protéines végétales génétiquement modifiées soient cultivées dans certains pays africains comme l'Égypte, le Burkina Faso et l'Afrique du Sud, elles sont toujours l'objet de critiques sévères en tant que sources de protéines pour l'aquaculture en raison des connotations négatives à l'égard des produits qui ont été modifiés génétiquement en raison de leur toxicité potentielle, de leur allergénicité, de leurs effets involontaires potentiels et du risque de transfert horizontal de gènes à d'autres espèces.

Sur la base de sentiments tribaux et culturels, certaines personnes sont sceptiques quant à l'utilisation de protéines génétiquement modifiées dans les régimes d'aquaculture, car elles pourraient contaminer les régimes et les animaux. Dans certaines régions d'Afrique, les protéines génétiquement modifiées (soja, gluten de maïs, graines de coton) sont mal acceptées en raison des risques pour la santé des poissons destinataires et des humains. Parmi les autres facteurs de motivation, citons le manque de confiance dans la science, la néophobie et la mauvaise couverture médiatique. On suppose également que l'application d'un nouveau gène dans une plante modifiée pourrait perturber l'expression des gènes endogènes, entraînant des effets involontaires ou imprévus tels que des changements dans les niveaux de nutriments et les substances toxiques pour les plantes (ANF). Cependant, la modification génétique offre la possibilité d'adapter la plante aux besoins nutritionnels des différentes espèces de poissons.

Cela pourrait s'avérer très utile si l'on considère le processus coûteux et difficile de réduction des facteurs antinutritionnels dans les plantes ou d'augmentation de leur teneur en protéines.

## **5. SOLUTIONS ET RECOMMANDATIONS**

Les principales solutions et recommandations pour améliorer la disponibilité et l'utilisation des protéines alternatives dans le secteur de l'aquaculture en Afrique. L'étude souligne l'importance des réformes politiques, de l'investissement dans la recherche, des avancées technologiques et de la coopération régionale pour promouvoir des pratiques aquacoles durables et améliorer la sécurité alimentaire, la croissance économique et la conservation de l'environnement.

Cette étude identifie que, bien que des protéines alternatives soient théoriquement disponibles et plus abordables que les farines de poisson, elles restent sous-utilisées dans l'aquaculture commerciale en raison de divers défis. Pour promouvoir une aquaculture durable en Afrique, il est crucial d'améliorer la disponibilité de ces protéines par le biais de réformes significatives.

## **CADRE POLITIQUE ET RÉGLEMENTAIRE**

Un cadre politique fondé sur des preuves est essentiel pour conduire les réformes dans l'industrie des protéines alternatives. Ce cadre devrait viser à :

**Libérer la bureaucratie et promouvoir le développement.**

**Garantir des conditions équitables pour les producteurs de protéines alternatives et les investisseurs.**

**Stimuler l'innovation et créer des opportunités d'investissement.**

Renforcer l'infrastructure socio-économique et libéraliser la fiscalité sur le commerce et les importations.

## **INVESTISSEMENT ET FINANCEMENT**

Pour surmonter les échecs du secteur de l'alimentation aquatique, un financement substantiel de la production de protéines alternatives est nécessaire. Il s'agit notamment de :

Allouer des fonds à la recherche sur les protéines alternatives et les matières premières pour l'alimentation animale.

Définir des domaines prioritaires pour la recherche et l'innovation.

## **PRATIQUES AGRICOLES**

Encourager les agriculteurs à adopter des variétés de semences améliorées pour les cultures protéiques peut améliorer la production. Les solutions aux conflits entre les agriculteurs et les éleveurs peuvent inclure :

Des programmes de formation pour l'amélioration des compétences.

Mettre en place des programmes d'élevage et des banques de fourrage.

## **PROGRÈS TECHNOLOGIQUES**

L'amélioration des infrastructures de transformation et des technologies de production est vitale. Les principales recommandations sont les suivantes :

Passer à des méthodes de transformation modernes pour explorer diverses protéines alternatives.

Mettre en œuvre des technologies de pointe pour améliorer la qualité des protéines et réduire la contamination.

Utiliser l'IA et la programmation nutritionnelle pour optimiser les ingrédients alimentaires et améliorer la santé des poissons.

## **ÉNERGIE DURABLE**

L'adoption de sources d'énergie durables, en particulier l'énergie solaire, peut réduire les coûts et l'impact sur l'environnement. Ce changement peut faciliter l'émergence d'une industrie de l'aquaculture plus durable en Afrique.

## **SENSIBILISATION ET COMMERCIALISATION**

La sensibilisation aux avantages des protéines alternatives est cruciale pour l'acceptation sociale et la croissance du marché.

Garantir un prix abordable contribuera à rendre ces protéines accessibles au-delà de l'aquaculture.

## EFFORTS DE COLLABORATION

La transformation du secteur de l'alimentation aquacole en Afrique nécessite une collaboration entre les parties prenantes, les décideurs politiques et les chercheurs pour relever les défis et mettre en œuvre les changements nécessaires.

Pour relever les défis auxquels est confrontée l'industrie des protéines alternatives en Afrique, il est nécessaire d'adopter une approche à multiples facettes impliquant une réforme des politiques, une augmentation des investissements, une innovation technologique et une coopération renforcée entre les différentes parties prenantes.

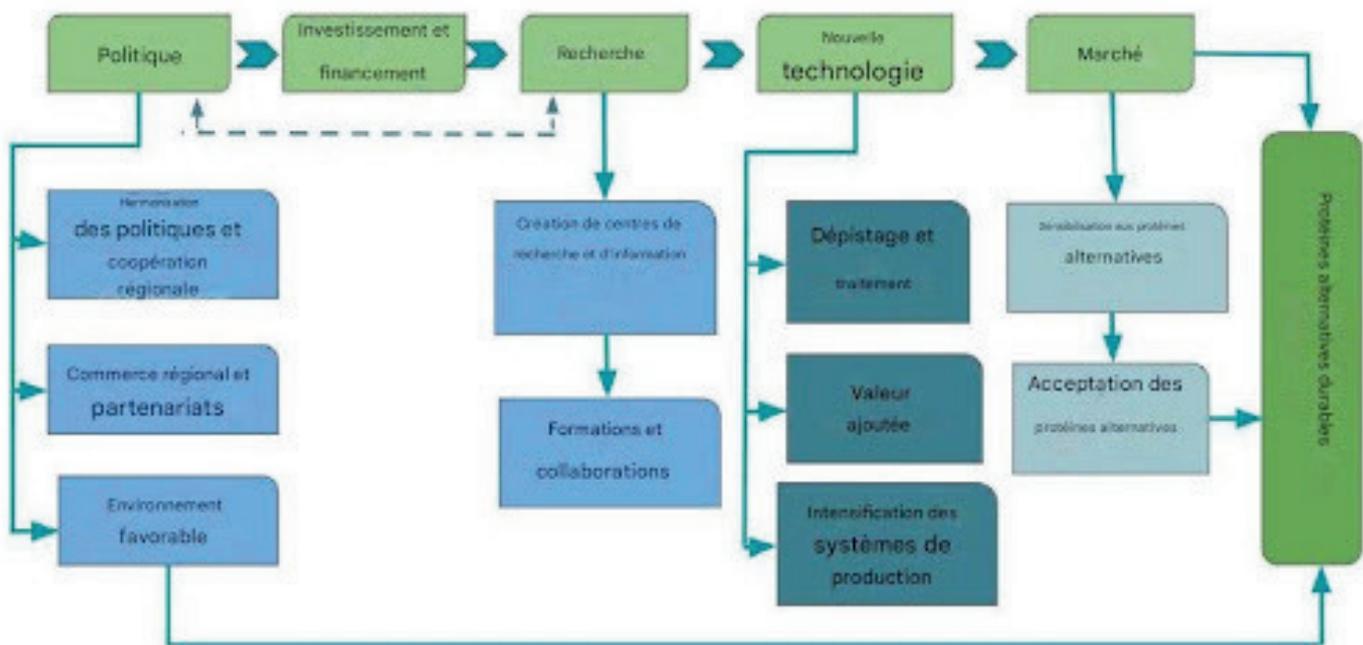


Fig 2 : Voie de solution pour une production durable de protéines alternatives pour l'aquaculture africaine.

## 6. CONCLUSION

Le secteur aquacole africain doit s'orienter vers des protéines alternatives pour assurer sa durabilité et sa viabilité économique. La surexploitation du poisson fourrage pour la farine de poisson pose des risques environnementaux et pourrait entraver la croissance du secteur. Si les protéines alternatives, en particulier les sous-produits animaux, sont prometteuses en raison de leur rapport coût-efficacité et de leur qualité nutritionnelle, il reste des défis à relever. Les protéines végétales, bien que peu coûteuses à produire, sont confrontées à des problèmes tels que la concurrence avec l'alimentation humaine et la sensibilité au changement climatique.

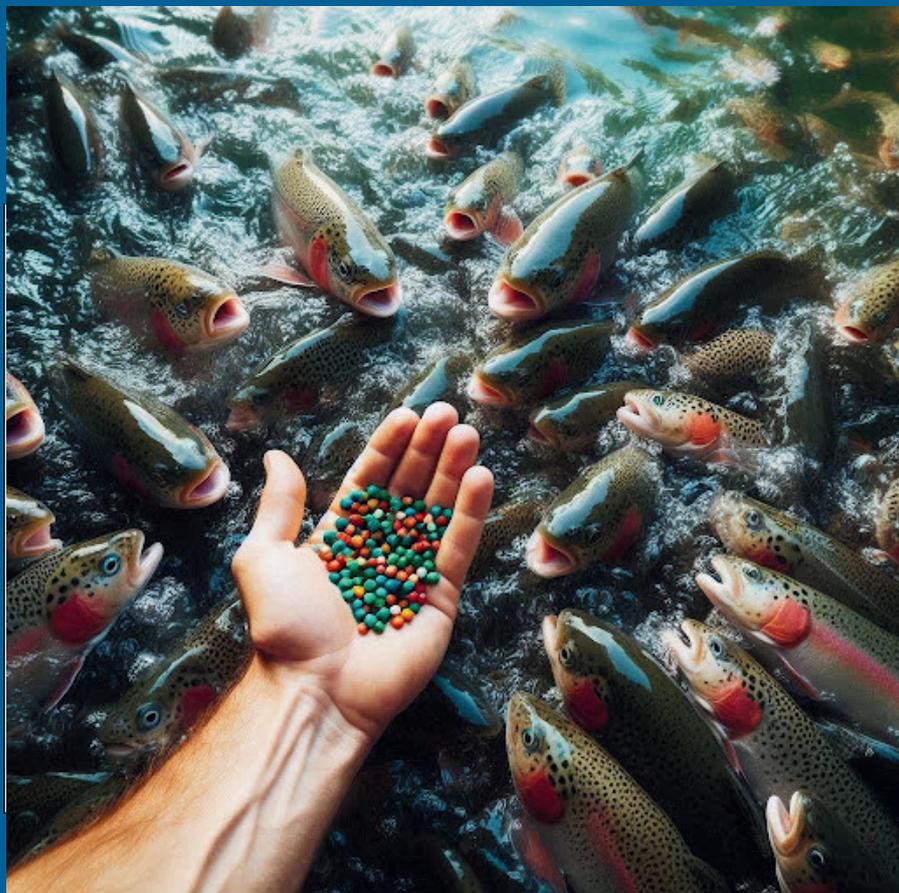
Les protéines d'insectes et les protéines microbiennes offrent un potentiel, mais nécessitent davantage de recherche et de développement. Pour tirer pleinement parti de ces sources de protéines innovantes, le secteur africain de l'alimentation aquatique a besoin d'un soutien politique substantiel, de financements et d'avancées dans les technologies de transformation. En outre, la sensibilisation et l'acceptation sociale sont essentielles à l'intégration des protéines alternatives sur le marché.

L'aquaculture africaine a besoin d'investissements ciblés pour améliorer ses technologies de transformation, ses infrastructures et sa recherche afin d'exploiter l'immense potentiel des protéines alternatives.

La synergie entre les parties prenantes, les chercheurs, les producteurs de protéines alternatives et le gouvernement à différents niveaux est essentielle pour parvenir aux changements positifs souhaités dans le secteur.

Source : S. Iheanacho, S. C. Hornburg, C. Schulz, and F. Kaiser, "Towards Resilient Aquaculture in Africa: Innovative and Sustainable Aquafeeds Through Alternative Protein Sources," *Reviews in Aquaculture* 17, no. 2 (2025): e13009.

## COMMENT ÉQUILIBRER LA DURABILITÉ ET L'APPÉTENCE DES ALIMENTS D'AQUACULTURE EN AFRIQUE



Par : Dr Mustapha ABA.  
Expert scientifique en  
aquaculture. Nutrition des  
poissons. Rabat Maroc.



**Pour encourager la durabilité de l'aquaculture et réduire les coûts de production de poisson, les produits de la pêche doivent être remplacés par des ingrédients durables dans les aliments aquacoles.**

**En incorporant des additifs alimentaires agissant comme améliorateurs de l'appétence est une stratégie permettant aux aquaculteurs de produire des aliments appétissants et moins polluants, contribuant ainsi à la croissance et au succès du secteur de l'aquaculture durable en Afrique.**

### INTRODUCTION

La croissance de la population mondiale, les préoccupations concernant la sécurité alimentaire et l'intérêt de plus en plus intense pour la durabilité environnementale comptent parmi les principaux défis auxquels les pays seront confrontés au cours des prochaines décennies (Aryal et al., 2022).

Selon la FAO (2024), pour la première fois, l'aquaculture a dominé la production mondiale de poisson, atteignant un nombre inattendu de 130,9 millions et constituant 51 % de la production totale d'animaux aquatiques.

En Afrique, les volumes de production ont augmenté massivement de 455 % depuis l'an 2000 et avec le taux de croissance le plus élevé dans le monde (FAO, 2024).

L'aquaculture joue un rôle crucial dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et la création d'emplois, en particulier dans les régions en développement surtout en Afrique. En outre, cette industrie produit des aliments aquatiques à un taux de croissance de 7,5 % par an depuis 1970 (Fiorella et al., 2021). Cette croissance de production de l'aquaculture a été facilitée par l'essor des systèmes intensifs de pisciculture basés sur l'alimentation (Fawole et al., 2019).

L'alimentation des poissons joue un rôle fondamental dans le maintien de la production aquacole dans les 5 continents, vu qu'elle représente la partie la plus coûteuse du système aquacole, représentant environ 60 % du coût de production total (Craig et al., 2017 ; Daniel, 2018 ; Musuka et al., 2023).

Une part importante des coûts impliqués dans la production de poissons d'élevage est liée aux aliments et à l'alimentation en raison du coût élevé des ingrédients riches en protéines (Ansari et al., 2021 ; Tilami et al., 2020 ; Wan et al., 2019). Or, La tendance à la hausse du coût des aliments pour poissons pose un défi dans les systèmes de culture intensive (Haider et al., 2016 ; Iqbal et al., 2020 ; Bjørndal et al., 2024), surtout avec la croissance de l'aquaculture qui a entraîné un besoin accru d'aliments pour poissons de haute qualité dont la farine de poisson constitue un composant essentiel. (Ansari et al., 2021).

Comment équilibrer la durabilité et l'appétence des aliments pour l'aquaculture ?



Cet article met en évidence le rôle des améliorateurs de l'appétence et les aspects de durabilité associés à leur utilisation comme alternative viable aux aliments à faible teneur en farine de poisson dans l'industrie de l'aquaculture afin d'assurer une production de poissons avec une gestion rentable à l'avenir.

## **FARINE DE POISSON: UN NUTRIMENT RICHE POUR LES ALIMENTS D'AQUACULTURE**

L'alimentation en aquaculture représente des coûts opérationnels élevés, les ingrédients protéiques étant responsables de l'essentiel de sa valeur (Zho et Yue, 2012 ; Aba, 2020). Les protéines sont souvent le composant le plus coûteux des aliments aquacoles et contribuent de manière significative aux coûts de production globaux (Pearce et al., 2004 ; Dworjanyn et al., 2007 ; Al-Souti et al., 2019).

Parmi les sources d'aliments protéinés, il convient de souligner que la farine de poisson est un ingrédient qui compose la plupart des sources de protéines d'origine animale surtout l'alimentation des poissons (FAO, 2025), contenant environ 60 à 72 % de protéines hautement digestibles avec un profil d'acides aminés (AA) bien équilibré (Pilmer et al., 2022).

Selon la FAO (2024), en 2021, le secteur de l'aquaculture était le principal consommateur de farine et d'huile de poissons produites à l'échelle mondiale (Figure 1), le reste de la production est utilisé pour le bétail, comme les porcs et la volaille, et d'autres secteurs, comme le marché des aliments pour animaux de compagnie.

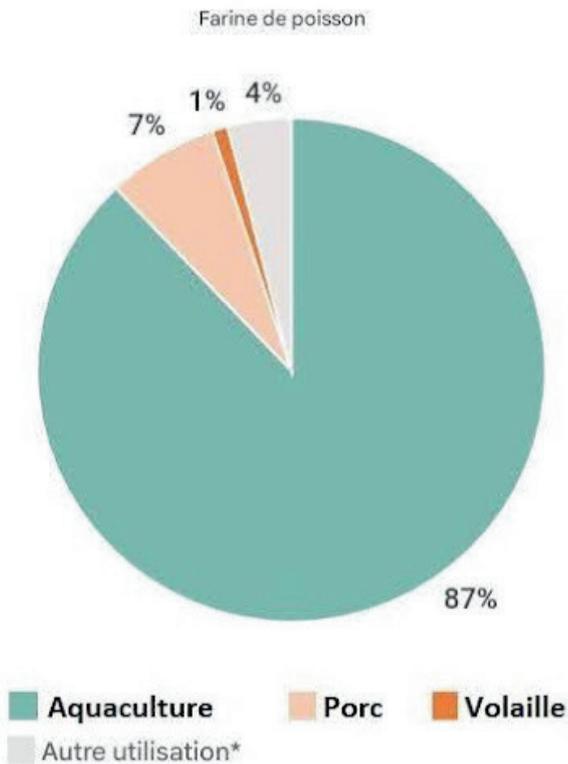


Fig1 : Production de la farine de poisson en 2021 (FAO, 2024)

Dans le secteur de l'aquaculture, l'incorporation de la farine de poisson dans les aliments aquacoles varie en fonction des espèces produites, de la qualité, de la disponibilité et du coût de l'ingrédient, ainsi que du stade de vie des espèces d'élevage sachant que les premiers stades de vie nécessitent des niveaux plus élevés (FAO, 2025).

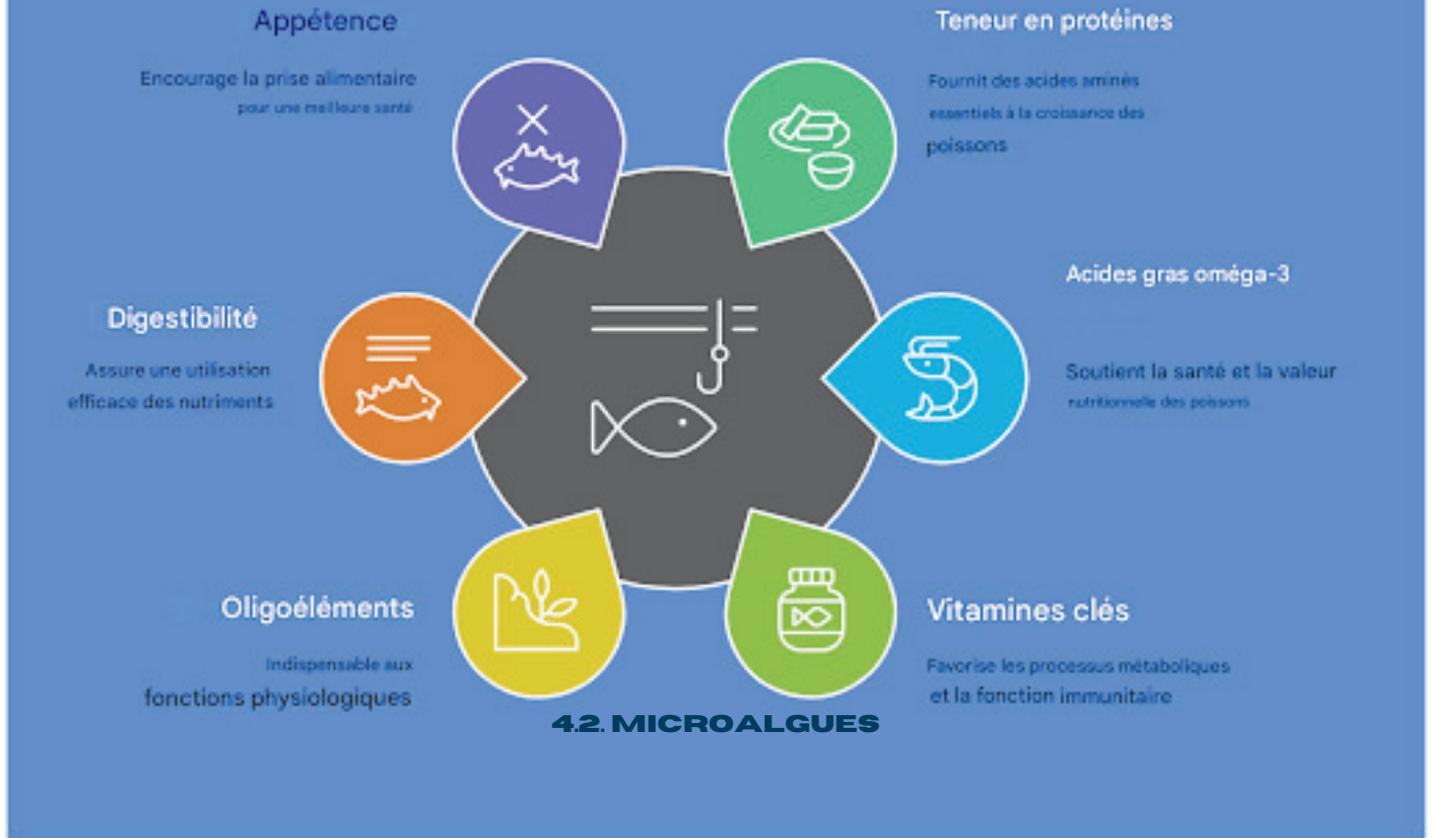
La production africaine de farine de poisson équivaut à environ 8 % de la production mondiale, mais seulement 1,5 % de la production mondiale est utilisée comme ingrédients d'aliments pour animaux en Afrique (Iheanacho et al., 2025), ceci résulte du fait de son coût, de son exportation vers les pays asiatiques et de la faible industrie de l'alimentation d'aquaculture en Afrique sauf en Egypte. La farine de poisson est réputée pour sa qualité nutritionnelle, offrant un profil équilibré d'acides aminés (Pilmer et al., 2022), d'acides gras polyinsaturés oméga-3 et de vitamines et minéraux essentiels, et est exempte de facteurs antinutritionnels avec une appétence et une digestibilité élevées (Bhuyain et al., 2019).

La digestibilité et l'appétence de la farine de poisson en font un excellent choix pour l'alimentation des animaux d'élevage, garantissant une croissance et une santé optimales (Pilmer et al., 2022, Hussain et al., 2024 ; FAO, 2025).

a bonne croissance des espèces aquatiques lorsqu'elles sont nourries avec des régimes contenant de la farine de poissons résulte de :

- Une bonne teneur en protéines avec un bon équilibre en acides aminés.
- Une bonne digestibilité des protéines.
- D'une bonne appétence de l'aliment.
- Absence de facteurs antinutritionnels.
- Des teneurs suffisantes en oméga 3.
- Meilleur apport en vitamines et en minéraux.

## Apports nutritionnels de la farine de poisson en aquaculture



La farine de poisson est essentielle pour le développement rapide des poissons d'élevage, avec environ 30–40% de farine de poisson dans les aliments pour poissons pour répondre aux besoins nécessaires (Hardy et al., 2022 ; Alfiko et al., 2022 ; Boyd et al., 2022).

L'utilisation de la farine de poisson comme principale source de protéines dans les aliments pour l'aquaculture est précaire étant donné que sa production à partir de la nature continue de diminuer chaque année, ce qui rend son approvisionnement coûteux (Rosa et al., 2019 ; Ndebele–Murisa et al., 2024).

### L'APPÉTENCE

Chez les poissons, le goût est responsable de la détection et de l'approbation des aliments présents dans l'environnement ou absorbés dans la bouche (Hansen et Reutter, 2004 ). La qualité stimulante de l'aliment, qui détermine l'acceptabilité par l'animal cible, est connue sous le nom de l'appétence, qui est une préoccupation clé lors du développement de régimes alimentaires artificiels pour l'aquaculture (Dworjany et al., 2007).

L'appétence affecte indirectement la consommation et la digestibilité en rendant la nourriture plus ou moins attrayante pour le poisson (Bowker, 2013). Il est bien connu que les ingrédients protéiques alternatifs à base de plantes provoquent des problèmes d'appétence chez les poissons marins carnivores et qu'une consommation alimentaire réduite en raison d'un goût défavorable conduit à une altération des performances de croissance (Nagel et al., 2012).

## L'APPÉTENCE EN NUTRITION D'AQUACULTURE

En aquaculture, la façon dont l'animal accepte la nourriture est souvent utilisée comme base pour définir l'appétence (Glencross, 2020), ce qui fait de l'appétence) est une préoccupation clé lors du développement de régimes alimentaires artificiels pour l'aquaculture (Dworjanyn et al., 2007). L'appétence affecte indirectement la consommation et la digestibilité en rendant la nourriture plus ou moins attrayante pour le poisson (Bowker, 2013).

Alternativement, un aliment plus appétissant sera plus facilement consommé et donc des proportions plus faibles de composants alimentaires coûteux, tels que les protéines, seront nécessaires.

Si un aliment est immangeable, il en résultera une grande quantité de déchets provenant de la nourriture non consommée/non digérée ainsi qu'une mauvaise performance (croissance et qualité) de l'organisme. Les régimes immangeables provoquent une satiété plus rapide des poissons et donc une consommation moindre de nourriture, ce qui diminue leur croissance dans le délai imparti.

## DURABILITÉ ET AQUACULTURE PRODUCTION

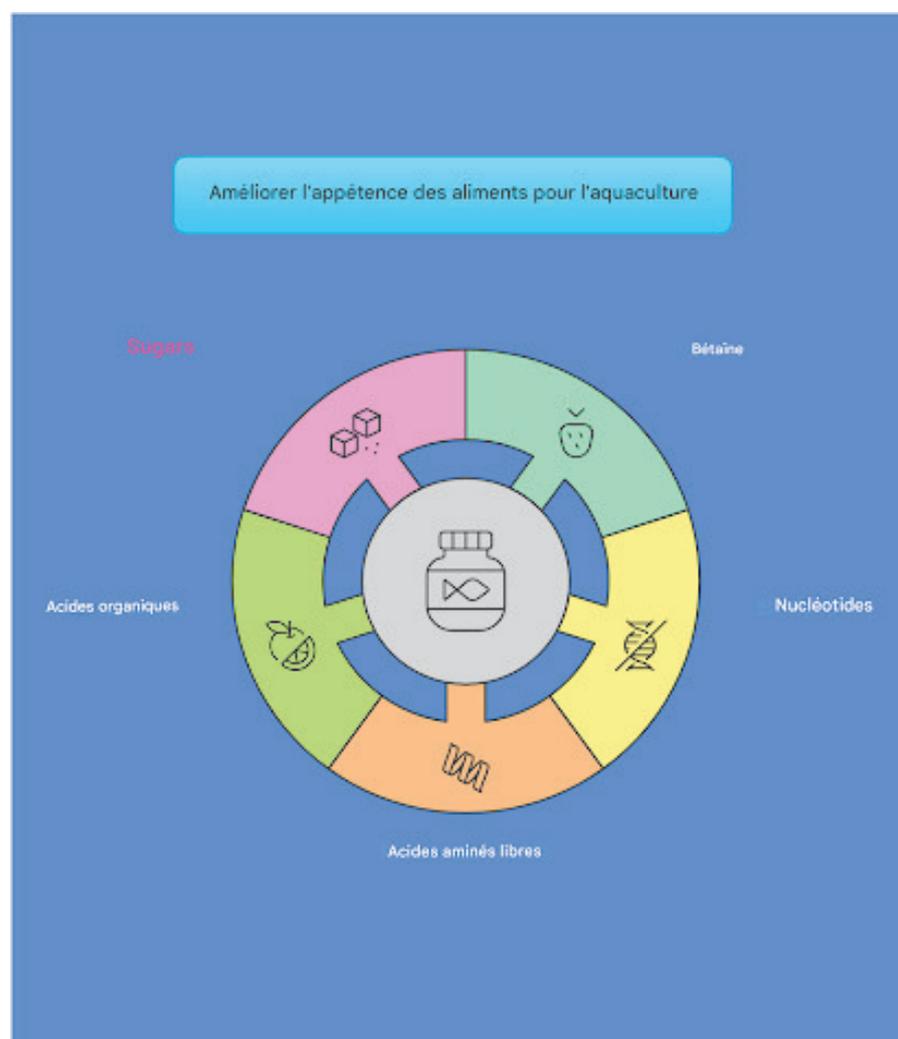
Le facteur clé affectant la durabilité de l'industrie de l'aquaculture est l'accès à des ingrédients de haute qualité et à un prix raisonnable (Ghosh et Ray, 2017 ; Goswami et al., 2020). Dans ce contexte et afin de maintenir la croissance de l'aquaculture face à un approvisionnement stable en farine de poisson, il faut identifier des ingrédients protéiques plus adaptés et plus durables qui maintiennent les performances et la santé des poissons (Kobayashi et al., 2015 ; Tacon & Metian, 2008, 2015), surtout avec un coût plus élevé et une offre fluctuante de FP suite à l'épuisement des ressources aquatiques et de la dynamique changeante de l'offre et de la demande de farine de poisson (Huang et al., 2023). Tous ces facteurs, nécessitent de remplacer ce précieux ingrédient par des sources de protéines alternatives moins chères avec une composition en acides aminés acceptable (Santigosa et al., 2011 ; Al-Thobaitia et al., 2018). Par conséquent, il est désormais impératif de rechercher des sources de protéines alternatives pour remplacer les FP pour la durabilité de l'aquaculture (Hussain et al., 2024). Cependant, le remplacement de la farine de poisson par des protéines végétales a un impact direct sur l'appétence des régimes. Les espèces aquacoles d'importance commerciale, telles que la crevette blanche du Pacifique (*Litopenaeus vannamei*) et les poissons carnivores, consomment moins facilement des régimes contenant des protéines végétales en raison de leur faible attractivité et appétence (Nunes et al., 2006; Terrey et al., 2021).

Pour garantir une aquaculture durable, l'incorporation de protéines végétales dans les poissons carnivores et omnivores a été la principale alternative à la farine de poisson, principalement en raison de leur disponibilité stable, de leur coût relativement faible et de leur composition nutritionnelle relativement bonne (bien que nécessitant une supplémentation en acides aminés essentiels) (Kissinger et al., 2016). Néanmoins, une quantité excessive d'ingrédients protéiques végétaux dans les régimes alimentaires des poissons carnivores réduit l'appétence des aliments, ce qui à son tour affecte l'ingestion d'aliments (IA) des poissons, affectant ainsi leurs performances de croissance (Aksnes et al., 2006). Afin d'en améliorer l'appétence et de stimuler l'alimentation des poissons, on utilise des attractants qui sont des additifs alimentaires non nutritifs qui agissent sur les systèmes chimiosensoriels olfactifs et gustatifs des poissons pour les inciter à manger, améliorant ainsi leur comportement alimentaire (Kolkovski et al., 2000, Singh et al., 2024), ce qui permet d'améliorer l'efficacité alimentaire, réduire les déchets alimentaires, entraîner une réduction substantielle des coûts de l'alimentation et de la pollution organique (Morais, 2016). Différents types d'exhausteurs de palatabilité ont été testés, notamment l'hydrolysate de krill, la farine de krill, la diméthyl- $\beta$ -proprotéine, la diméthylthétine, le tryptophane, la taurine, la bêtaïne, l'hydrolysate de calmar, la farine de calmar, l'eau de bâtonnet, la pâte de calmar, entre autres (Kolkovski et al., 2000; Zhi et al., 2025).

## AMÉLIORATEURS DE L'APPÉTENCE

L'appétence des aliments aquacoles représente la principale préoccupation des fabricants d'aliments car elle peut directement influencer le rendement de la production en aquaculture. Dans la recherche sur la nutrition des poissons, l'appétence des aliments est principalement évaluée par la mesure de l'ingestion d'aliments et des performances de croissance (Glencross et al., 2007).

Dans ce contexte, tout composé susceptible d'augmenter l'appétence d'un aliment pour animaux est désigné comme un améliorateur d'appétence, tels que la farine de poisson, l'huile de poisson, la farine de krill, la farine de foie de calmar, la farine de crevette, la farine d'algue et les hydrolysats de protéines, sont reconnus comme des ingrédients très appétents en aquaculture (Nunes et al., 2006 ; Al-Souti et al., 2019).



Dans les aliments à faible teneur en farine de poisson, améliorer l'appétence des aliments aquacoles est un défi à multiples facettes qui nécessite une approche holistique; en sélectionnant et en mélangeant soigneusement des sources de protéines alternatives, en optimisant les méthodes de transformation et en utilisant des exhausteurs d'appétence qui sont des additifs fonctionnels pour l'alimentation aquacole dotés de propriétés attractives susceptibles d'améliorer l'appétence des régimes alimentaires, en agissant sur les systèmes chimiosensoriels olfactifs et gustatifs des poissons (Kolkovski et al., 2000, Claus et Sorensen, 2017).

### LA BÉTAÏNE

La bétaïne est l'un des attractants les plus utilisés dans les formulations d'aliments pour animaux. Son incorporation dans les aliments aquacoles a une influence positive sur plusieurs paramètres de croissance et sur l'utilisation des aliments par les animaux aquatiques (Li et al., 2024 ; Mugwanya et al., 2024).

## NUCLÉOTIDES ET NUCLÉOSIDES

Ces additifs améliorent l'appétence du régime alimentaire et stimulent le comportement alimentaire. (Li et al., 2015 ; Prasad et al., 2020).

## LES ACIDES AMINÉS LIBRES

Les acides aminés libres ont été utilisés comme additifs alimentaires fonctionnels qui peuvent stimuler la prise alimentaire en aquaculture, en particulier dans les régime alimentaire contenant peu d'ingrédients marins (Kasumyan et Döving, 2003 ; Wangkahart et al., 2023).

La L-carnitine est un acide aminé libre avec un grand potentiel comme attractif alimentaire dans les régimes alimentaires des poissons et des crevettes avec une augmentation de la consommation d'aliments, de la croissance et de l'efficacité alimentaire (Harpaz, 2005).

En plus de la L-carnitine, d'autres acides aminés libres tels que la L-alanine, la L-cystéine, la L-sérine, la L-glutamine, la L-glycine, la L-glutamique et la L-tyrosine ont également montré des effets stimulants chez les poissons.

## LES ACIDES ORGANIQUES

Les acides organiques sont un type d'additif alimentaire qui peut améliorer l'appétence des aliments, ce qui pourrait entraîner une augmentation de la consommation d'aliments et, à terme, améliorer les performances de croissance (Ng and Koh, 2017). Plusieurs études ont montré une amélioration des performances de croissance et de leur utilisation des aliments de la truite, la carpe , le tilapia, la crevette, lorsqu'elles recevaient des acides organiques, tels que le butyrate, l'acide oxalique, l'acide malique, l'acide citrique, l'acide formique et l'acide propionique (Fabay et al. 2022).

## LES SUCRES

Les glucides alimentaires pourraient faciliter la liaison des granulés et améliorer leur stabilité et leur appétence (Honorato et al., 2010).

## CONCLUSION

En Aquaculture, l'approvisionnement limité en farine de poisson dans le monde entier a poussé l'industrie des aliments aquacoles à s'adapter en recherchant des sources de protéines alternatives. Or, le succès de ces aliments dépendra de propriétés clés, notamment de la formulation nutritionnellement complète, de la disponibilité des nutriments et de l'appétence des aliments.

Afin d'équilibrer la durabilité de l'aquaculture par une faible utilisation de la farine des poissons et une meilleure appétence des aliments on a recours dans la nutrition des poissons à l'utilisation d'additifs alimentaires exogènes pour minimiser les problèmes d'appétence des aliments.

Pour une utilisation efficace des nutriments, une réduction des pertes économiques en aquaculture, une amélioration des performances des espèces aquatiques et la quantité de déchets générée par les aliments afin de garantir une aquaculture plus durable en Afrique.

## RÉFÉRENCES

- Aryal, Jeetendra Prakash, Navneet Manchanda, and Tetsushi Sonobe. "Expectations for household food security in the coming decades: A global scenario." *Future foods*. Academic Press, 2022. 107–131.
- FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action*. In *The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA)*; FAO: Rome, Italy, 2024; ISBN 978-92-5-138763-4.
- K.J. Fiorella, H. Okronipa, K. Baker, S. Heilpern. *Contemporary aquaculture: implications for human nutrition*. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 70 (2021), pp. 83–90, [10.1016/j.copbio.2020.11.014](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.11.014).
- Fawole FJ, Adeoye AA, Tihamiyu LO, Ajala KI, Obadara SO, Ganiyu IO. Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture*. 2020; 518:734849. doi:[10.1016/j.aquaculture.2019.734849](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849).
- Craig, S. (2017) *Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding*. Virginia Cooperative Extension, Publication 420-256. Virginia Tech, Virginia State University, Petersburg.
- Daniel, N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *Int. J. Fisher. Aquatic Stud.* 6, 164–179.
- Musuka., et al. (2023). Commercial Aquafeed Production and Usage in Zambia: Reviewing its Current Status, Developmental Constraints and Opportunities. *Journal of Agriculture and Aquaculture* 5(3). DOI: [10.5281/zenodo.10430788](https://doi.org/10.5281/zenodo.10430788).
- Ansari, F. A., Guldhe, A., Gupta, S. K., Rawat, I., & Bux, F. (2021). Improving the feasibility of aquaculture feed by using microalgae. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43234–43257. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14989-x>.
- Tilami, S. K., Turek, J., Červený, D., Lepič, P., Kozák, P., Burkina, V., Sakalli, S., Tomčala, A., Samples, S., & Mráz, J. (2020). Insect meal as a partial replacement for fish meal in a formulated diet for perch *Perca fluviatilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(12), 867–878. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20\\_12\\_03](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_12_03).
- Wan, A. H.L., Davies, S. J., Soler-Vila, A., Fitzgerald, R., & Johnson, M. P. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 458–492. <https://doi.org/10.1111/raq.12241>
- Haider, M. S., Ashraf, M., Azmat, H., Khalique, A., Javid, A., Atique, U., et al. (2016). Nutritive evaluation of fish acid silage in *Labeo rohita* fingerlings feed. *J. Appl. Anim. Res.* 44, 158–164. doi: [10.1080/09712119.2015.1021811](https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1021811)
- Iqbal, S., Atique, U., Mahboob, S., Haider, M. S., Iqbal, H. S., al-Ghanim, K. A., et al. (2020a). Effect of supplemental selenium in fish feed boosts growth and gut enzyme activity in juvenile *Tilapia (Oreochromis niloticus)*. *J. King Saud. Univ. Sci.* 32, 2610–2616. doi: [10.1016/j.jksus.2020.05.001](https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.05.001)
- Bjørndal, T., Dey, M., and Tusvik, A. (2024). Economic analysis of the contributions of aquaculture to future food security. *Aquaculture* 578:740071. doi: [10.1016/j.aquaculture.2023.740071](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740071).
- Bayraklı, B., & Yıldız, S. (2024). Comparative Analysis of Nutritional Values of Fishmeals Produced From Whole Anchovy and Sprat and Farmed Salmon Viscera in the Black Sea Region. *Acta Natura et Scientia*, 5(2), 150–159. <https://doi.org/10.61326/actanatsci.v5i2.29>.
- Zhou, Q. C., & Yue, Y. R. (2012). Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. *Aquaculture Research*, 43(6), 806–814. doi:[10.1111/j.1365-2109.2011.02892.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02892.x)
- Aba.M Improving the Quality of Aquafeed for an Effective Food Security in Small Scale African Aquaculture. *World J. Adv.Res. Rev.* 2020, 7, 274–282.

- Pearce, C.M., Daggett, T.L., Robinson, S.M.C., 2004. Effect of urchin size and diet on gonad yield and quality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture* 233, 337–367.
- Dworjanyn, S., Pirozzi, I., Liu, W., 2007. The effect of the addition of algae feeding stimulants to artificial diets for the sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture* 273, 624–633.
- Al-souti, Ahmed & Gallardo, Wenresti & Claereboudt, Michel & Mahgoub, Osman. (2019). Attractability and palatability of formulated diets incorporated with chicken feather and algal meals for juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture Reports*. 14. [10.1016/j.aqrep.2019.100199](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100199).
- FAO. 2025. Responsible use of fishmeal in aquaculture. FAO Innovation for Blue Transformation. Rome
- Pilmer, L.W., Woolley, L.D., Lymbery, A.J., Salini, M., Partridge, G.J., 2022. Using dietary additives 833 to improve palatability of diets containing single-cell protein from methanotrophic bacteria in 834 yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) diets. *Aquac Res*. <https://doi.org/10.1111/ARE.15986>
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- Iheanacho, Stanley & Stéphanie, & Hornburg, Stéphanie & Schulz, Carsten & Kaiser, Frederik. (2025). Toward Resilient Aquaculture in Africa: Innovative and Sustainable Aquafeeds Through Alternative Protein Sources. *Reviews in Aquaculture*. 17. e13009. [10.1111/raq.13009](https://doi.org/10.1111/raq.13009).
- Bhuyain, Mohammad & Hossain, Istiaque & Jewel, Md. Abu & Hasan, Jakia & Akter, Sumaiya. (2019). Determination of the Proximate Composition of Available Fish Feed Ingredients in Bangladesh. *Asian Journal of Agricultural Research*. 13. 13–19. [10.3923/ajar.2019.13.19](https://doi.org/10.3923/ajar.2019.13.19).
- Glencross, Brett. (2020). A feed is still only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*. 26. [10.1111/anu.13138](https://doi.org/10.1111/anu.13138).
- Ghosh K, Ray AK. 2017. Aquafeed formulation using plant feedstuffs: prospective application of fish-gut microorganisms and microbial biotechnology. *Soft Chemistry and Food Fermentation*. 3: 109–144.
- Hussain SM, Bano AA, Ali S, Rizwan M, Adrees M, Zahoor AF, Sarker PK, Hussain M, Arsalan MZ, Yong JWH, Naeem A. Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*. 2024 Feb 20;10(4):e26573. doi: [10.1016/j.heliyon.2024.e26573](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573). PMID: 38434023; PMCID: PMC10906437.
- Hardy, R. W., Kaushik, S. J., Mai, K., & Bai, S. C. (2022). *Fish nutrition—History and perspectives*. Fish Nutrition. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03211-9>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>.
- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>
- Hansen, Anne & Reutter, Klaus. (2004). The Senses of Fish. [10.1007/978-94-007-1060-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1060-3_3).
- Bowker, J., 2013. Attractant Properties of Chemical Constituents of the Green Macroalga *Ulva* and Their Response Effects on the Commercially Important Sea Urchin *Tripneustes gratilla*. Department of Biological Sciences, Honours Project 2. University of Cape Town, pp. 1–29.
- Nagel, F., von Danwitz, A., Tusche, K., Kroeckel, S., van Bussel, C. G. J., Schlachter, M., Adem, H., Tressel, R. P., & Schulz, C. (2012). Nutritional evaluation of rapeseed protein isolate as fish meal substitute for juvenile turbot (*Psetta maxima* L.) – Impact on growth performance, body composition, nutrient digestibility and blood physiology. *Aquaculture*, 356–357, 357–364. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2012.04.045>.

Goswami RK, Shrivastav AK, Sharma JG, Tocher DR, Chakra-barti R. 2020. Growth and digestive enzyme activities of Rohu *Labeo rohita* fed diets containing macrophytes and almond-oil-cake. *Animal Feed Science and Technology*. 263:1–8.

Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M., & Anderson, J. L. (2015). Fish to 2030: The role and opportunity for aquaculture. *Aquaculture Economics and Management*, 19(3), 282–300.

<https://doi.org/10.1080/13657305.2015.994240>

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2008.08.015>

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10.

<https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>

Huang, Hongfei & Li, Xiaoqin & Cao, Kailin & Leng, Xiangjun. (2023). Effects of Replacing Fishmeal with the Mixture of Cottonseed Protein Concentrate and *Clostridium autoethanogenum* Protein on the Growth, Nutrient Utilization, Serum Biochemical Indices, Intestinal and Hepatopancreas Histology of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*. 13. 817. [10.3390/ani13050817](https://doi.org/10.3390/ani13050817).

Santigosa, E., García-Meilán, I., Valentín, J. M., Navarro, I., Pérez-Sánchez, J., and Gallardo, M. Á. (2011). Plant oils' inclusion in high fish meal-substituted diets: effect on digestion and nutrient absorption in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquac. Res.* 42, 962–974. doi: [10.1111/j.1365-2109.2010.02679.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02679.x)

Al-Thobaitia, K., Al-Ghanima, Z., Ahmeda, E. M., and Sulimana, M. S. (2018). Impact of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources on the growth performance in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Braz. J. Biol.* 78, 525–534. doi: [10.1590/1519-6984.172230](https://doi.org/10.1590/1519-6984.172230)

Mugwanya, Muziri & Dawood, Mahmoud & Kimera, Fahad & Sewilam, Hani. (2024). A meta-analysis on the influence of dietary betaine on the growth performance and feed utilization in aquatic animals. *Aquaculture Reports*. 37. 102200. [10.1016/j.aqrep.2024.102200](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102200).

Nunes, A.J.P., Sa, M.V.C., Felipe Andriola-Neto, F. and Lemos, D. 2006. Behavioral response to selected feed attractants and stimulants in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 260, 244–254.

Terrey, D.; James, J.; Tankovski, I.; Dalim, M.; van Spankeren, M.; Chakraborty, A.; Schmitt, E.; Paul, A. Palatability Enhancement Potential of *Hermetia illucens* Larvae Protein Hydrolysate in *Litopenaeus vannamei* Diets. *Molecules* 2021, 26, 1582. <https://doi.org/10.3390/molecules26061582>

Kissinger, K.R., A. García-Ortega & J.T. Trushenski. 2016. Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. *Aquaculture*, 452: 37–44.

Aksnes A, Hope B, Albrektsen S. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. II: Flesh quality, absorption, retention and fillet levels of taurine and anserine. *Aquaculture*. 2006; 261(1):318326.

Kolkovski, S., Czesny, S. and Dabrowski, K. 2000. Use of Krill Hydrolysate as a Feed Attractant for Fish Larvae and Juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*. 31:81–88

P. Singh, B. P., & S.S. Giri. (2024). Feed Additives in Aquaculture Nutrition- A Review. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 41(2). <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAN/article/view/140185>

Zhi X. et al. Dietary functional palatability enhancer improved growth and appetite in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed a reduced fish meal diet // *Aquaculture Reports*. 2025. Vol. 40. p. 102598.

Li, H., Zeng, Y., Wang, G., Zhang, K., Gong, W., Li, Z., ... & Yu, E. (2024). Betaine improves appetite regulation and glucose-lipid metabolism in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) fed a high-carbohydrate-diet by regulating the AMPK/mTOR signaling. *Heliyon*, 10(7).

Li, P., Zhao, J., Gatlin III, D.M., 2015. Chapter 12 Nucleotides. *Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health*. Wiley Blackwell, Hoboken, New Jersey, USA, pp. 249\_269.

Shyam Prasad. M., Muralidhar P. Ande, Syamala Karthireddy., Chadha N.K., Gireesh Babu. P., Paramita Banerjee Sawant (2020). Nucleotide nutrition: Present Status and Prospects in Aquaculture.

Kasumyan, A.O., Dořing, K.B., 2003. Taste preferences in fishes. *Fish*. 4 (4), 289\_347.

Wangkahart, Eakapol & Kersante, Pierrick & Phudkliang, Janjira & Nontasan, Supap & Pholchamat, Sirinya & Sunthamala, Phitcharat & Lee, Po-Tsang & Chantiratikul, Anut & Soonngam, Luxsanawadee & Pakdeenarong, Noppakun. (2023). Effects of a free amino acid mixture in replacing dietary fishmeal and reducing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production costs. *Aquaculture Reports*. 32. 101739. [10.1016/j.aqrep.2023.101739](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101739).

Harpaz, Sheenan. (2005). L-Carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition - A review. *Aquaculture*. 249. 3-21. [10.1016/j.aquaculture.2005.04.007](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.007).

Stanley Iheanacho, Stéphanie Céline Hornburg, Carsten Schulz and Frederik Kaiser. 2025. Toward Resilient Aquaculture in Africa: Innovative and Sustainable Aquafeeds Through Alternative Protein Sources. *Reviews in Aquaculture: Volume 17, Issue 2*. <https://doi.org/10.1111/raq.13009>

Stanley Iheanacho, Stéphanie Céline Hornburg, Carsten Schulz and Frederik Kaiser. 2025. Toward Resilient Aquaculture in Africa: Innovative and Sustainable Aquafeeds Through Alternative Protein Sources. *Reviews in Aquaculture: Volume 17, Issue 2*. <https://doi.org/10.1111/raq.13009>

Ng, W.K., Koh, C.B., 2017. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Rev. Aquaculture* 9 (4), 342\_368.

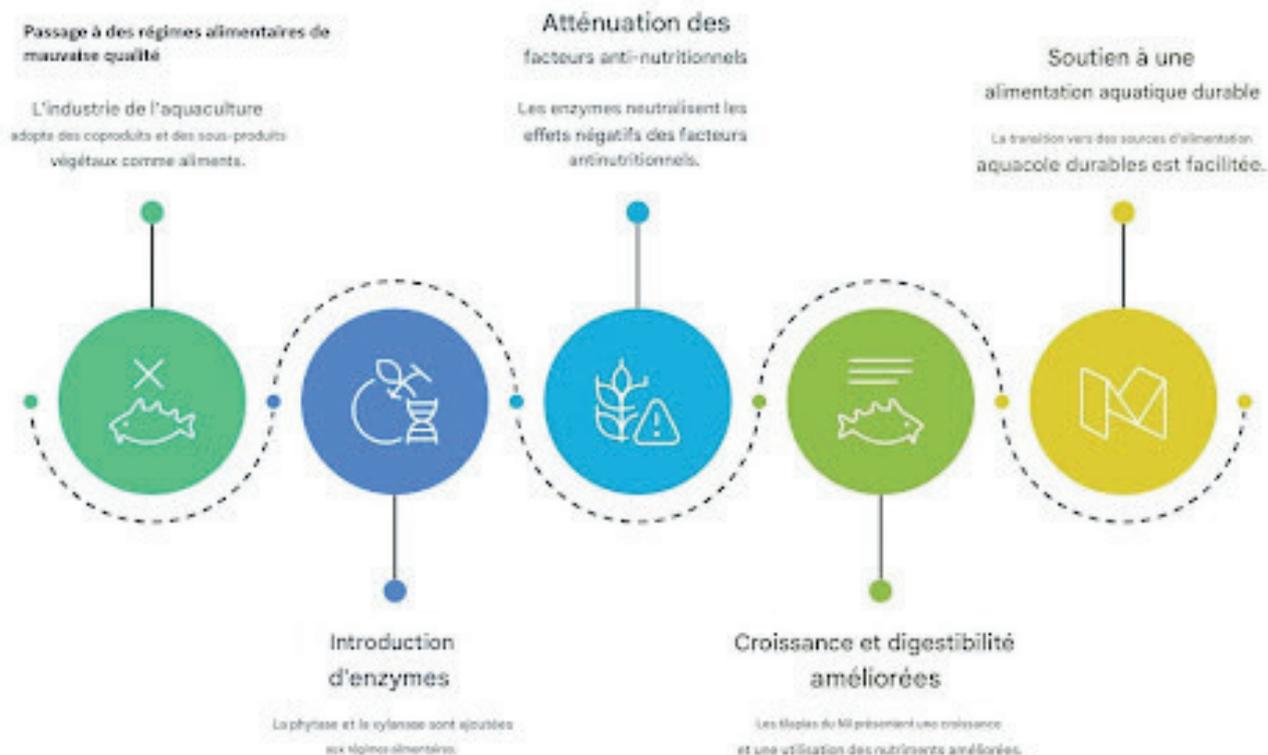
Fabay, R.V., Serrano Jr, A.E., Alejos, M.S., & Fabay, J.V. (2022). Effects of dietary acidification and acid source on fish growth and feed efficiency (Review). *World Academy of Sciences Journal*, 4, 21. <https://doi.org/10.3892/wasj.2022.156>.

Honorato, C. A., Almeida, L. C., Da Silva Nunes, C., Carneiro, D. J., & Moraes, G. (2010). Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Nutrition*, 16(1), 91-99.

Rosas, V.T.; Poersch, L.H.; Romano, L.A.; Tesser, M.B. Feasibility of the Use of Spirulina in Aquaculture Diets. *Rev Aquac*. 2019, 11, 1367-1378. Ndebele-Murisa, Mzime, Chipo Plaxedes Mubaya, Chipo Hazel Dekesa, Angela Samundengo, Fanuel Kapute, and Rodrigue Yossa. 2024. "Sustainability of Aqua Feeds in Africa: A Narrative Review" *Sustainability* 16, no. 23: 10323. <https://doi.org/10.3390/su162310323>.

# LA SUPPLÉMENTATION ENZYMATIQUE (PHYTASE ET XYLANASE) AMÉLIORE LES RÉGIMES ALIMENTAIRES DE FAIBLE QUALITÉ CHEZ LE TILAPIA DU NIL POUR UNE AQUACULTURE DURABLE

## Impact de la Supplémentation Enzymatique sur le Tilapia du Nil



Par : By Roel M.Maas, Fotini Kokou, Marc C.J Verdegem and Johan W Schrama. Groupe d'aquaculture et de pêche, Université et recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas

En raison de la demande croissante d'ingrédients pour l'aquaculture qui n'entrent pas en concurrence directe avec l'alimentation humaine, les co-produits et sous-produits végétaux, et donc les facteurs antinutritionnels tels que les polysaccharides non amylacés et les phytates, devraient continuer à augmenter.

Les enzymes endogènes qui ciblent les facteurs antinutritionnels peuvent faciliter cette transition. Cette étude a examiné si des ingrédients de faible qualité affectent les effets des enzymes endogènes sur la croissance du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), l'utilisation des nutriments, le microbiote et les caractéristiques du digesta.

La supplémentation en enzymes a permis d'améliorer la croissance, la digestibilité et l'utilisation des nutriments, l'effet étant souvent plus important pour le régime de qualité inférieure. Ainsi, l'amélioration plus importante de la supplémentation enzymatique dans le régime de qualité inférieure peut faciliter la transition vers des ingrédients moins concurrentiels par rapport à l'alimentation humaine.

## 1. INTRODUCTION

Pour répondre à la demande croissante d'aliments pour l'aquaculture, l'utilisation d'ingrédients de faible qualité dans les aliments pour l'aquaculture qui ne concurrencent pas l'alimentation humaine devrait augmenter, tout comme l'utilisation d'aliments pour l'aquaculture formulés contenant des ingrédients végétaux qui seraient autrement gaspillés (FAO, 2020). Les teneurs en facteurs antinutritionnels tels que le phytate et les polysaccharides non amylacés (NSP) devraient augmenter à mesure que les sous-produits et coproduits végétaux se multiplient ; le phytate est la principale forme de stockage du phosphore (P) dans les plantes, et les NSP sont des restes de cellules végétales, que l'on trouve principalement dans les parois cellulaires des plantes et que l'on appelle souvent fibres (Dhingra et al., 2012 ; Sinha et al., 2011 ; Hossain et al., 2024). L'augmentation des niveaux de phytate et de NSP a montré qu'elle réduisait la performance de croissance des poissons, principalement en raison de la réduction de la digestibilité des nutriments (Haidar et al., 2016 ; Maas et al., 2020).

La phytase et les enzymes dégradant les NSP offrent des outils potentiels pour atténuer (partiellement) les effets négatifs du phytate et des NSP en les décomposant et en augmentant leur digestibilité (Kumar et al., 2012 ; Castillo et Gatlin, 2015 ; Zheng et al., 2020). Par exemple, la phytase s'est avérée efficace pour améliorer la croissance et la disponibilité de P pour de multiples espèces de poissons, y compris différentes espèces de carpes (carpe majeure (*Labeo rohita*) (Hussain et al., 2017) et *Mrigal* (*Cirrhinus mrigala*) (Hussain et al., 2015), les salmonidés (truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) (Greiling et al., 2019) et le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) (Maas et al., 2018). Le rôle et l'importance des enzymes alimentaires telles que la phytase et la xylanase devraient s'accroître à mesure que le niveau des ingrédients de faible qualité dans les aliments pour animaux aquatiques augmente.

En effet, l'amélioration de la croissance et de la digestibilité grâce à la supplémentation enzymatique devrait être plus évidente à mesure que les niveaux de facteurs antinutritionnels tels que les NSP et la phytase augmentent.

Ceci est particulièrement pertinent pour les espèces de poissons de faible valeur (et donc les régimes de faible qualité) comme le tilapia du Nil, qui a des habitudes alimentaires omnivores et peut tolérer des niveaux élevés de matières végétales (c'est-à-dire des niveaux élevés de NSP) (Tesfahun et Temesgen, 2018). Comme on l'a vu chez le tilapia du Nil, les NSP peuvent avoir un impact sur les caractéristiques du digesta dans l'intestin, telles que sa viscosité et sa teneur en matière sèche (Leenhouwers et al., 2007a). En outre, plusieurs études ont démontré que la composition de l'alimentation peut influencer le microbiote intestinal des poissons en modifiant sa diversité et sa composition (Pedrotti et al., 2015 ; Ringø et al., 2006, 2016), avec des implications potentielles pour la santé intestinale et l'utilisation des aliments. Lorsque les NSP sont dégradés en composés moins polymérisés, ils deviennent disponibles pour la fermentation par le microbiote, ce qui entraîne la production d'Acides Gras Volatils (AGV) (Castillo et Gatlin, 2015). Le tilapia, en tant que poisson d'eau chaude principalement herbivore doté d'un long intestin, présente un potentiel de fermentation intestinale (Metzler-Zebeli et al., 2010 ; Maas et al., 2021). L'ajout d'enzymes exogènes devrait améliorer la décomposition des NSP et donc la production d'AGV, augmentant ainsi la digestibilité des NSP. Plusieurs études ont démontré que les enzymes peuvent améliorer la digestibilité des NSP (Maas et al., 2018 ; Maas et al., 2019 ; Maas et al., 2020), les NSP étant utilisés comme un terme générique. Cependant, les NSP peuvent être divisés en de nombreux types et structures qui peuvent être identifiés par leurs sucres constitutifs. On manque d'informations sur la fraction de NSP (sucre constitutif) sur laquelle les enzymes endogènes agissent chez les poissons. En outre, les différences de substrat potentiel (à la fois en termes de composition et de niveau) pour la fermentation intestinale peuvent avoir un impact sur la production d'AGV (Leenhouwers et al., 2008 ; Liu et al., 2022) et la composition (Macfarlane et Macfarlane, 2003).

Les principaux AGV produits dans le poisson sont l'acétate, le propionate et le butyrate, l'acétate et le propionate étant rapidement absorbés et utilisés comme sources d'énergie, tandis que le butyrate sert principalement de source d'énergie directe par les colonocytes (Maas et al., 2020).

La fermentation se produisant par le biais de la glycolyse anaérobie microbienne, on peut s'attendre à une modification du microbiote. En outre, les AGV produits peuvent agir comme des métabolites dans l'intestin et influencer le microbiote intestinal, mais aussi la santé intestinale (Wen et al., 2018 ; Kazlauskaitė et al., 2022).

Par conséquent, notre compréhension de la manière dont les altérations du microbiote peuvent interférer avec les performances des poissons et l'efficacité alimentaire est actuellement insuffisante, car seules quelques études ont évalué la composition du microbiote en conjonction avec la teneur en acides gras volatils dans l'intestin.

En outre, on sait peu de choses sur la question de savoir si l'augmentation du niveau d'ingrédients de faible qualité (et donc du niveau de NSP et de phytate) affecte l'effet potentiel des enzymes endogènes sur la performance des poissons et l'utilisation des nutriments. Compte tenu de ce qui précède, la présente étude a examiné l'impact de la supplémentation enzymatique sur les performances de croissance, l'utilisation des nutriments (y compris la gestibilité), le microbiote et les caractéristiques des digesta (c'est-à-dire la viscosité, le pH et la teneur en AGV) le long du tractus gastro-intestinal dans des régimes alimentaires dont la qualité et donc les niveaux de phytate et de NSP variaient.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le Comité central pour l'expérimentation animale (CCD) a approuvé cette étude sur l'avis du Comité néerlandais pour l'expérimentation animale (DEC) (permis n° AVD1040020185426). Elle a également été approuvée par le Comité éthique de l'Université de Wageningen pour l'expérimentation animale et réalisée conformément à la loi néerlandaise (loi sur l'expérimentation animale).

### 2.1 RÉGIME ALIMENTAIRE

Un plan factoriel 2 × 2 a été utilisé pour tester l'effet des enzymes et de la qualité du régime alimentaire. Le premier facteur était la supplémentation en enzymes, qui comprenait la phytase (Axta® PHY, Buttiauxella sp. Phytase, dose recommandée : 1000 FTU/kg, Danisco Animal Nutrition) et la xylanase (Danisco® Xylanase, dose recommandée : 4000 U/kg, Danisco Animal Nutrition).

Ce mélange enzymatique a été choisi car la combinaison de phytase et de xylanase s'est avérée efficace chez le tilapia du Nil (Maas et al., 2018). Le deuxième facteur était une différence de qualité de l'alimentation, avec un régime témoin (122 g de PNA/kg de MS) et un régime de faible qualité (311 g de PNA/kg de MS).

Il en résulte un traitement de contrôle (sans enzymes) pour le régime de contrôle (CON-CON), un régime de contrôle avec enzymes (CON-ENZ), un traitement de contrôle (sans enzymes) pour le régime de faible qualité (LQ-CON) et un régime de faible qualité avec enzymes (LQ-ENZ).

Les régimes NSP de contrôle comprenaient des quantités modérées de tourteau de soja, de tourteau de colza, de tourteau de tournesol, de son de blé, de drêche sèche distillée avec solubles (DDGS) et de son de riz gras (tableau 1).

Le régime de qualité inférieure comprenait plus (trois fois plus) de ces ingrédients dans le même rapport, au détriment du concentré de protéines de soja et de la farine de blé, qui n'étaient pas inclus.

En conséquence, pour le régime de qualité inférieure, la quantité calculée de phosphore lié à l'inositol (phytate) est passée de 4,6 à 6,3 g P/kg de MS et la teneur en NSP de 122 à 331 g NSP/kg de MS.

Les régimes alimentaires ne contenaient pas de farine de poisson et étaient composés d'ingrédients couramment utilisés pour nourrir le tilapia du Nil dans les pratiques d'élevage.

Les régimes de faible qualité anticipent l'augmentation de l'utilisation de co-produits et de sous-produits de faible qualité dans les aliments pour poissons.

Nous avons utilisé de l'oxyde d'yttrium (Y) en tant que marqueur inerte afin de mesurer avec précision la digestibilité.

**Tableau 1 Composition des ingrédients des régimes expérimentaux**

Ingrédients (%)	Régime alimentaire de qualité contrôlée (CQ)	Régime alimentaire de faible qualité (LQ)
Maïs	7.0	7.0
Concentré de protéines de soja	10,0	-
Farine de soja	3.0	10,0
Blé	6.53	6,88
Farine de gluten de blé	6.0	3.0
Son de blé	5.0	15,0
Farine de colza	3.0	10,0
Repas de tournesol	3.0	10,0
Son de riz entier	5.0	15,0
Blé DGGS	3.0	10,0
Huile de poisson	1.0	1.0
Huile de colza	1,5	1,5
Huile de palme	1,5	1,5
Farine de plumes hydrolysée	5.0	5.0
Farine de blé	35,0	-
Prémélange minéral	1.0	1.0
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	-	0,7
Phosphate dicalcique	2.2	1.1
DL-méthionine	0,5	0,45
L-Lysine	0,55	0,65
L-Thréonine	0,2	0,2
Oxyde d'yttrium	0,02	0,02

Notes. NSP, polysaccharides non amylacés ; DDGS, drêche sèche de distillerie avec soluble.

† Composition du prémélange. Vitamines (UI ou mg/kg de régime complet) : vitamine B1, 10 ; vitamine B2, 10 ; vitamine B6, 10 ; vitamine B5, 10 ; vitamine B3, 20 ; boitine, 0,2 ; B-12, 0.015 ; acide folique, 2 ; vitamine C, 100 ; vitamine E, 100 UI ; palmitate de vitamine A, 3000 UI ; D-Rovimix D3-500, 2400 UI ; K3 K-ménadione bisulfite de sodium (51 %), 10 ; inositol, 400 ; choline, 1500 ; antioxydant BHT (E300-321), 100 ; propionate de calcium, 1000. Minéraux (mg/kg de régime complet) : fer (sous forme de SO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O), 50 ; zinc (ZnSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O), 30 ; cobalt (sous forme de CoSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O), 0,1 ; cuivre (sous forme de CuSO<sub>4</sub>·5 H<sub>2</sub>O), 10 ; sélénium (sous forme de Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), 0.5 ; manganèse (sous forme de MnSO<sub>4</sub>·4 H<sub>2</sub>O), 20 ; magnésium (sous forme de MgSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O), 500 ; chrome (sous forme de CrCl<sub>3</sub>·6 H<sub>2</sub>O), 1 ; calcium (sous forme de CaIO<sub>3</sub>·6 H<sub>2</sub>O), 2.

Traitement	Régime de contrôle de qualité		Alimentation de mauvaise qualité	
	Contrôle	Enzymes	Contrôle	Enzymes
Teneur en éléments nutritifs analysée (g/kg MS)				
Matière sèche (g/kg)	941	937	950	948
Protéine brute	303	303	315	313
Matière grasse brute	92	96	108	109
Glucides totaux	551	547	504	505
Amidon + sucres	429	424	192	196
Polysaccharides non amylacés+	122	123	312	309
Rhamnose	1.0	0.7	1.0	0.9
Arabinose	17.2	18.4	29.5	30.8
Xylose	21.0	21.0	33.9	36.3
Mannose	24.2	19.6	22.6	24.1
Galactose	13.6	12.9	12.3	13.3
Glucose	25.9	23.4	43.0	42.8
Fucose	1.3	1.4	1.3	1.8
Acides uroniques	12.0	10.3	17.3	18.8
Énergie (kJ/g)	20.2	20.4	20.7	20.9
Cendre	55	54	73	73
Phosphore	9.3	9.4	11.5	11.4
Calcium	9.4	9.5	9.4	9.5
Magnésium	2.5	2.5	4.3	4.4
Manganèse	0.06	0.06	0.09	0.09
Zinc	0.07	0.07	0.10	0.10
Activité enzymatique				
Phytase (FTU/kg)	< 180	893	< 180	1014
Xylanases (U/kg)	-	4837	-	4898

La teneur totale en hydrates de carbone (sur la base de la MS) a été calculée comme suit : 1000 - (cendres + protéines brutes + matières grasses brutes).

Les polysaccharides non amylacés ont été calculés comme suit : hydrates de carbone - (amidon + sucres).

## 2.2. POISSONS, CONDITIONS ET INSTALLATIONS D'ÉLEVAGE

L'expérience a été réalisée au centre de recherche en aquaculture de l'université de Wageningen aux Pays-Bas. Des tilapias du Nil mâles (*Oreochromis niloticus* ; souche Silver NMT™) ont été obtenus auprès d'un éleveur de poissons commercial (Til-Aqua International, Someren, Pays-Bas).

Les réservoirs étaient tous connectés au même système de recirculation, ce qui a permis d'obtenir une alimentation en eau commune et la même qualité d'eau pour l'arrivée d'eau de chaque réservoir.

Le renouvellement quotidien de l'eau du système était de 300 L. Le système de recirculation se composait d'un puisard, d'un bassin de décantation et d'un filtre à ruissellement. Chaque réservoir était relié individuellement à un séparateur à tourbillon (AquaOptima AS, hauteur de 44 cm ; diamètre de 24,5 cm) avec une bouteille en verre amovible au fond pour compter les déversements d'aliments et recueillir les fèces. À l'aide d'un rotamètre à liquide portatif, le débit d'eau dans chaque réservoir était réglé à 7 L/min.

Avant l'expérience, les poissons étaient hébergés dans des réservoirs de 120 L et nourris avec un régime commercial. Au cours de l'expérience, 16 réservoirs rectangulaires d'un volume utile de 60 L ont été utilisés (2 racks de 8 réservoirs).

Chaque réservoir était équipé d'une pierre à air de forme cylindrique. La pierre à air et le débit d'eau garantissaient qu'il y avait suffisamment de gène dissous (OD). La photopériode était réglée sur 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité (lumières allumées à 7h00, lumières éteintes à 19h00). Les paramètres de qualité de l'eau ont été mesurés trois fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi) avant l'alimentation afin de s'assurer qu'ils restaient dans les plages prédéfinies. La température moyenne était de 27,5 °C (± 0,2).

La plage de pH était fixée à 7,0-7,8. Si le pH avait tendance à descendre en dessous de 7,0, du bicarbonate de sodium était ajouté au système. Au cours de l'expérience, le pH variait entre 6,9 et 7,8. Les niveaux d'OD du débit de sortie commun sont restés supérieurs à 5,7 mg/L.

Au moment de l'empoissonnement, la conductivité était de 8 000 S/cm, qui a été progressivement réduite à environ 3 000 S/cm. Le niveau total d'ammoniac était < 0,25 mg/L, celui des nitrites < 0,2 mg/L et celui des nitrates < 400 mg/L.

### 2.3. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

L'expérience a été divisée en deux phases, dont la première était une période d'équilibre pour déterminer les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et les bilans nutritionnels. Après la période d'équilibre, les poissons restants ont été utilisés pour collecter des digesta le long du tractus gastro-intestinal afin de déterminer le microbiote ainsi que pour mesurer la teneur et la composition en acides gras volatils (AGV), le pH, la teneur en matière sèche et la viscosité des digesta frais.

La période d'équilibre a duré 42 jours. Les quatre traitements expérimentaux ont été assignés au hasard aux deux racks de huit réservoirs deux fois, ce qui a donné lieu à quatre réservoirs répliqués. Les poissons ont été capturés dans un lot commun et assignés au hasard à l'un des 16 réservoirs. Les poissons ont été pesés en groupes par réservoir tout en étant légèrement sédatisés avec (0,25 mL/L) de 2-éthanol. Chaque réservoir a reçu 35 poissons avec un poids initial moyen de 33 g. À la fin de la période d'équilibre, tous les poissons ont été pesés par lot et comptés par bassin sous sédation légère afin de déterminer le poids final et les paramètres de croissance.

Tout au long de l'expérience, la quantité quotidienne d'aliments a été augmentée en prédisant la croissance et le poids des poissons à l'aide du poids de départ moyen des poissons et d'un indice de conversion alimentaire (IC) attendu de 1,2. Les poissons ont été nourris à 20 % du niveau d'alimentation prévu lors du premier repas, qui a été progressivement augmenté sur 6 jours jusqu'à 100 %.

La ration alimentaire quotidienne a été divisée en deux portions égales, qui ont été distribuées à 9 h et à 15 h 30. Les poissons ont été nourris à la main et le temps d'alimentation a été limité à 1 heure pour tous les réservoirs. Après chaque repas, les déversements d'aliments récupérés dans les unités de décantation ont été enregistrés par réservoir. Tout au long de l'expérience, les régimes alimentaires ont été conservés au réfrigérateur (4°C). Un échantillon de 100 g de chaque régime alimentaire a été prélevé une fois par semaine.

Au début de l'expérience, 20 poissons du même lot ont été euthanasiés avec une surdose de 2-phénoxyéthanol (3 mL/L) afin de déterminer la composition corporelle initiale. À la fin de la période d'équilibre, 10 poissons par bassin ont été sélectionnés au hasard et euthanasiés afin de déterminer la composition corporelle finale. Les poissons restants ont été transférés dans leur bassin d'origine. Les échantillons de poissons ont été conservés à 20 °C jusqu'à une analyse plus approfondie.

L'objectif de l'expérience était de tester comment les enzymes ajoutées (xylanase et phytase) et les niveaux de PNA alimentaires affectaient la croissance et l'utilisation des nutriments. Le niveau d'alimentation était fixe et visait 16 g kg/j, ce qui représente environ 80 % du niveau de satiété attendu. La teneur en protéines brutes des régimes différait légèrement (tableau 2) ; L'apport alimentaire a été ajusté pour garantir que les poissons recevaient une quantité égale et restreinte de protéines brutes sur matière sèche (MS) par jour.

Les échantillons d'aliments ont été regroupés par traitement et stockés à 4 °C jusqu'à une analyse plus approfondie. Au cours des deux dernières semaines de la période d'équilibre, les fèces ont été collectées pour des études de digestibilité à l'aide de séparateurs tourbillonnaires 5 jours par semaine (hors week-end). Pour éviter la dégradation bactérienne des fèces, les bouteilles en verre ont été immergées dans la glace. Entre les repas de l'après-midi et du matin, les fèces ont été collectées (16h30-8h00).

Chaque semaine, les fèces ont été collectées et stockées dans des plateaux en aluminium à - 20 °C jusqu'à une analyse plus approfondie.

Après la période d'équilibre, les poissons restants (25 en l'absence de mortalité) ont été remis dans leurs bacs respectifs et utilisés pour collecter les digesta le long du tractus gastro-intestinal. Ces poissons ont continué à être alimentés avec leurs régimes respectifs à l'aide de mangeoires à bande 24 heures sur 24. Cela a été fait pour s'assurer que les poissons étaient rassasiés, ce qui a permis de collecter les digesta le long du tractus gastro-intestinal. Après 4, 5 ou 6 jours, tous les poissons de chaque bac ont été euthanasiés (3 mL/L de 2-phénoxyéthanol) pour collecter les digesta. Pour éviter la collecte de granulés entiers dans l'estomac, l'alimentation a été arrêtée environ 1 heure avant l'échantillonnage des poissons dans chaque bac. Des échantillons de digesta ont été collectés dans quatre sections du tractus gastro-intestinal : l'estomac et l'intestin proximal, moyen et distal. La partie proximale a été prélevée de l'estomac (après la partie pylorique de l'estomac) jusqu'à la partie spiralée de l'intestin (l'intestin devient plus fin), et les parties moyenne et distale ont été divisées en fonction de la longueur égale de chaque section. Les digestats ont été recueillis dans des récipients en plastique stériles de 100 ml (Greiner Bio One) conservés sur glace.

Le digesta frais a été homogénéisé (agité à la main) et le pH a été mesuré directement avec un pH-mètre (avec une électrode SenTix SP-DIN).

## 2.4. ANALYSES

Des échantillons de poisson congelés (-20 °C) ont été broyés deux fois à l'aide d'un hachoir à viande (Gastromaschinen, GmbH modèle TW-R 70 ; Feuma) avec une maille de 4,5 mm, puis homogénéisés. Des échantillons frais ont été prélevés pour la détermination de la matière sèche et des protéines brutes (PB) ; les échantillons de matières grasses brutes et d'énergie ont été lyophilisés avant l'analyse. Les fèces collectées au cours des 10 derniers jours de la période d'équilibre ont été séchées à 70 °C et regroupées par cuve. Les fèces et les échantillons de poisson ont été analysés en utilisant les mêmes méthodes que Staessen et al. (2020) et Maas et al. (2020).

Des mesures de viscosité, de DM et d'acides gras volatils (AGV) ont été prises à partir de cet échantillon homogénéisé. Le digesta fraîchement collecté (duplicata chimiques) a été centrifugé à 10 000 tr/min pendant 10 minutes et le surnageant a été recueilli pour des mesures de viscosité. La viscosité a été mesurée au viscosimètre (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, États-Unis) et la viscosité absolue a été exprimée en centipoises (cP). 1 mL de digesta a été collecté (en triple) dans un creuset pré-pesé à l'aide d'une pipette de 1 mL avec une pointe coupée pour déterminer la DM du digesta (2 × 0,5 mL). Les échantillons ont été séchés pendant la nuit à 70 °C et analysés comme décrit dans la section suivante (2.4). Pour l'analyse des acides gras volatils, les digesta collectés (0,5 ml) dans des cryotubes séparés pour l'estomac, l'intestin proximal, moyen et distal ont été mélangés avec 0,5 ml de tampon (1 ml d'eau distillée et 50 µl d'acide phosphorique) avec de l'acide isocaproïque comme étalon interne et stockés à - 20 °C jusqu'à l'analyse. Pour l'analyse de la composition microbienne du chyme, 220 µl de digesta frais ont été directement collectés à partir du distal dans des cryotubes de 2 ml avec une pipette de 0,5 ml à pointe coupée. Les cryotubes remplis ont été congelés instantanément dans de l'azote liquide, puis stockés directement à - 80 °C jusqu'à l'analyse.

L'amidon et les sucres libres de l'alimentation ont dû être éliminés avant de déterminer les sucres constitutifs de la fraction NSP. Après le kit d'analyse de mégazyme basé sur la méthode AOAC 996.11 et la méthode ACC 76-13.01, l'amidon et les sucres libres ont été éliminés, suivis de deux étapes de lavage avec de l'éthanol à 80 %. Cette étape a été ignorée pour les échantillons de matières fécales car ils contenaient moins de 1 % d'amidon + sucres. Les sucres constitutifs rhamnose, arabinose, xylose, mannose, galactose, fucose et glucose ont été mesurés dans les aliments et les matières fécales comme décrit par Blakeney et al. (1983).

En bref, des échantillons en double (10–13 mg), avec de l'inositol comme étalon interne, ont été hydrolysés puis réduits avant l'acétylation, ce qui a permis d'obtenir des acétates d'alditol. La chromatographie en phase gazeuse a ensuite été utilisée afin de déterminer les acétates d'alditol (sucres constitutifs). La méthode de coloration au m-hydroxydiphényle a été appliquée pour doser les acides uroniques après hydrolyse (sur une partie de l'hydrolysate) (auto-analyseur, Skala).

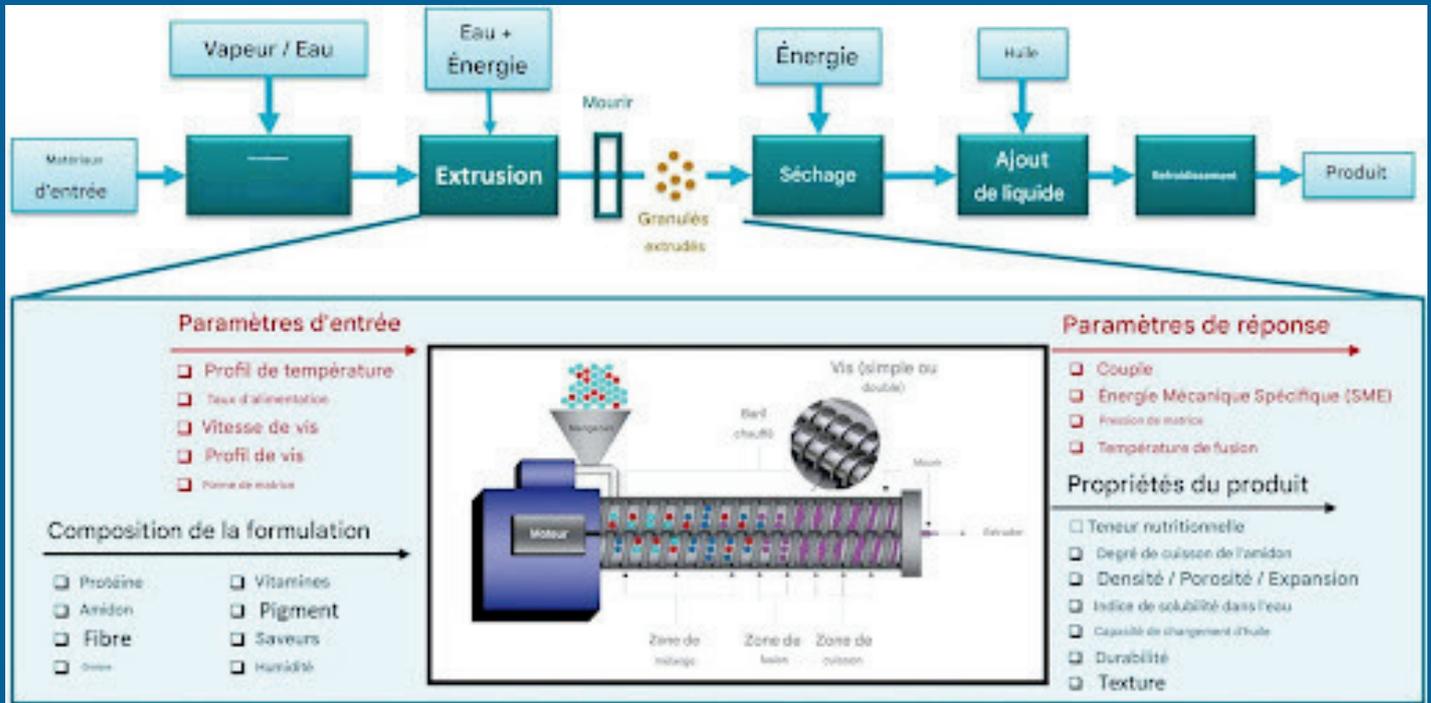
Les échantillons de chyme, stockés pour les AGV, ont été décongelés à température ambiante, soigneusement mélangés (mélangeur vortex), puis centrifugés pendant 10 minutes à 10 000 tr/min. Le surnageant obtenu a été transféré dans des flacons en verre transparent de 2 ml avec des inserts, puis scellés à l'aide de bouchons en aluminium et de septa en silicone.

Pour l'analyse du microbiote, l'ADN a été extrait du digesta intestinal distal à l'aide du kit QiAamp PowerFecal Pro (Qiagen), en suivant le protocole du kit. L'ADN récolté a été quantifié à l'aide du spectrophotomètre Nanodrop.

Les concentrations d'acide acétique, propionique, isobutyrique, butyrique, isovalérique et valérique ont été mesurées comme décrit dans Qaisrani et al. (2014) et Maas et al. (2021) ; les AGV ont été séparés par chromatographie en phase gazeuse en utilisant une colonne HP-FFAP (30 m x 0,32 mm, 0,25 m) d'Agilent (Santa Clara, Californie, États-Unis) et de l'hydrogène comme phase mobile, les AGV étant quantifiés à l'aide d'une solution étalon chimique (Merck, Hohenbrunn, Allemagne) après correction de l'étalon interne. Les concentrations d'AGV ont été exprimées en mmol par L de digesta frais.

Les laboratoires Danisco Animal Nutrition (Brabrand, Denmark) ont analysé les échantillons d'aliments pour l'activité phytasique telle que décrite par Yu et al. (2012) et pour l'activité xylanase telle que décrite par Romero et al. (2013).

# MÉCANISMES, DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DE L'EXTRUSION D'ALIMENTS D'AQUACULTURE



Ce document fournit un résumé concis des progrès et des défis de la technologie d'extrusion des aliments pour poissons, qui est cruciale pour la croissance de l'aquaculture. La demande d'énergie et de nutriments abordables nécessite des aliments de haute qualité pour garantir la productivité et la durabilité. Au cours des dernières décennies, la technologie d'extrusion s'est avérée efficace pour produire des aliments avec des attributs améliorés tels que la digestibilité et la flottabilité.

Cette étude aborde les mécanismes de l'extrusion, les défis de la production industrielle et les perspectives d'avenir, notamment le contrôle de qualité piloté par l'intelligence artificielle. Elle met également en lumière l'évolution des techniques d'alimentation et leur impact sur la croissance des poissons. Malgré les progrès réalisés, les défis tels que la variabilité des ingrédients et la complexité opérationnelle persistent.

Cette étude offre aux chercheurs, aux technologues et aux acteurs de l'industrie une compréhension complète du paysage actuel, des défis et des perspectives d'avenir de la production d'aliments extrudés pour l'aquaculture.

Cette étude offre aux chercheurs, aux technologues et aux acteurs de l'industrie une compréhension complète du paysage actuel, des défis et des perspectives d'avenir de la production d'aliments extrudés pour l'aquaculture.

## 1. INTRODUCTION

Le secteur de l'aquaculture a connu une croissance remarquable, sa part dans la production totale de produits de la mer passant d'environ 19,7 % dans les années 1990 à près de 50 % d'ici 2020.

Cette croissance est largement attribuée à l'augmentation de la demande mondiale de produits de la mer, aux progrès de la technologie aquacole et à l'accent mis sur la gestion durable des stocks de poissons sauvages. La Chine joue un rôle central dans ce secteur, avec une production de plus de 48 millions de tonnes de produits de la mer, soit 60 % de la production aquacole mondiale. L'aquaculture est devenue cruciale pour la sécurité alimentaire de la Chine, contribuant à 80 % de sa production totale de poisson d'ici 2020.

Pour soutenir cette croissance, il existe un besoin pressant d'aliments pour animaux aquatiques, qui sont essentiels pour répondre à la demande mondiale de produits de la mer de manière durable. La production d'aliments pour poissons devrait atteindre 87 millions de tonnes d'ici à 2025. Cependant, les coûts des aliments pour animaux dépassent souvent 50 % des coûts totaux de production de l'aquaculture, ce qui nécessite une formulation minutieuse des régimes alimentaires qui concilie les besoins nutritionnels et les facteurs économiques.

L'optimisation de la transformation des aliments pour animaux devrait être un domaine d'intérêt majeur à l'avenir.

## 2. ÉVOLUTION HISTORIQUE DES ALIMENTS AQUACOLES

### 2.1 ÉVOLUTION DES ALIMENTS AQUACOLES

L'évolution des aliments aquacoles reflète une interaction complexe de changements scientifiques, économiques et philosophiques dans l'aquaculture. Au départ, l'aquaculture s'appuyait sur des sources d'alimentation naturelles, mais à mesure que les exigences de productivité augmentaient, l'industrie s'est tournée vers les aliments formulés. Cette évolution peut être classée en trois catégories :

**Précision nutritionnelle** : La compréhension des besoins alimentaires spécifiques à chaque espèce a conduit au développement de régimes équilibrés qui optimisent la croissance et la santé.

**Innovation technologique** : Le passage de pratiques artisanales à une production à l'échelle industrielle a permis d'introduire des processus avancés de fabrication d'aliments pour animaux, notamment des granulés pressés à la vapeur et extrudés. Les principales avancées sont les suivantes

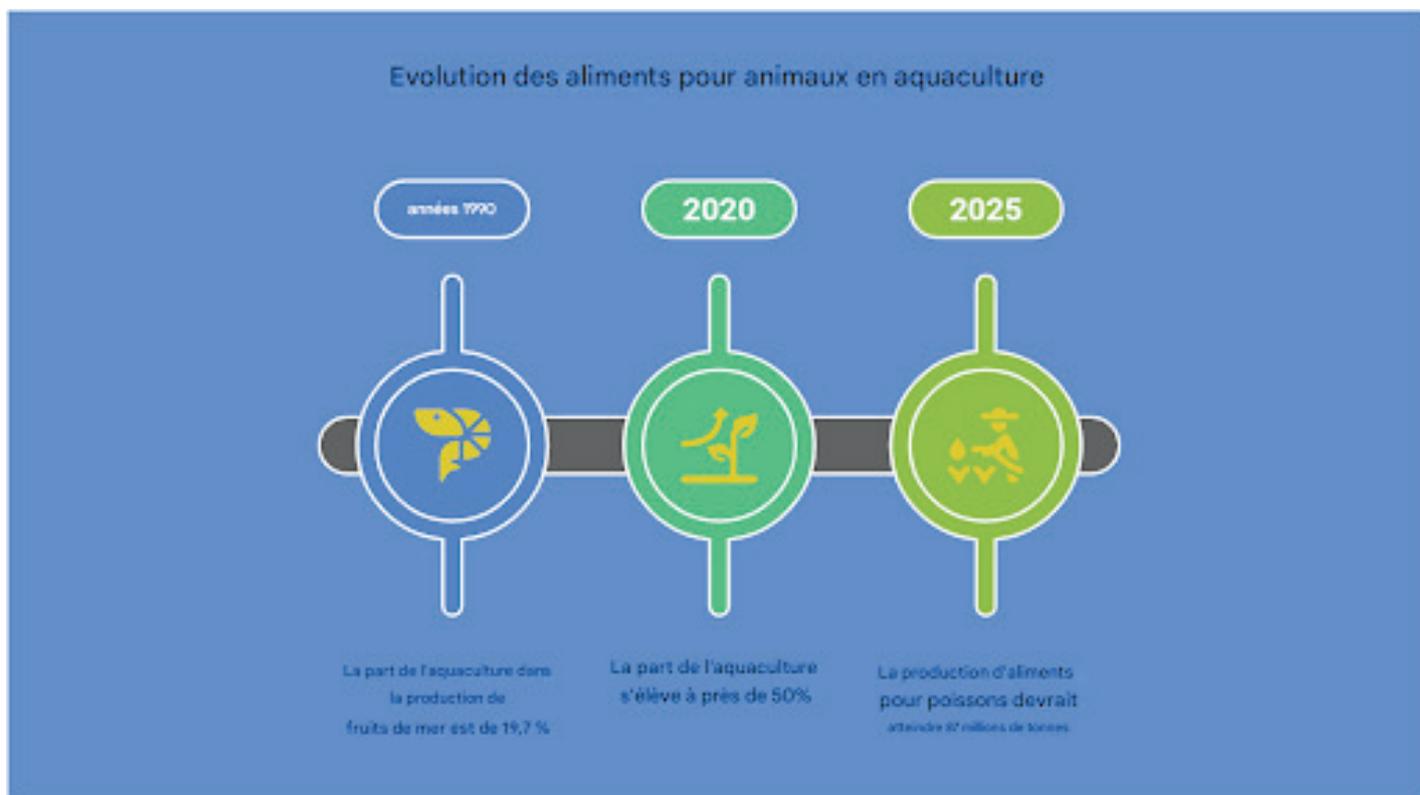
- L'intensification des opérations par le biais d'un élevage sélectif et de formulations améliorées.
- L'amélioration de la stabilité et de la sécurité des aliments, ce qui réduit les risques en matière de biosécurité
- L'amélioration de la technologie de transformation des aliments pour animaux, en particulier par l'extrusion, qui permet d'adapter la flottabilité des granulés et d'améliorer la digestibilité.
- L'automatisation de l'alimentation et de la surveillance, qui accroît l'efficacité de la production.

**Considérations environnementales** : L'évolution des aliments aquacoles reflète également la prise de conscience croissante des incidences sur l'environnement et la nécessité d'adopter des pratiques durables dans l'aquaculture.

## 2.2. LA PRODUCTION MODERNE D'ALIMENTS AQUACOLES

Le paysage de la production d'aliments pour animaux aquatiques s'est considérablement transformé depuis l'introduction des installations à haut débit dans les années 1950. Aujourd'hui, le secteur se caractérise par un mélange de grandes entreprises qui dominent les opérations mondiales et de nombreuses petites sociétés spécialisées qui répondent aux besoins des marchés locaux. Chaque usine d'aliments pour animaux fonctionne de manière unique, avec des différences au niveau de l'équipement, de l'offre de produits et des stratégies d'approvisionnement. Les grandes entreprises bénéficient de vastes réseaux d'approvisionnement mondiaux qui leur permettent de contrôler le commerce de céréales et de produits de base spécifiques, tandis que les petites entreprises se concentrent sur le commerce local, optimisant la logistique en s'installant à proximité des voies de transport.

Des progrès considérables ont été réalisés dans les techniques de production d'aliments pour les espèces aquatiques, la granulation et l'extrusion étant les deux principales méthodes de fabrication. L'extrusion est la méthode la plus répandue, les projections estimant que la production d'aliments pour animaux aquatiques atteindra entre 73 et 87 millions de tonnes métriques d'ici à 2025. Le choix du type d'aliment en aquaculture est influencé par plusieurs facteurs, notamment les besoins nutritionnels des espèces, leurs comportements alimentaires, les stades de maturité biologique et les préférences en matière de caractéristiques des granulés. En outre, les propriétés physiques des granulés doivent s'aligner sur les systèmes d'alimentation automatisés et respecter les contraintes économiques dictées par les budgets de production.



## **3. APERÇU DE LA PRODUCTION D'ALIMENTS AQUACOLES**

### **3.1. TECHNOLOGIE DE GRANULATION**

La technologie de granulation pour l'aquaculture est apparue en même temps que les progrès de l'agriculture et des produits pharmaceutiques au milieu du 20<sup>e</sup> siècle, coïncidant avec les tendances à la mécanisation qui ont suivi la Seconde Guerre mondiale.

Les aliments granulés sont devenus un élément essentiel de l'aquaculture en raison de leur processus de production simple et rentable. La méthode utilise généralement une presse à rouleaux qui comprime les matières premières à travers une plaque de matrice, ce qui permet d'obtenir des granulés de haute densité. Bien que le processus puisse atteindre des températures de 80°C, il minimise la dégradation des nutriments sensibles à la chaleur.

Cependant, les aliments granulés présentent des inconvénients, notamment une densité et une dureté plus élevées que les aliments extrudés, qui peuvent ne pas convenir à toutes les espèces et à tous les stades de croissance. En outre, sa faible capacité de charge en huile et sa mauvaise stabilité à l'eau peuvent entraîner des pertes importantes de produit sous forme de poussière, ce qui incite à rechercher d'autres méthodes de fabrication comme l'extrusion.

### **3.2. TECHNOLOGIE DE L'EXTRUSION**

La technologie de l'extrusion, adoptée dans la fabrication d'aliments pour poissons dans les années 1980, utilise un processus à haute température et de courte durée qui combine la chaleur, la pression et la force de cisaillement pour créer un produit nutritif et homogène. Dans les années 2000, ce procédé est devenu la méthode préférée de production d'aliments pour la plupart des espèces de poissons dans les pays développés. Le processus d'extrusion améliore la digestibilité des aliments en cuisant les amidons et les protéines, ce qui améliore la valeur nutritionnelle.

Le processus commence par un mélange de matières premières qui est pré-conditionné avec de la vapeur ou de l'eau avant d'être introduit dans un tonneau d'extrusion chauffé. La matière est transportée par des vis rotatives, conçues pour optimiser le mélange et la cuisson grâce à la conversion de l'énergie mécanique. Les caractéristiques du produit final sont influencées par divers facteurs, notamment la composition du mélange d'alimentation et le réglage précis des paramètres d'extrusion tels que la vitesse de la vis et la conception de la filière.

Ces éléments déterminent collectivement le contenu nutritionnel, la digestibilité et les propriétés physiques de l'aliment extrudé.

### 3.3 : ALIMENTS GRANULÉS OU EXTRUDÉS

Quelle méthode de transformation des aliments choisir pour l'aquaculture ?

<p><b>Aliments granulés</b></p> <p>Rentable avec moins d'exigences techniques mais une stabilité de l'eau et une rétention des nutriments plus faibles.</p>	<p><b>Alimentation extrudée</b></p> <p>Offre une meilleure utilisation des nutriments et des avantages environnementaux, mais nécessite un investissement et une expertise importants.</p>
---	--



La granulation et l'extrusion impliquent toutes deux une étape de pré-conditionnement à la vapeur pour améliorer la qualité des aliments et créer des structures de granulés qui facilitent le transport et la manutention. Les deux méthodes améliorent les performances de croissance des animaux en améliorant l'utilisation des nutriments. Cependant, la granulation est un processus plus doux qui forme des boulettes denses par pressage, tandis que l'extrusion implique des températures et des pressions élevées qui mélangent, font fondre et stérilisent les aliments pour animaux.

L'extrusion permet de mieux contrôler les caractéristiques des granulés, telles que la densité apparente et la flottabilité, qui peuvent être adaptées à des espèces aquatiques spécifiques.

Cependant, le processus d'extrusion peut dégrader les vitamines et les enzymes sensibles à la chaleur, et il nécessite un investissement en capital et une expertise technique importants, ce qui a conduit à la prédominance continue de la granulation dans l'aquaculture des crevettes.

Les avantages et les inconvénients de chaque méthode sont résumés ci-dessous :

<i>Aliments en granulés</i>	<i>Aliments extrudés</i>
Taille et forme régulière	Meilleur contrôle de la densité et de la flottabilité
Fabrication relativement facile et bon marché	Réduction de la perte de produit due à la poussière des granulés
Rendement de production élevé	Réduction de la perte de nutriments due à l'éclatement des granulés dans l'eau
Moins de risques de perte d'éléments nutritifs au cours du traitement	Réduction de l'impact sur l'environnement des granulés non consommés
Densité plus élevée et texture plus dure	Amélioration de la digestibilité des protéines et des amidons

Capacité de charge en huile plus faible	Capacité accrue d'inclusion des lipides après l'extrusion
Faible stabilité de l'eau à long terme	Dégradation potentielle des vitamines et des enzymes alimentaires
Perte de produit (poussière) pendant le transport et l'alimentation	Investissement en capital coûteux pour l'équipement d'extrusion et extrudeuse techniquement difficile à utiliser.

Cette comparaison permet de mieux comprendre les impacts respectifs des aliments granulés et extrudés sur la qualité des aliments et la productivité des animaux.

## 4. MÉCANISMES DES ALIMENTS EXTRUDÉS

### 4.1. CONTEXTE

Les mécanismes de l'extrusion des aliments pour animaux sont essentiels pour améliorer la qualité des aliments pour poissons et optimiser les processus de production en termes de durabilité et de rentabilité.

Si la qualité nutritionnelle est souvent prioritaire, la qualité physique des aliments pour animaux, influencée par les interactions entre les ingrédients au cours de l'extrusion, est tout aussi importante.

Cette section souligne la nécessité de bien comprendre comment les conditions d'extrusion affectent la qualité des granulés, qui à son tour a un impact sur les performances de croissance, la composition corporelle et la qualité de l'eau dans les environnements aquatiques.

### 4.2. IMPACTS DES INGRÉDIENTS



#### **4.2.1 AMIDON**

L'amidon est un composant clé des aliments pour poissons, car il fournit de l'énergie et permet la formation de granulés durables grâce à la gélatinisation au cours de l'extrusion.

Le processus implique la rupture des molécules d'amidon, ce qui améliore la digestibilité et la disponibilité de l'énergie. Des facteurs tels que le rapport amylose/amylopectine et la taille des granulés influencent la gélatinisation, qui est cruciale pour la qualité des granulés.

La teneur optimale en amidon varie selon les espèces, et des recommandations sur les niveaux d'inclusion de glucides sont formulées pour prévenir les problèmes de santé chez les poissons carnivores.

#### **4.2.2 PROTÉINES**

La dénaturation des protéines pendant l'extrusion améliore l'accessibilité des nutriments aux enzymes digestives. Ce processus est influencé par divers facteurs, notamment la température et l'humidité.

Si des conditions d'extrusion contrôlées peuvent améliorer la biodisponibilité des protéines, un traitement excessif peut entraîner une dégradation et une réduction de la valeur nutritionnelle.

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour identifier les niveaux de dénaturation optimaux pour les différentes espèces aquatiques.

#### **4.2.3 LIPIDES**

Les lipides contribuent à la valeur nutritionnelle des aliments pour animaux mais peuvent avoir un impact négatif sur la qualité des granulés s'ils sont présents en excès.

Il est essentiel de maintenir les taux de lipides en dessous de 12 % pour éviter de perturber la gélatinisation de l'amidon et garantir une expansion et une texture correctes des granulés.

Des concentrations élevées de lipides peuvent entraver le processus d'extrusion en affectant le transfert d'énergie mécanique et l'efficacité de la cuisson.

#### **4.2.4 FIBRES**

L'inclusion d'ingrédients d'origine végétale augmente la teneur en fibres des aliments pour poissons, ce qui peut affecter la viscosité et perturber la matrice d'amidon pendant l'extrusion.

Cela peut entraîner une réduction de la transformation et de la qualité des granulés. Les fibres grossières, en particulier, peuvent réduire l'expansion des granulés et augmenter leur dureté.

#### **4.2.5 MICRONUTRIMENTS**

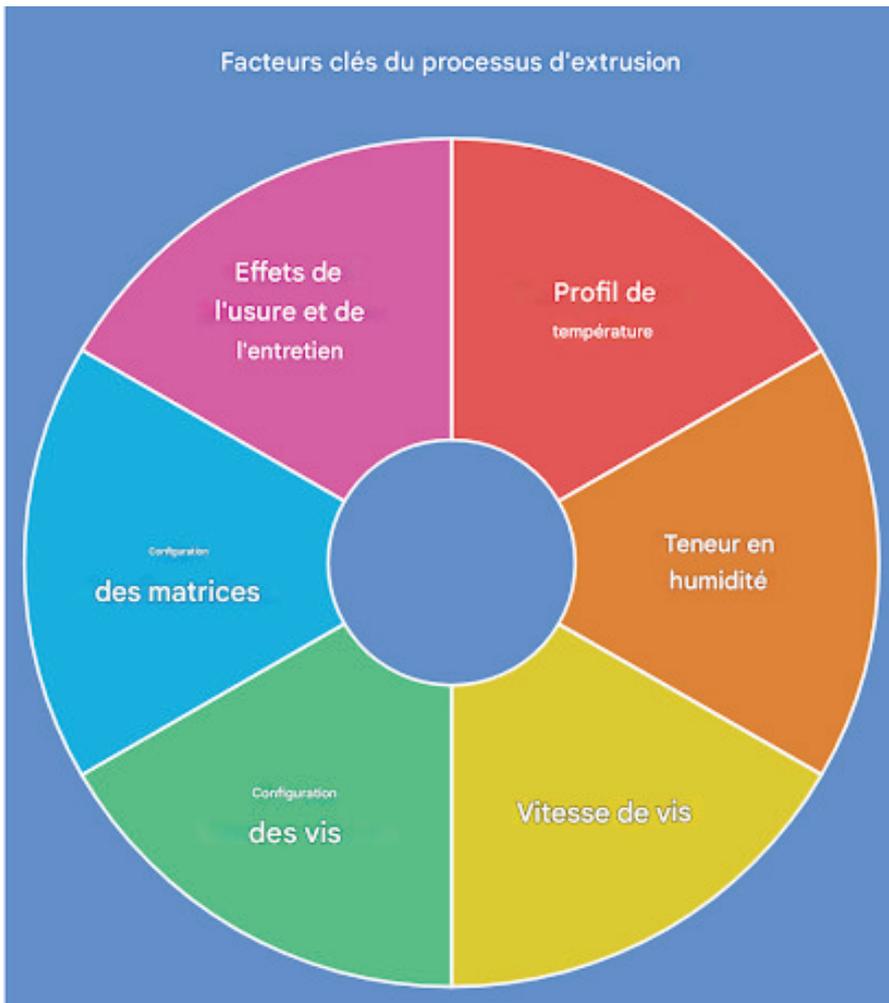
Les micronutriments sont vitaux pour la nutrition aquatique mais peuvent être dégradés par les températures élevées pendant l'extrusion. Des stratégies telles que la surfortification ou l'enrobage post-extrusion peuvent être nécessaires pour maintenir leur fonctionnalité, ce qui peut augmenter les coûts de production.

L'impact des micronutriments sur le processus d'extrusion lui-même reste un domaine à explorer.

### 4.3. CONDITIONS DE TRAITEMENT

Les mécanismes de l'extrusion des aliments pour animaux sont essentiels pour améliorer la qualité des aliments pour poissons et optimiser les processus de production en termes de durabilité et de rentabilité.

Si la qualité nutritionnelle est souvent prioritaire, la qualité physique des aliments pour animaux, influencée par les interactions entre les ingrédients au cours de l'extrusion, est tout aussi importante.



#### 4.3.1 PROFIL DE TEMPÉRATURE

Le profil de température est essentiel dans l'extrusion, car il affecte les propriétés nutritionnelles et physiques des aliments pour poissons. Il augmente généralement de la zone d'alimentation à la zone d'extrusion, avec des réglages spécifiques basés sur les types d'ingrédients. Une application correcte de l'énergie thermique améliore la cuisson, la gélatinisation de l'amidon et l'expansion de l'aliment. Des températures plus élevées améliorent l'utilisation des nutriments mais peuvent dégrader les vitamines sensibles à la chaleur et affecter la qualité des granulés.

Les recherches indiquent que l'augmentation de la température d'extrusion peut modifier la densité, l'absorption d'huile, la dureté et la durabilité des granulés.

#### 4.3.2 TENEUR EN EAU

La teneur en eau est cruciale pour l'écoulement de la matière, la gélatinisation de l'amidon et les caractéristiques d'expansion. Elle influence la densité et l'expansion par la production de vapeur à la sortie de la filière. Une faible teneur en humidité (~15%) peut entraîner une viscosité élevée et une cuisson excessive, tandis qu'une teneur élevée (~30%) peut réduire l'efficacité de la cuisson et donner des textures plus fermes. Une teneur en eau optimale est essentielle pour obtenir un bon équilibre entre la cuisson et l'expansion.

### **4.3.3 VITESSE DE LA VIS**

La vitesse de la vis affecte le mélange, le transport et le cisaillement du moût d'alimentation. Elle influence l'homogénéité du mélange et, en conjonction avec la température et l'humidité, dicte les propriétés de cuisson et de texture.

Alors que certaines études montrent un impact minime sur la densité et la dureté des granulés, d'autres indiquent que des vitesses plus élevées peuvent améliorer l'expansion et la durabilité des granulés.

Le processus d'extrusion permet un contrôle précis de ces caractéristiques, améliorant ainsi les performances alimentaires.

### **4.3.4 CONFIGURATION DE LA VIS**

La configuration de la vis est essentielle pour l'intensité du mélange, de la cuisson et du cisaillement. Les extrudeuses à vis unique ont une flexibilité limitée et sont sensibles aux changements de composition de l'alimentation, tandis que les systèmes à double vis permettent un meilleur contrôle et une plus grande efficacité. Les configurations à double vis comprennent divers éléments permettant d'optimiser le flux de matière et l'apport d'énergie, améliorant ainsi le processus d'extrusion.

### **4.3.5 CONFIGURATION DE LA FILIÈRE**

La configuration de la filière détermine la taille et la forme des granulés, ce qui influe sur la texture et l'appétence. Le choix des dimensions de la filière est essentiel pour adapter les caractéristiques des granulés à des espèces aquacoles spécifiques, en influençant la pénétration de l'eau et la stabilité.

Les configurations des vis et des filières sont souvent propriétaires, ce qui souligne leur importance dans l'industrie de l'extrusion.

### **4.3.6 EFFETS DE L'USURE ET DE LA MAINTENANCE**

L'usure des équipements d'extrusion peut avoir un impact significatif sur la gestion opérationnelle.

L'usure abrasive entraîne des écarts plus importants entre les bords de la vis et le cylindre, ce qui réduit le transfert d'énergie mécanique et l'efficacité de la cuisson.

Il est essentiel de maintenir ces écarts en dessous de 4,5 mm pour garantir la qualité du produit et minimiser les demandes d'énergie.

## 4.4 ATTRIBUTS DU PRODUIT



### 4.4.1 POROSITÉ ET DENSITÉ

La porosité indique la présence de vides dans les granulés extrudés, ce qui affecte l'absorption d'eau et la stabilité. Une porosité élevée peut entraîner une dégradation rapide dans l'eau, tandis qu'une porosité faible peut entraver la charge d'huile et augmenter les taux d'enfoncement. La densité apparente mesure la masse des granulés dans un volume, en relation avec la densité de tassement et la densité spécifique.

### 4.4.2 PROFIL D'ENFONCEMENT

Les caractéristiques physiques des granulés, telles que la densité spécifique, influencent leur flottabilité et leur comportement de coulée, en fonction des habitudes alimentaires des différentes espèces.

Les différentes espèces ont besoin de densités de granulés spécifiques pour optimiser l'efficacité de l'alimentation.

Le processus d'extrusion permet un contrôle précis de ces caractéristiques, améliorant ainsi les performances alimentaires.

### 4.4.3 DURETÉ

La dureté mesure la résistance d'un granulé à la déformation et est influencée par les types d'ingrédients et les conditions de transformation. Elle est évaluée à l'aide d'analyseurs de texture. Si la dureté est liée à la résistance mécanique, elle n'est pas directement corrélée à la durabilité, car les granulés durs peuvent être cassants.

### 4.4.4 DURABILITÉ

La durabilité reflète la résistance d'un granulé aux forces extérieures et sa capacité à conserver son intégrité.

Elle est évaluée à l'aide de diverses méthodes d'essai et est cruciale pour minimiser les déchets pendant l'alimentation.

La durabilité affecte les taux d'évacuation gastrique, ce qui influe sur la prise alimentaire et les performances de croissance des espèces aquatiques.

#### **4.4.5 STABILITÉ DANS L'EAU**

La stabilité dans l'eau fait référence à la capacité d'un granulé à résister à la désintégration dans l'eau, ce qui minimise les déchets et l'impact sur l'environnement. Une faible stabilité dans l'eau peut entraîner des problèmes de santé chez les poissons, tels que le syndrome de distension abdominale.

#### **4.4.6 PALATABILITÉ**

La palatabilité affecte l'acceptation et la consommation des aliments par les espèces aquatiques.

Elle est influencée par les propriétés sensorielles et les caractéristiques physiques des granulés.

Un indice de palatabilité est utilisé pour mesurer l'acceptation des aliments, soulignant l'importance de la texture par rapport au contenu nutritionnel.

#### **4.4.7 DIGESTIBILITÉ**

La digestibilité est essentielle pour l'absorption des nutriments et les performances de croissance globales. Elle est influencée par la qualité des ingrédients, les méthodes de transformation et la physiologie des espèces.

L'extrusion améliore la digestibilité en modifiant la structure physique et chimique des ingrédients des aliments pour animaux.

### **5. DÉFIS DE L'EXTRUSION D'ALIMENTS AQUICOLES**

#### **5.1 COMPLEXITÉ ET COÛT DES OPÉRATIONS**

##### **5.1.1 INVESTISSEMENT EN CAPITAL**

La technologie de l'extrusion nécessite des investissements importants, environ 1,5 à 2,5 fois plus élevés que la granulation pour des niveaux de production similaires.

Cet investissement comprend non seulement les machines d'extrusion mais aussi les systèmes auxiliaires tels que les pré-conditionneurs et les instruments de contrôle de la qualité.

Par conséquent, l'absence d'équipements d'extrusion comparables dans les laboratoires de recherche et de développement pose des problèmes d'évolutivité pour les installations à l'échelle du laboratoire.

##### **5.1.2 EXPERTISE TECHNIQUE**

La nature variable du processus d'extrusion exige un niveau élevé d'expertise technique. Les opérateurs doivent bien connaître le fonctionnement des machines pour résoudre rapidement les problèmes, minimiser les temps d'arrêt et assurer la qualité du produit.

Des ajustements continus des conditions de traitement et des formulations d'ingrédients sont essentiels, ce qui nécessite un personnel qualifié et augmente encore les coûts.

### **5.1.3 COMPLEXITÉ DU PROCÉDÉ D'EXTRUSION**

La complexité du processus d'extrusion est influencée par divers facteurs, notamment la formulation des ingrédients et la composition biochimique de l'aliment. L'interaction entre les différents ingrédients peut conduire à des résultats inattendus, soulignant la nécessité d'une recherche et d'un développement approfondis afin d'optimiser les aliments pour animaux sur le plan de la nutrition, de la productivité et de la durabilité.

### **5.2 DIVERSITÉ DES BESOINS EN PRODUITS**

Les espèces aquacoles ont des besoins nutritionnels variés, ce qui nécessite des compositions d'aliments adaptées.

Les espèces carnivores ont besoin d'une teneur élevée en protéines et en lipides, tandis que les espèces omnivores et herbivores peuvent utiliser plus efficacement les glucides alimentaires.

En outre, les différents stades de vie d'une même espèce nécessitent des régimes différents, ce qui complique la formulation des aliments.

La digestibilité de l'amidon d'une espèce à l'autre complique encore le processus d'extrusion, ce qui nécessite une connaissance approfondie des capacités métaboliques de l'espèce cible.

### **5.3 NOUVEAUX INGRÉDIENTS RICHES EN PROTÉINES**

L'introduction de nouvelles sources de protéines, telles que les sous-produits agroalimentaires et les farines d'insectes, présente à la fois des opportunités et des défis pour la production d'aliments pour poissons. Bien que ces ingrédients puissent améliorer les profils nutritionnels, ils peuvent avoir un effet négatif sur les propriétés fonctionnelles des aliments extrudés. Une teneur élevée en lipides et en fibres peut compliquer le processus d'extrusion et avoir un impact sur la qualité et la stabilité des granulés.

L'état structurel des protéines joue également un rôle crucial dans la fonctionnalité de l'extrusion. Les protéines natives sont généralement plus performantes que les protéines dénaturées, qui peuvent perdre leur solubilité et leur capacité de liaison au cours du traitement.

La recherche indique qu'un traitement thermique excessif peut compromettre la qualité des protéines et affecter les performances de croissance des espèces aquatiques. Les fabricants d'ingrédients doivent donc trouver un équilibre entre l'intensité de la transformation et la préservation de l'intégrité nutritionnelle.

Les ajustements des conditions de traitement peuvent atténuer certains défis, mais ces modifications s'accompagnent souvent de limitations et de compromis. Il est essentiel de comprendre ces complexités pour optimiser l'extrusion des aliments pour poissons et garantir une production d'aliments de haute qualité.

### **5.4. VARIABILITÉ DES INGRÉDIENTS**

La variabilité des ingrédients constitue un défi important pour la production d'aliments pour poissons, car le contenu nutritionnel et les propriétés physiques des ingrédients peuvent varier considérablement en fonction de leur origine, de la saisonnalité, des conditions de stockage et des méthodes de prétraitement.

Par exemple, les ingrédients d'origine végétale tels que la farine de culture peuvent présenter des variations dans la teneur en protéines, en amidon et en fibres. Glencross souligne que la composition et les valeurs nutritionnelles des ingrédients manquent souvent de détails cruciaux dans la littérature scientifique, ce qui peut entraîner des incohérences opérationnelles au cours du processus d'extrusion.

Cela nécessite des ajustements fréquents des formulations d'aliments pour animaux, ce qui accroît la complexité et le coût de la production. Une étude de Samuelsen et al. a montré que la variabilité de la farine de poisson, telle que les différences de capacité de rétention d'eau et de taille des particules, affecte les variables de réponse de l'extrusion.

## **5.5. VARIABILITÉ DE LA FORMULATION**

Les fabricants d'aliments pour animaux sont souvent confrontés à la variabilité de la composition des formules en raison de la fluctuation des coûts et de la disponibilité des ingrédients, sous l'effet de facteurs macroéconomiques tels que l'inflation et les conflits géopolitiques.

Le changement climatique complique encore la situation en affectant la disponibilité d'ingrédients clés. Les ingrédients traditionnels se raréfiant et devenant plus chers, les fabricants adoptent des stratégies pour améliorer la résilience de leurs formulations.

Les logiciels de formulation automatisés sont couramment utilisés pour optimiser les mélanges d'ingrédients tout en minimisant les coûts, mais ces outils ne parviennent souvent pas à prédire les résultats de l'extrusion en fonction des propriétés des ingrédients.

## **5.6. INSTABILITÉ DU PROCÉDÉ**

L'instabilité du procédé d'extrusion peut résulter de divers facteurs, y compris des problèmes liés aux ingrédients et aux conditions opérationnelles, qui peuvent compromettre la qualité des aliments et l'efficacité de la production. Des processus d'amélioration continue sont recommandés pour minimiser ces instabilités et mieux contrôler la production.

## **5.7. GESTION DES DÉCHETS**

Il existe peu d'informations publiées sur la production de déchets dans les usines d'aliments pour animaux, mais il est essentiel de minimiser les déchets pour obtenir des avantages économiques et de durabilité. Si les granulés extrudés peuvent être uniformes, ce qui entraîne un minimum de déchets, les copeaux et les fines sont fréquents et peuvent être recyclés dans la production suivante.

Les équipes de production sont encouragées à contrôler les déchets de démarrage et d'arrêt, car des déchets excessifs peuvent entraîner des pertes financières. Les produits déclassés peuvent être vendus à des taux réduits ou retravaillés dans des cycles de production ultérieurs, mais il faut veiller à éviter la contamination et à garantir la conformité du produit.

## 6. OPPORTUNITÉS POUR L'EXTRUSION D'ALIMENTS AQUACOLES

### 6.1 CARACTÉRISATION PRÉDICTIVE AVEC LA NIRS

La spectroscopie dans le proche infrarouge (Near-infrared spectroscopy: NIRS) a évolué depuis les années 1960, trouvant des applications dans divers domaines, dont l'aquaculture. Elle permet une analyse rapide et non destructive des ingrédients des aliments pour animaux et de la composition des aliments pour animaux extrudés. Les recherches menées par Bourne et al. ont démontré l'efficacité de la NIRS pour prédire la composition proximale et le degré de cuisson de l'amidon chez différentes espèces aquatiques, avec une grande précision (valeurs  $R^2$  comprises entre 0,88 et 0,97).

D'autres études, comme celle de Simon et al. (2022), ont exploré la capacité de la NIRS à estimer la digestibilité apparente des nutriments dans les régimes alimentaires du thazard à queue jaune, révélant une variabilité significative en fonction des types d'ingrédients. Cette méthode permet de gagner du temps et de l'argent tout en minimisant l'expérimentation animale, ce qui en fait un outil précieux pour l'optimisation des formulations d'aliments pour l'aquaculture.

### 6.2 AVANTAGES DE L'EXTRUSION SUR LA FONCTION INTESTINALE

La recherche indique un lien étroit entre le microbiote gastro-intestinal et les fonctions physiologiques des espèces aquatiques. Des facteurs tels que le stade de développement, l'alimentation et l'état de santé influencent considérablement la composition du microbiote. Des études ont montré que les aliments extrudés améliorent la diversité du microbiote intestinal et réduisent les espèces microbiennes indésirables, ce qui améliore les performances de croissance.

Le processus d'extrusion augmente la digestibilité de l'amidon et la durabilité des granulés, ce qui est crucial pour la rétention des nutriments. Les recherches futures devraient se concentrer sur la manière dont l'extrusion affecte l'écologie microbienne et la digestibilité des aliments, ce qui pourrait conduire à des formulations qui optimisent la nutrition et favorisent les profils microbiens bénéfiques.

### 6.3 PROTECTION DES INGRÉDIENTS SENSIBLES À LA CHALEUR ET AU CISAILLEMENT

La demande d'aliments fonctionnels pour l'aquaculture est en hausse, mais le traitement par extrusion peut compromettre la stabilité d'ingrédients sensibles comme les vitamines. L'encapsulation apparaît comme une solution pour protéger ces composants pendant l'extrusion, mais elle peut être coûteuse.

Les méthodes alternatives comprennent les applications post-extrusion et l'ajout de surplus d'ingrédients sensibles avant le traitement. L'extrusion à froid est une autre option qui préserve la qualité nutritionnelle mais peut réduire la stabilité de l'eau.

Chaque méthode présente des compromis entre l'intégrité des ingrédients et les coûts de production.

### 6.4 MODÉLISATION DE L'EXTRUSION

Les résultats de l'extrusion sont influencés par divers facteurs, et la méthodologie de la surface de réponse (Response Surface Methodology : RSM) est une technique statistique utilisée pour optimiser ces processus.

La RSM consiste à faire varier systématiquement les variables indépendantes pour mesurer les variables dépendantes, en générant des modèles mathématiques qui visualisent et prédisent les relations entre elles. Cette capacité prédictive permet d'optimiser les conditions d'extrusion en fonction des attributs spécifiques du produit, ce qui améliore la qualité des formulations d'aliments pour poissons.

Les progrès réalisés dans les technologies d'extrusion des aliments pour poissons, en particulier grâce à la NIRS, à l'optimisation des fonctions intestinales, à la protection des ingrédients et aux techniques de modélisation, offrent d'importantes possibilités d'amélioration de l'efficacité des aliments pour animaux d'aquaculture et de la santé des espèces aquatiques.

## **6.5. CONTRÔLE DE QUALITÉ PILOTÉ PAR L'IA DANS LA FABRICATION D'ALIMENTS AQUICOLES**

L'IA (Intelligence Artificielle) commence à révolutionner de nombreuses industries, y compris l'aquaculture, et l'intégration de l'IA dans la fabrication d'aliments pour poissons est sur le point de révolutionner l'industrie en permettant des ajustements en temps réel et en améliorant l'efficacité, la cohérence et la qualité de la production d'aliments pour animaux

Le processus d'extrusion dans la fabrication d'aliments pour poissons se caractérise par sa complexité et son interdépendance, ce qui rend le contrôle du processus et l'optimisation du produit difficiles pour les fabricants. Cette complexité est exacerbée par la diversité des besoins alimentaires des différentes espèces aquatiques, ainsi que par l'irrégularité de la disponibilité et du prix des ingrédients des aliments pour animaux, ce qui nécessite des ajustements en temps réel des opérations. L'opportunité réside dans l'utilisation de l'IA pour gérer ces fluctuations sans encourir de coûts élevés ou de longs processus d'optimisation.

L'IA transforme divers secteurs, dont l'aquaculture, et promet de relever les défis auxquels est confrontée la production d'aliments pour animaux d'aquaculture. En combinant l'analyse de données en temps réel avec des méthodologies établies, les systèmes d'IA peuvent surpasser les méthodes traditionnelles d'échantillonnage et d'inspection. Bien que les applications de l'IA soient plus avancées dans des contextes aquicoles plus larges, tels que le suivi du comportement des poissons et la surveillance de la qualité de l'eau, on assiste à une adaptation progressive de cette technologie à la fabrication d'aliments pour animaux.

Les systèmes d'IA sont proposés pour surveiller en permanence les données de production et ajuster en temps réel les paramètres d'extrusion, afin d'améliorer la précision, l'efficacité et la cohérence. En analysant les données provenant de multiples capteurs le long de la chaîne de production, les algorithmes d'IA peuvent identifier des anomalies et des schémas complexes que les opérateurs humains pourraient manquer, facilitant ainsi la détection automatisée des défauts et le respect des normes nutritionnelles. Les futurs systèmes avancés pourraient inclure :

- Optimisation des types d'ingrédients et des ratios en fonction de la rentabilité et de l'aptitude à la transformation.
- Surveillance en temps réel des paramètres critiques pour garantir une production d'aliments de haute qualité.
- Adaptation des conditions de traitement à divers ingrédients, y compris à de nouvelles sources de protéines.
- Minimiser les déchets et améliorer le rendement en identifiant les inefficacités de production.
- Maintenance prédictive pour réduire les temps d'arrêt imprévus en évaluant les risques de défaillance des équipements.
- Contrôle non destructif de la qualité des granulés d'aliments aquicoles à l'aide de la reconnaissance d'images et de l'analyse spectrale.

Un exemple notable de l'IA dans la fabrication d'aliments pour animaux aquatiques est le développement par FAMSUN de systèmes de contrôle de la qualité pilotés par l'IA visant à améliorer l'efficacité et la qualité du traitement de l'extrusion.

Leurs systèmes d'extrusion aquatique numériques utilisent les principes de l'industrie 4.0, avec une surveillance en temps réel des paramètres de production critiques pour détecter les écarts et alerter les opérateurs, minimisant ainsi les déchets et les temps d'arrêt. FAMSUN a également développé des modèles de régression multi-paramètres pour prédire les résultats de la qualité des aliments en fonction des paramètres d'extrusion, stockés dans une base de données de modèles de prédiction de la qualité qui aide à déterminer les conditions optimales pour les nouvelles formulations.

Toutefois, une validation indépendante est nécessaire pour confirmer les avantages réels de ces technologies dans des environnements réels de production d'aliments pour animaux.

## **7. L'AVENIR DE L'EXTRUSION DES ALIMENTS D'AQUACULTURE**

L'avenir de la recherche et du développement en matière d'extrusion d'aliments aquacoles consiste à relever les défis technologiques, nutritionnels et de durabilité auxquels l'industrie est confrontée, à s'attaquer à la variabilité des ingrédients, à la complexité opérationnelle et à la durabilité, tout en tirant parti des technologies émergentes telles que l'IA, la NIRS et l'encapsulation.

La collaboration entre l'industrie, les universités et les instituts de recherche sera essentielle pour répondre aux besoins d'un secteur aquacole en pleine croissance. Elle sera cruciale pour stimuler l'innovation et assurer la croissance continue d'une aquaculture durable.

## **8. CONCLUSION**

L'extrusion d'aliments aquacoles joue un rôle essentiel dans l'aquaculture contemporaine, offrant des avantages notables par rapport à la granulation traditionnelle, tels qu'une meilleure rétention des nutriments, une meilleure efficacité alimentaire et un impact réduit sur l'environnement.

Malgré ces avantages, le processus d'extrusion se heurte à des obstacles tels que les coûts élevés, la complexité et la variabilité des ingrédients.

En adoptant de nouvelles technologies et des méthodes durables, le secteur de l'aquaculture peut relever ces défis et exploiter pleinement les avantages de la technologie de l'extrusion.

Source : The State-of-the-Art of Aquafeed Extrusion: Mechanisms, Challenges and Opportunities. Jordan Pennells, Michael Salini, Artur Rombenso, Cedric Simon, Danyang Ying. Reviews in Aquaculture. Volume17, Issue2 .March 2025. e70002. <https://doi.org/10.1111/raq.70002>

# PROGRES TECHNOLOGIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU EN AQUACULTURE

Par : Sakshi Sharma, Sarita Mallik, Département des sciences de la vie, École de biosciences et de technologies, Université Galgotias, Greater Noida, Gautam Buddha Nagar, Uttar Pradesh, 201310, Inde

Manish Kumar Dubey Département de biotechnologie, Centre universitaire de recherche et développement (UCRD), Université de Chandigarh, Mohali, Punjab 140413, Inde.

L'aquaculture est devenue l'une des industries en pleine croissance, créant des opportunités d'emploi et fournissant de la nourriture à une grande majorité de la population.

Avec l'augmentation de la population, la demande en aquaculture a également augmenté. L'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'aquaculture permet de maintenir les normes de qualité des fermes piscicoles, ce qui conduit à une production élevée et optimise ainsi les coûts pour les éleveurs.

Cependant, de nombreux dispositifs sont actuellement en cours de développement pour fournir des systèmes rentables de gestion des données et de la qualité de l'eau. Cette étude visait à donner un aperçu des pratiques aquacoles actuelles basées sur l'utilisation de technologies de pointe décrivant leur contribution à l'aquaculture.

## INTRODUCTION

L'aquaculture est le secteur de production alimentaire qui connaît la croissance la plus rapide au monde. Elle fournit déjà 50 % de tous les poissons consommés dans le monde et devrait devenir la principale source de poisson d'ici 2030. Malgré sa croissance, certains problèmes tels que les maladies, la faible production, le coût élevé des intrants et les défis environnementaux affectent l'aquaculture.

La qualité de l'eau détermine la réussite ou l'échec d'un projet d'aquaculture, car toutes les activités des poissons en dépendent entièrement : ils doivent respirer, se nourrir, grandir, expulser leurs déchets, maintenir un équilibre salin, se reproduire et prospérer dans l'eau.

Il est important de comprendre les propriétés physiques et chimiques de l'eau, car elles sont essentielles au succès de l'aquaculture pour augmenter la production et éviter les risques de dommages environnementaux (Swann, 1997).

La surveillance continue de l'eau doit être effectuée afin que les conditions défavorables puissent être prévues à un stade précoce et atténuées (Ferreira et al., 2011).

La pisciculture peut être pratiquée de trois manières, à savoir extensive, intensive et semi-intensive (Fig. 1). La pisciculture extensive ou pisciculture traditionnelle est généralement associée à l'élevage de poissons dans des étangs ou des plans d'eau de taille moyenne à grande, où la production de poissons est basée sur la productivité inhérente de l'eau, qui n'est que peu ou modérément augmentée.

Les apports de sources extérieures sont limités et la quantité de poissons produits par unité de surface est faible. Le niveau de contrôle sur les composants de la production est maintenu bas, mais le rendement du travail est élevé. D'autre part, la pisciculture intensive signifie qu'un grand nombre de poissons sont produits par unité de surface d'élevage. Les paramètres de production, notamment l'alimentation, la qualité de l'eau et la qualité des alevins stockés, sont tous réglementés pour améliorer les conditions de production de la culture.

Dans l'aquaculture intensive, le risque de maladie augmente également davantage en raison de l'empoisonnement. Outre ces deux types de pisciculture, certaines personnes pratiquent la pisciculture semi-intensive, qui fait référence à des techniques qui combinent des aspects des deux types.

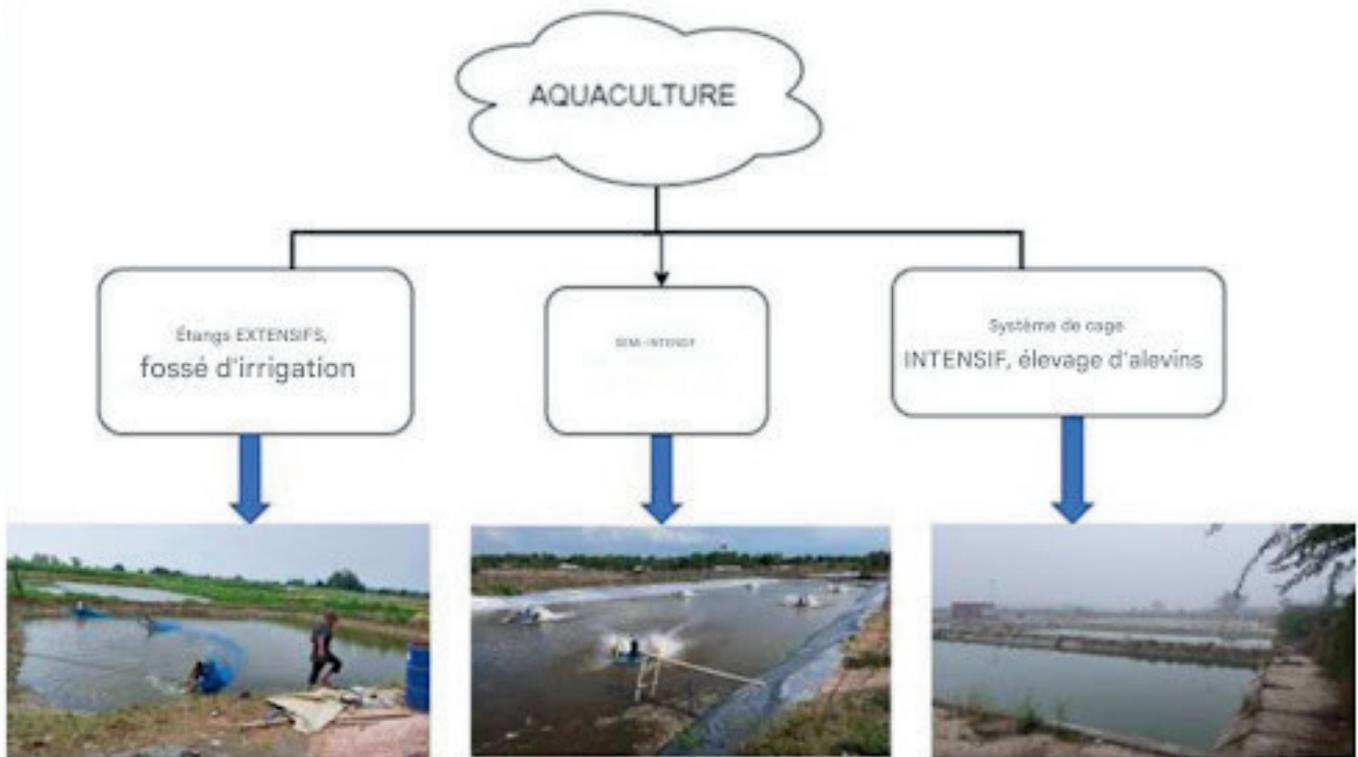


Fig. 1. Types de techniques d'aquaculture

On peut constater que toutes les méthodes nécessitent des efforts supplémentaires de la part des agriculteurs pour faire de la pisciculture leur principale source économique. La production de poisson peut être influencée par divers facteurs, notamment la température, la transparence, la turbidité, le dioxyde de carbone, le pH, l'alcalinité, la dureté, l'ammoniac, les nitrites, les nitrates, la productivité primaire, la demande biochimique en oxygène (DBO) et la population de plancton (Verma et al., 2022).

Les plans d'eau, en particulier à proximité des zones industrielles, sont facilement contaminés. En raison du manque de réglementation environnementale et de l'industrialisation, ces paramètres changent, affectant la productivité du plan d'eau. La température de l'eau affecte principalement la croissance des organismes aquatiques. Des changements massifs de la température de l'eau entraînent une mauvaise croissance.

Les poissons sont des animaux à sang froid, mais leur température corporelle change en réaction à leur environnement.

Cela affecte leur métabolisme, leur physiologie et leur production. À mesure que la température augmente, l'activité métabolique et le taux de respiration du microbiote augmentent pour répondre à la demande accrue en oxygène. Cela diminue également la solubilité de l'oxygène et augmente les niveaux d'ammoniac dans l'eau.

L'ammoniac est un sous-produit du métabolisme des protéines des poissons et de la décomposition bactérienne de substances organiques, notamment des déchets alimentaires, des excréments, du plancton mort et des eaux usées.

La forme ionisée de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est très dangereuse, mais la forme ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ) ne l'est pas. Les deux formes sont collectivement appelées « ammoniac total ».

Un processus biologique appelé nitrification peut convertir l'ammoniac toxique en nitrates inoffensifs. Une forte densité de poissons dans les étangs peut augmenter le risque de toxicité de l'ammoniac. Des niveaux d'ammoniac supérieurs à 0,02 ppm peuvent endommager les branchies, détruire les membranes productrices de mucus et avoir des effets « sublétaux » tels qu'une croissance réduite, une faible conversion alimentaire et une résistance aux maladies, même à des concentrations plus faibles. Il peut également provoquer un déséquilibre osmorégulateur et une insuffisance rénale. Cependant, des niveaux toxiques de nitrite, une forme intermédiaire d'ammoniac, ont été observés dans les étangs à poissons, provoquant la maladie du sang brun (Bhatnagar et al., 2013). Le phosphore étant un nutriment végétal nécessaire, son ajout à l'eau favorisera la croissance des plantes, y compris des algues. Selon Stone et Thomforde (2004), un niveau de phosphate de 0,06 mg L<sup>-1</sup> est souhaitable pour la pisciculture. Les gaz dissous, en particulier l'azote, sont généralement mesurés en termes de « pourcentage de saturation ». La sursaturation se produit lorsque la quantité de gaz dans l'eau dépasse sa capacité typique à une température spécifique. Les niveaux de sursaturation en gaz supérieurs à 110 % sont souvent considérés comme nocifs. La maladie des bulles de gaz est un signe de sursaturation en gaz. Les symptômes de la maladie des bulles de gaz diffèrent. Les bulles peuvent atteindre le cœur ou le cerveau des poissons, provoquant leur mort sans preuve évidente. D'autres symptômes peuvent inclure des bulles sous l'épiderme, dans les yeux ou entre les rayons des nageoires. Pour traiter la maladie des bulles de gaz, l'aération doit être adéquate pour réduire les concentrations de gaz à saturation ou en dessous (Swann, 1997).

L'acidité ou la basicité de l'eau est déterminée par la concentration en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) qu'elle contient. L'échelle de pH, qui va de 1 à 14, est utilisée pour déterminer le degré d'acidité d'une substance. Les valeurs inférieures à 7 sont considérées comme acides, tandis que les valeurs supérieures à 7 sont considérées comme basiques. Une valeur de 7 est neutre, ni acide ni basique. Selon Swann (1997), pour la pisciculture, une plage de pH de 6,5 à 9,0 est généralement appropriée. Un pH faible entraîne une eau acide en raison de la lixiviation des métaux des roches et des sédiments.

Cela entraîne la mort des poissons car ceux-ci s'accumulent davantage dans les organes. De nombreux points de données montrent que les taux d'accumulation des métaux chez les poissons sont directement affectés par l'acidification de l'eau. Lorsque l'on compare les données sur les concentrations de métaux dans les poissons de différents lacs, on constate que les poissons des lacs acidifiés ont des concentrations significativement plus élevées de cadmium et de plomb, mais pas de zinc (Grieb et al., 1990 ; Wiener et al., 1990 ; Haines et Brumbaugh, 1994 ; Horwitz et al., 1995). L'accumulation de cuivre est également plus importante à des valeurs de pH plus faibles (Cogun et Kargin, 2004). En résumé, l'acidification de l'eau peut affecter directement ou indirectement la bioaccumulation des métaux par les poissons en modifiant la solubilité des composés métalliques ou en endommageant les épithéliums qui deviennent plus perméables aux métaux alors que dans certains cas, l'absorption compétitive des ions H<sup>+</sup> peut empêcher la bioaccumulation des métaux par les poissons (Jeziarska et Witeska, 2006).

Avec la tendance croissante à l'aquaculture intensive, la menace de maladies a augmenté, et il convient de les suivre et de les surveiller régulièrement.

Toutes ces mesures nécessitent des procédures et des investissements solides, ce qui augmente les coûts de production. De nombreuses méthodes sont utilisées pour surveiller la qualité de l'eau, mais elles servent à d'autres fins que l'aquaculture ou manquent d'intégration avec les systèmes de communication en ligne.

La méthode conventionnelle (Fig. 2) dans laquelle les échantillons sont d'abord prélevés sur le site, puis transférés au laboratoire pour le test.

Ces méthodes prennent du temps et présentent également de grandes chances de variation, car le travail peut varier d'une personne à l'autre en fonction de son expérience antérieure (Zhu et al., 2010). À mesure que la fiabilité de la technologie s'est accrue, l'accent mis sur sa mise en œuvre dans tous les domaines s'est également accru.

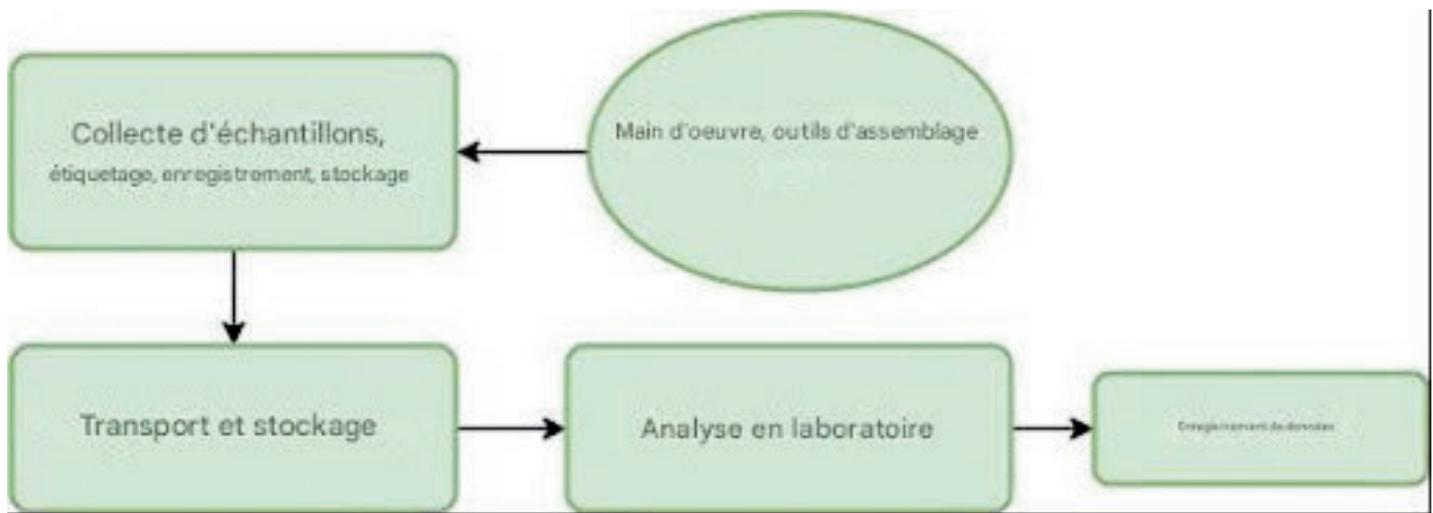


Fig. 2. Procédures conventionnelles d'évaluation de la qualité de l'eau pour la surveillance de l'aquaculture

La pisciculture est le secteur le moins exposé à la technologie, ce qui nuit à sa productivité. Par conséquent, l'implication de la technologie est nécessaire dans ce domaine. La technologie dans l'aquaculture peut aider à accroître la productivité. Grâce à la technologie, les aquaculteurs peuvent facilement suivre leur travail avec moins d'efforts (Powell et al., 2017). Pour la surveillance de la qualité de l'eau en aquaculture, d'innombrables méthodes sont proposées dans ce domaine.

Mais toutes ne sont pas aussi bénéfiques, certaines prennent du temps tandis que d'autres sont coûteuses ou ne sont pas facilement accessibles aux petits agriculteurs. Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau basés sur les technologies de communication sans fil (WCT) et l'Internet des objets (IoT) ont été largement étudiés dans le monde (Danh et al., 2020).

Dans cette revue, nous nous sommes concentrés sur certaines des technologies actuellement utilisées dans le domaine de l'aquaculture pour surveiller la qualité de l'eau.

## **CAPTEURS ET TECHNOLOGIE SANS FIL POUR LA SURVEILLANCE DE L'AQUACULTURE**

Les paramètres physiques (conductivité électrique, salinité, matières solides totales dissoutes, turbidité, température, couleur, goût et odeur) et chimiques (pH, acidité, alcalinité, dureté, chlore et oxygène dissous) de la qualité de l'eau sont quelques-unes des variables importantes qui jouent un rôle essentiel dans la qualité de l'eau.

Auparavant, plusieurs technologies étaient utilisées pour la surveillance de la qualité de l'eau, mais elles n'étaient pas connectées à des systèmes de surveillance en ligne. Traditionnellement, la qualité de l'eau des fermes piscicoles était testée sur place à l'aide de capteurs portables (Fig. 3) sur une base régulière.

Quelle que soit l'espèce de poisson, les exigences physiques susmentionnées sont généralement nécessaires pour maintenir des niveaux optimaux de croissance des poissons.



Fig. 3. Différents types de capteurs portables pour tester les paramètres physicochimiques de l'aquaculture. (A) Conductimètre/TDS, (B) Turbidimètre néphélométrique numérique, (C) pH-mètre et (D) Thermomètre scientifique

Bien que des outils ou des capteurs portatifs puissent permettre au personnel de prendre des mesures sur place pendant les heures de bureau, des variations de l'un des paramètres essentiels de l'eau au-delà d'un seuil de sécurité peuvent survenir en dehors des heures de bureau, sans que les employés ne s'en rendent compte. Lorsqu'une condition terrible persiste, elle peut avoir des conséquences négatives telles qu'une faible croissance, des symptômes de maladie non diagnostiqués ou un comportement étrange des poissons. Cependant, la surveillance en temps réel basée sur des réseaux de capteurs sans fil (WSN) rend la surveillance beaucoup plus pratique et précise (Zhang et al., 2013). Les WSN sont un type de réseau composé de nœuds de capteurs interconnectés qui communiquent sans fil afin de collecter des données sur l'environnement.

Les systèmes de surveillance de la qualité de l'eau pour l'aquaculture basés sur des réseaux de capteurs sans fil sont dotés de capteurs qui surveillent le pH, le niveau d'eau, l'OD et la température.

Ce système détecte ces paramètres en temps réel et envoie également les données directement aux utilisateurs. Il est convivial, car il peut surveiller les données à tout moment sur demande. Ceci, associé à des capteurs sans fil équipés d'un logiciel de contrôle de prise de décision qui utilise les connaissances d'experts stockées dans la base de données, peut obtenir de meilleurs résultats (Zhang & Wang, 2011).

Le système s'est avéré résister à des conditions environnementales difficiles, mais s'est avéré non rentable (Vaddadi et al., 2012).

D'autre part, le système de surveillance de l'eau basé sur un réseau de capteurs sans fil ZigBee peut stocker les valeurs des capteurs et les comparer aux limites de référence.

L'utilisation de la technologie dans la surveillance a été introduite/choisie au cours de la dernière décennie. Un système sans fil à distance a été introduit par Zhu et al. (2010) utilisant la technologie de communication sans fil pour la surveillance en ligne de la qualité de l'eau dans la pisciculture intensive. Ce système surveille l'oxygène dissous (OD), le pH, la salinité et la température en temps réel et a donné plus de 95,2 % de données correctes. Il peut également donner des signaux d'alerte précoce sur les changements notables de valeurs. L'application du système proposé est toutefois actuellement limitée en raison de ses exigences opérationnelles rigoureuses et de ses coûts de maintenance élevés.

Dans un développement ultérieur, un système sans fil pour surveiller certains paramètres de base et importants de la qualité de l'eau tels que l'OD, le pH, la conductivité et la température a été développé avec une interface de communication sans fil qui communique avec la station distante située à environ 1 km du site intéressé.

Il surveille tous les paramètres courants de température, de pression, d'OD et peut envoyer une alerte par SMS ou par e-mail au titulaire si les valeurs dépassent les limites de référence (Espinosa-Faller & Rendón-Rodríguez, 2012).

Récemment, Chen et al. (2022) à Taiwan ont développé un bras robotisé effectuant des mesures automatiques et des procédures de maintenance.

Le microcontrôleur Arduino Mega 2560 a été utilisé pour transmettre l'ensemble de données sur la qualité de l'eau sur un réseau LoRaWAN.

## L'INTERNET DES OBJETS (IOT) RÉSOUT LES PROBLÈMES ÉCONOMIQUES

L'Internet a énormément évolué au cours des quatre dernières décennies, passant d'un petit réseau privé de quelques nœuds à un réseau public mondial comptant des milliards de nœuds. Le terme « Internet des objets » (IoT) a été inventé par Ashton (1999) pour décrire la tendance vers des « objets » en réseau qui collectent des données par détection et exécutent des calculs sur les données des capteurs.

L'IoT est un terme large sans signification claire, mais il fait référence à une large gamme d'« objets », des objets du quotidien aux biocapteurs complexes, capables de détecter/actionner, de communiquer avec Internet et de traiter. L'IoT est le concept de connexion de tout appareil à Internet et à d'autres gadgets connectés (Fig. 4).

L'IoT est un immense réseau d'objets et de personnes en réseau qui collectent et partagent des données sur la façon dont ils sont utilisés et dont ils interagissent avec leur environnement.

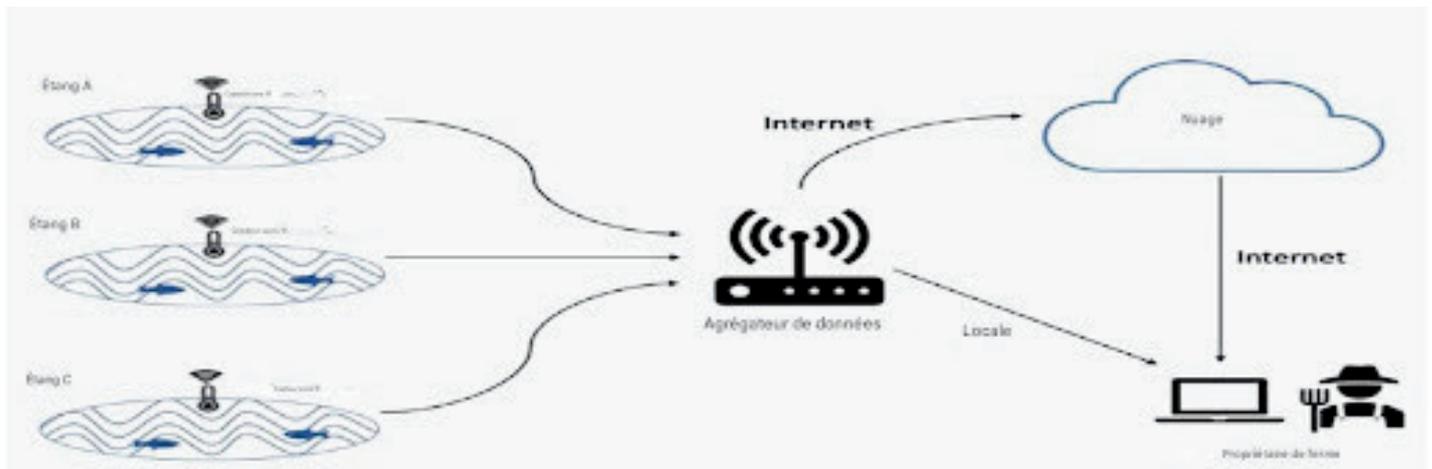


Fig. 4. Mise en œuvre de la technologie de communication IoT sans fil dans la gestion des fermes piscicoles

Dans la mise en œuvre des différents systèmes visant à garantir la qualité des fermes piscicoles, le principal obstacle est le coût élevé. Les petits exploitants, par rapport aux grands, ne disposent pas de systèmes technologiques avancés pour vérifier l'avancement de leur travail.

De plus, les petits exploitants ne peuvent pas embaucher de personnes pour effectuer des contrôles quotidiens de la qualité de l'eau (Teja et al., 2020). Les systèmes IoT d'aquaculture sont très utiles sur le plan économique.

Les fermes qui utilisent des systèmes IoT sont plus productives que celles qui ne les utilisent pas, car les systèmes IoT réduisent le coût de la main-d'œuvre et prennent moins de temps.

Sung et al. (2014) ont proposé un système de surveillance à distance sans fil utilisant le réseau de capteurs sans fil avec ZigBee qui surveille la température, le pH et l'OD dans les fermes aquacoles. Le système permet une surveillance en temps réel à l'aide d'appareils mobiles et de plates-formes distantes. Le système collecte les données avec la date et l'heure et envoie les informations à Internet à partir duquel les informations sont facilement accessibles et aident à contrôler la situation des fermes.

Un système de surveillance multiparamétrique rentable a été développé qui fournit des données en temps réel sur la qualité de l'eau d'aquaculture sur la base d'un réseau de capteurs sans fil (Luo et al., 2015). Le système utilise des cellules au lithium et des cellules solaires pour l'alimentation électrique et dispose de capteurs pour l'OD, l'ammoniac, l'azote, la température et le pH. Cependant, le système manquait de contrôle automatique du pH, de l'ammoniac, de l'azote et nécessitait d'autres améliorations. Powell et al. (2017) ont donné un système de surveillance à distance évolutif, polyvalent et plus économique avec le concept de l'IoT et ont proposé ses futurs travaux avec l'intelligence artificielle (IA) dans le système pour des résultats plus avantageux. Le système a été conçu pour surveiller la température, le pH, l'OD et stocker les données fournies par les capteurs dans une base de données facilement accessible de n'importe où via l'application mobile. Avec l'augmentation du développement de meilleurs produits, Gao et al. (2019) ont développé un système de contrôle de pisciculture et de suivi intelligent basé sur l'IoT.

Dans un autre rapport récent, un capteur à faible coût pour surveiller le pH, la température, le niveau d'eau et l'humidité a été développé (Teja et al. 2020), qui stocke les données à intervalles réguliers dans le cloud et est accessible par l'utilisateur via l'application Blynk sur son mobile. Le système peut envoyer des alertes à l'utilisateur et peut prendre des mesures importantes automatiquement.

## **AQUACULTURE INTELLIGENTE**

Il existe un besoin constant d'une production aquacole intensifiée pour répondre à la demande alimentaire de la population mondiale croissante. Compte tenu de la diversité de l'aquaculture en termes de méthodes, de pratiques et d'installations, le travail humain à lui seul est insuffisant et de nouveaux modèles d'aquaculture intelligente sont grandement nécessaires (Wang et al., 2021).

Le système a non seulement effectué la surveillance des paramètres de la qualité de l'eau, mais a également été capable de suivre l'élevage ainsi que la vente de poissons. Le système comprend six types de capteurs de surveillance pour des mesures simultanées de la température, de la conductivité, du niveau d'eau, du pH, de la turbidité de l'eau et de l'oxygène dissous. Les données collectées par les capteurs sont stockées dans une base de données. Le système comprend également un système de suivi des produits dans lequel, en scannant le code QR du produit, on peut retracer toutes les informations concernant le produit, telles que sa situation géographique, son transport et tout le processus d'élevage jusqu'au consommateur. Ce système est une approche improvisée très utile, car il pourrait s'avérer très efficace pour garantir la qualité fiable des produits aquatiques. Boonsong et al. (2018) ont suggéré un réseau de capteurs sans fil (WSN) dans une plate-forme IoT pour un système intelligent de surveillance de la qualité de l'eau (SWQM) des étangs d'aquaculture. La température, la quantité d'oxygène dissous dans l'eau et les valeurs potentielles d'hydrogène (pH) étaient les principales variables examinées dans cette étude. La passerelle du routeur transmet les données surveillées avec le dispositif SWQM suggéré à un opérateur via une plate-forme Internet cloud. Pour réaliser une surveillance en temps réel, l'opérateur peut utiliser les données d'informations suivies sur un appareil intelligent.

L'émergence de l'IoT, du big data, de l'intelligence artificielle, des réseaux 5G, du cloud computing et des technologies robotiques rend l'aquaculture intelligente possible (Li & Li, 2020). L'aquaculture intelligente peut accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources et la durabilité de diverses manières.

Elle peut également réduire les coûts de main-d'œuvre, stimuler la production et améliorer la qualité des produits aquatiques. D'autres problèmes, tels que les coûts élevés du capital et de l'énergie, doivent cependant être résolus afin de développer une aquaculture intelligente (Li & Li, 2020). Récemment, gardant à l'esprit le concept d'aquaculture intelligente, Sivakumar et Ramya (2021) ont proposé un système appelé système de surveillance en temps réel à faible coût (LCRTMS). Ce système avec IoT surveille le pH, la température de l'eau, l'OD et l'ammoniac. Les capteurs collectent les données et les envoient au cloud via Internet, qui est facilement accessible et le processus ultérieur peut être effectué avec une interaction humaine minimale. Akhter et al. (2021) ont proposé un système de surveillance de la qualité de l'eau à faible coût et à faible consommation d'énergie avec des capteurs basés sur l'IoT pour accéder aux données en temps réel. Le système dispose de plusieurs capteurs pour surveiller divers paramètres, notamment la température, le pH, l'OD, le calcium, le magnésium, le nitrate et le phosphate. Le système proposé peut être facilement utilisé pour suivre régulièrement la qualité de l'eau. De plus, les utilisateurs peuvent obtenir des conseils d'experts de n'importe où et à tout moment.

Lin et al. (2021) ont proposé un nouveau système multi-capteurs sans fil qui surveille la qualité de l'eau de l'aquaculture en eau douce en combinant les capteurs de température, de pH, d'OD et d'EC avec un module Wi-Fi ESP 32. La plateforme IoT ThingSpeak présentait les niveaux de température, de pH, d'OD, d'EC et de salinité de l'eau ainsi qu'une visualisation facile à utiliser fournie par l'application ThingView. Le système IoT multi-capteurs sans fil suggéré est capable de surveiller la qualité de l'eau de l'aquaculture en eau douce avec une précision adéquate, une confiance fiable et une bonne tolérance.

Il améliore non seulement l'efficacité et l'évolutivité des approches, mais il permet également une meilleure collaboration entre les ingénieurs travaillant à partir de différents endroits (Gupta et al., 2022).

Le dernier exemple de ferme piscicole intelligente est celui conçu par Chiu et al. (2022) pour répondre aux exigences d'un étang à poissons California Bass à Taiwan. Leur objectif principal est de rationaliser la main-d'œuvre nécessaire à l'entretien de l'étang à poissons grâce à l'utilisation d'appareils automatisés et de l'intelligence artificielle des objets (AIoT).

En termes d'aquaculture intelligente, le système IoT multi-capteurs sans fil suggéré présente plusieurs avantages par rapport à plusieurs capteurs uniques, notamment une configuration et une maintenance plus faciles, une meilleure rentabilité et une précision et une fiabilité suffisantes avec pré-étalonnage même pour les appareils de capteurs commercialisés. De plus, le système permet une surveillance simultanée sur site de plusieurs paramètres de détection à proximité d'un champ de culture aquatique pendant des semaines, voire des mois, ainsi qu'une amélioration significativement rentable des coûts de main-d'œuvre.

Un autre système appelé système E-Sensor AQUA est un système IoT de surveillance de la qualité de l'eau utile pour mesurer le pH, la salinité, la température, le niveau d'oxydoréduction et l'OD en temps réel. Le système dispose également d'un mécanisme de nettoyage automatique de la sonde du capteur qui réduit les coûts de maintenance élevés et rend l'utilisation de la technologie abordable pour les petits agriculteurs. Tous ces systèmes ont été conçus pour répondre à la demande de capteurs multimodes en établissant une communication de données et une boucle de rétroaction pour lancer des actions. Pour garantir la fiabilité des données, un réseau de capteurs fiable doit disposer d'algorithmes d'échantillonnage optimaux dans le but d'une aquaculture intelligente. Dans la plupart des cas, les solutions IoT en aquaculture utilisent un serveur local pour stocker les énormes quantités de données collectées dans un fichier Excel ou une base de données. En conséquence, l'infrastructure Internet est soumise à une forte pression. Le cloud computing prend en charge l'IoT en fournissant un emplacement de stockage virtuel et un conduit pour les énormes quantités de données et d'applications qui doivent être stockées et récupérées.

L'étang à poissons intelligent proposé intègre divers capteurs, notamment des capteurs d'oxygène dissous, de pH, de turbidité et de température. Des appareils tels que le réchauffeur, la pompe à eau et le capteur de pH sont protégés par un dispositif coupe-vent pendant le fonctionnement de l'étang à poissons.

D'autres, comme le dispositif d'alimentation en nourriture, le capteur de turbidité, le capteur d'oxygène dissous, le capteur de température et l'agitateur, interagissent directement avec l'étang à poissons sans protection contre le vent. Un microcontrôleur, en particulier l'Arduino Mega2560 avec un module Wi-Fi intégré, orchestre le réchauffeur, la pompe à eau, l'interrupteur de fin de course, tous les capteurs, le dispositif d'alimentation en nourriture, l'IPCAM, le moteur et l'agitateur pour une surveillance en temps réel (Chiu et al. 2022). Toutes les données sont stockées sur un serveur cloud, où elles sont collectées et analysées à l'aide de techniques de big data et d'IA. Des fonctionnalités importantes sont ensuite utilisées pour générer des déductions sur la productivité du système grâce à l'apprentissage automatique, y compris l'apprentissage profond. Des applications mobiles sont également disponibles pour la surveillance et le contrôle à distance (Chiu et al., 2022). Les données du système d'étang à poissons California Bass ont été collectées sur une période de cinquante-deux semaines. Après vérification et analyse statistiques, le prototype optimisé a atteint une valeur R2 élevée de 0,94, avec une valeur carrée moyenne de 0,0015 (Chiu et al., 2022). Ces valeurs démontrent la faisabilité du modèle proposé pour atteindre le résultat souhaité. Les chercheurs pensent que ce modèle d'étang à poissons intelligent peut offrir des avantages significatifs aux pisciculteurs du monde entier, notamment une réduction des résidus alimentaires, une croissance améliorée des poissons, une mortalité minimisée des poissons et un meilleur taux de conversion alimentaire.

Actuellement, les biocapteurs, qui utilisent la technologie électronique pour évaluer les fonctions des organismes vivants, font l'objet de recherches et de développements actifs. Les biocapteurs utilisent des électrodes et des dispositifs optiques pour détecter de petits changements et les convertir en signaux électriques, permettant une mesure rapide et précise de substances spécifiques. Des biocapteurs à haute sensibilité et spécificité sont en cours de développement pour évaluer la santé des poissons (Endo et al., 2019). Le stress physiologique chez les poissons provoque une réponse primaire de changements de concentration d'hormones, telles que le cortisol et la catécholamine, suivie d'une réponse secondaire de changements de glycémie dus à l'activation métabolique de l'hormone de stress.

La réponse au stress est influencée par des facteurs physiques comme la vitesse d'écoulement, la température et le contact, des facteurs chimiques comme l'ammoniac, l'acide nitreux et les poisons, et des facteurs comportementaux comme les menaces de prédation, les activités sociales des poissons et le comportement territorial (Bonga, 1997). Alors que divers facteurs tels que des niveaux élevés d'ammoniac peuvent provoquer un stress chimique. Endo et al. (2006) ont créé un système de biocapteur de type aiguille qui se compose d'une sonde à fibre optique d'oxygène avec un complexe de ruthénium, une membrane enzymatique immobilisée et un récipient de type aiguille creuse (aiguille de calibre 18) pour la mesure rapide et facile des concentrations de glucose dans le sang des poissons. Ce capteur inséré dans la veine caudale du poisson mesure les concentrations de glucose dans le sang en mesurant les changements de concentration d'oxygène dissous. Cette procédure consiste à retirer le poisson du réservoir d'eau à l'aide d'un filet afin de prélever des échantillons de sang pour chaque mesure, ce qui pourrait stresser inutilement le poisson. De plus, les concentrations de glucose des poissons varient en réponse au stress, ce qui rend la mesure en temps réel extrêmement souhaitable.

Endo et al. (2010) ont conçu un système de biocapteur sans fil innovant qui est inséré dans le liquide sclérotique interstitiel du globe oculaire (EISF), le liquide interstitiel à l'intérieur de la membrane externe du globe oculaire du poisson pour suivre les niveaux de glucose des poissons en réponse à ces problèmes. La valeur du courant de sortie du capteur est transmise à la terre par ondes radio, ce qui permet de suivre la concentration de glucose en temps réel en le connectant à un potentiostat sans fil étanche.

Ce type de système de capteur de poisson est nouveau et peut mesurer les niveaux de glucose dans le sang en temps réel même lorsque les poissons d'essai nagent librement. De plus, pour pouvoir évaluer les réponses au stress à l'aide d'une sortie plus intuitive, Wu et al. (2019) ont développé une méthode de sortie visuelle d'un système de biocapteur de type communication optique pour indiquer le niveau de stress qui peut mesurer la concentration de glucose dans le sang.

## L'AQUACULTURE DE PRÉCISION GRÂCE À L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE

Compte tenu des défis mentionnés pour la production aquacole, diverses stratégies doivent être identifiées et mises en œuvre. La disponibilité de véhicules sans pilote équipés de caméras aériennes, de capteurs et de capacités de calcul pour la surveillance du site est également bien connue. Pour parvenir à une pisciculture plus précise, une surveillance plus autonome et continue est nécessaire, ce qui peut apporter un soutien décisionnel plus fiable et réduire la dépendance au travail manuel et aux évaluations subjectives pour améliorer la sécurité et le bien-être des travailleurs. L'aquaculture de précision est définie comme un réseau de capteurs hétérogènes et interconnectés utilisés pour surveiller, analyser, interpréter et soutenir les opérations agricoles (Teja et al., 2020). Elle applique les principes d'ingénierie de contrôle dans la production de poisson pour améliorer la surveillance et le contrôle des fermes et permettre la documentation des processus biologiques et la surveillance de la biomasse (Føre et al., 2018).

L'agriculture de précision se développant si bien, la plateforme IoT proposée par Lin et al. (2021) offre un développement biotechnologique à la fois flexible et extensible, permettant la surveillance simultanée d'un large éventail de paramètres de culture en agriculture tout en maintenant la transparence et le contrôle de la qualité tout au long du processus. La robustesse des mesures et la convivialité seront améliorées en prenant en compte les besoins de vieillissement et de maintenance des capteurs aquatiques. En raison de leur disponibilité et de leur prix abordable, les véhicules ou avions sans pilote sont l'une des technologies en développement largement utilisées dans l'agriculture et l'aquaculture pour la gestion et la surveillance des poissons. Les drones sont désormais utilisés pour capturer des données environnementales et le comportement des poissons sur les sites d'aquaculture à des fins de surveillance (Chang et al., 2021 ; de Lima et al., 2021).

La collaboration entre les scientifiques de l'aquaculture, les pisciculteurs, les ingénieurs et les développeurs de logiciels est nécessaire pour résoudre ces problèmes et créer des produits rentables pour le secteur de l'aquaculture en intégrant la technologie d'impression 3D dans les produits et les modèles commerciaux.

Les véhicules sous-marins autonomes (AUV) ou les véhicules sous-marins télécommandés (ROV) sont étanches et submersibles dans l'eau car ils sont équipés de caméras pour capturer des images et des vidéos ainsi que de capteurs pour collecter des données sur la qualité de l'eau telles que la température de l'eau, le niveau de profondeur, les propriétés chimiques, biologiques et physiques (Paull et al., 2014 ; Sward et al., 2019 ; Yuan et al., 2023). Comme les AUV sont immergés sous l'eau, l'un des problèmes est la grande précision de navigation, de communication et de localisation en raison de l'incapacité de s'appuyer sur les communications radio et les systèmes de positionnement global. Pourtant, l'une des solutions proposées pour résoudre ces problèmes est la navigation géophysique (Ubina et al., 2022). Un système de réalité augmentée (AR) plus cloud a récemment été développé pour améliorer l'interrogation et la collecte de données sur la qualité de l'eau in situ (Xi et al., 2019 ; Yue & Shen, 2022). La réalité augmentée devrait également contribuer de manière significative à la gestion des fermes piscicoles, notamment en ce qui concerne la gestion de la qualité de l'eau, la collaboration à distance et les discussions en salle de conseil. Cependant, l'accessibilité financière de ces systèmes est toujours un facteur important à prendre en compte lors de l'utilisation de cette technologie dans les petites fermes piscicoles. En outre, l'industrie de l'aquaculture bénéficie du développement de logiciels de réalité augmentée simples et rentables. Des tests sont en cours sur un système de capteur d'eau imprimé en 3D capable d'identifier le pH, la température et la teneur en oxygène (Banna et al., 2017). Le coût de fabrication et d'équipement, le besoin de post-traitement et la rareté des matériaux adaptés à une utilisation dans l'eau et d'autres environnements sont quelques-uns des obstacles à l'adoption de l'impression 3D en aquaculture.

Le secteur de l'aquaculture pourrait connaître une révolution, grâce à l'IoT et aux solutions de big data, qui augmenteraient la productivité, la durabilité et la rentabilité tout en améliorant la sécurité et en simplifiant la gestion des risques. Par conséquent, l'interconnexion des chaînes d'approvisionnement et des systèmes de transformation s'en trouve considérablement améliorée. L'application des technologies IoT aux sites d'aquaculture marine éloignés reste toutefois un défi pratique, car les données collectées à partir de capteurs situés loin de la ferme piscicole principale doivent être envoyées ailleurs dans le monde (Yue & Shen, 2022).

Des problèmes tels que le coût élevé de la main-d'œuvre, le temps nécessaire et la susceptibilité aux erreurs dues aux méthodes traditionnelles peuvent éventuellement être résolus grâce à l'intégration de technologies informatiques telles que l'analyse de données, l'IoT et l'IA. Néanmoins, les systèmes d'apprentissage profond disponibles aujourd'hui posent des problèmes de performances, d'interprétabilité et de variabilité des données. Pour remédier à ces limitations, Arepalli et Naik (2024) ont proposé un cadre complet qui intègre des techniques de collecte de données et de ségrégation de données basées sur l'IoT pour améliorer la précision de la classification de la contamination de l'eau d'aquaculture. L'étude a présenté l'unité récurrente à équation différentielle ordinaire (AODEGRU), un nouveau modèle basé sur l'attention pour assurer une catégorisation robuste. La classification précise de la contamination de l'eau et l'évaluation de la qualité de l'eau sont rendues possibles par l'utilisation de capteurs d'appareils avancés permettant la collecte de données en temps réel pour la température, le pH, l'oxygène dissous et la concentration en nitrate.

## CONCLUSION

Les données montrent clairement que l'aquaculture est un secteur agricole en pleine croissance et en forte demande. Jusqu'à présent, la plupart des éleveurs ont eu recours à des méthodes traditionnelles de pisciculture, qui ont entraîné une faible efficacité et un faible rendement.

Pour répondre à la demande croissante, l'aquaculture doit adopter ces technologies au même rythme, voire à un rythme plus rapide.

Ce modèle AODEGRU calcule un indice de contamination de l'eau en utilisant des plages admissibles spécifiques aux poissons, ce qui facilite la séparation précise des données en classes contaminées et non contaminées car ce modèle est formé avec des données étiquetées de haute qualité. Malgré tout, il présente des limites en termes d'adaptation au caractère dynamique de l'aquaculture. Cependant, l'étude s'est davantage concentrée sur des facteurs de recherche futurs tels que l'évolutivité, la maintenance à long terme et la flexibilité face aux circonstances changeantes.

Bien que les capteurs facilitent les choses, leur utilisation pose de nombreux défis. Les capteurs doivent nécessiter peu d'entretien, être peu coûteux, avoir une faible consommation de batterie, être robustes, étanches, non métalliques, résistants à l'encrassement biologique et non toxiques pour les organismes. Si possible, il est recommandé d'éviter d'utiliser des capteurs optiques. Il est important d'étudier les valeurs seuils des capacités auditives des poissons et les effets des champs magnétiques causés par les capteurs (Parra et al., 2018). En outre, des préoccupations concernant la sécurité et la confidentialité des données surviennent lorsque l'IoT est mis en œuvre dans de nombreuses entreprises, et l'aquaculture ne fait pas exception. Le secteur de l'aquaculture contient de nombreuses données sensibles, notamment des secrets commerciaux et des techniques brevetées, ce qui fait de la protection de ces données un enjeu essentiel (Assaf et al., 2024). En général, l'aquaculture a bénéficié des technologies basées sur l'IoT car elles facilitent la gestion en temps réel tout en améliorant la résistance à la corrosion des capteurs et en intégrant la fusion de données pour améliorer la prise de décision (Abdullah et al., 2024).

Ces défis peuvent être surmontés grâce à l'utilisation de la technologie, qui permet aux éleveurs de surveiller et de gérer la qualité de l'eau tout en économisant du temps et des coûts de main-d'œuvre, améliorant ainsi la production de poisson.

L'évolution des capteurs et la mise en œuvre de l'IoT dans l'aquaculture ont élevé la pisciculture à de nouveaux niveaux, mais elle n'a pas pénétré le secteur comme prévu. Il existe des écarts importants entre la disponibilité des technologies révolutionnaires et disruptives et leur utilisation réelle dans l'aquaculture.

Des obstacles tels que les coûts élevés, la mise en œuvre de faible niveau, la personnalisation limitée (en fonction des besoins des éleveurs) et la complexité de la compréhension de ces technologies empêchent une adoption généralisée parmi les éleveurs de poissons.

L'IoT dans l'aquaculture offre de nouveaux espoirs d'augmentation de la productivité, mais il faut l'améliorer.

À l'avenir, l'accent devra être mis sur le développement de technologies faciles à comprendre, simples à mettre en œuvre, efficaces et abordables, des fonctionnalités qui favoriseront une adoption à grande échelle parmi les aquaculteurs.

## UNE PRODUCTION AQUACOLE DURABLE POUR UNE MEILLEURE SECURITE ALIMENTAIRE

Par Kwasi Adu Obirikorang. Département de la pêche et de la gestion des bassins versants, Université Kwame Nkrumah des sciences et technologies, Kumasi, Ghana

La sécurité alimentaire a toujours été reconnue dans le discours mondial comme l'un des principaux défis à relever. Malgré certains progrès vers l'accès de tous à une alimentation saine, nutritive et suffisante tout au long de l'année (cible 2.1 des ODD) ou vers l'éradication de toutes les formes de malnutrition (cible 2.2 des ODD), la FAO et al. (2024) ont estimé qu'entre 713 et 757 millions d'individus (8,9 %-9,4 % de la population mondiale) souffriraient de sous-alimentation en 2023. Sur la base du chiffre moyen de 733 millions, environ 152 millions de personnes supplémentaires pourraient avoir souffert de la faim en 2023 par rapport à 2019. La production des pêches de capture ayant stagné au cours des dernières décennies, l'aquaculture pourrait jouer un rôle crucial dans la réalisation de la sécurité alimentaire (FAO, 2020). La demande mondiale de poisson devrait augmenter au cours des prochaines décennies pour répondre aux besoins et aux préférences d'une population humaine croissante (Jennings et al., 2016). Avec une population mondiale qui devrait atteindre plus de 9,7 milliards de personnes d'ici 2050 (Nations unies, 2024), les produits de la mer en général et le poisson en particulier continueront à jouer un rôle important dans la nutrition et la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale, notamment dans les pays en développement (Cojocararu et al., 2022 ; Bjørndal et al., 2024).

Deux secteurs distincts mais interconnectés contribuent à l'approvisionnement mondial en poisson : les pêches de capture ou sauvages et l'aquaculture ou poissons d'élevage. En fait, comme les pêches de capture se sont stabilisées, il faudra continuer à augmenter la production de l'aquaculture pour maintenir ou accroître la consommation de poisson par habitant (FAO, 2020).

Selon la FAO (2022), l'aquaculture est, depuis plusieurs décennies, le secteur de production animale qui connaît la croissance la plus rapide au monde, contribuant à 49 % de la production aquatique totale (FAO, 2022). Ce taux de croissance et la contribution du secteur à la sécurité alimentaire mondiale semblent toutefois bien inférieurs aux estimations lorsque les algues marines (autotrophes) sont exclues des statistiques de production et que les comparaisons avec les productions animales terrestres sont effectuées sur la base des seuls rendements comestibles (Edwards et al., 2019). Malgré cela, le secteur a encore le potentiel d'apporter d'importantes contributions à un avenir alimentaire durable, bien que son expansion rapide ait des conséquences en matière de durabilité environnementale. En outre, le secteur est confronté à des défis liés au coût élevé des aliments pour poissons et crustacés, aux pertes après récolte et aux mortalités induites par des agents pathogènes. Les articles soumis dans le cadre de ce thème de recherche contribuent à résoudre certains des problèmes auxquels le secteur de l'aquaculture est confronté grâce à des perspectives, des analyses et des travaux de recherche originaux portant sur divers aspects de l'aquaculture, notamment la production durable (Chen et al. ; Shen et al. ; Mizuta ; N'Souvi et al. ), la nutrition aquacole (Akter et al. ; Andam et al.), les technologies de traitement après récolte (Barros et al.), les systèmes de production (Rossignoli et al.), la santé et le bien-être des poissons (Stentiford et al. ; Zornu, Tavornpanich, Brun, et al. ; Zornu, Tavornpanich, Shima, et al.), et le financement de l'aquaculture (Munguti et al.).

Les données primaires des articles publiés dans le cadre de ce thème de recherche proviennent de 13 pays répartis sur trois continents et relèvent globalement des trois piliers de la durabilité :

Durabilité environnementale (technologies de production qui optimisent la production de poisson et/ou minimisent les perturbations ou les impacts environnementaux importants).

Durabilité économique (partenariats entre les secteurs privé et public et investissements des donateurs multinationaux).

Et durabilité sociale et communautaire (dimensions sociales de l'aquaculture, en particulier dans les pays en développement).

Le développement de l'aquaculture dépend en grande partie de la formulation et de la production d'aliments pour poissons et crustacés peu coûteux mais équilibrés sur le plan nutritionnel, mais le coût des aliments pour poissons reste prohibitif pour de nombreux petits exploitants.

L'industrie de l'alimentation aquatique dépend depuis longtemps de la farine de poisson comme principale source de protéines, mais l'instabilité des approvisionnements et les fluctuations erratiques des prix ont nécessité des remplacements partiels ou totaux par des matières premières plus durables (Roques et al., 2020). Les études d'Akter et al. et d'Andam et al. mettent donc en évidence les progrès réalisés dans le domaine de la nutrition aquacole au cours des deux dernières décennies grâce à des innovations constantes dans la formulation des aliments afin d'améliorer l'efficacité et la durabilité de l'alimentation.

Le remplacement de la farine de poisson par de la farine de mysidacés jusqu'à 65% dans les régimes alimentaires de la crevette blanche du Pacifique (*Penaeus vannamei*) sans impact négatif sur les performances de croissance, l'efficacité de l'utilisation des aliments et la composition corporelle (Andam et al.) représente une stratégie d'économie qui peut augmenter la rentabilité de l'élevage de crevettes. L'inclusion réussie de tourteaux de moutarde, de farine de soja et de son de riz comme substituts à la farine de poisson dans les régimes alimentaires de *Labeo rohita* (Akter et al.) souligne l'efficacité et le potentiel de ces ingrédients non conventionnels comme sources alternatives de protéines alimentaires. Cette approche permet non seulement de réduire considérablement les coûts de production des poissons, mais contribue également de manière positive à l'amélioration de la sécurité alimentaire, notamment dans les pays en voie de développement où les ressources alimentaires sont souvent limitées.

En raison d'une mortalité importante due à des agents pathogènes, l'aquaculture, qui fournit la moitié des protéines aquatiques dans le monde, éprouve des difficultés à assurer un approvisionnement sûr et durable en poissons. L'étude des causes de la mortalité des poissons (Zornu, Tavornpanich, Brun, et al.), l'extension des interprétations des maladies au-delà de l'identification des agents pathogènes pour aborder les facteurs liés à l'hôte, à l'environnement et à l'homme (Stentiford et al.), et le comblement des lacunes dans la gestion de la santé des poissons par l'éducation et la recherche (Zornu, Tavornpanich, Shima, et al.) peuvent améliorer la santé des animaux aquatiques et favoriser une industrie aquacole résiliente et durable. La durabilité dans le développement de l'aquaculture prend de plus en plus d'importance en raison des problèmes environnementaux tels que la pollution de l'eau. La réduction de l'impact de la production aquacole sur l'environnement doit être une priorité si l'on veut que le secteur, qui paradoxalement dépend largement d'une eau propre, contribue durablement à la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale. La mise en œuvre d'approches économes en ressources et respectueuses de l'environnement, telles que la productivité totale verte des facteurs (l'efficacité de la production aquacole en tenant compte de la durabilité environnementale) (Shen et al.) et l'adoption de technologies de production vertes émergentes dans la production (Chen et al.), sont des moyens essentiels pour y parvenir.

Pour renforcer leur résilience et maintenir leur production face au changement climatique et à la dégradation de l'environnement, les aquaculteurs doivent s'adapter aux options disponibles à court terme, telles que l'ombrage des étangs et l'aération, ou procéder à des ajustements à long terme des pratiques de production, notamment en diversifiant les systèmes et les zones de production (Maulu et al., 2021). En étendant les zones disponibles pour la production aquacole, l'industrie peut augmenter sa capacité de production pour répondre à la demande croissante de poissons et d'autres produits aquatiques.

La production aquacole en milieusalin intérieur, également appelée « aquaculture en milieu désertique » dans certaines juridictions, offre la possibilité d'augmenter la production d'espèces eurymarines et marines. Si la production aquacole commerciale utilisant des eaux souterraines salines est bien développée dans des pays tels que les États-Unis, Israël, l'Inde et l'Australie (Allan et al., 2009), elle reste sous-développée dans certains pays en développement comme le Pakistan (Rossignoli et al.). Les eaux salines intérieures constituent des ressources essentielles pour la production de poissons et d'autres produits aquacoles, car elles utilisent des ressources autrement improductives tout en réduisant la dépendance à l'égard des ressources en eau douce, qui servent par ailleurs de sources d'eau potable pour l'homme. L'étude de Rossignoli et al. sert de données de base essentielles pour combler certaines lacunes en matière d'information, cruciales pour le développement durable de l'aquaculture saline dans les pays en développement. Il est nécessaire de renforcer les compétences techniques dans le domaine de l'aquaculture saline, parallèlement à la création d'écloseries pour les espèces tolérantes au sel, afin de réduire la dépendance à l'égard des espèces d'eau douce dans les bassins salins.

Plusieurs projections soulignant la vulnérabilité de l'ensemble de la chaîne de valeur de l'aquaculture face au changement climatique et à la dégradation de l'environnement, il y a lieu de se demander si le secteur se développe de manière durable et suffisamment rapidement pour répondre aux demandes futures, encore exacerbées par l'augmentation rapide de la population humaine. L'évolution actuelle des habitudes alimentaires de l'homme vers des aliments durables pourrait entraîner une forte augmentation de la demande de produits de la mer au cours des dix prochaines années, ce qui nécessitera de nouvelles recherches sur des aliments novateurs pour animaux aquatiques dans tous les domaines de la durabilité. Donner la priorité à la recherche sur les ingrédients complémentaires et peu coûteux dans les aliments pour poissons, en particulier pour les espèces dans les systèmes de production à faible toxicité, sera un moyen innovant de stimuler le développement du secteur. En outre, il est nécessaire d'adopter des méthodes de production innovantes, de donner la priorité aux mesures de prévention des maladies et de minimiser les impacts environnementaux afin d'optimiser l'efficacité économique, sociale et environnementale du secteur de l'aquaculture.

## TRANSFORMER L'AVENIR DE L'AFRIQUE AUSTRALE GRÂCE À L'AQUACULTURE MULTITROPHIQUE INTÉGRÉE



**Par : Tafadzwa Maredza.**  
Responsable des pêches au ministère des Terres, de l'Agriculture, de la Pêche, de l'Eau et du Développement rural du Zimbabwe.

La demande mondiale de poisson et de produits de la pêche augmente régulièrement, en grande partie en raison du rôle du secteur dans la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la sécurité alimentaire. Dans les pays en développement, en particulier dans la région de l'Afrique australe, la pêche et l'aquaculture sont essentielles pour fournir de la nourriture et des revenus. Ces industries sont souvent intégrées à d'autres activités agricoles, telles que la culture et l'élevage, et elles contribuent de manière significative à stimuler les économies rurales en tant que multiplicateurs économiques. Cependant, il existe un mouvement mondial croissant en faveur de l'identification de stratégies alternatives et durables pour atténuer la surexploitation des stocks de poissons sauvages. Pour faire face au déclin des approvisionnements en poisson provenant des pêches de capture et répondre à la demande alimentaire mondiale croissante, l'industrie de l'aquaculture a connu une croissance rapide.

En conséquence, l'aquaculture a désormais dépassé la pêche de capture. En 2022, la production aquacole mondiale a atteint un record de 130,9 millions de tonnes, soit 59 % de la production totale de la pêche et de l'aquaculture, évaluée à 312,8 milliards USD (FAO, 2024).

Les opérations mono-espèces autonomes que l'on retrouve couramment dans l'aquaculture traditionnelle peuvent poser des problèmes environnementaux importants, nuisant souvent à l'écosystème sans bénéficier directement aux communautés locales. Il est donc urgent d'innover et de développer des systèmes d'aquaculture respectueux de l'environnement et économiquement viables. Les systèmes d'Aquaculture MultiTrophique Intégrée (AMTI) ont été créés en réponse à ce besoin.

Dans de nombreuses initiatives d'AMTI, les espèces co-cultivées travaillent ensemble pour produire plusieurs ressources sans nécessiter d'intrants supplémentaires tels que des aliments ou des semences, et elles ne créent pas de problèmes liés à l'augmentation des effluents. Cet article explore le potentiel du concept d'AMTI pour promouvoir la protection durable de l'environnement et le développement de l'aquaculture en Afrique australe.

Dans le prochain article, nous discuterons des défis et des goulots d'étranglement inhérents à la mise en œuvre de l'AMTI dans la région et proposerons des solutions pratiques pour résoudre ces problèmes.

### QUE SIGNIFIE L'AQUACULTURE MULTITROPHIQUE INTÉGRÉE (AMTI) ?

Cette terminologie peut être mieux comprise en la décomposant en ses éléments constitutifs. La plupart d'entre nous se rappellent qu'une chaîne alimentaire représente la voie énergétique d'une communauté, transférant la nourriture de ceux qui la produisent à ceux qui la consomment, étape par étape.

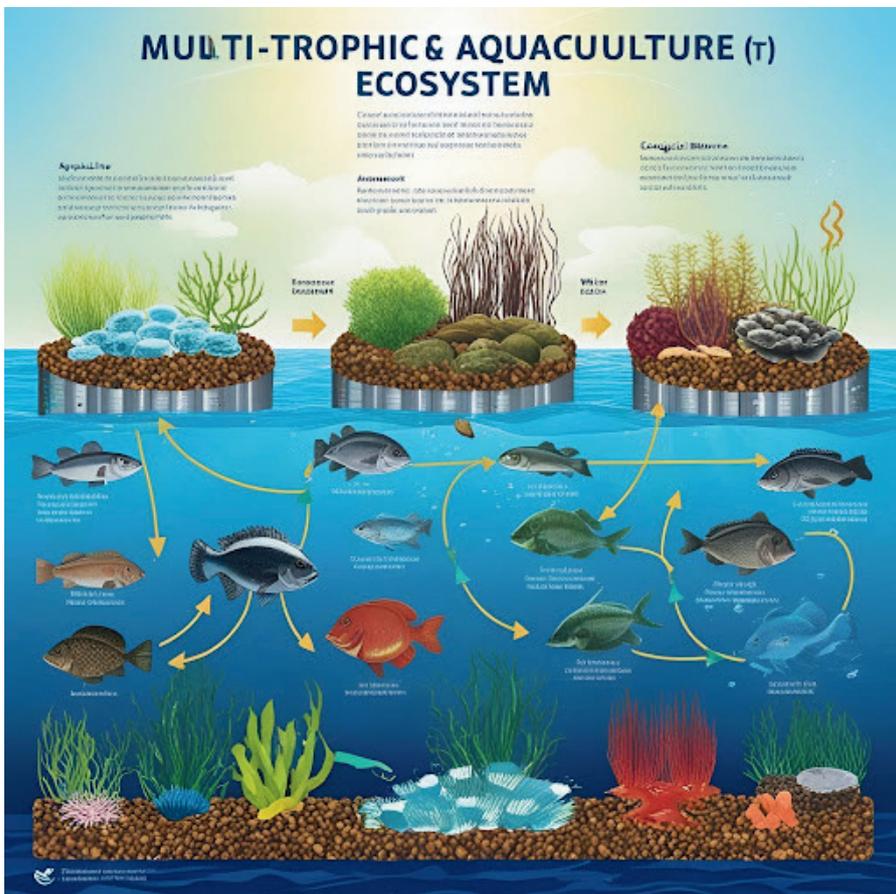
Selon le dictionnaire Merriam-Webster, le terme « trophique » est dérivé du mot grec « trophikos », qui vient de « trophē », qui signifie nourriture. Par conséquent, un niveau trophique fait référence aux différents niveaux d'alimentation (et donc de transfert d'énergie) dans la chaîne alimentaire, allant des producteurs aux consommateurs.

De plus, le préfixe « multi- » signifie « plus d'un » ou multiple. Un autre terme clé est « intégré », qui signifie « combiné » ou « mixte ».

Par conséquent, l'AMTI peut être définie comme une stratégie d'aquaculture innovante qui combine différentes espèces de différents niveaux trophiques en un seul système. Cette méthode vise à créer un écosystème équilibré dans lequel les déchets produits par une espèce servent de source de nutriments pour une autre. L'IMTA est une stratégie d'aquaculture durable qui combine différentes espèces de différents niveaux trophiques pour créer un écosystème équilibré. Dans l'aquaculture multitrophique intégrée (IMTA), les espèces sont classées en trois groupes : les poissons nourris, les espèces extractives organiques et les espèces extractives inorganiques. Les poissons nourris, comme le saumon et le tilapia, reçoivent une alimentation externe et leurs déchets, y compris les aliments non consommés et les matières fécales, soutiennent les autres espèces du système, réduisant ainsi la pollution par les nutriments et améliorant l'efficacité des ressources.

Les espèces extractives organiques, comme les bivalves (huîtres et moules) et certaines macroalgues, obtiennent des nutriments à partir de la matière organique présente dans l'eau ; elles filtrent l'eau et recyclent les nutriments, améliorant ainsi la qualité globale de l'eau. En revanche, les espèces extractives inorganiques, telles que certaines macroalgues et lentilles d'eau, absorbent les nutriments inorganiques directement de l'eau, bénéficiant de l'effluent riche en nutriments produit par les poissons nourris et contribuant à éliminer les nutriments excédentaires, ce qui favorise un environnement aquacole plus durable.

L'IMTA améliore non seulement la biodiversité, mais favorise également les pratiques durables en optimisant l'utilisation des ressources et en minimisant les impacts environnementaux. Alors que l'aquaculture continue de croître à l'échelle mondiale, en particulier dans les régions en développement comme l'Afrique australe, l'IMTA offre une solution viable aux défis rencontrés par les systèmes aquacoles traditionnels.



L'histoire de l'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) remonte à John Ryther, souvent considéré comme le « grand-père de l'AMTI moderne ». Dans les années 1970, ses travaux révolutionnaires sur la combinaison du recyclage des déchets avec des systèmes de polyculture marine ont ravivé l'intérêt pour le concept.

Ryther a intégré diverses idées existantes, telles que la polyculture, l'aquaculture écologiquement conçue et la combinaison de cultures de poissons et de plantes, en mettant l'accent sur les avantages des interactions synergétiques entre espèces. Le terme « AMTI » a été inventé en 2004 par Jack Taylor, fusionnant les concepts d'aquaculture intégrée et multitrophique.

Depuis lors, un nombre limité de pays ont adopté l'AMTI à des niveaux quasi commerciaux, notamment le Canada, l'Irlande, l'Afrique du Sud, la Chine, le Chili, les États-Unis et le Royaume-Uni (principalement l'Écosse).

En outre, plusieurs autres pays, comme le Portugal, la France et l'Espagne, ont mené des recherches importantes pour étendre les pratiques de l'AMTI.

La Norvège a également fait des efforts individuels dans ce domaine, malgré un secteur aquacole bien établi.

## **LE POTENTIEL, LES AVANTAGES ET LES LIMITES DE L'AMTI EN AFRIQUE AUSTRALE**

L'aquaculture dans la région de l'Afrique australe a connu une croissance significative, surpassant désormais la pêche de capture traditionnelle en termes de production. Cependant, l'industrie de l'aquaculture est confrontée à plusieurs défis. Les problèmes environnementaux, tels que la surpêche et la dégradation de l'habitat, présentent des risques pour la durabilité. De plus, les limitations technologiques et les infrastructures inadéquates limitent l'accès aux pratiques modernes. Les incohérences réglementaires compliquent encore davantage le développement du secteur.

Malgré ces défis, il existe un potentiel de croissance grâce à des pratiques innovantes comme l'AMTI, qui favorise l'équilibre écologique et l'efficacité des ressources. Avec l'augmentation de la demande mondiale de poisson, l'investissement dans des pratiques aquacoles durables et la modernisation des infrastructures est crucial pour le succès futur de l'industrie dans la région de la SADC. L'application de l'AMTI présente un potentiel important en Afrique australe, une région caractérisée par des écosystèmes diversifiés et une disponibilité variable de l'eau. Vous trouverez ci-dessous des exemples de systèmes d'aquaculture intégrés adaptés à des pays spécifiques de la région, où les conditions environnementales et socio-économiques les rendent particulièrement adaptés.

L'effluent du tilapia favorise la croissance des huîtres, tandis que les huîtres filtrent l'eau, conformément aux pratiques d'aquaculture durable et aux demandes du marché.

Ce ne sont là que quelques exemples de combinaisons d'espèces IMTA applicables à la région. Examinons maintenant les avantages potentiels qui peuvent être tirés de cette pratique innovante.

L'IMTA représente une approche transformatrice pour une aquaculture durable en Afrique australe, en particulier dans des régions comme le Zimbabwe.

Dans des pays comme le Mozambique, la Zambie, le Malawi et le Zimbabwe, l'intégration du tilapia (*Oreochromis spp*) et de la lentille d'eau (*Lemna minor*) est bénéfique en raison des vastes ressources en eau douce de ces pays. L'élevage du tilapia produit une eau riche en nutriments qui favorise la croissance de la lentille d'eau, qui sert d'aliment riche en protéines pour les poissons et le bétail. L'ajout de cresson (*Nasturtium officinale*) à la combinaison peut encore améliorer la nutrition des communautés locales. La Zambie et le Zimbabwe auraient intérêt à intégrer la perche du Nil (*Lates niloticus*) et la carpe commune (*Cyprinus carpio*) dans leurs systèmes d'eau douce, soutenus par le fleuve Zambèze et le lac Kariba. Les déchets de la perche du Nil favorisent la croissance du plancton, qui nourrit la carpe, améliorant ainsi la productivité des petits exploitants agricoles.

En Namibie, où l'aquaculture en eau saumâtre est idéale, une combinaison de poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*) et de crevettes d'eau douce (*Macrobrachium rosenbergii*) serait la plus adaptée. Cette intégration recycle les nutriments, améliore la qualité de l'eau et utilise efficacement les ressources limitées en eau douce des régions côtières et du nord. En Afrique du Sud, les estuaires abritent le tilapia (*Oreochromis spp.*) et les huîtres (*Crassostrea gigas* ou *Ostrea edulis*).

En recyclant efficacement les nutriments d'une espèce pour en nourrir une autre, l'IMTA améliore de manière significative l'efficacité des ressources, réduit le besoin d'intrants alimentaires externes et contribue à abaisser les coûts de production globaux dans les systèmes aquacoles modernes.

Ce système répond efficacement aux problèmes de gestion des déchets associés à l'aquaculture traditionnelle en utilisant des filtres et des détritivores, ce qui conduit à une meilleure qualité de l'eau et à un impact environnemental moindre. De plus, l'IMTA favorise la biodiversité et la résilience écologique, augmentant la capacité du système à résister aux maladies et aux fluctuations environnementales, ce qui s'aligne bien avec l'accent mis par la région sur les pratiques durables.

Sur le plan économique, l'IMTA autonomise les aquaculteurs en diversifiant leur production et leurs sources de revenus, offrant ainsi une stabilité face à la volatilité du marché.

Dans l'ensemble, l'IMTA est une stratégie vitale pour promouvoir des pratiques durables tout en améliorant la rentabilité et la santé écologique de l'aquaculture dans la région.

## CONCLUSION

L'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) est une approche innovante qui répond aux défis importants auxquels est confronté le secteur de l'aquaculture en Afrique australe tout en s'alignant sur les objectifs mondiaux de durabilité. En favorisant une relation symbiotique entre diverses espèces aquatiques, l'AMTI améliore l'efficacité des ressources, réduit les impacts environnementaux et renforce la biodiversité. Le potentiel de l'AMTI en Afrique australe est considérable en raison des riches écosystèmes de la région et du besoin urgent de méthodes de production alimentaire durables. Alors que l'Afrique australe est aux prises avec la surpêche, la dégradation des habitats et l'augmentation de la demande alimentaire, l'adoption de l'AMTI peut transformer considérablement le paysage de l'aquaculture. Cette approche autonomise les communautés locales, renforce la résilience économique et ouvre la voie à un système alimentaire plus durable et plus équitable.

La culture de plusieurs espèces crée non seulement des opportunités de rendements financiers plus élevés, mais permet également aux agriculteurs de générer des prix élevés grâce à l'éco-étiquetage et aux certifications biologiques. Cette approche holistique soutient non seulement le développement économique local, mais favorise également la résilience des communautés, essentielle pour le secteur de l'aquaculture en Afrique australe face au changement climatique et aux contraintes de ressources.

Pour tirer pleinement parti des avantages de l'AMTI, il est essentiel d'intégrer des pratiques innovantes et d'investir dans les infrastructures nécessaires.

En conclusion, la mise en œuvre réussie de l'AMTI en Afrique australe offre non seulement de meilleures pratiques d'aquaculture, mais constitue également une étape cruciale vers la sécurité alimentaire, l'amélioration des moyens de subsistance et la préservation des ressources naturelles de la région pour les générations futures. À l'avenir, la collaboration entre les parties prenantes, notamment les gouvernements, les chercheurs et les communautés locales, sera essentielle pour exploiter tout le potentiel de l'IMTA et assurer un avenir prospère à l'aquaculture dans la région.

# FACTEURS INFLUANT SUR LA CROISSANCE DE LA CREVETTE VANNAMEI (LITOPENAEUS VANNAMEI)



Par: Ulises Jaime Lopez Paz

La crevette vannamei (*Litopenaeus vannamei*) s'est positionnée comme une espèce de crustacé très pertinente dans l'aquaculture mondiale, ce qui a stimulé un vaste corps de recherche scientifique axé sur la compréhension et l'optimisation de sa croissance dans des conditions de culture.

## ÉTUDES SCIENTIFIQUES SUR LA CROISSANCE DE LA CREVETTE VANNAMEI

La littérature scientifique spécialisée en aquaculture offre de nombreuses études qui abordent la croissance de la crevette vannamei sous diverses perspectives. Voici quelques exemples pertinents :

\* Évaluation de la croissance et de la survie des crevettes blanches (*Litopenaeus vannamei*) cultivées à différentes salinités et densités de semence (MQRInrecherche, 2020) : Cette recherche a analysé l'impact de la salinité et de la densité de semence sur la croissance et la survie des crevettes vannamei, révélant que la densité de semence exerce une influence significative sur la croissance, cette dernière étant inversement proportionnelle à la densité.

\* Croissance de crevettes *Litopenaeus vannamei* au stade de la jeunesse dans deux systèmes d'alimentation (Revue Universitaire 2018) : cette étude a comparé la croissance des juvéniles de crevettes vannamei nourris à deux régimes différents : un régime commercial combiné à de la mélasse et un régime commercial mélangé à de la semoline. Les résultats indiquent que le régime alimentaire enrichi en mélasse a favorisé une croissance plus élevée des crevettes.

\* Comparaison de la croissance de crevettes *Litopenaeus vannamei* sous deux conditions de culture (CORE, 2017) : cette recherche a contrasté la croissance de crevettes vannamei cultivées sous deux systèmes de culture différents : semis direct et semis par phases. Il a été noté que le système de semis par phases a été associé à une croissance plus élevée des crevettes.

## FACTEURS QUI MODULENT LA CROISSANCE DE LA CREVETTE VANNAMEI

La croissance de la crevette vannamei est un phénomène multifactoriel influencé par des éléments génétiques, environnementaux et manutentionnels. Les facteurs les plus pertinents incluent :

- \* **Génétique** : le génotype des crevettes utilisées dans la culture peut avoir une incidence substantielle sur leur taux de croissance.
- \* **Nutrition** : une nutrition complète et équilibrée est fondamentale pour une croissance optimale de la crevette vannamei.
- \* **Température** : la température de l'eau est un facteur environnemental critique qui régule la croissance. La température idéale pour les crevettes vannamei varie généralement entre 28 et 33 degrés Celsius.
- \* **Qualité de l'eau** : la qualité de l'eau, couvrant des paramètres tels que l'oxygène dissous, le pH et la concentration de composés azotés, est essentielle à la croissance et à la santé des crevettes.
- \* **Salinité** : la salinité de l'eau a aussi une influence sur la croissance. La salinité optimale pour les crevettes vannamei se situe généralement entre 15 et 30 parts pour mille (ppt).
- \* **Densité de semis** : la densité de population de crevettes dans un étang de culture peut affecter leur croissance. Les densités plus faibles entraînent généralement une croissance individuelle plus élevée.

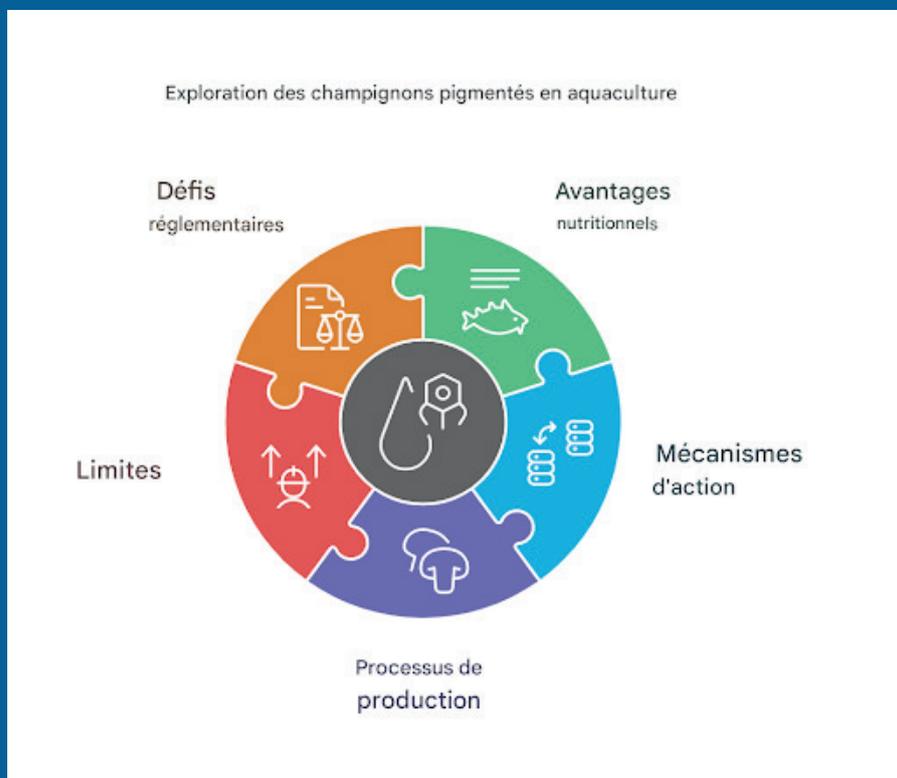
## STRATÉGIES DE GESTION POUR OPTIMISER LA CROISSANCE DES CREVETTES VANNAMEI

Les aquaculteurs peuvent mettre en œuvre diverses stratégies de gestion pour stimuler et optimiser la croissance de la crevette vannamei dans leurs cultures :

- \* **Sélection de lecteurs de haute qualité génétique** : utiliser des lecteurs présentant des caractéristiques génétiques souhaitables, telles que la croissance rapide et la résistance aux maladies.
- \* **Contrôle de la température et de la salinité** : Surveiller et maintenir la température et la salinité de l'eau dans les plages optimales pour la croissance de la crevette vannamei.
- \* **Fourniture de régimes équilibrés** : Formuler et fournir des régimes équilibrés répondant aux besoins nutritionnels spécifiques de la crevette vannamei à chaque étape de son cycle de vie.
- \* **Gestion de la densité de semence** : établir des densités de semence adéquates qui favorisent une croissance optimale et empêchent le surpeuplement.
- \* **Surveillance de la qualité de l'eau** : mettre en place un programme de surveillance régulier de la qualité de l'eau pour s'assurer qu'elle reste dans les limites tolérables pour la culture de crevettes vannamei.

En adoptant et en mettant en œuvre ces stratégies de gestion, les aquaculteurs peuvent améliorer l'efficacité productive de leurs cultures de crevettes vannamei et obtenir des résultats économiques plus favorables.

## UTILISATION DE CHAMPIGNONS PIGMENTES COMME ADDITIFS EN AQUACULTURE



Ce document explore le potentiel des champignons pigmentés comme additifs nutritionnels en aquaculture, en soulignant leurs avantages pour la santé, la croissance et la pigmentation des poissons. Il passe en revue les recherches existantes sur l'application des levures et des champignons pigmentés, discute de leurs mécanismes d'action et identifie les lacunes dans les connaissances qui nécessitent des recherches plus approfondies. Le document traite aussi des procédés de production, des limites possibles et des défis réglementaires liés à l'usage de ces additifs innovants dans l'alimentation des poissons.

L'industrie de l'aquaculture est confrontée à une pression croissante pour adopter des pratiques durables qui garantissent sa viabilité à long terme tout en minimisant les impacts environnementaux.

### INTRODUCTION

L'aquaculture est l'un des secteurs les plus importants et les plus dynamiques de la production animale dans le monde. Par conséquent, l'augmentation de la demande de poissons et de fruits de mer entraînera une augmentation correspondante de la demande d'aliments pour poissons. Néanmoins, en raison de son coût élevé et de sa disponibilité limitée, la farine de poisson n'est plus la source de protéines préférée dans les aliments pour poissons (FAO 2021).

Ces dernières années, des efforts ont été déployés pour remplacer les ingrédients traditionnels dérivés de la mer dans les aliments pour poissons par des alternatives plus durables. L'utilisation de matières premières durables dans les aliments pour animaux est essentielle pour transformer avec succès l'aquaculture en un secteur plus respectueux de l'environnement et pour faciliter l'adoption des principes de l'économie circulaire (Van Doan et al. 2020).

Avec l'augmentation de l'aquaculture intensive, l'élevage de poissons tend à être encore plus sensible aux maladies (Chauhan et Singh 2019).

En outre, les poissons élevés de manière intensive sont plus souvent exposés à une pléthore de facteurs de stress qui peuvent affecter négativement la production en provoquant des conditions telles que l'immunosuppression, une croissance réduite, une perte d'appétit et un déséquilibre du microbiote intestinal (Gonçalves et al. 2020). Outre la résistance aux maladies, les professionnels de l'aquaculture cherchent toujours des moyens d'améliorer l'utilisation et la digestibilité des aliments. En outre, ils cherchent à améliorer les caractéristiques organoleptiques telles que la coloration pour répondre aux demandes des consommateurs (Dawood et Koshio 2020 ; Van Doan et al. 2020).

Les additifs fonctionnels peuvent être un moyen efficace de traiter certains des problèmes susmentionnés (Torrecillas et al. 2018) car ils sont généralement utilisés pour augmenter la productivité et renforcer l'immunité des poissons d'élevage tout en réduisant l'impact environnemental.

Les levures et les champignons appartiennent à cette catégorie d'additifs et, bien qu'ils ne soient pas encore pleinement exploités, ils sont considérés comme l'un des nouveaux ingrédients émergents en Europe. Ces ingrédients ont le potentiel de transformer les systèmes alimentaires et d'alimentation animale et de contribuer à la transition vers un avenir plus durable (EITFood 2022).

Les micro-organismes producteurs de pigments sont particulièrement intéressants car ils possèdent des attributs qui peuvent aider à résoudre divers problèmes de production. Plusieurs champignons et levures sont connus pour servir de producteurs d'une variété de pigments naturels tels que les caroténoïdes, les mélanines, les azaphilones, les flavines, les phénazines, les monascines, la violacéine et l'indigo (Dufossé 2018).

À notre connaissance, le potentiel des applications des levures et des champignons pigmentés dans l'aquaculture n'a pas été entièrement exploré.

En dehors de *Phaffia rhodozyma*, qui a fait l'objet d'un examen approfondi à des fins scientifiques et commerciales, le potentiel des autres espèces de champignons et de levures à produire des pigments n'a pas été entièrement exploré.

Les pigments microbiens les plus couramment utilisés et disponibles sur le marché mondial sont les pigments monasques, les pigments issus de *Haematococcus pluvialis*, ou l'Arpink red™ de *Penicillium oxalicum* (Aman Mohammadi et al. 2022). Les caroténoïdes fongiques à valeur commerciale, en particulier l'astaxanthine, pourraient être prometteurs pour l'industrie de l'aquaculture. Par exemple, ils pourraient être utilisés pour améliorer la pigmentation rouge, ce qui est important, non seulement dans l'élevage du saumon, mais aussi pour l'élevage de la daurade rouge, de la truite et même de l'écrevisse, du homard et de la crevette (Lim et al. 2018 ; Weber et al. 2007). Des rendements élevés de pigments microbiens peuvent également être produits en utilisant une variété de substrats naturels riches en carbone et en azote, tels que l'hydrolysats de rafles de maïs, les hydrolysats de déchets de boulangerie ou les pelures de fruits non comestibles (Ramesh et al. 2022).

En outre, la demande croissante de pigments naturels tels que le  $\beta$ -carotène, la lutéine et l'astaxanthine met en évidence le marché de niche croissant pour les ingrédients alimentaires et d'alimentation animale sains et de qualité supérieure dérivés de la nature (Dufossé 2018). Outre l'amélioration de la qualité marchande des produits, les pigments naturels comme ceux-ci présentent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes (Paillié-Jiménez et al. 2020 ; Tuli et al. 2015). Ils pourraient donc être bénéfiques pour les organismes aquatiques en stimulant le système immunitaire, en augmentant la résistance au stress et en favorisant la croissance et la maturation (Pereira da Costa et Campos Miranda-Filho 2020). Ils offrent également des solutions durables et respectueuses de l'environnement pour fournir des nutriments essentiels, renforcer la croissance des poissons et améliorer la digestibilité des aliments (Gokulakrishnan et al. 2023).

Le présent travail vise donc à passer en revue les connaissances actuelles sur l'utilisation de champignons et de levures pigmentés en aquaculture.

## SITUATION ACTUELLE DE L'UTILISATION DES PIGMENTS EN AQUACULTURE

La pigmentation des poissons est l'un des critères de qualité les plus importants qui influencent la valeur marchande des espèces aquacoles (Vissio et al. 2021), car la couleur affecte directement les décisions et les préférences des consommateurs (Gebhardt et al. 2020). Par exemple, une pigmentation non optimale des filets peut affecter la valeur économique des filets de truite arc-en-ciel jusqu'à 40 % (Pulcini et al. 2021).

Le secteur de l'aquaculture reconnaît de plus en plus l'importance des pigments dans l'amélioration de la qualité des produits de la pêche. Les pigments améliorent non seulement l'aspect esthétique des poissons, mais contribuent également à leur santé et à leur croissance. La tendance actuelle s'oriente vers des sources naturelles de pigments, telles que celles dérivées d'organismes microbiens, pour remplacer les additifs synthétiques.

## SITUATION ACTUELLE DES PIGMENTS MICROBIENS ET DE LEURS APPLICATIONS EN AQUACULTURE

Les pigments microbiens, en particulier ceux produits par les champignons et les levures, retiennent de plus en plus l'attention en raison de leurs applications potentielles en aquaculture.

Les pigments microbiens les plus traditionnels que l'on trouve sur le marché mondial, y compris en aquaculture, sont les pigments fongiques de *Monascus*, l'astaxanthine de *Paracoccus carotinifaciens* et des microalgues *Haematococcus pluvialis*, l'Arpink red™ de *Penicillium oxalicum*, la riboflavine de *Paracoccus carotinifaciens* et des microalgues *Haematococcus pluvialis*, l'Arpink red™ de *Penicillium oxalicum*, riboflavine du champignon *Ashbya gossypii*, lycopène et  $\beta$ -carotène de la moisissure tropicale *Blakeslea trispora* ou de la microalgue *Dunaliella salina*, et phycocyanine microalgale d'*Arthrospira platensis* (Aman Mohammadi et al. 2022 ; Dufossé 2018).

Ces pigments peuvent remplir de multiples fonctions importantes dans le domaine de la nutrition aquatique, notamment en agissant comme colorants naturels, tout en fournissant divers avantages notables pour la santé, la résistance, la croissance et même la qualité globale des poissons d'élevage. Cependant, malgré leur potentiel prometteur, l'exploration approfondie et systématique d'un large éventail d'espèces microbiennes pouvant être utilisées dans l'alimentation aquatique reste encore assez limitée à ce jour, ce qui représente un champ de recherche à développer davantage.

## AVANTAGES DES PIGMENTS FONGIQUES EN AQUACULTURE

Les moisissures multicellulaires, les champignons et les levures unicellulaires sont bien connus pour leur large gamme de métabolites primaires et secondaires, les pigments étant l'un de ces métabolites (Chandra et al. 2020). Chez les poissons, les pigments naturels sont utilisés dans les aliments pour poissons afin d'obtenir une pigmentation plus vive de la chair et de la peau (Makri et al. 2021).

Les pigments fongiques offrent plusieurs avantages en aquaculture, notamment des propriétés antioxydantes, un renforcement du système immunitaire et une amélioration des performances de croissance. Ces avantages peuvent conduire à des poissons en meilleure santé et à une valeur marchande potentiellement plus élevée.

## BIOSYNTHÈSE DES PIGMENTS FONGIQUES

La synthèse des pigments fongiques ou levuriens, comme tout autre métabolite secondaire, implique principalement la polymérisation de métabolites primaires par des enzymes spécifiques (Keller 2019).

La pigmentation fongique est influencée par plusieurs facteurs tels que la disponibilité des nutriments, le pH et la température (Tudor et al. 2013). Habituellement, ils sont produits dans des conditions défavorables en réponse à des facteurs de stress environnementaux, tels que la lumière ultraviolette, les rayonnements ionisants, les agents oxydants, la privation de nutriments, l'hypersalinité et l'immunoréactivité de l'hôte (Lin et Xu 2023).

La compréhension des voies de biosynthèse des pigments fongiques est cruciale pour optimiser leur production. Divers facteurs environnementaux, tels que le type de substrat et les conditions de culture, peuvent influencer la synthèse des pigments, ce qui fait qu'il est essentiel d'identifier les conditions optimales pour obtenir un rendement maximal.

## PRODUCTION DE CHAMPIGNONS PIGMENTÉS POUR UNE APPLICATION DANS LA NUTRITION AQUACOLE

La production d'une quantité appropriée de rendement microbien est une étape critique dans l'utilisation efficace des champignons pigmentés pour la nutrition aquacole, car elle a un impact à la fois sur la valeur nutritionnelle et sur la faisabilité économique de leur utilisation dans l'alimentation des poissons.

La sélection des espèces fongiques représente l'étape fondamentale de la production de champignons pigmentés pour les applications aquacoles (Fig 1). Ce processus de sélection nécessite de déterminer le biopigment spécifique d'intérêt, afin de garantir les résultats de pigmentation souhaités dans le produit final.

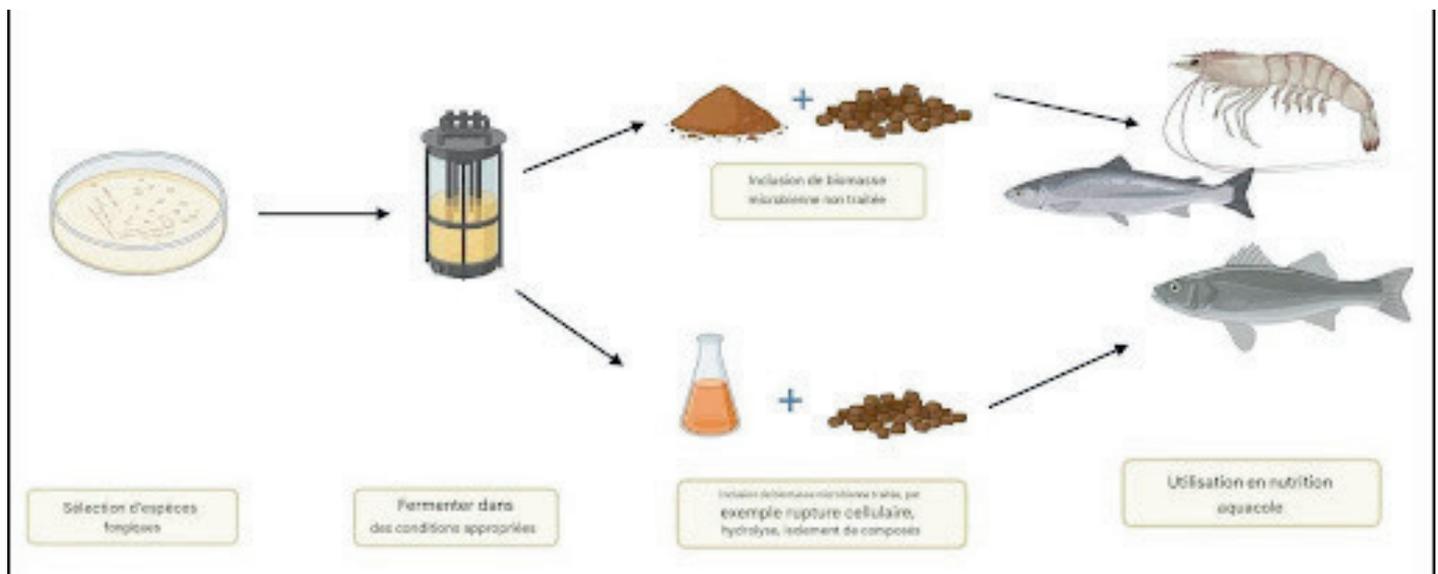


Fig 1 : Utilisation de champignons pigmentés comme additifs dans l'aquaculture

La production de champignons pigmentés peut être augmentée de manière significative en utilisant divers types de substrats, y compris certains sous-produits agricoles couramment disponibles.

Cela constitue non seulement une source durable d'additifs pour l'alimentation animale, mais contribue également à la réduction des déchets dans le secteur agricole.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LES PARAMÈTRES DE CROISSANCE DES POISSONS**

La levure rouge *Phaffia rhodozyma* est une levure rouge riche en astaxanthine. Il a été démontré que l'astaxanthine augmente l'utilisation des lipides chez les poissons et améliore donc la croissance (Kalinowski et al. 2011). En outre, les poissons nourris avec des régimes contenant de la levure rouge ont présenté de meilleurs indices de poids final (PF), de gain de poids (GP) et de (TCS) (Kheirabadi et al. 2022).

La recherche indique que l'inclusion de champignons pigmentés dans les aliments pour poissons peut influencer positivement les taux de croissance des poissons et l'efficacité de la conversion alimentaire. Ces effets sont attribués à la valeur nutritionnelle et aux composés bioactifs présents dans les champignons.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LE MÉTABOLISME LIPIDIQUE DES POISSONS**

Les adipocytes jouent un rôle important dans le stockage des caroténoïdes et sont connus pour avoir un rôle dans la régulation des gènes impliqués dans le métabolisme lipidique (Elvira-Torales et al. 2019 ; Iqbal et al. 2021).

Il a été démontré que les caroténoïdes alimentaires diminuent les lipides totaux, à la fois dans la chair du poisson et dans le foie. De plus, il a été démontré que la supplémentation en caroténoïdes diminue les niveaux d'acide palmitique dans l'ensemble et dans le foie, un acide gras saturé connu pour augmenter le cholestérol des lipoprotéines de basse densité (LDL), tout en augmentant les acides gras essentiels comme l'EPA (acide eicosapentaénoïque) et le DHA (acide docosahexaénoïque) dans le foie (Nogueira et al. 2021).

La supplémentation en astaxanthine synthétique a considérablement réduit les pourcentages de lipides et amélioré l'utilisation des lipides de *Pagrus pagrus* (Elbahnaswy et Elshopakey 2023). Les champignons pigmentés peuvent également jouer un rôle dans la régulation du métabolisme lipidique chez les poissons, ce qui pourrait conduire à une amélioration du dépôt de graisse et de la santé globale. D'autres études sont nécessaires pour élucider les mécanismes spécifiques impliqués.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LA PIGMENTATION DES POISSONS**

Il est bien connu que les poissons dépendent entièrement de leur alimentation pour obtenir des caroténoïdes car ils sont incapables de les synthétiser de novo (Gouveia et al. 2002). L'utilisation possible de pigments naturels ou organiques en aquaculture est un sujet qui nécessite des recherches plus approfondies (Pereira da Costa et Campos Miranda-Filho 2020).

Les pigments fongiques pourraient servir de source alternative pour une production plus facile et moins chère de pigments naturels (Lagashetti et al. 2019).

L'incorporation de champignons pigmentés peut améliorer la coloration des poissons, ce qui est un facteur essentiel pour l'acceptation du marché.

Les pigments peuvent contribuer à la qualité esthétique des produits à base de poisson, les rendant plus attrayants pour les consommateurs.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES ET L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE DES POISSONS**

De nombreux pigments microbiens, tels que l'astaxanthine, la grenadène, la canthaxanthine, le lycopène, la riboflavine, le  $\beta$ -carotène et la torularhodine, peuvent agir comme de puissants antioxydants, stimulant ainsi les mécanismes de défense de l'organisme contre les dommages oxydatifs (Sen et al. 2019).

Il a été démontré que les champignons pigmentés améliorent divers paramètres biochimiques chez les poissons, notamment l'activité antioxydante. Cela peut améliorer la capacité des poissons à faire face au stress oxydatif, ce qui conduit finalement à une meilleure santé et à une meilleure productivité.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LES PARAMÈTRES IMMUNOLOGIQUES DES POISSONS**

Les pigments fongiques pourraient également servir d'agents antimicrobiens contre les maladies pathogènes. Il a été démontré que les pigments de *R. glutinis* ont un effet antibactérien principalement sur les bactéries à Gram positif et moins sur les bactéries à Gram négatif (Yolmeh et Khomeiri 2017). Les souches productrices de caroténoïdes de *R. mucilaginosa* ont également présenté une activité antimicrobienne contre les bactéries *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Listeria monocytogenes* ainsi que contre les champignons *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus carbonarius* et *Aspergillus ochraceus* (Moreira et al. 2018). En ce sens, les pigments fongiques pourraient être mis en avant comme de nouveaux ingrédients servant non seulement à colorer, mais agissant également comme médicament (Narsing Rao et al. 2017). Des études ont établi un lien entre les pigments alimentaires et la stimulation du système immunitaire et la réduction des maladies graves comme le cancer (Maoka 2020).

Il a également été démontré que des pigments tels que le  $\beta$ -carotène, l'astaxanthine et le lycopène sont bénéfiques pour la santé et l'immunité globale des poissons (Alishahi et al. 2015 ; Dawood et al. 2020, 2018). De plus, les levures et les champignons pigmentés pourraient être conservés comme plus bénéfiques en aquaculture, en raison du fait qu'ils ont non seulement une teneur riche en caroténoïdes, mais aussi parce qu'ils contiennent des  $\beta$ -glucanes, qui jouent un rôle important en tant que renforceurs de l'immunité.

Les avantages immunologiques offerts par les champignons pigmentés sont particulièrement importants, car ils peuvent contribuer à améliorer la réponse immunitaire des poissons et renforcer leur résistance face aux maladies. Ceci est d'autant plus crucial en aquaculture, un secteur où les épidémies peuvent entraîner des conséquences dévastatrices sur les stocks.

## **EFFETS DES CHAMPIGNONS PIGMENTÉS SUR LA CAPACITÉ DE REPRODUCTION DES POISSONS**

Outre leurs propriétés susmentionnées, les caroténoïdes peuvent aussi influencer les mécanismes de reproduction des poissons. Les animaux aquatiques ont tendance à accumuler ces composés dans leurs gonades, ce qui pourrait jouer un rôle dans leur fertilité (Rashidian et al. 2021).

Par exemple, l'application la plus importante de l'astaxanthine est son utilisation dans les régimes alimentaires du saumon et de la truite pour favoriser la pigmentation, la croissance et la reproduction (Schmidt et al. 2011).

Il semblerait que les additifs microbiens puissent augmenter les performances de reproduction des espèces élevées en captivité (Hoseinifar et al. 2023). Les recherches sur les effets des champignons pigmentés sur la reproduction des poissons sont encore limitées.

Cependant, des résultats préliminaires suggèrent que ces additifs peuvent influencer positivement les performances de reproduction, ce qui est crucial pour des pratiques d'aquaculture durables.

## **RISQUES LIMITATIFS POSSIBLES LIÉS À L'UTILISATION DE CHAMPIGNONS PRODUCTEURS DE PIGMENTS**

Il est connu que les microbes, en général, peuvent produire des toxines ou provoquer des maladies. Pour cette raison, les ingrédients fongiques et de levure, comme tous les additifs microbiens, nécessitent un dépistage approfondi avant leur application en aquaculture afin de garantir leur sécurité (Afroz Toma et al. 2023 ; Gonçalves et al. 2018).

Pour les additifs tels que les additifs fongiques, une évaluation de la sécurité de l'utilisateur est également nécessaire pour identifier les risques potentiels pour la santé liés à leur utilisation (Bampidis et al. 2023).

Malgré les avantages potentiels, l'utilisation de champignons pigmentés en aquaculture comporte des limites et des risques.

Il s'agit notamment de la possibilité d'effets pro-oxydants à des doses élevées et de la nécessité d'évaluations de sécurité approfondies avant la commercialisation.

## **CONCLUSION**

La demande croissante de produits aquacoles nécessite le développement d'aliments de haute qualité qui répondent aux besoins physiologiques des organismes aquatiques.

Si les additifs synthétiques sont largement utilisés, on s'intéresse de plus en plus aux composés bioactifs alimentaires, notamment aux champignons pigmentés. Ces additifs naturels offrent de nombreux avantages, notamment une croissance, une pigmentation et une santé améliorées des poissons.

Cependant, des recherches plus poussées sont essentielles pour comprendre pleinement leurs effets, optimiser les processus de production et relever les défis réglementaires. Il sera essentiel d'équilibrer les avantages et les inconvénients des champignons pigmentés pour leur intégration réussie dans les pratiques aquacoles.

Source : Zantioti, C., Dimitroglou, A., Mountzouris, K.C. et al. Use of pigmented fungi as additives in aquaculture. *Aquacult Int* 33, 162 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01840-0>



Une entreprise brésilienne apportant innovation et durabilité à l'aquaculture mondiale.



**Nous simplifions la gestion de l'élevage piscicole!**



**Nous simplifions la gestion de l'élevage piscicole!**

**Que fait AQUI9?**



AQUI9 propose des solutions innovantes pour l'élevage piscicole, combinant **technologie** et expertise en gestion de production. Nous développons des outils intelligents pour optimiser les opérations, recommander des stratégies d'alimentation et surveiller les stocks de nourriture, facilitant ainsi la prise de décision à partir de données précises.

Notre mission est de rendre l'aquaculture plus efficace et durable, en garantissant aux producteurs un accès instantané aux informations essentielles. Nous privilégions l'utilisation responsable des ressources en eau et l'adoption de pratiques durables pour un avenir plus responsable.

[www.aqui9.com.br](http://www.aqui9.com.br)



- **Gestion inefficace de l'alimentation** : Nous réduisons le gaspillage de nourriture et améliorons la conversion alimentaire.
- **Qualité de l'eau compromise** : Nous garantissons un environnement plus sain et plus sûr pour vos poissons.
- **Coûts élevés** : Nous diminuons vos coûts de production et maximisons votre rentabilité.

## Solutions que nous proposons



- **Système intelligent** : Surveillance continue et précise pour des décisions stratégiques en temps réel.
- **Gestion intelligente de l'alimentation** : Réduction du gaspillage et augmentation de la productivité avec des pratiques durables.
- **Données en temps réel** : Informations précises pour une prise de décision rapide, efficace et traçable.

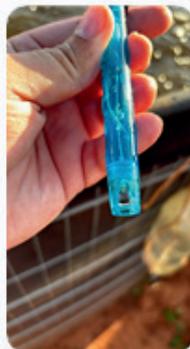
# Système de surveillance intelligent pour une pisciculture durable

Surveillez la qualité de l'eau de votre ferme piscicole avec une technologie avancée!

## Capteurs IoT



- Surveillance de l'eau en temps réel dans les bassins
- Alertes en cas d'anomalies et assistance technique à distance



### Paramètres surveillés:

- Température de l'eau
- Oxygène dissous (OD)
- pH



# Système de surveillance intelligent pour une pisciculture durable

Ne perdez plus vos données : accédez à tout votre historique en quelques clics.

Application mobile



- Gérez la production bassin par bassin.
- Organisez les classifications et les calendriers de récolte.



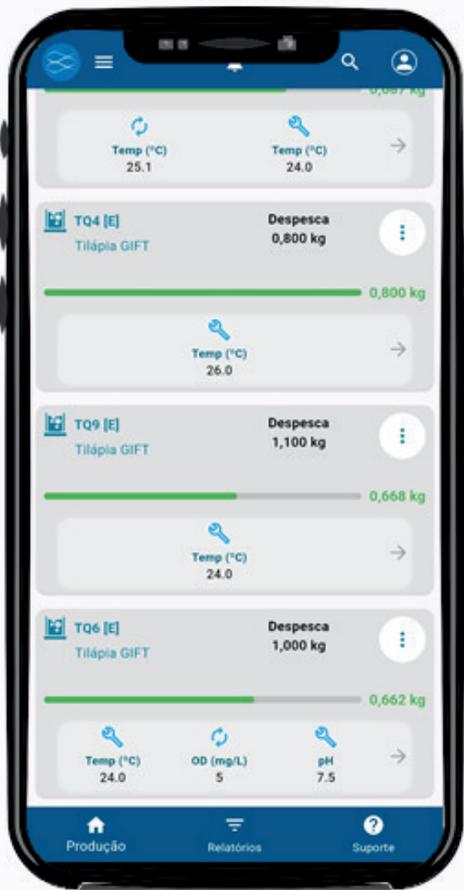
Enregistrez rapidement les données biométriques et d'alimentation.



# Système de surveillance intelligent pour une pisciculture durable

Ne perdez plus vos données: accédez à tout votre historique en quelques clics.

Application mobile



- Gérez la production bassin par bassin.
- Organisez les classifications et les calendriers de récolte.



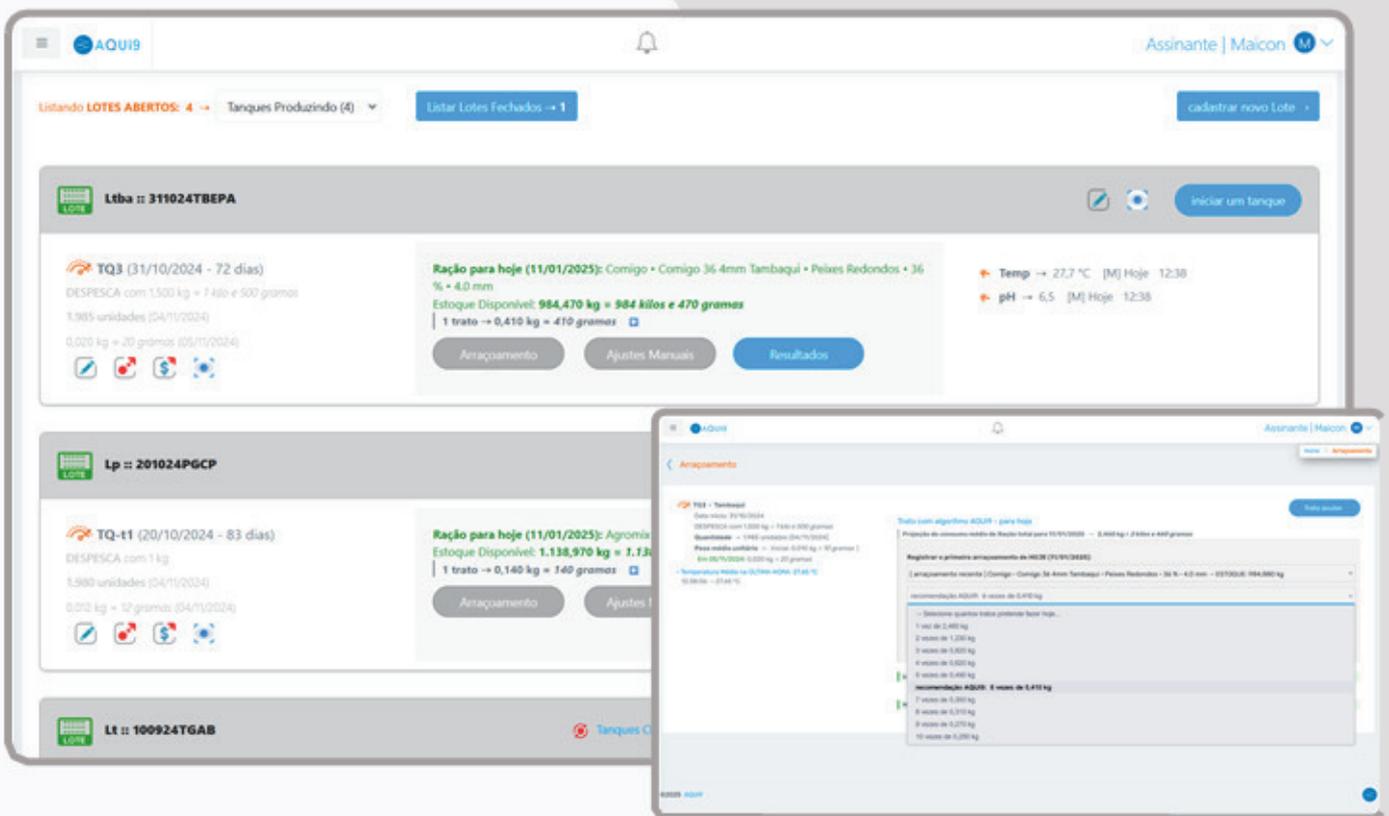
Enregistrez rapidement les données biométriques et d'alimentation.



# Système de surveillance intelligent pour une pisciculture durable

Ne perdez plus vos données : accédez à tout votre historique en quelques clics.

Logiciel  
(SaaS)



- Gestion détaillée de chaque bassin.
- Contrôle précis du stock d'aliments.



Intégration en temps réel de l'historique de gestion des bassins (capteurs, application et logiciel)



# Système de surveillance intelligent pour une pisciculture durable

Ne perdez plus vos données : accédez à tout votre historique en quelques clics.

Logiciel (SaaS)

**Resultados**

TQ1 • Tilápia GIFT  
Data início: 15/06/2024  
Quantidade Inicial → 2.000 unidades  
Peso Inicial → 0,100 kg

**Indicadores Zootécnicos do Tanque**

	15/10/2024 antes da Desp. Parcial 1	15/10/2024 Desp. Parcial 1	21/10/2024 encerrado
Ciclo de Produção do Tanque	122 dias	122 dias	128 dias
Qtd de peixes no Tanque	1.900	1.400	1.400
Mortalidade (acumulado)	100	100	100

**Indicadores Financeiros do Tanque**

	15/10/2024 antes da Desp. Parcial 1			
Qtd de Despesa	-			
Qtd no tanque	1.900 unidades			
Peso Unit.	0,850 kg			
Biomassa no Tanque	1.615,000 kg			
Biomassa da Despesa	-			
Biomassa Final (acumulada)	1.615,000 kg			
RECEITA DO TANQUE				

**Detalhes**

	0,850 kg	0,850 kg	0,850 kg
Biomassa no Tanque	1.615,000 kg	1.190,000 kg	1.190,000 kg
Biomassa da Despesa	-	-	-
Biomassa Final (acumulada)	1.615,000 kg	1.190,000 kg	1.190,000 kg
<b>RECEITA DO TANQUE</b>			
Peso Médio (CPMA) (15/06/2024)	R\$ 0,707/kg	R\$ 0,707/kg	R\$ 0,707/kg CPMA
Peso de Venda Superior (20/10/24)	R\$ 1,007/kg	R\$ 1,007/kg	R\$ 1,244/kg AQUEL
Peso de Venda Realizado	R\$ -	R\$ 0,346/kg	R\$ 1,615/kg
Receita Parcial	R\$ -	R\$ 4.937,30	R\$ 14.832,30
Receita Total (acumulada)	R\$ -	R\$ 4.937,30	R\$ 17.479,60
<b>CUSTOS DE PRODUÇÃO</b>			
Custo com Alimento	R\$ 700,00 0,40/kg	R\$ 700,00 0,40/kg	R\$ 700,00 0,50/kg
Custo com Raça	R\$ 0,00 0,00/kg	R\$ 0,00 0,00/kg	R\$ 0,00 0,00/kg
Custo Operacional (20) do Tanque	R\$ 0,700 0,37/kg	R\$ 0,700 0,50/kg	R\$ 0,800 0,57/kg
Outros Custos	R\$ 0,00 0,00/kg	R\$ 0,00 0,00/kg	R\$ 0,00 0,00/kg
Custo de Produção (CP) do Tanque	R\$ 0,700 0,37/kg	R\$ 0,700 0,50/kg	R\$ 0,800 0,57/kg
<b>RENDIMENTO DA PRODUÇÃO</b>			
Representatividade do Custo com Raça	0,0%	0,0%	0,0%
Representatividade do Custo com Raça	0,00%	0,00%	0,00%
Resultado Líquido do Tanque	R\$ -0,700 0,37/kg	R\$ -0,700 0,50/kg	R\$ -0,200 0,24/kg
Margem de Resultado Líquido	-	0,0%	0,0%

- Rapports dynamiques sur la production de chaque bassin
- Simulation des résultats de productivité.



Centralisation de l'historique de production pour plus de transparence et de traçabilité.



# CAS DE SUCCÈS

Ne perdez plus vos données : accédez à tout votre historique en quelques clics.



“L'utilisation du système AQUI9 nous a beaucoup aidés dans la gestion quotidienne de notre ferme piscicole. Nous avons réduit le gaspillage de nourriture et amélioré la qualité de l'eau. Les poissons grandissent en meilleure santé chaque jour.” - Giovanna



- (30 jours) - Réduction du cycle de production du tilapia
- (25%) - Amélioration de l'efficacité alimentaire avec un taux de conversion alimentaire (TCA) de 1,2
- (20%) - Économies sur la nourriture et réduction des coûts de production (0.20 USD par kg)



# NOSTARIFS



À partir de

**385 USD**

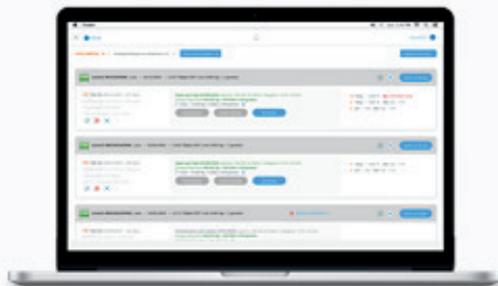
Par appareil  
(Vérifiez les paramètres surveillés)



À partir de

**9.50 USD**

Par mois  
(Vérifiez les fonctionnalités premium)



À partir de

**55 USD**

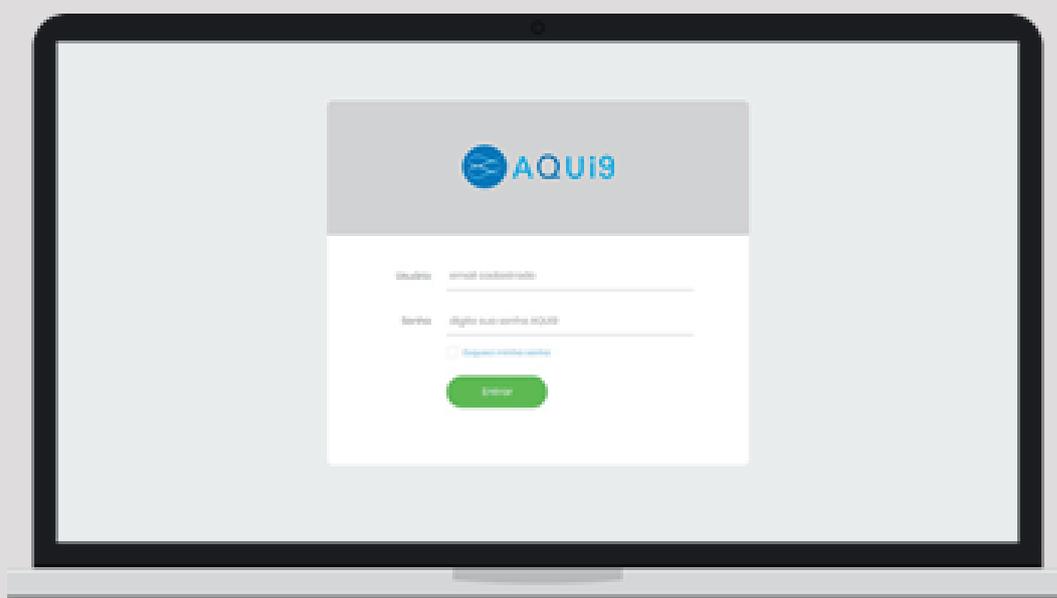
Par mois-Plan START  
(production de 1 à 3 tonnes/mois)



L'avenir de l'élevage piscicole est numérique, efficace et durable!

**AQUi9 transforme déjà le secteur avec innovation et technologie!**

**REJOIGNEZ-NOUS POUR TRANSFORMER VOTRE PISCICULTURE ET LA FAIRE PASSER AU NIVEAU SUPÉRIEUR!**



Une entreprise brésilienne apportant innovation et durabilité à l'aquaculture mondiale



[www.aqui9.com.br](http://www.aqui9.com.br)



[contato@aqui9.com.br](mailto:contato@aqui9.com.br)



+55 (16)99422-3947

# ACTUALITÉS

## LES JOURNEES PORTES OUVERTES DU LIVING LAB DANS LE SITE DE VICINAQUA, KISUMU, AU KENYA, POUR PRESENTER L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ET DE L'AQUACULTURE



Le site de Vicinaqua, Kisumu, Kenya, a présenté l'avenir de l'agriculture et de l'aquaculture lors des Journées portes ouvertes du Living Lab le 21 février 2025. Organisé par le gouvernement du comté de Kisumumu et PrAectiCe, cet événement a réuni des fonctionnaires, des chercheurs, des organisations, des institutions financières et des membres de la communauté, y compris des délégations du comté de Kilifi.

Des démonstrations ont mis en évidence l'équipement agroécologique, l'irrigation efficace et des outils agricoles intelligents.



En tant qu'ABL (Aquaculture Barn Limited), nous avons démontré notre expertise dans ce que nous avons fait auparavant dans la construction d'étangs surélevés, la construction de systèmes RAS et la production des alevins et de poisson, en notant notre programme réussi d'autonomisation. L'événement a mis l'accent sur l'autonomisation des jeunes, l'intégration technologique et les partenariats public-privé M.

Kenneth Onyango, membre de la CCE pour l'agriculture, la pêche et le développement de l'élevage, a réaffirmé le soutien du comté aux jeunes dans l'agriculture et l'adoption de la technologie. Ces Journées portes ouvertes ont souligné le potentiel de l'agriculture et de l'aquaculture pour stimuler la croissance économique, créer des emplois et renforcer la sécurité alimentaire.

## **AU MALAWI, LE MINISTRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, DR. OWEN CHOMANIKA REND VISITE AU CENTRE D'AQUACULTURE DE KASINTHULA**



Au Malawi, le ministère des Pêches a l'honneur d'accueillir l'honorable ministre des Ressources naturelles et du changement climatique, Dr. Owen Chomanika, lors de sa visite de familiarisation dans certaines institutions et installations dans la région sud du Malawi.

Le 28 janvier 2025, le ministre a visité des sites clés, notamment : le conseil de district de Mangochi (Office des pêches), le collège des pêches du Malawi, le chantier de surveillance, de contrôle et de surveillance de Namiyasi et le Centre d'aquaculture de Domasi.

Ces visites visent à évaluer les activités en cours et à fournir des conseils stratégiques pour améliorer la gestion des pêches et le développement de l'aquaculture.

Au cours de ses engagements, le ministre a discuté avec le personnel du Ministère, pour s'attaquer aux défis et décrit la voie à suivre pour le secteur.



Le Dr Chomanika a visité le Centre d'aquaculture de Kasinthula le 31 janvier 2025, poursuivant sa visite des installations et des sites de projet du Ministère dans toute la région.

Le ministre est accompagné du secrétaire aux Ressources naturelles et au changement climatique et d'autres hauts fonctionnaires du ministère, réaffirmant l'engagement du gouvernement à renforcer la gestion des ressources naturelles et le développement durable du Malawi.

## L'ILRI ET L'UA-BIRA RENFORCENT LEUR COLLABORATION AVEC UN NOUVEAU PROTOCOLE D'ACCORD SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ELEVAGE



L'Institut international de recherche sur l'élevage (ILRI) et l'UA-BIRA ont renforcé leur collaboration de longue date en procédant à la signature d'un protocole d'accord (MoU). Cet accord historique, conclu à l'occasion de la Conférence régionale de la WOAAH pour l'Afrique, vient consolider leur engagement mutuel à faire progresser le développement de l'élevage ainsi que l'amélioration de la santé animale à l'échelle de l'ensemble du continent africain.

### UN PARTENARIAT RENFORCÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLEVAGE

L'ILRI, un institut de recherche international à but non lucratif co-organisé par le Kenya et l'Éthiopie, est à l'avant-garde de la recherche sur l'élevage, visant à améliorer la sécurité alimentaire et à réduire la pauvreté en Afrique et en Asie. De son côté, l'UA-BIRA, agence technique spécialisée de la Commission de l'Union africaine (CUA), joue un rôle essentiel dans la coordination de l'utilisation durable des ressources animales entre les États membres de l'UA. Le protocole d'accord récemment signé vient ainsi renforcer l'alliance entre ces deux acteurs clés de l'élevage et de la santé animale, tout en ouvrant la voie à une collaboration plus structurée et plus efficace sur le long terme.

Lors de la signature, le directeur de l'UA-IBAR, le Dr Huyam Sahil, et le Dr Fabian Kausche (directeur général adjoint de la recherche et de l'innovation de l'ILRI, qui représentait le directeur général de l'ILRI) ont tous deux noté qu'au cours de la dernière décennie, l'ILRI et l'UA-IBAR ont collaboré sur divers projets, notamment la recherche, le renforcement des capacités, la planification générale de l'élevage, l'évaluation des aliments pour animaux, l'élaboration de politiques et de stratégies, la santé et le bien-être des animaux et les approches One Health. Le protocole d'accord s'appuie sur ces réalisations en établissant un cadre stratégique pour une collaboration plus poussée.

### KEY AREAS OF COOPERATION

L'accord décrit plusieurs domaines prioritaires dans lesquels l'ILRI et l'UA-IBAR travailleront ensemble, notamment :

1. Mener des recherches et des innovations conjointes pour résoudre les difficultés des systèmes d'élevage, la résilience au changement climatique, la production d'aliments et de fourrage, la génétique animale, la santé animale, les services vétérinaires et les approches One Health.

2. Améliorer la gouvernance et la gestion des ressources animales grâce à une meilleure disponibilité et utilisation des données.

3. Élaborer et mettre en œuvre des programmes de formation ciblés à l'intention des acteurs du secteur de l'élevage, dans le but de renforcer leurs compétences et capacités de manière durable.

4. Aider à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques, y compris le soutien aux cadres de gouvernance tels que les plans directeurs nationaux pour l'élevage et les stratégies et plans d'action pour la biodiversité.

5. Faciliter le transfert de technologie et intensifier les innovations pour améliorer la productivité et la santé du bétail.

6. Encourager la mobilisation des ressources et les partenariats public-privé en collaborant avec les gouvernements, les partenaires de développement et les acteurs du secteur privé pour soutenir les initiatives prioritaires.

7. Sensibilisation et plaidoyer accrus en faveur de la gestion des ressources animales grâce à l'échange de connaissances, à la priorisation des investissements et à l'engagement politique.

## **SOUTENIR LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLEVAGE DE L'UA**

La collaboration est cohérente avec d'importants cadres continentaux tels que la Stratégie de développement de l'élevage pour l'Afrique (LiDeSA) 2015-2035 et la Stratégie de santé animale pour l'Afrique 2019-2035. L'UA-IBAR a joué un rôle déterminant dans le développement de ces techniques, et l'approche axée sur la recherche de l'ILRI complète ces efforts en fournissant des solutions fondées sur des preuves pour le développement de l'élevage à long terme.

Les objectifs de l'AU-IBAR sont parfaitement alignés avec la stratégie d'entreprise 2024-2030 de l'ILRI, qui vise à exploiter le potentiel de l'élevage durable pour de meilleurs moyens de subsistance et un environnement plus sain. Cette collaboration contribuera à façonner les politiques, à développer les technologies et à garantir des systèmes d'élevage respectueux du climat et de la biodiversité qui profitent à plus de 300 millions de personnes en Afrique.

## **PERSPECTIVES D'AVENIR**

Le protocole d'accord entre l'ILRI et l'AU-IBAR est une démarche avant-gardiste visant à accroître le partenariat continental dans le développement de l'élevage et des ressources. En exploitant leurs atouts respectifs, les deux institutions souhaitent accélérer la transformation du secteur de l'élevage en Afrique, en garantissant la sécurité alimentaire, la croissance économique et la résilience aux menaces imminentes telles que le changement climatique et les zoonoses.

Cet accord jette les bases solides de futures activités de collaboration et illustre clairement l'engagement continu de l'ILRI et de l'AU-IBAR à promouvoir une recherche scientifique efficace, l'élaboration de politiques adaptées et l'innovation, dans le but de soutenir durablement les populations africaines dépendantes de l'élevage.

## LE PROGRAMME STRATEGIQUE DE TRANSFORMATION DE L'AQUACULTURE EN COTE D'IVOIRE CIBLE LA FORMATION DE 3000 JEUNES AQUAPRENEURS



Le Coordonnateur Général du Programme Stratégique de Transformation de l'Aquaculture en Côte d'Ivoire (PSTACI) M. Modibo SAMAKE, a échangé avec deux délégations venues des régions du Tchologo et du Gbêkê, le jeudi 6 Février 2025.

Cette mission conjointe qui s'est déroulée à la station piscicole de Koubi à Tiébissou avait pour objectif de faire l'état des lieux de l'avancement de la formation des 49 apprenants de ces régions sur les techniques aquacoles.

De visiter les installations et suivre les jeunes dans leurs activités et aborder la question relative à l'accompagnement post-formation.

Une opportunité donnée aux jeunes issus de l'ensemble des régions du pays.

À travers une formation diplômante de haut niveau dans le domaine de l'aquaculture, et de contribuer à la sécurité alimentaire de la Côte d'Ivoire.



Le Projet vise à former 3000 jeunes issus de toutes les régions du pays de la Côte d'Ivoire, sachant que le Programme Stratégique de Transformation de l'Aquaculture en Côte d'Ivoire (PSTACI) a pour objet de disposer d'un secteur aquacole viable, structuré et développé en Côte d'Ivoire.

## INAUGURATION D'UNE FERME PISCICOLE A MERINA NDAKHAR AU SENEGAL



Eiffage Opérations Services (EOS), en partenariat avec l'Agence Nationale de l'Aquaculture Sénégal (ANA), a inauguré une ferme piscicole à Mérina Ndakhar au Sénégal, le lundi 17 février 2025, une initiative dédiée à l'aquaculture afin de générer un impact positif pour les populations locales en lançant cet ambitieux projet de développement durable.

Dans cette optique, EOS, avec le soutien de l'ANA, accompagne les populations locales en leur apportant des ressources, une formation adaptée et une structure de gestion pour favoriser l'essor de cette activité.

L'aquaculture un secteur essentiellement développé dans les pays en développement, joue un rôle clé dans la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté.

Ce projet permettra ainsi aux producteurs d'accroître leurs revenus tout en développant de nouvelles compétences.



Lors de la cérémonie de lancement, le Dr Samba Kâ, Directeur Général de l'ANA du Sénégal, et d'autres responsables, ont assisté à l'empoissonnement des bassins et au démarrage de la formation théorique.

Source : ANA Sénégal.

## L'AFRIQUE A BESOIN DE POLITIQUES INNOVANTES POUR REpondre AUX DEMANDES FUTURES DU SECTEUR DE L'AQUACULTURE



Selon le rapport *Innovations politiques pour une pêche et une aquaculture durables en Afrique*, un rapport du Panel Malabo Montpellier 2025 d'experts en agriculture et sécurité alimentaire, la croissance rapide du secteur de la pêche et de l'aquaculture du continent, qui, depuis 2000, a connu le taux de croissance de l'aquaculture le plus élevé de toutes les régions du monde, augmentant de plus de cinq fois pour atteindre 2,5 millions de tonnes métriques (MT) en 2022. Le secteur fournit près de 20 % des protéines animales de l'Afrique.

**Pour contrer un déficit prévu de 11 millions de tonnes par an d'ici 2030, des politiques et des investissements sont nécessaires pour répondre à la demande future et éviter d'éventuelles pénuries, soutiennent les auteurs.**

**Les approvisionnements en aliments aquatiques de l'Afrique devraient augmenter de 74 % d'ici 2050 pour maintenir les niveaux actuels de consommation de poisson par habitant.**

L'Afrique dispose d'un vaste réseau de pêches marines et d'eau douce intérieures. La production des pêches de capture et de l'aquaculture a augmenté ces dernières années – dans l'aquaculture, l'Afrique a désormais le taux de croissance le plus élevé au monde. La croissance du secteur de la pêche et de l'aquaculture a amélioré la sécurité alimentaire et la nutrition, créé des emplois et renforcé le développement économique sur tout le continent.

Il existe une réelle opportunité de développer davantage le secteur, notamment en raison de la demande croissante de poisson en Afrique, stimulée par la croissance démographique soutenue, l'urbanisation de plus en plus marquée et l'augmentation progressive des revenus dans un grand nombre de pays africains.

Il est possible de surmonter le déficit croissant de la production de poisson par rapport à la demande en s'attaquant aux défis du secteur liés à la surpêche, à la pollution, au changement climatique et à l'épuisement des ressources. De plus, la demande croissante de poisson d'élevage durable offre de nouvelles opportunités aux pisciculteurs, mais nécessitera une plus grande promotion de l'aquaculture sur tout le continent. La transparence et la gestion environnementale de la production de poisson peuvent aider les pêcheurs et les pisciculteurs à exploiter des marchés de niche haut de gamme pour les produits de la pêche biologiques ou respectueux de l'environnement, augmentant ainsi leurs profits et améliorant leur résilience économique en élargissant la gamme des marchés qu'ils approvisionnent.

Les programmes de formation technique et de développement des compétences sont également essentiels pour aider les petits exploitants à adopter des pratiques modernes et durables qui améliorent leur productivité tout en minimisant les impacts environnementaux.

En outre, les politiques nationales et régionales doivent faciliter les liens avec le marché, accroître l'accès aux intrants et intégrer les pisciculteurs dans la chaîne de valeur plus large du poisson.

## **SOUTENIR L'INNOVATION ET ACCROÎTRE LA RECHERCHE FINANCEMENT**

Pour constituer une main-d'œuvre qualifiée capable de stimuler l'innovation dans le secteur, il est essentiel de créer des pôles d'innovation et des programmes de mentorat qui incluent les jeunes et les femmes, et qui visent à stimuler la production halieutique durable et à promouvoir une transformation, une commercialisation et un commerce améliorés du poisson. En outre, il faut consacrer davantage de ressources à la recherche sur la pêche et l'aquaculture durables pour combler le déficit de financement.

L'amélioration de la collecte de données sur les stocks de poissons et les tendances de consommation aidera les décideurs politiques à prendre des décisions plus éclairées pour améliorer la productivité. Les efforts visant à mobiliser ces fonds impliquent une participation active aux politiques internationales et aux dialogues de négociation.

Offrir des incitations fiscales aux institutions de recherche sur la pêche et l'aquaculture et renforcer la collaboration entre les gouvernements, le secteur privé et les universités peuvent aider à mobiliser des ressources et une expertise dans la recherche axée sur les chaînes de valeur de la pêche et de l'aquaculture.

## **RENFORCER LA COOPÉRATION RÉGIONALE, L'INTÉGRATION ET LA FACILITATION DES ÉCHANGES**

Les cadres existants, comme le Cadre politique et la Stratégie de réforme de la pêche et de l'aquaculture de l'Union africaine, offrent une base importante de collaboration entre les différents acteurs. Les efforts régionaux doivent notamment se concentrer sur l'harmonisation des réglementations en matière de pêche, telles que la standardisation des engins utilisés, l'établissement de quotas, la gestion des saisons de pêche et la mise en œuvre de mesures de conservation appropriées. Ces initiatives visent à prévenir la surpêche, à réduire la pêche illégale, non déclarée et non réglementée, et à préserver la biodiversité marine.

En outre, l'établissement de systèmes communs de certification et d'étiquetage améliorerait le commerce en garantissant que les produits de la pêche proviennent de sources durables et sont de haute qualité. La rationalisation des procédures douanières et l'élimination des droits de douane favoriseront la circulation plus aisée du poisson et des produits de la pêche à travers les frontières, ce qui profitera à la fois aux producteurs et aux consommateurs. En renforçant la coopération régionale, l'Afrique peut partager les meilleures pratiques, renforcer les capacités et créer des systèmes de pêche et d'aquaculture plus efficaces et durables.

# ÉVÉNEMENT

## AQUACULTURE EUROPE 2025, VALENCE, ESPAGNE, DU 22 AU 25 SEPTEMBRE



Aquaculture Europe 2025 se tiendra à Valence, en Espagne, du 22 au 25 septembre. Le thème est « L'aquaculture pour tous ».

Avec sa diversité d'espèces et de technologies de production, sa diversité de propositions commerciales et son respect de l'environnement et de la manière dont celui-ci évolue, l'aquaculture est établie comme un secteur essentiel de l'approvisionnement alimentaire mondial.

L'événement couvrira l'ensemble des disciplines scientifiques et des espèces de l'aquaculture européenne et comprendra des présentations orales et par affiches. AE2025 comportera également une exposition commerciale internationale, un forum industriel, des sessions et des activités pour les étudiants, des ateliers satellites et des mises à jour sur la recherche européenne.

**LE FORUM DES FRUITS DE MER POUR L'AFRIQUE SE TIENDRA  
AU PALAIS DES CONGRES DE DAKHLA, AU MAROC DU 4 AU 6  
DECEMBRE 2024**

**MENDEL Center**

MENDELCenter

## FORMATION EN PISCICULTURE 4 EN 1

La meilleure entreprise piscicole de la planète

**4 Compétences au prix d'une seul**

- Production des Silures frais
- Production des Tilapias  
Carpes fraîches
- Traitement des pathologies des poissons
- Montage des projets  
Aquacoles



**28 AU 30 MARS 2025** | 30 000 fr CFA

**15 PLACES DISPONIBLES**

PHONE **698010453**  
**674026399**

WEBSITE  
mendelcentercameroun@gmail.com



Reserve ta place dès maintenant

Mendel center organise une formation en pisciculture avec certification :

- Formation théorique et pratique en pisciculture  
- du 28 au 30 mars 2025

- Au centre pratique de pisciculture MENDEL CENTER situé à Douala pk 12 entrée Baobab.

Durant cette formation, nous vous transmettrons les compétences suivantes

1- Compétences pour la production de poissons Silure avec tout type d'eau

2- Compétences pour la production de tilapia et de carpe dans des bacs hors sol en renouvelant son eau une fois par semaine

3- Compétences sur la détection et le traitement des poissons malades

4- Compétences sur comment monter votre projet de pisciculture de A à Z

Réservez vite votre place au  
698010453 / 674026399

mendelcentercameroun@gmail.com  
com

Pour la session de formation qui va du 28 au 30 mars 2025.

Heure de la formation : 8h - 13h

Numéro pour dépôt : 698010453/674026399

NB : seulement 15 places sont disponibles.

## AQUAFUTURE ESPAGNE LE SALON INTERNATIONAL DE L'INDUSTRIE DE L'AQUACULTURE, DU 20 AU 22 MAI 2025



Le Salon International de l'Industrie Aquacole, Aquafuture Espagne, du 20 au 22 mai 2025, est le plus grand événement technologique, éducatif, informatif et commercial du secteur de l'aquaculture en Europe du Sud. aura lieu du 20 au 22 mai 2025 au parc des expositions IFEVI – VIGO.

Aquaculture Espagne représente l'ensemble du secteur de l'aquaculture : depuis l'aquaculture marine et continentale avec toute sa variété de poissons, jusqu'à la culture de mollusques (moules, huîtres, palourdes, etc.) et en relevant de nouveaux défis tels que la culture d'algues.

Les visiteurs et exposants pourront profiter des différents espaces offerts par Aquafuture Espagne afin de relever tous les défis actuels et futurs du secteur, tant technologiques que commerciaux.

**LE WORLD AQUACULTURE SAFARI 2025 SE TIENDRA DU 24 AU 27 JUIN 2025 AU SPEKE RESORT MUNYONYO, A ENTEBBE, EN OUGANDA.**



The poster features a central illustration of various colorful fish swimming in blue water. At the top left is a logo for the event. The main text is in large, bold, blue letters. Below the main title is a blue box with the dates. A QR code is positioned on the right side of the illustration. At the bottom, there is a row of logos for the event's sponsors and partners.

**WORLD AQUACULTURE SAFARI'25**

**SAVE THE DATE**  
24 - 27 JUNE 2025

Make sure you are part of the biggest aquaculture gathering in Africa!

[www.was.org/meeting](http://www.was.org/meeting)

Sponsors and partners logos: TRUEFISH, Co-Funded by the European Union, Landell Mills, World Aquaculture Society, Food and Agriculture Organization of the United Nations, WorldFish.

WORLD AQUACULTURE SAFARI 2025 : la plus grande réunion sur l'aquaculture en Afrique se tiendra au Speke Resort Munyonyo, à Kampala, en Ouganda (près d'Entebbe), avec la participation de pays d'Afrique et du monde entier.

L'Afrique de l'Est est le pôle de croissance le plus rapide de l'aquaculture sur le continent africain. Cela est principalement dû à l'élevage du tilapia, mais plusieurs autres espèces contribuent au secteur.

L'Afrique de l'Est est également une région leader mondial dans la culture des algues, avec des développements passionnants autour de plusieurs autres espèces marines telles que le concombre de mer et bien d'autres.

Le projet TRUEFISH, financé par l'UE, qui vise à faire progresser l'aquaculture dans le bassin du lac Victoria, était l'un des principaux sponsors de la réunion.