



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم
DEPARTMENT
علوم البحار
MARINE SCIENCES



Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Bioressources Marines** »

Thème

**Étude socio-économique de la faisabilité des systèmes
aquaponiques dans les fermes rurales**

Présenté Par : **MESSAADI Mohamed Anis**

Soutenue publiquement le : 16 /06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
LAADJAMA Imane	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
MAHFOUF Nora	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
BENNOUR Afaf	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de recherche, je tiens à exprimer mes profonds remerciements et ma sincère reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire de Master.

Je rends tout d'abord grâce à Dieu le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la patience, la force et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, le Dr. MAHFOUF Nora, pour la qualité de son encadrement, la pertinence de ses orientations scientifiques, ainsi que pour sa disponibilité constante et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses conseils avisés, ses remarques constructives et son accompagnement rigoureux ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail :

- **Président du jury : Dr. LAADJAMA Imane**
- **Examineur : Dr. BENNOUR Afaf**
- **Rapporteur : Dr. MAHFOUF Nora**

Leur lecture attentive, leurs remarques et leurs recommandations permettront sans aucun doute d'améliorer la qualité scientifique de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux 50 agriculteurs de la région d'El Tarf qui ont accepté de participer à cette enquête. Leur collaboration, leur disponibilité et la richesse des informations fournies ont constitué une base essentielle pour la réalisation de cette étude.

Je remercie également l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Mer de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Chadli Bendjedid, pour la qualité de la formation dispensée tout au long de mon cursus universitaire.

Enfin, j'exprime ma gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué moralement, scientifiquement ou humainement à la réalisation de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à ma très chère famille, en témoignage de ma profonde reconnaissance pour son amour inconditionnel, son soutien moral constant et les nombreux sacrifices consentis tout au long de mon parcours universitaire. Leur encouragement permanent a constitué une source essentielle de motivation et de persévérance.

Je n'oublie pas mes collègues et mes camarades de promotion du Département des Sciences de la Mer, avec lesquels j'ai partagé des années d'apprentissage, d'échanges, d'entraide et de solidarité. Leur présence a rendu ce parcours universitaire plus enrichissant et plus agréable.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont soutenu, encouragé et accompagné durant mon parcours académique et personnel.

RÉSUMÉ

Ce mémoire porte sur l'évaluation de la faisabilité socioéconomique de l'introduction de systèmes aquaponiques dans les exploitations agricoles de la wilaya d'El Tarf (nord-est de l'Algérie). L'aquaponie, système intégré combinant l'aquaculture et l'hydroponie, représente une solution innovante aux défis de la sécurité alimentaire et de la gestion durable des ressources hydriques dans les régions semi-arides. Une enquête de terrain a été réalisée auprès de 50 agriculteurs répartis dans quatre communes (Bouhadjar, El Sabaa, Aïn Assel et Aïn El Karma), au moyen d'un questionnaire structuré en sept axes thématiques. Les résultats révèlent un déficit informationnel majeur (78 % des enquêtés ignorent l'existence de l'aquaponie), une perception économique globalement positive (87,8 % reconnaissent un potentiel d'amélioration des revenus), et un soutien massif aux projets pilotes (85,7 %). Les principaux obstacles identifiés sont le manque de formation (90 % le citent comme obstacle majeur) et la perception d'un coût d'installation élevé (56 %). Les conditions prioritaires d'adoption sont la formation technique et le soutien financier. Ces résultats permettent de conclure que les conditions socioéconomiques objectives de l'introduction de l'aquaponie dans la wilaya d'El Tarf sont réunies, sous réserve d'une mobilisation coordonnée des acteurs publics et académiques autour des axes formation et financement.

Mots-clés : aquaponie, faisabilité socioéconomique, wilaya d'El Tarf, sécurité alimentaire, enquête agricole, adoption technologique, ressources hydriques, Algérie.

ABSTRACT

This thesis investigates the socioeconomic feasibility of introducing aquaponic systems into agricultural holdings in the wilaya of El Tarf (northeastern Algeria). Aquaponics, an integrated system combining aquaculture and hydroponics, represents an innovative solution to the challenges of food security and sustainable water resource management in semi-arid regions. A field survey was conducted among 50 farmers distributed across four municipalities (Bouhadjar, El Sabaa, Aïn Assel, and Aïn El Karma), using a structured questionnaire organized around seven thematic axes. The results reveal a major information deficit (78% of respondents were unaware of aquaponics), a generally positive economic perception (87.8% recognizing a potential for income improvement), and strong support for pilot projects (85.7%). The main obstacles identified are the lack of training (90% cite it as a major barrier) and the perception of high installation costs (56%). The priority conditions for adoption are technical training and financial support. These findings lead to the conclusion that the objective socioeconomic conditions for introducing aquaponics in the wilaya of El Tarf are in place, provided that public and academic stakeholders mobilize in a coordinated manner around the axes of training and financing.

Keywords: aquaponics, socioeconomic feasibility, El Tarf wilaya, food security, agricultural survey, technology adoption, water resources, Algeria.

ملخص

تتناول هذه المذكرة تقييم الجدوى الاجتماعية والاقتصادية لإدخال أنظمة الزراعة المائية المتكاملة (الأكوابونيك) في المستثمرات الفلاحية بولاية الطارف (شمال شرق الجزائر). يُعدّ الأكوابونيك، بوصفه نظاماً متكاملًا يجمع بين تربية الأسماك والزراعة المائية، حلاً مبتكراً للتحديات المتعلقة بالأمن الغذائي وإدارة الموارد المائية بصفة مستدامة في المناطق شبه الجافة. أجريت دراسة ميدانية شملت 50 مزارعاً موزعين على أربع بلديات (بوحجار، السبعة، عين عسل، وعين الكرمة)، وذلك باستخدام استبيان منظم في سبعة محاور موضوعاتية. كشفت النتائج عن فجوة معلوماتية كبيرة (78% من المبحوثين لم يسمعوا بالأكوابونيك من قبل)، وتصور اقتصادي إيجابي بشكل عام (87.8% يعترفون بإمكانية تحسين الدخل)، ودعم واسع للمشاريع التجريبية (85.7%). أما العقبات الرئيسية المحددة فهي: غياب التكوين (90% يعتبرونه عائقاً رئيسياً)، والتصور المرتفع لتكاليف التجهيز (56%). وتتمثل الشروط الأولية للتبني في التكوين التقني والدعم المالي. تسمح هذه النتائج بالاستنتاج بأن الظروف الاجتماعية والاقتصادية الموضوعية لإدخال الأكوابونيك في ولاية الطارف متوفرة، شريطة التعبئة المنسقة للفاعلين العموميين والأكاديميين حول محوري التكوين والتمويل.

الكلمات المفتاحية: أكوابونيك، جدوى اجتماعية اقتصادية، ولاية الطارف، أمن غذائي، استبيان زراعي، تبني التكنولوجيا، الموارد المائية، الجزائر.

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Schéma d'un système aquaponique	3
2	Carte de la zone d'étude et localisation des sites d'enquête (Wilaya d'El Tarf)	15
3	Répartition des enquêtés selon la tranche d'âge	22
4	Répartition des enquêtés selon le genre	23
5	Répartition des enquêtés selon le niveau d'instruction	24
6	Répartition des enquêtés selon l'expérience agricole	25
7	Répartition des enquêtés selon l'activité principale	26
8	Répartition des enquêtés selon la superficie de l'exploitation	27
9	Répartition des enquêtés selon la source d'eau principale	28
10	Pratique antérieure de l'aquaculture	29
11	Notoriété préalable de l'aquaponie parmi les enquêtés	30
12	Niveau de connaissance de l'aquaponie	31
13	Perception de l'aquaponie quant à l'amélioration de l'efficacité hydrique	32
14	Adéquation de l'aquaponie au contexte rural d'El Tarf	33
15	Perception du coût d'installation d'un système aquaponique	34
16	Disposition à investir dans l'aquaponie	35
17	Conditions facilitant l'investissement en aquaponie	36
18	Potentiel perçu de l'aquaponie à améliorer les revenus agricoles	37
19	Le manque de formation comme obstacle à l'adoption	38
20	Influence des traditions agricoles sur l'adoption	39
21	Soutien aux projets pilotes d'aquaponie dans la région	40
22	Intérêt pour l'aquaponie si un projet est proposé à El Tarf	41
23	Conditions nécessaires à l'adoption de l'aquaponie	42
24	Contribution de l'aquaponie au développement rural durable	43
25	Accès antérieur au soutien agricole institutionnel	44
26	Expérience de pénurie d'eau par les agriculteurs enquêtés	45
27	Niveau d'intérêt général pour l'aquaponie (échelle 1–5)	46

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Caractéristiques générales de l'échantillon enquêté (n=50)	16
2	Répartition des sites d'étude dans la Wilaya d'El Tarf	18
3	Résumé des axes du questionnaire et indicateurs évalués	19
4	Synthèse des résultats par axe thématique	20

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1. Définition et principes de l'aquaponie	3
1.1. Définition générale	3
1.2. Principes biologiques fondamentaux	4
1.2.1. Le cycle de l'azote	4
1.2.2. Rôle des micro-organismes et du biofilm.....	5
1.2.3. Les paramètres physicochimiques de l'eau.....	5
1.3. Avantages et limites de l'aquaponie.....	5
1.3.1. Avantages environnementaux et économiques.....	5
1.3.2. Contraintes et limites.....	6
2. Types de systèmes aquaponiques	7
2.1. Systèmes à lits sur substrat (Media Bed)	7
2.2. Systèmes à film nutritif (NFT – Nutrient Film Technique)	7
2.3. Systèmes à radeaux flottants (DWC – Deep Water Culture)	8
2.4. Systèmes découplés et hybrides	8
2.5. Aquaponie en contexte vertical et urbain.....	9
3. Expériences internationales.....	9
3.1. Amérique du Nord	9
3.2. Europe	10
3.3. Australie et Océanie	10
3.4. Asie et Afrique.....	11
3.5. Moyen-Orient et régions arides	11
4. Situation en Algérie	12
4.1. Contexte agricole et hydraulique	12
4.2. Initiatives et projets aquaponiques.....	12
4.3. Cadre institutionnel et réglementaire	13
4.4. Potentiel et perspectives	13
CHAPITRE II MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	15
1. Cadre géographique et zone d'étude	15
Sites d'étude et échantillonnage.....	16

2. Type d'étude et approche méthodologique.....	16
3. Population cible et stratégie d'échantillonnage	16
3.1 Définition de la population cible	16
3.2 Méthode d'échantillonnage.....	16
3.3 Taille de l'échantillon.....	17
4. Instrument de collecte des données	17
4.1 Présentation générale du questionnaire	17
4.2 Structure et axes thématiques	17
4.3 Types d'échelles de mesure	18
4.4 Pré-test et validation du questionnaire	19
5. Protocole de collecte des données	19
5.1 Modalités d'administration	19
5.2 Éthique de la recherche et confidentialité	19
5.3 Contrôle de la qualité des données	19
6. Méthodes d'analyse statistique	20
7. Opérationnalisation des variables.....	20
7.1 Variables indépendantes (explicatives).....	21
7.2 Variables dépendantes (à expliquer).....	21
8. Limites méthodologiques.....	21
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	22
1. Profil socio-démographique et caractéristiques des exploitations agricoles.....	22
2. Caractéristiques structurelles des exploitations agricoles	26
3. Connaissance et perception de l'aquaponie	30
4. Faisabilité économique perçue et disposition à investir	34
5. Acceptabilité sociale et contraintes à l'adoption.....	38
7. Évaluation globale et développement rural durable	43
8. Synthèse de la discussion.....	48
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	50
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52
ANNEXES	56

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La sécurité alimentaire constitue l'un des défis majeurs du XXI^e siècle, particulièrement dans les pays en développement confrontés simultanément à la croissance démographique, à la raréfaction des ressources hydriques et aux effets croissants du changement climatique (FAO, 2014 ; Bachta, 2011). L'Algérie, dont près de 80 % du territoire est classé en zone aride ou semi-aride, figure parmi les pays les plus vulnérables à ces contraintes structurelles (FAO-AQUASTAT, 2015). Avec une disponibilité hydrique par habitant estimée à environ 500 m³ par an, soit en dessous du seuil de stress hydrique fixé à 1 000 m³ par l'Organisation mondiale de la santé, le pays est confronté à une pression croissante sur ses ressources agricoles et alimentaires (FAO-AQUASTAT, 2015 ; MADR, 2019).

Dans ce contexte de rareté des ressources et d'impératif de diversification des systèmes de production, l'aquaponie — système intégré combinant aquaculture et culture hydroponique — émerge comme une alternative particulièrement prometteuse (Diver, 2006 ; Rakocy et al., 2006). En recyclant jusqu'à 95 % de l'eau utilisée, en produisant simultanément des protéines animales et des légumes, et en s'affranchissant des contraintes pédologiques, l'aquaponie répond à plusieurs défis agricoles contemporains de façon simultanée (Graber & Junge, 2009 ; Goddek et al., 2016). À l'échelle internationale, des expériences probantes ont été conduites en Amérique du Nord, en Europe, en Australie et dans diverses régions arides du Proche-Orient, démontrant la viabilité technique et économique de ces systèmes dans des contextes diversifiés (Love et al., 2015 ; Goddek et al., 2019).

En Algérie, l'aquaponie reste un domaine très récent et peu documenté (Khechekhouche et al., 2020 ; Brahimi et al., 2021). Les premières initiatives académiques et opérationnelles ne dépassent pas une décennie d'existence, et la connaissance du potentiel de déploiement de ces systèmes dans les différentes régions du pays demeure limitée (MPECHE, 2020 ; FAO Algérie, 2018). La wilaya d'El Tarf, située au nord-est du pays, à la frontière tunisienne, représente un terrain d'étude particulièrement pertinent : dotée de ressources hydriques importantes (lac Tonga, oued El Kébir), d'une tradition agricole diversifiée et d'un tissu rural actif, elle offre des conditions potentiellement favorables à l'implantation de systèmes aquaponiques (MADR, 2019).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, qui vise à évaluer la faisabilité socioéconomique de l'introduction de systèmes aquaponiques dans les exploitations agricoles de la wilaya d'El Tarf, à travers une enquête de terrain auprès de 50 agriculteurs répartis dans quatre communes (Bouhadjar, El Sabaa, Aïn Assel et Aïn El Karma).

Objectifs du mémoire :

- Réaliser un état de l'art complet sur l'aquaponie, ses fondements biologiques, ses types de systèmes et les expériences internationales et algériennes.
- Évaluer le profil socioéconomique des agriculteurs et les caractéristiques structurelles de leurs exploitations.
- Mesurer le niveau de connaissance, de perception et d'acceptabilité de l'aquaponie auprès des agriculteurs enquêtés.
- Identifier les conditions et les obstacles à l'adoption de l'aquaponie dans le contexte spécifique de la wilaya d'El Tarf.
- Formuler des recommandations opérationnelles pour le développement d'une filière aquaponique locale viable.

Le mémoire est structuré en trois parties principales : la première est consacrée à la revue bibliographique (Chapitre I), la deuxième présente le matériel et la méthode de l'enquête (Chapitre II), et la troisième expose les résultats obtenus suivis de leur discussion approfondie (Chapitre III). Le document se clôt par une conclusion générale assortie de perspectives de recherche.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

L'aquaponie représente aujourd'hui l'une des approches les plus prometteuses pour répondre simultanément aux défis de la sécurité alimentaire mondiale, de la gestion durable des ressources en eau et du développement de systèmes de production intégrés et écologiquement rationnels. Ce chapitre se propose de dresser un état de l'art complet en abordant successivement les fondements conceptuels et biologiques de l'aquaponie, la diversité des systèmes existants, les expériences menées à l'échelle internationale, puis la situation spécifique de l'Algérie dans ce domaine en pleine émergence.

1. Définition et principes de l'aquaponie

1.1. Définition générale

Le terme *aquaponie* est un mot-valise formé de la contraction de *aquaculture* (élevage d'organismes aquatiques) et d'*hydroponie* (culture de plantes sans sol, en milieu aqueux). Il désigne un système de production alimentaire intégré dans lequel les effluents issus de l'élevage de poissons fournissent les nutriments nécessaires à la croissance des plantes, tandis que ces mêmes plantes filtrent et épurent l'eau qui est ensuite recyclée vers les bassins piscicoles (Rakocy et al., 2006 ; Somerville et al., 2014).

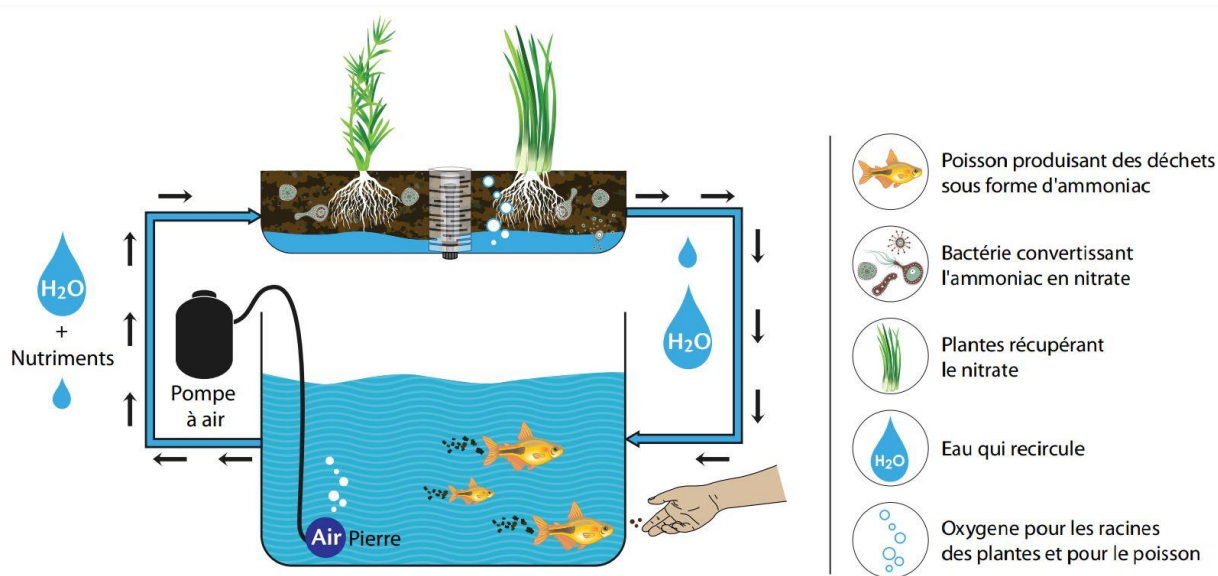


Figure 1 — Schéma d'un système aquaponique (Source : FAO)

Cette définition, bien qu'apparemment simple, recouvre une réalité biologique et technique d'une grande complexité. En effet, l'aquaponie repose sur l'établissement et le maintien d'un équilibre dynamique entre trois compartiments biologiques interdépendants : les poissons, les micro-organismes (principalement les bactéries nitrifiantes) et les plantes (Yep & Zheng, 2019). Toute perturbation de l'un de ces compartiments se répercute nécessairement sur les deux autres, ce qui confère à ces systèmes à la fois leur richesse et leur complexité de gestion.

Selon la définition proposée par la Food and Agriculture Organization (FAO), l'aquaponie peut être définie comme « *tout système qui combine l'aquaculture conventionnelle avec la culture hydroponique dans un environnement symbiotique* » (Somerville et al., 2014). Cette définition institutionnelle met en avant la notion de *symbiose*, qui est au cœur du fonctionnement de ces systèmes : chaque composante tire profit des autres, dans une logique de circularité et d'économie des ressources.

1.2. Principes biologiques fondamentaux

1.2.1. Le cycle de l'azote

Le cycle de l'azote constitue le processus biogéochimique central de tout système aquaponique. Les poissons excrètent leurs déchets métaboliques principalement sous forme d'ammoniac (NH_3) et d'ion ammonium (NH_4^+), deux formes azotées hautement toxiques pour les organismes aquatiques au-delà de certains seuils de concentration (Timmons & Ebeling, 2010). Sans mécanisme d'élimination efficace, l'accumulation de ces composés conduirait inévitablement à la mort des animaux d'élevage.

La détoxification de l'eau repose sur l'activité de deux groupes de bactéries chimioautotrophes, collectivement désignées sous le terme de bactéries nitrifiantes. Les bactéries du genre *Nitrosomonas* assurent la première étape de la nitrification en oxydant l'ammoniac en nitrite (NO_2^-), une réaction qui libère de l'énergie utilisée pour la fixation du dioxyde de carbone (Hagopian & Riley, 1998). Dans un second temps, les bactéries du genre *Nitrobacter* et *Nitrospira* transforment les nitrites en nitrates (NO_3^-), forme azotée beaucoup moins toxique et directement assimilable par les plantes (Rurangwa & Verdegem, 2015). Ce processus en deux étapes constitue la clé de voûte du fonctionnement aquaponique : sans une nitrification efficace, aucun équilibre durable n'est possible.

Les nitrates ainsi produits représentent la principale source d'azote pour les plantes cultivées en aquaponie. Absorbés par les racines, ils sont incorporés dans la biomasse végétale sous forme de protéines et d'acides aminés, ce qui permet simultanément d'assainir l'eau du système et de produire des végétaux à haute valeur nutritive (Rakocy, 2012). Ce transfert bidirectionnel de matière et d'énergie confère à l'aquaponie son caractère d'écosystème artificiel fondé sur les principes de l'économie circulaire.

1.2.2. Rôle des micro-organismes et du biofilm

Au-delà des bactéries nitrifiantes, la composante microbienne des systèmes aquaponiques est d'une diversité et d'une importance considérables. Les surfaces des substrats de culture, des canalisations et des bacs constituent des habitats propices à la colonisation par des communautés microbiennes complexes, structurées en biofilms plurispécifiques (Munguia-Fragozo et al., 2015). Ces biofilms jouent un rôle déterminant dans la minéralisation de la matière organique particulaire, la déphosphatation et la dégradation de composés potentiellement inhibiteurs.

Des travaux récents ont mis en évidence l'importance des bactéries hétérotrophes dans la décomposition des matières en suspension issues des fèces de poissons et des restes alimentaires non consommés. Cette minéralisation libère des macronutriments (phosphore, potassium, calcium, magnésium) et des micronutriments (fer, manganèse, zinc) essentiels à la croissance des plantes (Goddek et al., 2019). La gestion du biofilm représente donc un enjeu majeur pour l'optimisation des performances agronomiques et zootechniques des systèmes aquaponiques.

1.2.3. Les paramètres physicochimiques de l'eau

Le maintien de la qualité de l'eau dans des plages de valeurs compatibles avec la survie et la croissance optimale des poissons et des plantes représente l'un des défis techniques majeurs de l'aquaponie. Les principaux paramètres à surveiller sont la température, le pH, la concentration en oxygène dissous, la turbidité, la conductivité électrique ainsi que les concentrations en ammoniac total, nitrites, nitrates et phosphore (Lennard & Leonard, 2006 ; Endut et al., 2010).

Le pH constitue un paramètre particulièrement délicat à gérer en aquaponie, car les plages optimales diffèrent selon les compartiments biologiques. Les poissons tolèrent généralement un pH compris entre 6,5 et 8,5, les bactéries nitrifiantes sont les plus actives entre 7,0 et 8,0, et les plantes assimilent le mieux les nutriments à un pH voisin de 5,5 à 6,5 (Somerville et al., 2014). Un compromis à pH neutre (6,8–7,2) est généralement recherché pour satisfaire simultanément les exigences de chaque composante, même si cela implique une légère sous-optimalité pour chacune d'elles.

La température de l'eau conditionne à la fois le métabolisme des poissons, la vitesse des réactions de nitrification et la croissance des plantes. Des fluctuations thermiques trop importantes peuvent compromettre la stabilité du système, en particulier lors des saisons froides dans les régions à climat tempéré ou semi-aride (Goddek et al., 2019). La gestion thermique constitue ainsi un facteur dimensionnant pour la conception des infrastructures aquaponiques, notamment dans les contextes climatiques contraignants.

1.3. Avantages et limites de l'aquaponie

1.3.1. Avantages environnementaux et économiques

L'aquaponie présente un ensemble d'avantages environnementaux documentés qui la distinguent favorablement des systèmes de production conventionnels. En termes de consommation

hydrique, les systèmes aquaponiques recirculent jusqu'à 95 % de l'eau utilisée, réduisant considérablement les besoins en eau douce par rapport à l'agriculture irriguée traditionnelle (Turcios & Papenbrock, 2014). Cette caractéristique est particulièrement précieuse dans les régions arides ou semi-arides confrontées à une raréfaction des ressources hydriques.

L'absence d'herbicides et de pesticides chimiques dans les systèmes aquaponiques, rendue nécessaire par la toxicité potentielle de ces substances pour les poissons, conduit à la production d'aliments exempts de résidus phytosanitaires, en conformité avec les attentes croissantes des consommateurs pour des produits sains et naturels (Diver, 2006). Par ailleurs, l'utilisation des effluents piscicoles comme fertilisant naturel élimine le recours aux engrais de synthèse, réduisant ainsi l'empreinte carbone du système et les risques d'eutrophisation des milieux récepteurs.

Du point de vue économique, la double production simultanée de poissons et de légumes augmente la valeur ajoutée par unité de surface et d'eau utilisée par rapport aux monocultures aquacoles ou agricoles. Plusieurs études de cas réalisées en Amérique du Nord, en Europe et en Australie montrent que les systèmes aquaponiques bien conçus peuvent atteindre la rentabilité en deux à cinq ans, selon l'échelle de production, les espèces cultivées et les marchés ciblés (Love et al., 2015 ; Quagrainie et al., 2018).

1.3.2. Contraintes et limites

Malgré ses atouts indéniables, l'aquaponie est confrontée à plusieurs contraintes qui limitent sa diffusion à grande échelle. Les coûts d'investissement initiaux sont généralement élevés, en raison des équipements nécessaires (bassins, pompes, systèmes d'aération, substrats, serres) et de la complexité des installations (Tokunaga et al., 2015). Ces coûts constituent une barrière à l'entrée significative pour les petits producteurs et les agriculteurs des pays en développement.

La gestion des systèmes aquaponiques requiert des compétences pluridisciplinaires combinant aquaculture, agronomie, microbiologie et hydraulique, ce qui implique une formation spécifique des opérateurs (Konig et al., 2016). La complexité biologique du système le rend sensible aux perturbations ; une panne de pompe, une surchauffe ou une contamination pathogène peuvent entraîner la perte simultanée des poissons et des plantes, avec des conséquences économiques graves.

La gestion des pathologies représente également un défi spécifique : les traitements vétérinaires conventionnels par antibiotiques ou antiparasitaires chimiques sont souvent incompatibles avec la présence des plantes et des bactéries nitrifiantes. Cela impose le développement d'approches thérapeutiques alternatives, telles que la probiotique, la phytothérapie ou les thérapies immunostimulantes, dont l'efficacité en conditions aquaponiques reste à documenter plus complètement (Shinn et al., 2018).

2. Types de systèmes aquaponiques

La diversité des systèmes aquaponiques actuellement décrits dans la littérature scientifique et technique reflète la multiplicité des contextes d'application, des espèces cultivées et des objectifs poursuivis. Plusieurs typologies ont été proposées, fondées sur le design hydraulique, la densité d'élevage ou le degré d'intégration des composantes. On distingue généralement trois grands types de systèmes en fonction du design de la zone de croissance des plantes : les systèmes à lits de culture sur substrat (Media Bed), les systèmes à film nutritif (NFT) et les systèmes à radeaux flottants (DWC), auxquels s'ajoutent des approches hybrides et émergentes (Lennard & Leonard, 2006 ; Somerville et al., 2014).

2.1. Systèmes à lits sur substrat (Media Bed)

Les systèmes à lits sur substrat, également connus sous les appellations « gravel bed » ou « flood-and-drain », constituent la forme la plus ancienne et la plus répandue d'aquaponie, notamment à l'échelle des petits producteurs et des projets éducatifs ou communautaires (Rakocy et al., 2006). Le principe repose sur le remplissage de bacs de culture avec un substrat inerte (billes d'argile expansée, gravier volcanique, pouzzolane), sur lequel les plantes sont cultivées avec leurs racines immergées dans l'eau chargée en nutriments.

Le fonctionnement hydraulique de ces systèmes peut être continu (submersion permanente) ou intermittent (alternance de phases d'inondation et de drainage), la seconde modalité étant préférée car elle favorise une meilleure oxygénation des racines et du substrat, une dénitrification partielle en phase de drainage et une colonisation plus homogène par le biofilm nitrificateur (Lennard & Leonard, 2006). Le substrat joue un triple rôle : support mécanique des plantes, support de colonisation microbienne et milieu de filtration physique des matières en suspension.

Les principaux avantages des systèmes à substrat sont leur robustesse, leur relative simplicité de construction et de maintenance, leur excellente capacité de tampon biologique et leur compatibilité avec un large spectre d'espèces végétales, y compris les plantes à racines volumineuses (tomates, poivrons, concombres). Leurs inconvénients résident dans la colmatabilité progressive du substrat par les matières organiques, nécessitant des opérations de maintenance régulières, et dans leur masse relativement importante qui peut compliquer l'installation en structures légères (Somerville et al., 2014).

2.2. Systèmes à film nutritif (NFT – Nutrient Film Technique)

La technique du film nutritif, importée de l'hydroponie conventionnelle, consiste à faire circuler en continu un mince filet d'eau nutritive au fond de gouttières inclinées dans lesquelles sont positionnées les plantes, dont les racines baignent partiellement dans cette lame d'eau (Goddek et al., 2019). Cette technique est particulièrement adaptée à la culture de plantes à cycle court et à système racinaire peu développé (laitues, herbes aromatiques, épinards), qui trouvent dans ce mode de culture des conditions optimales de croissance.

Les avantages des systèmes NFT en aquaponie incluent leur légèreté, leur facilité de nettoyage et de désinfection, leur faible consommation d'eau et leur bonne maîtrise de la zone racinaire. Cependant, leur sensibilité aux pannes de pompe est un inconvénient majeur : en l'absence de circulation d'eau, les racines se dessèchent rapidement et les plantes peuvent périr en quelques heures. Par ailleurs, la faible capacité tampon du système et le risque de colmatage des gouttières par les biofilms et les particules fines imposent une surveillance accrue de la qualité de l'eau (Yep & Zheng, 2019).

2.3. Systèmes à radeaux flottants (DWC – Deep Water Culture)

Les systèmes à radeaux flottants, communément désignés par l'acronyme DWC (Deep Water Culture) ou « raft systems », sont basés sur la culture de plantes dans des panneaux de polystyrène expansé flottant à la surface de bassins peu profonds remplis d'eau nutritive oxygénée (Rakocy et al., 2006). Les plantes, maintenues dans des godets perforés insérés dans les panneaux, plongent leurs racines librement dans la solution nutritive. Ce design est largement utilisé dans les systèmes aquaponiques commerciaux de grande surface, notamment pour la production intensive de salades et de légumes-feuilles.

Le système DWC se distingue par sa productivité élevée par unité de surface, sa régularité de production, sa facilité de récolte mécanisable et sa bonne stabilité physicochimique liée au volume important d'eau en circulation (Lennard & Leonard, 2006). Le volume d'eau constitue cependant aussi une contrainte : le temps de montée en charge biologique est plus long, et la gestion thermique de grands volumes peut être coûteuse en énergie dans les régions à forte amplitude thermique saisonnière.

2.4. Systèmes découplés et hybrides

Face aux limites des systèmes conventionnels, une nouvelle génération de systèmes découplés (« decoupled aquaponics ») a été développée ces dernières années (Goddek et al., 2016). Contrairement aux systèmes couplés dans lesquels poissons et plantes partagent la même eau, les systèmes découplés maintiennent des circuits hydrauliques distincts pour chaque composante, permettant d'optimiser indépendamment les conditions pour les poissons et pour les plantes. Cette approche ouvre des perspectives inédites pour la gestion des nutriments, notamment par l'incorporation d'un réacteur anaérobie pour la minéralisation des boues, permettant la récupération de phosphore et d'autres éléments normalement perdus dans les systèmes couplés (Goddek et al., 2019).

Les systèmes hybrides combinant plusieurs technologies (par exemple, un lit sur substrat comme biofiltre primaire associé à des radeaux flottants pour la production végétale intensive) gagnent en popularité car ils capitalisent sur les avantages respectifs de chaque approche tout en compensant leurs inconvénients (Maucieri et al., 2018). L'intégration croissante de l'automatisation, des capteurs connectés et de l'intelligence artificielle dans la gestion de ces systèmes constitue une tendance de fond qui devrait accélérer leur déploiement commercial dans

les prochaines années.

2.5. Aquaponie en contexte vertical et urbain

L'agriculture verticale et urbaine représente un nouveau champ d'application de l'aquaponie qui suscite un intérêt croissant dans le contexte de l'urbanisation mondiale accélérée et de la demande de produits locaux et frais (Benke & Tomkins, 2017). Des fermes aquaponiques verticales ont été développées dans des entrepôts désaffectés, des conteneurs maritimes et des bâtiments spécialement conçus, permettant une production alimentaire intensive et localisée, indépendante des conditions climatiques extérieures. Ces systèmes, souvent associés à l'éclairage artificiel à LED et au contrôle climatique, représentent la forme la plus avancée de l'agriculture de précision, mais aussi la plus énergivore et la plus capitalistique.

3. Expériences internationales

L'aquaponie a connu un développement mondial significatif au cours des trois dernières décennies, avec des trajectoires d'adoption et des modèles de développement très contrastés selon les régions du monde. Un tour d'horizon des expériences internationales permet de dégager les facteurs de succès et les obstacles récurrents, offrant des enseignements précieux pour les pays qui, comme l'Algérie, s'engagent dans le développement de cette filière.

3.1. Amérique du Nord

Les États-Unis et le Canada ont joué un rôle pionnier dans le développement de l'aquaponie commerciale et de la recherche académique dans ce domaine. Les travaux de James Rakocy à l'Université des Îles Vierges (University of the Virgin Islands, UVI), conduits à partir des années 1980, ont posé les bases théoriques et pratiques de la conception des systèmes aquaponiques commerciaux en boucle fermée, avec une attention particulière portée à la gestion du rapport poissons/plantes et aux cinétiques de nitrification (Rakocy et al., 2006).

Aux États-Unis, la filière aquaponique commerciale a connu une croissance rapide dans les années 2010, stimulée par la demande de produits biologiques locaux et par le soutien de programmes publics et privés d'innovation agroalimentaire. Une enquête nationale réalisée en 2015 recensait plus de 250 exploitations aquaponiques aux États-Unis, produisant principalement des salades, des herbes aromatiques et des tilapias (Love et al., 2015). La majorité de ces exploitations sont de taille petite à moyenne et commercialisent leurs produits en circuits courts, notamment via les marchés fermiers et la restauration locale.

Au Canada, le développement de l'aquaponie a été soutenu par plusieurs universités et centres de recherche, avec des initiatives notables en Ontario, en Colombie-Britannique et au Québec. Le froid canadien a conduit au développement de systèmes spécifiquement adaptés aux hivers rigoureux, intégrant des solutions de géothermie et d'isolation avancée pour réduire les coûts énergétiques (Graber & Junge, 2009).

3.2. Europe

L'Europe a connu un développement significatif de l'aquaponie au cours de la dernière décennie, porté par les politiques communautaires en faveur de l'agriculture durable et de l'économie circulaire. Le programme COST Action FA1305, financé par l'Union Européenne, a joué un rôle structurant en fédérant les équipes de recherche européennes autour de questions communes relatives aux systèmes aquaponiques et en produisant une revue encyclopédique de référence (Goddek et al., 2019).

En Allemagne, le réseau ASTAF-PRO, développé par le Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei de Berlin, a mis au point des systèmes aquaponiques découplés à haute intensité, associant la production de truites arc-en-ciel en recirculation à la culture de légumes sous serre chauffée. Ces systèmes ont démontré leur viabilité technique et économique dans des conditions climatiques froides, avec des niveaux de productivité et d'efficacité hydrique comparables aux systèmes horticoles conventionnels (Kloas et al., 2015).

Les Pays-Bas, leaders mondiaux de l'horticulture sous serre, ont naturellement investi le domaine de l'aquaponie avec des approches très technologiques et capitalistiques, s'appuyant sur leur maîtrise de la culture hydroponique en conditions contrôlées. Des projets pilotes combinant l'élevage de poissons-chats africains (*Clarias gariepinus*) avec la culture de tomates, de poivrons et de basilic ont été réalisés avec des résultats prometteurs en termes de qualité de produits et d'économies d'eau et d'intrants (Graber & Junge, 2009).

En France, l'aquaponie reste un secteur émergent mais en croissance, soutenu par des structures d'accompagnement telles que l'Institut Technique de l'Aviculture (ITAVI) et diverses associations professionnelles. Des fermes aquaponiques commerciales ont été créées notamment en Île-de-France, en Bretagne et en région lyonnaise, ciblant des marchés de niche urbains et périurbains (Maucieri et al., 2018). La législation française relative à l'aquaculture et à la production végétale impose des contraintes réglementaires spécifiques qui ont ralenti le développement commercial de la filière, mais des avancées significatives ont été réalisées ces dernières années.

3.3. Australie et Océanie

L'Australie est l'un des pays où l'aquaponie a connu le développement le plus précoce et le plus documenté, notamment sous l'impulsion de la sécheresse récurrente qui frappe le continent et rend particulièrement attractifs les systèmes d'économie d'eau. Le groupe de recherche de l'Université de la Nouvelle-Galles du Sud (UNSW) et de l'Université de Western Sydney a contribué de manière significative à la compréhension des mécanismes de l'aquaponie et à la mise au point de systèmes adaptés aux conditions climatiques australiennes (Lennard & Leonard, 2006).

La ferme aquaponique de Windgrove, en Tasmanie, est l'une des premières exploitations australiennes à avoir démontré la viabilité économique d'une production aquaponique commerciale à base de truites et de légumes, en commercialisant ses produits en circuits courts et

sous label biologique. L'Australie dispose aujourd'hui d'un tissu dynamique de petites et moyennes entreprises aquaponiques, d'associations professionnelles actives et de programmes universitaires dédiés à la formation en aquaponie.

3.4. Asie et Afrique

En Asie, des pays comme la Chine, la Thaïlande et le Bangladesh ont développé des approches d'aquaponie adaptées à leurs contextes agricoles traditionnels. La rizipisciculture, pratiquée depuis des millénaires en Asie du Sud-Est, peut être considérée comme une forme ancestrale d'aquaponie : les carpes élevées dans les rizières contribuent à la fertilisation des cultures de riz tout en se nourrissant des insectes et des mauvaises herbes (FAO, 2010). Cette pratique traditionnelle a inspiré des chercheurs contemporains qui cherchent à en optimiser les performances productives et environnementales.

En Chine, des projets aquaponiques de grande envergure ont été mis en place dans le cadre des politiques nationales de développement de l'aquaculture durable, avec des investissements publics et privés considérables dans la recherche et l'infrastructure (Yep & Zheng, 2019). Les universités chinoises ont publié un nombre croissant de travaux sur l'aquaponie dans les grandes revues scientifiques internationales, témoignant de l'importance accordée à ce secteur dans la stratégie de modernisation agricole chinoise.

En Afrique sub-saharienne, l'aquaponie suscite un intérêt croissant comme solution potentielle aux défis de la sécurité alimentaire, de la gestion de l'eau et du développement rural. Plusieurs organisations non gouvernementales et projets de coopération internationale ont soutenu des initiatives aquaponiques en Afrique du Sud, au Kenya, en Ouganda et au Zimbabwe, avec des résultats variables selon le niveau d'adaptation aux contextes locaux et la durabilité des modèles économiques proposés (Mchau et al., 2018).

3.5. Moyen-Orient et régions arides

Les régions arides et semi-arides constituent des terrains particulièrement pertinents pour le déploiement de l'aquaponie en raison de la raréfaction de l'eau douce et des conditions climatiques défavorables à l'agriculture pluviale. Des expériences ont été conduites en Israël, en Jordanie, aux Émirats Arabes Unis et en Égypte, pays confrontés à des problèmes aigus de stress hydrique.

Des fermes aquaponiques commerciales produisant des poissons et des légumes avec des consommations d'eau extrêmement faibles ont été mises en place dans le Néguev et dans la vallée du Jourdain (Turcios & Papenbrock, 2014). En Égypte, des projets soutenus par des organisations internationales ont cherché à intégrer l'aquaponie dans les systèmes de production des petits agriculteurs du delta du Nil, en combinant l'élevage de tilapias avec la culture de légumes à haute valeur marchande (Mchau et al., 2018).

4. Situation en Algérie

4.1. Contexte agricole et hydraulique

L'Algérie, avec une superficie de 2,38 millions de km² dont environ 80 % de zones arides et sahariennes, est confrontée à des défis majeurs en matière de ressources en eau et de sécurité alimentaire. Les disponibilités en eau douce par habitant, estimées à environ 500 m³ par an, se situent nettement en dessous du seuil de stress hydrique fixé à 1 000 m³ par habitant et par an par la Banque Mondiale (FAO-AQUASTAT, 2015). Cette rareté structurelle de l'eau est aggravée par les effets du changement climatique, qui se traduisent par une réduction des précipitations, une augmentation des températures et une intensification des épisodes de sécheresse.

Sur le plan agricole, l'Algérie importe une part significative de ses besoins alimentaires, notamment en céréales, en légumineuses et en produits laitiers, ce qui expose le pays à des risques de vulnérabilité alimentaire liés aux fluctuations des cours mondiaux et aux crises d'approvisionnement. Le développement d'une agriculture nationale intensive, économe en eau et à haute productivité représente donc un enjeu stratégique de première importance pour les autorités algériennes (MADR, 2019).

Le secteur de l'aquaculture algérienne est en cours de développement accéléré sous l'impulsion du plan national de développement de la pêche et de l'aquaculture. La production aquacole nationale, dominée par la salmoniculture en milieu marin et la production de moules et d'huîtres, reste modeste par rapport au potentiel identifié. L'aquaculture continentale, fondée sur l'élevage de carpes et de tilapias dans des bassins en terre ou des cages flottantes sur les barrages, représente un secteur en expansion mais encore insuffisamment structuré (MPECHE, 2020).

4.2. Initiatives et projets aquaponiques

L'aquaponie en Algérie est un domaine très récent dont le développement structuré ne dépasse pas une décennie. Les premières initiatives documentées ont été conduites dans un cadre universitaire et de recherche appliquée, notamment au sein des facultés des sciences agronomiques et des sciences biologiques des universités d'Alger, de Constantine, d'Oran et de Tizi-Ouzou. Ces travaux pionniers ont porté principalement sur l'évaluation de la faisabilité technique de systèmes aquaponiques à petite échelle en conditions climatiques algériennes, avec des espèces localement disponibles (Brahimi et al., 2021).

Plusieurs thèses de doctorat et mémoires de master soutenues dans des universités algériennes au cours des dernières années ont contribué à documenter le potentiel et les contraintes de l'aquaponie dans le contexte national. Ces travaux ont notamment testé des combinaisons espèces-variétés adaptées aux conditions climatiques locales, évalué des substrats alternatifs à faible coût élaborés à partir de matériaux locaux (tuf volcanique, briques concassées, pouzzolane algérienne) et analysé les bilans énergétiques de différentes configurations systémiques.

Au niveau opérationnel, des unités pilotes d'aquaponie ont été installées dans le cadre de projets

de coopération internationale dans plusieurs wilayas du nord du pays. Des organisations comme la FAO et le PNUD ont soutenu des projets de démonstration aquaponique intégrés dans des programmes plus larges de développement rural et de renforcement de la sécurité alimentaire locale (FAO Algérie, 2018). Ces projets ont eu un effet de sensibilisation important auprès des agriculteurs, des techniciens et des décideurs locaux.

4.3. Cadre institutionnel et réglementaire

Le développement de l'aquaponie en Algérie se heurte à l'absence d'un cadre réglementaire spécifique et clairement défini. Les systèmes aquaponiques se situent à l'intersection de plusieurs secteurs réglementés (pêche et aquaculture, agriculture et productions végétales, eau et assainissement, santé publique et alimentation) sans être couverts explicitement par aucune réglementation sectorielle existante, ce qui génère des incertitudes juridiques pour les porteurs de projets (MADR, 2019).

Le Ministère de la Pêche et des Productions Halieutiques (MPPH) et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR) ont tous deux vocation à réguler des aspects de l'aquaponie, mais leurs champs de compétence respectifs ne sont pas articulés de façon cohérente pour couvrir les systèmes intégrés. Cette lacune réglementaire est perçue comme un frein au développement commercial de la filière et à l'accès aux financements bancaires et aux aides publiques, qui requièrent généralement un cadre juridique stabilisé.

Sur le plan du financement, plusieurs dispositifs publics de soutien à l'entrepreneuriat agricole et agroalimentaire, tels que l'ANJEM (Agence Nationale pour la Gestion du Microcrédit), l'ANSEJ (Agence Nationale de Soutien à l'Emploi des Jeunes) et le FNRDA (Fonds National de Régulation et de Développement Agricole), sont théoriquement mobilisables pour des projets aquaponiques. Cependant, l'insuffisance de références technico-économiques locales et la méconnaissance de la filière par les agents de ces organismes rendent difficile l'accès effectif à ces financements (Khechekhouché et al., 2020).

4.4. Potentiel et perspectives

Malgré les contraintes évoquées, le potentiel de développement de l'aquaponie en Algérie est considérable. Le pays dispose d'atouts naturels importants, notamment une longue tradition d'aquaculture dans certaines régions littorales et continentales, un ensoleillement exceptionnel favorable à la production végétale sous serre, des ressources en eaux thermales et géothermales susceptibles d'alimenter des systèmes aquaponiques à faible coût énergétique, et une demande intérieure croissante pour des produits alimentaires frais et de qualité (Khechekhouché et al., 2020).

La région des Hauts Plateaux et les zones présahariennes, caractérisées par une abondance de rayonnement solaire et des températures favorables en saison chaude, ainsi que par des besoins criants en production alimentaire locale, représentent des territoires particulièrement appropriés pour l'implantation de systèmes aquaponiques adaptés. L'intégration de l'énergie solaire

photovoltaïque pour alimenter les pompes et les systèmes d'aération constitue une perspective particulièrement pertinente dans le contexte algérien, où le programme national d'énergies renouvelables crée un cadre favorable au déploiement de ces solutions (Brahimi et al., 2021).

Le développement d'une filière aquaponique algérienne structurée passe nécessairement par plusieurs conditions préalables : le renforcement des capacités de recherche et de formation dans les universités et instituts techniques, la mise en place d'un cadre réglementaire adapté, le développement de références technico-économiques fiables dans les conditions algériennes, et la structuration d'une filière professionnelle regroupant producteurs, fournisseurs d'intrants et d'équipements, et acteurs de la commercialisation (MADR, 2019). Ces défis représentent autant d'opportunités pour la recherche académique nationale, dont ce travail espère contribuer à la dynamique.

CHAPITRE II MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Cadre géographique et zone d'étude

La présente étude a été conduite dans la wilaya d'El Tarf, située à l'extrémité nord-est de l'Algérie, en bordure de la frontière tunisienne et du littoral méditerranéen. Cette région se distingue par la présence du lac Tonga et du parc national d'El Kala, classé réserve de biosphère par l'UNESCO, conférant à la zone une richesse écologique et hydrologique particulière.

Du point de vue agro-écologique, la wilaya bénéficie d'un climat méditerranéen sub-humide, caractérisé par des précipitations relativement abondantes (700 à 900 mm/an), des étés chauds et des hivers doux. Le tissu rural est dominé par une agriculture traditionnelle diversifiée (céréaliculture, maraîchage, élevage bovin et ovin), ainsi que par des activités de pêche artisanale sur le littoral et les plans d'eau intérieurs. La disponibilité en ressources hydriques, bien que variable selon les saisons, et l'existence d'une population agricole active font de cette wilaya un terrain d'étude privilégié pour évaluer la faisabilité socioéconomique de systèmes de production innovants, notamment les systèmes aquaponiques intégrés.

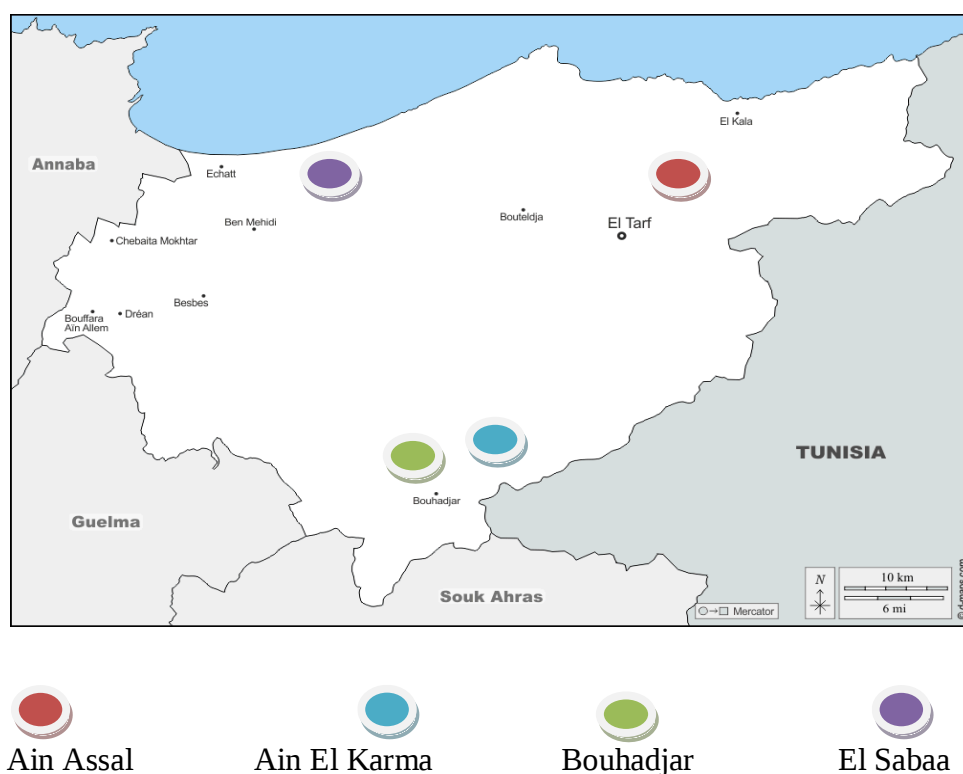


Figure 2 — Carte de la zone d'étude et localisation des quatre sites d'enquête dans la Wilaya d'El Tarf (Source : <https://www.d-maps.com>)

Sites d'étude et échantillonnage

L'échantillon total est composé de 50 agriculteurs, sélectionnés par choix raisonné et boule de neige, répartis dans quatre communes de la wilaya d'El Tarf. La répartition par commune est présentée dans le Tableau 1 et la Figure 1.

Tableau 1 – Répartition des sites d'étude et de l'échantillon

Commune	Nombre d'agriculteurs enquêtés	Pourcentage (%)
Bouhadjar	33	66
Aïn El Karma	7	14
El Sabaa	5	10
Aïn Assel	5	10
TOTAL	50	100

2. Type d'étude et approche méthodologique

Cette étude s'inscrit dans une démarche descriptive et analytique à visée évaluative. Elle mobilise une approche mixte combinant :

- une composante quantitative, fondée sur l'administration d'un questionnaire structuré auprès d'un échantillon de la population rurale agricole ;
- une composante qualitative, issue de l'analyse des perceptions, des représentations sociales et des attitudes vis-à-vis de l'innovation technologique en milieu rural.

Ce positionnement épistémologique se justifie par la nature de l'objet d'étude : l'aquaponie constitue une technologie encore peu diffusée dans le contexte algérien, ce qui implique que les données quantitatives doivent être contextualisées par des éléments interprétatifs issus des représentations des acteurs.

3. Population cible et stratégie d'échantillonnage

3.1 Définition de la population cible

La population cible de cette enquête est constituée des agriculteurs et éleveurs exerçant en milieu rural dans la wilaya d'El Tarf, qu'ils soient propriétaires ou exploitants de terres agricoles, et susceptibles d'être concernés par l'introduction de pratiques agro-aquacoles intégrées.

3.2 Méthode d'échantillonnage

Compte tenu de l'absence d'une base de sondage exhaustive et actualisée, il a été recouru à un échantillonnage raisonné (ou intentionnel), complété par une technique de proche en proche (boule de neige). Ce choix méthodologique est justifié par :

- la dispersion géographique de la population cible sur l'ensemble du territoire de la wilaya ;
- l'hétérogénéité des profils socioprofessionnels ;
- les contraintes pratiques liées à l'accès aux exploitations rurales isolées.

Les enquêtés ont été contactés via les chambres d'agriculture locales, les directions des services agricoles (DSA), ainsi que par réseau social et institutionnel de proximité.

3.3 Taille de l'échantillon

La taille de l'échantillon a été fixée à 50 agriculteurs, déterminée sur la base d'un échantillonnage non probabiliste combinant le choix raisonné et la technique boule de neige. Ce choix est justifié par le caractère exploratoire de la présente étude, la délimitation géographique restreinte à quatre communes de la wilaya d'El Tarf, ainsi que les contraintes logistiques et de terrain inhérentes à ce type d'investigation en milieu rural. En effet, dans le cadre d'études exploratoires de faisabilité portant sur des innovations agricoles peu connues, un échantillon de cette taille est considéré comme suffisant pour dégager des tendances significatives et des orientations interprétatives (Rogers, 2003 ; Danner et al., 2021).

4. Instrument de collecte des données

4.1 Présentation générale du questionnaire

L'instrument principal de collecte est un questionnaire structuré, administré en face-à-face par l'enquêteur. Il a été conçu pour être accessible à des répondants de niveaux d'instruction variés, avec des formulations simples et des modalités de réponse fermées ou semi-fermées. Le questionnaire se compose de sept axes thématiques, pour un total de 24 items, et requiert environ 15 à 20 minutes de passation.

Le questionnaire a été élaboré en français, puis traduit oralement en arabe dialectal (darija) lors des entretiens afin de garantir la compréhension et la validité des réponses recueillies auprès des enquêtés peu familiers de la langue écrite.

4.2 Structure et axes thématiques

Le tableau ci-dessous synthétise l'architecture du questionnaire, les variables mesurées et les modalités de réponse associées :

Tableau 2 : Synthèse de la structure du questionnaire, des variables mesurées et des modalités de réponse correspondantes

Axe thématique	Variables / Items	Type de réponse
Axe 1 Infos générales	Âge, sexe, niveau d'instruction, expérience agricole	Choix multiple (CM)
Axe 2 Exploitation	Type d'activité, superficie, source d'eau, pratique aquacole antérieure	CM / Oui–Non
Axe 3 Connaissance	Notoriété de l'aquaponie, niveau de connaissance, perception des bénéfices hydriques	CM / Échelle ordinale
Axe 4 Faisabilité écon.	Perception du coût, intention d'investissement, conditions facilitatrices, impact revenu	CM / Likert 4 pts
Axe 5 Acceptabilité soc.	Obstacles (formation, traditions), adhésion à des projets pilotes	Oui–Non / Peut-être
Axe 6 Intention d'adoption	Intérêt pour un projet aquaponique, conditions d'adoption	CM / Question ouverte
Axe 7 Éval. globale	Contribution au développement rural, soutien agricole reçu, stress hydrique, intérêt global (échelle 1–5)	Likert 5 pts / CM

4.3 Types d'échelles de mesure

Plusieurs types d'échelles ont été mobilisés selon la nature des variables :

- Échelles nominales : pour les variables sociodémographiques (sexe, type d'activité) et les réponses binaires (oui/non).
- Échelles ordinales : pour les variables d'expérience, de superficie et de niveau d'instruction.
- Échelles de Likert à 4 et 5 points : pour les variables de perception, d'attitude et d'intention, permettant de mesurer l'intensité des opinions selon un continuum allant de « pas du tout » à « beaucoup » (ou de 1 à 5).
- Question ouverte : pour recueillir librement les obstacles perçus à l'introduction de l'aquaponie (Axe 7, dernier item).

4.4 Pré-test et validation du questionnaire

Avant le déploiement en conditions réelles, le questionnaire a fait l'objet d'un pré-test auprès d'un panel réduit de 10 à 15 individus représentatifs de la population cible. Ce pré-test a permis de vérifier :

- la clarté et l'intelligibilité des items ;
- l'adéquation des modalités de réponse proposées ;
- la durée effective de passation ;
- l'absence d'ambiguïté ou de double sens dans la formulation des questions.

Les ajustements nécessaires ont été apportés à l'issue de cette phase avant la collecte définitive des données.

5. Protocole de collecte des données

5.1 Modalités d'administration

L'enquête a été conduite selon la modalité d'entretien directif en face-à-face, jugée la plus adaptée au contexte rural algérien, eu égard aux caractéristiques socio-linguistiques de la population enquêtée. L'enquêteur lisait chaque question à voix haute et cochant les réponses sur une fiche papier standardisée.

Tableau 3: Modalité de conduite de l'enquête et protocole de collecte des données

Période d'enquête	Du 01 janvier au 01 mars
Lieu	Communes rurales de la wilaya d'El Tarf
Mode d'administration	Face-à-face (entretien directif)
Supports	Questionnaire papier, fiche d'enregistrement
Durée par entretien	15 à 20 minutes environ

5.2 Éthique de la recherche et confidentialité

Avant chaque entretien, les participants ont été informés de l'objectif scientifique de l'étude, de l'anonymat des données collectées, et du caractère volontaire de leur participation. Un consentement oral explicite a été recueilli. Aucune donnée permettant l'identification individuelle des répondants n'a été conservée dans la base de données finale.

5.3 Contrôle de la qualité des données

Un contrôle de cohérence a été effectué sur chaque questionnaire à l'issue de la collecte, afin d'identifier et d'écarter les questionnaires incomplets (moins de 80 % de réponses

valides) ou présentant des incohérences manifestes. Les données ont ensuite été saisies dans un tableur structuré (Microsoft Excel), puis exportées vers le logiciel d'analyse statistique.

6. Méthodes d'analyse statistique

L'analyse des données a été conduite en plusieurs étapes progressives, articulant statistiques descriptives, tests d'associations et, le cas échéant, une analyse multivariée.

Tableau 4 : Démarche méthodologique d'analyse des données et approches statistiques utilisées

Objectif analytique	Méthode statistique	Logiciel
Description des variables	Statistiques descriptives (fréquences, pourcentages, moyennes, écarts-types)	Excel
Représentation graphique	Diagrammes en barres, camemberts, histogrammes	Excel
Associations entre variables catégo.	Test du Chi-deux (χ^2) de Pearson	SPSS
Mesure de l'intensité des liens	Coefficient V de Cramér, phi	SPSS
Comparaison de moyennes	Test de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis (non paramétriques)	SPSS
Identification de profils	Analyse en Composantes Principales (ACP) ou Classification Hiérarchique	SPSS
Analyse des réponses libres	Analyse de contenu thématique	Manuel

Le seuil de significativité retenu pour l'ensemble des tests statistiques est fixé à $\alpha = 0,05$. Les résultats dont le p-value est inférieur à ce seuil sont considérés comme statistiquement significatifs.

Pour les variables de l'échelle de Likert, la cohérence interne des items regroupés en dimensions latentes (par exemple : « perception de l'aquaponie », « intention d'adoption ») a été vérifiée par le calcul du coefficient alpha de Cronbach. Une valeur $\alpha \geq 0,70$ est considérée comme un seuil d'acceptabilité satisfaisant (Nunally, 1978).

7. Opérationnalisation des variables

Sur la base du questionnaire et des objectifs de recherche, les principales variables de l'étude ont été opérationnalisées comme suit :

7.1 Variables indépendantes (explicatives)

- Profil sociodémographique : âge (4 classes), sexe (binaire), niveau d'instruction (4 niveaux), expérience agricole (3 classes).
- Caractéristiques de l'exploitation : type d'activité, superficie, source d'eau, pratique antérieure de l'aquaculture.

7.2 Variables dépendantes (à expliquer)

- Niveau de connaissance de l'aquaponie : score composite issu des réponses aux items de l'axe 3.
- Faisabilité économique perçue : perception du coût d'installation, disponibilité à investir, impact anticipé sur le revenu.
- Acceptabilité sociale : perception des obstacles culturels et formatifs à l'adoption.
- Intention d'adoption : intérêt déclaré pour un projet aquaponique, conditions d'adoption.
- Niveau d'intérêt global : variable ordinale (échelle 1–5) synthétisant l'attitude générale vis-à-vis de l'aquaponie.

8. Limites méthodologiques

Comme toute démarche d'enquête en sciences sociales, cette étude présente un certain nombre de limites qu'il convient de signaler afin d'orienter l'interprétation des résultats :

- Biais de désirabilité sociale : certains répondants peuvent avoir tendance à formuler des réponses jugées « socialement acceptables » plutôt qu'à exprimer leurs opinions réelles, notamment sur des sujets liés à la modernisation agricole.
- Limites de la technique d'échantillonnage : le recours à un échantillonnage non probabiliste ne permet pas de généraliser strictement les résultats à l'ensemble de la population agricole de la wilaya.
- Méconnaissance de l'aquaponie : la faible notoriété du système auprès d'une partie de la population enquêtée peut avoir induit des biais de réponse sur les items de perception et d'intention.
- Caractère déclaratif des données : l'enquête mesure des intentions et des perceptions, non des comportements observés. Un écart entre intention déclarée et comportement réel doit être anticipé.

Ces limites ont été partiellement atténuées par la conduite d'entretiens en face-à-face, permettant à l'enquêteur d'apporter des explications sur le concept d'aquaponie avant de solliciter les réponses aux axes de perception et d'intention.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Profil socio-démographique et caractéristiques des exploitations agricoles

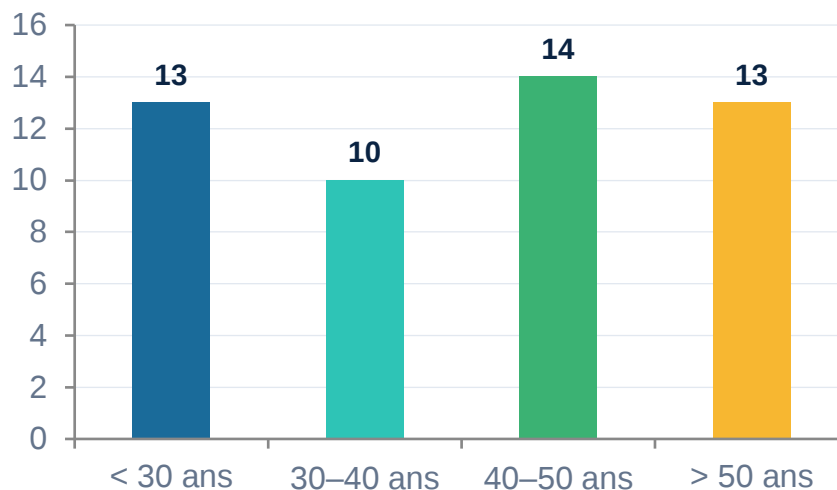


Figure 3— Répartition des enquêtés selon la tranche d'âge

L'analyse de la structure démographique des 50 agriculteurs enquêtés dans la wilaya d'El Tarf révèle une distribution relativement homogène entre les différentes tranches d'âge. Les agriculteurs de 40 à 50 ans constituent la catégorie la plus représentée avec 28 % de l'échantillon, suivis de près par les moins de 30 ans et les plus de 50 ans (26 % chacun), tandis que le groupe 30–40 ans représente 20 %. Cette répartition équilibrée indique que l'agriculture dans cette région mobilise des actifs à toutes les étapes de la vie professionnelle. Toutefois, la part non négligeable des jeunes agriculteurs (26 %) est un signal encourageant pour l'introduction de technologies innovantes comme l'aquaponie, dans la mesure où les jeunes sont généralement plus réceptifs aux nouvelles pratiques agro-technologiques (Klerkx et al., 2019). À l'inverse, la présence significative d'agriculteurs expérimentés souligne la nécessité d'adapter les programmes de vulgarisation aux profils et aux habitudes des praticiens les plus âgés.

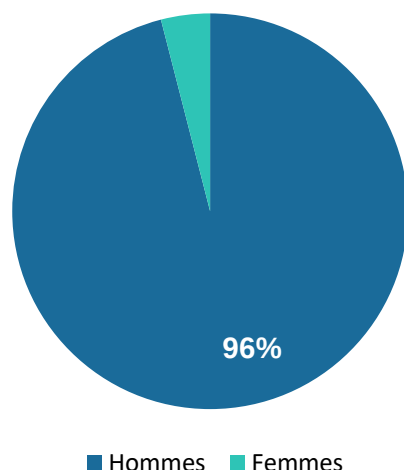


Figure 4— Répartition des enquêtés selon le genre

La composition de l'échantillon est très fortement masculine, avec 96 % d'hommes contre seulement 4 % de femmes. Ce résultat reflète la réalité structurelle du secteur agricole dans les zones rurales algériennes, où les femmes restent très minoritaires dans les activités de production formalisées et dans les enquêtes de terrain (FAO, 2020). Bien que cette prédominance masculine puisse limiter la généralisation des conclusions à l'ensemble de la population agricole de la wilaya, elle constitue néanmoins un reflet fidèle du tissu socioprofessionnel agricole local. Dans une perspective d'introduction de l'aquaponie, il convient de souligner que les femmes, lorsqu'elles sont impliquées dans l'agriculture périurbaine ou les systèmes de production à petite échelle, représentent souvent des vecteurs d'adoption technologique efficaces, ce qui plaide pour des efforts spécifiques d'inclusion dans les futurs programmes pilotes.

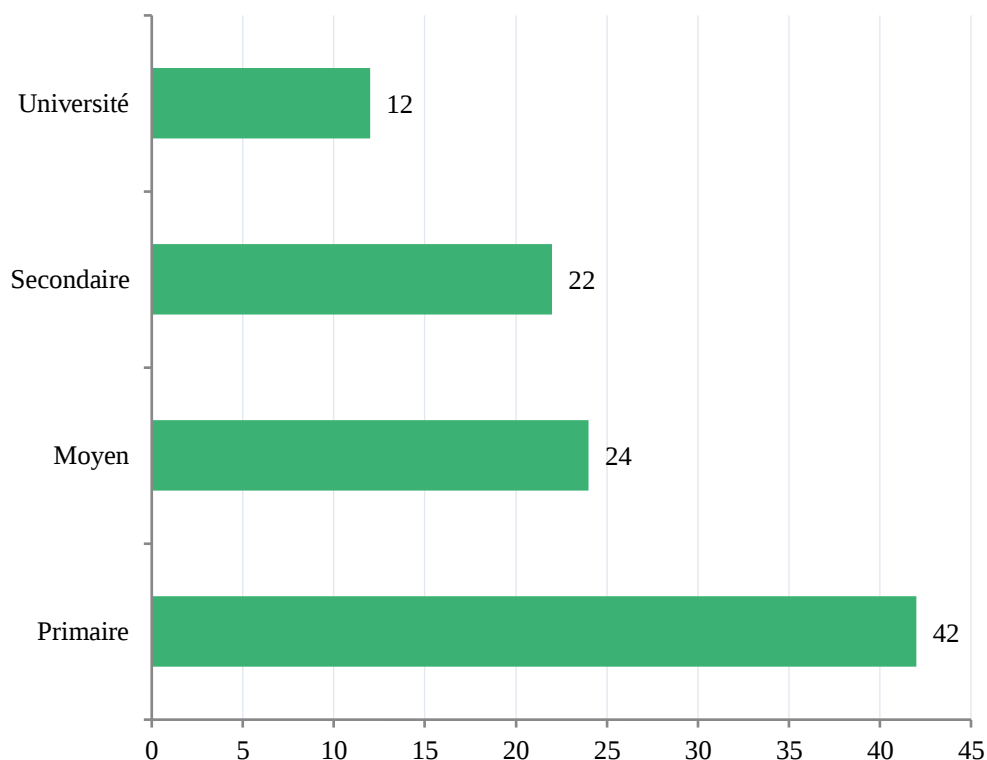


Figure 5 — Répartition des enquêtés selon le niveau d'instruction

La structure éducative de la population enquêtée est dominée par le niveau primaire (42 %), suivi du niveau moyen (24 %), secondaire (22 %) et enfin universitaire (12 %). La majorité des agriculteurs (66 %) possède donc un niveau d'instruction inférieur au secondaire, ce qui constitue un défi majeur pour la diffusion de technologies complexes comme l'aquaponie. Ces résultats sont cohérents avec les données nationales sur le capital humain dans le milieu rural algérien, où les taux de scolarisation restent en deçà des moyennes urbaines (ONS, 2022). Un faible niveau d'instruction ne constitue pas en soi un obstacle insurmontable à l'adoption technologique, mais il implique de concevoir des supports de formation pratiques, visuels et en langue locale, et de prévoir un accompagnement technique soutenu sur le terrain pour pallier les difficultés de compréhension des aspects biotechniques du système aquaponique.

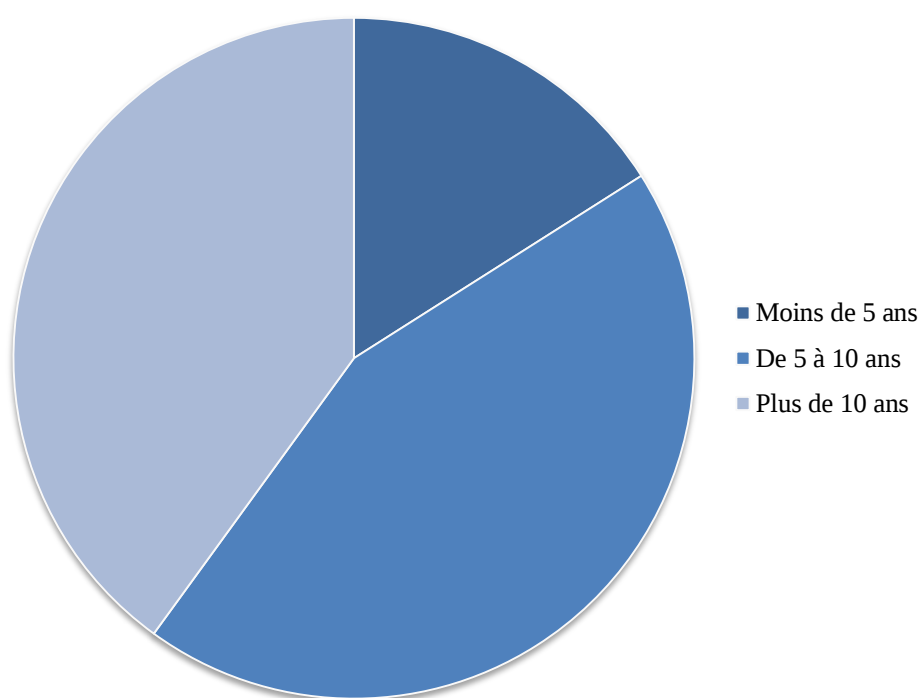


Figure 6 — Répartition des enquêtés selon l'expérience agricole

L'expérience agricole des répondants est globalement significative : 40 % exercent depuis plus de dix ans et 44 % depuis cinq à dix ans, tandis que seulement 16 % ont moins de cinq ans d'expérience. Ce capital d'expérience est à double tranchant dans le cadre de l'adoption de l'aquaponie. D'un côté, les agriculteurs expérimentés disposent d'une maîtrise des contraintes agronomiques locales, de compétences en gestion de l'eau et d'une connaissance des marchés locaux, autant d'atouts mobilisables dans un projet aquaponique. De l'autre, une longue expérience dans des pratiques conventionnelles peut engendrer une certaine résistance au changement, notamment lorsque les systèmes proposés s'écartent radicalement des pratiques habituelles (Rogers, 2003). L'approche d'introduction devra donc intégrer les savoirs faire existants plutôt que de les supplanter.

2. Caractéristiques structurelles des exploitations agricoles

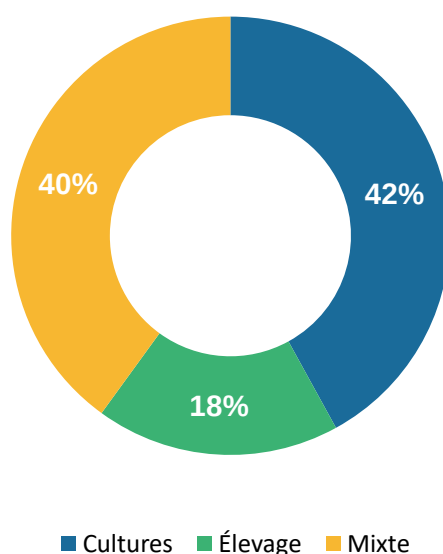


Figure 7 — Répartition des enquêtés selon l'activité principale

Les activités agricoles pratiquées se répartissent entre les grandes cultures (42 %), les systèmes mixtes (40 %) et l'élevage (18 %). La forte proportion de systèmes mixtes est particulièrement pertinente pour l'évaluation de la faisabilité de l'aquaponie, car ces exploitations combinent déjà des productions végétales et animales, et leurs exploitants sont a priori familiarisés avec la gestion de la complexité technico-économique inhérente aux systèmes intégrés. La prépondérance des grandes cultures s'explique par les conditions pédo-climatiques favorables de la plaine d'El Tarf, mais également par l'orientation historique des politiques agricoles vers les céréales et les légumes. L'aquaponie, en tant que système intensif hors-sol, viendrait en complément ou en alternative partielle à ces pratiques, notamment sur de petites surfaces exploitables.

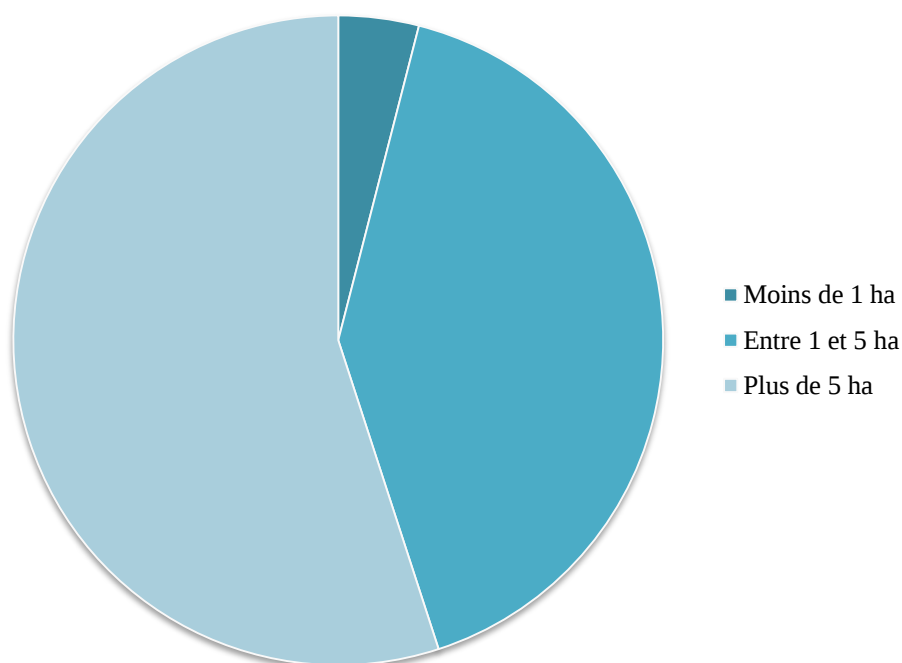


Figure 8 — Répartition des enquêtés selon la superficie de l'exploitation

La structure foncière de l'échantillon montre que 55 % des exploitants disposent de plus de 5 hectares et 41 % entre 1 et 5 hectares, tandis que seulement 4 % exploitent moins d'un hectare. Cette répartition est favorable à l'introduction de l'aquaponie, dans la mesure où les unités de production aquaponique peuvent être installées sur des superficies réduites (de quelques dizaines de mètres carrés à quelques milliers de mètres carrés) et ne requièrent pas d'importantes surfaces agricoles. Les exploitations de grande taille offrent en outre la possibilité d'intégrer l'aquaponie comme activité complémentaire, tout en conservant les activités principales existantes. Cette flexibilité constitue un levier important pour la première phase d'expérimentation et de démonstration.

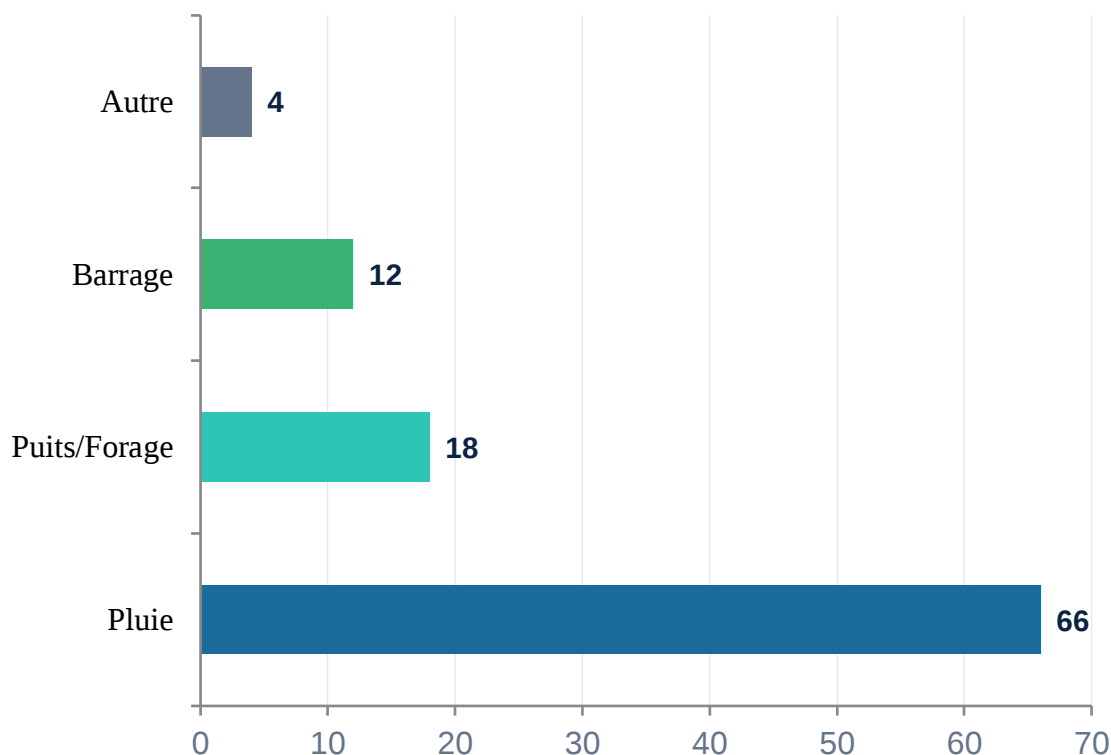


Figure 9 — Répartition des enquêtés selon la source d'eau principale

Les sources d'eau utilisées par les agriculteurs enquêtés sont principalement les eaux de pluie (66 %), suivies des puits/forages (18 %), des barrages (12 %) et d'autres sources (4 %). La forte dépendance à l'eau de pluie révèle une vulnérabilité structurelle face aux aléas climatiques et souligne l'intérêt potentiel de l'aquaponie, système à très haute efficacité hydrique. En effet, l'aquaponie recycle en circuit fermé jusqu'à 90 à 95 % de l'eau utilisée, ce qui en fait une alternative particulièrement adaptée aux contextes où la disponibilité en eau est incertaine ou saisonnière (Goddek et al., 2019). Paradoxalement, cette dépendance à l'eau pluviale rend l'introduction de systèmes économes en eau encore plus urgente et pertinente dans ce contexte régional.

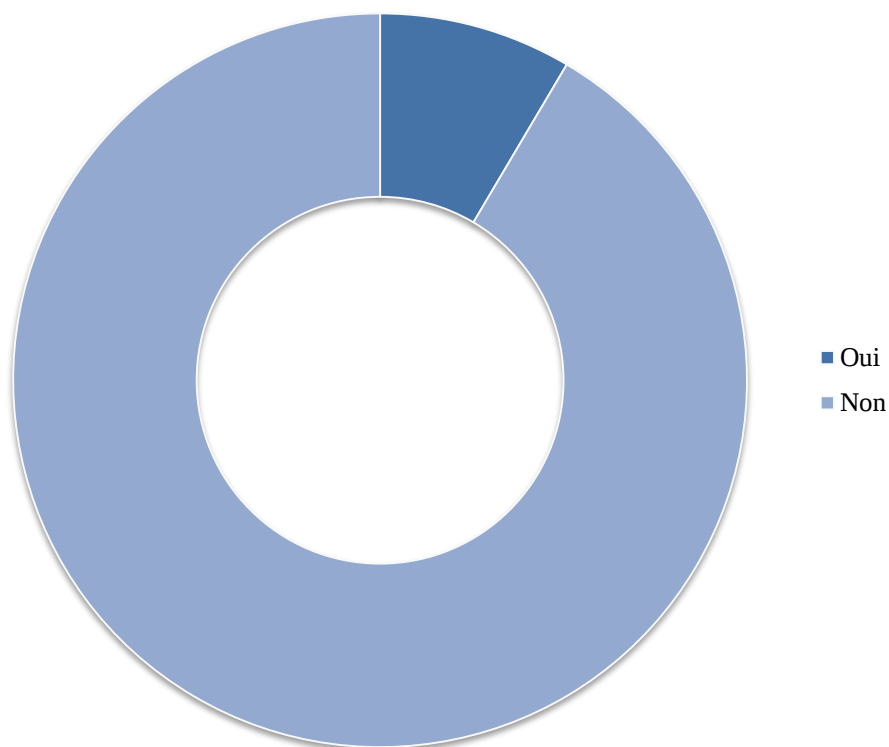


Figure 10 — Pratique antérieure de l'aquaculture

La quasi-totalité des enquêtés (91,5 %) n'a jamais pratiqué l'aquaculture, contre seulement 8,5 % ayant une expérience préalable dans ce domaine. Ce résultat met en évidence la quasi-inexistence d'une culture aquacole dans la région d'El Tarf, malgré la proximité de ressources hydriques importantes (lac Tonga, oued El Kébir). L'absence d'expérience aquacole constitue un obstacle supplémentaire à l'adoption de l'aquaponie, qui intègre précisément un volet piscicole. Des programmes de formation spécifiques à la gestion des espèces piscicoles (alimentation, qualité de l'eau, densité de charge) seront indispensables pour pallier ce déficit de compétences et accompagner les futurs adoptants potentiels.

3. Connaissance et perception de l'aquaponie



Figure 11 — Notoriété préalable de l'aquaponie parmi les enquêtés

La grande majorité des agriculteurs enquêtés (78 %) n'avait jamais entendu parler de l'aquaponie avant le passage de l'enquêteur, et seulement 22 % en avaient une connaissance préalable. Ce résultat illustre le faible niveau de diffusion de l'information relative aux technologies agro-aquacoles innovantes dans les milieux ruraux algériens. Il témoigne également de l'insuffisance des canaux de vulgarisation agricole, notamment en ce qui concerne les systèmes de production alternatifs. Ce constat constitue un point de départ essentiel pour toute stratégie de promotion de l'aquaponie dans la wilaya : avant même d'envisager l'adoption, un travail de sensibilisation et d'information de masse s'impose, en mobilisant aussi bien les médias locaux que les structures de conseil agricole (ITMAS, DSA, chambres d'agriculture).

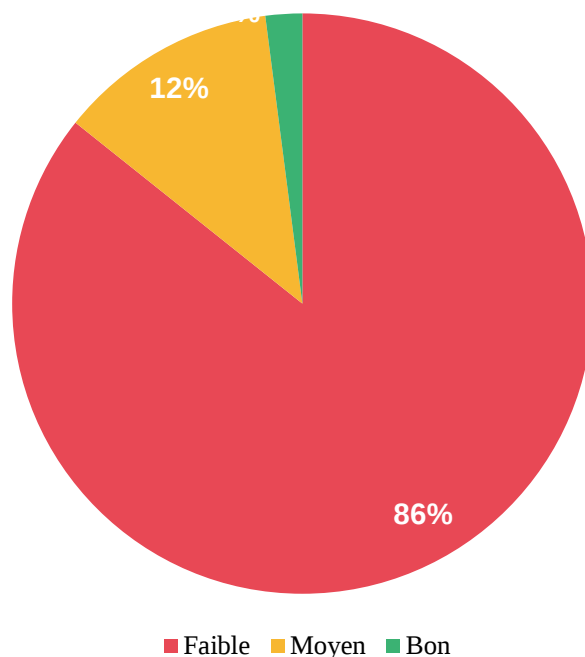


Figure 12 — Niveau de connaissance de l'aquaponie

Parmi les 49 répondants ayant renseigné cette question, 85,7 % déclarent un niveau de connaissance faible, 12,2 % un niveau moyen, et seulement 2 % un bon niveau de connaissance de l'aquaponie. Ce quasi-vide informationnel est cohérent avec les données de notoriété : même ceux qui ont entendu parler de l'aquaponie ne la connaissent que superficiellement. Ce résultat renforce l'argument en faveur d'un programme de formation structuré et progressif, articulé autour de modules pratiques de démonstration (fermes pilotes) et théoriques (principes biologiques, technologiques, économiques). L'approche formation-démonstration a prouvé son efficacité dans des contextes similaires en Afrique du Nord et au Proche-Orient pour l'introduction de technologies agricoles à faible niveau d'adoption initiale (Doss, 2006).

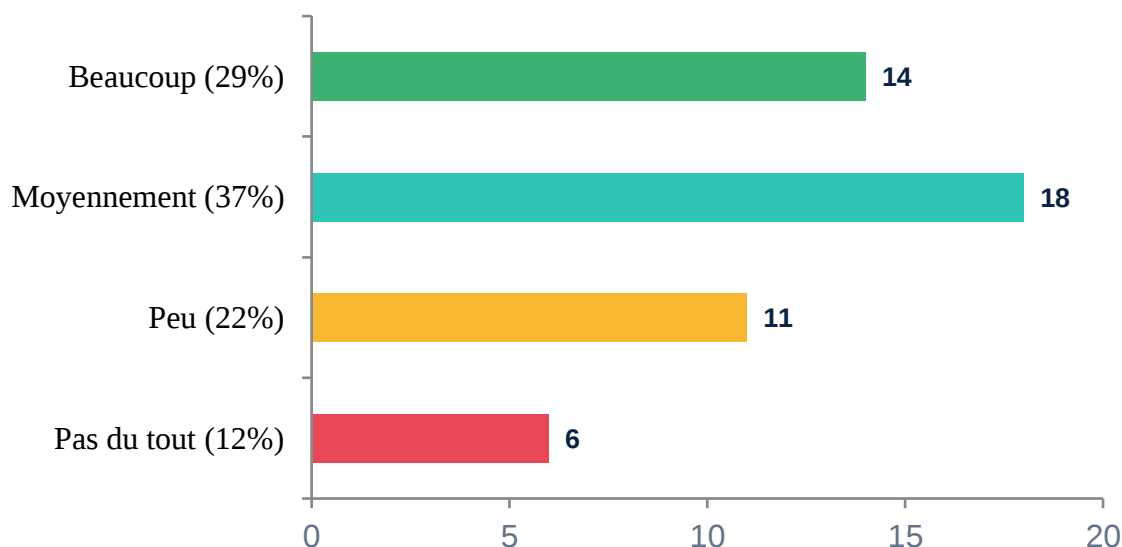


Figure 13 — Perception de l'aquaponie quant à l'amélioration de l'efficacité hydrique

Bien que leur niveau de connaissance soit limité, les agriculteurs perçoivent positivement le potentiel de l'aquaponie en matière d'efficacité hydrique : 36,7 % estiment qu'elle améliore modérément l'utilisation de l'eau, 28,6 % pensent qu'elle l'améliore beaucoup, et seulement 12,2 % ne lui attribuent aucun bénéfice hydrique. Ce résultat est particulièrement encourageant : il révèle que même sans connaissance approfondie du système, les agriculteurs sont capables d'anticiper intuitivement ses avantages hydriques, sans doute en extrapolant à partir de leur propre expérience des contraintes en eau. Cette perception favorable représente un levier important pour la communication et la sensibilisation futures, car l'économie d'eau constitue un argument de vente fort dans une région où 38 % des agriculteurs déclarent connaître des pénuries d'eau.

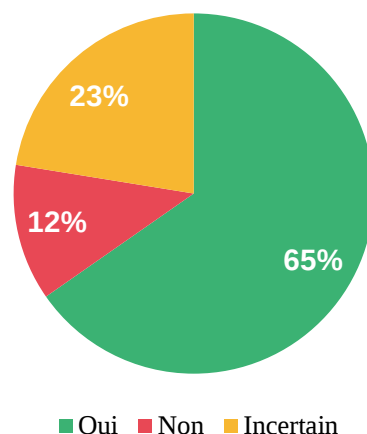


Figure 14 — Adéquation de l'aquaponie au contexte rural d'El Tarf

Une majorité relative de 65,3 % des répondants considère que l'aquaponie est adaptée aux zones rurales comme El Tarf, contre 12,2 % qui pensent le contraire et 22,4 % qui se déclarent incertains. Cette perception favorable à l'implantation locale est un signal positif pour la faisabilité sociale du projet. Le taux relativement élevé d'incertitude (22,4 %) s'explique vraisemblablement par le manque d'information sur les contraintes techniques et économiques réelles du système. Ces résultats concordent avec les travaux de Maucieri et al. (2018), qui montrent que les populations rurales des régions méditerranéennes sont globalement favorables à l'introduction de systèmes agroécologiques innovants, à condition d'être informées et accompagnées de manière adéquate.

4. Faisabilité économique perçue et disposition à investir

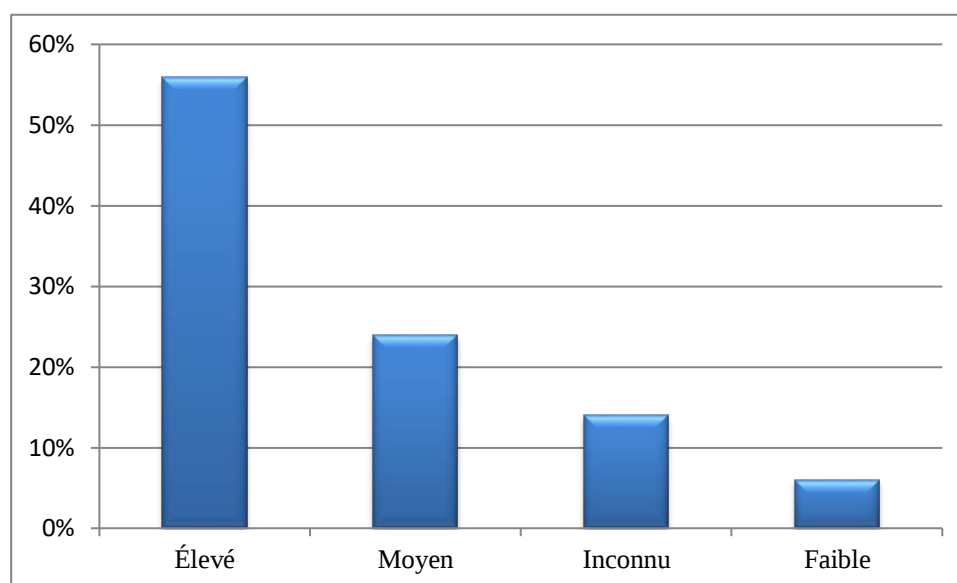


Figure 15 — Perception du coût d'installation d'un système aquaponique

La perception du coût d'installation est dominée par la réponse « élevé » (56 %), suivie de « moyen » (24 %), « inconnu » (14 %) et « faible » (6 %). Cette perception d'un coût élevé constitue l'un des obstacles les plus significatifs à l'adoption de l'aquaponie dans la région. Elle est cohérente avec la réalité des investissements nécessaires : un système aquaponique de taille semi-commerciale requiert effectivement un investissement initial non négligeable, qui peut représenter une barrière à l'entrée majeure pour des agriculteurs à revenus limités. Toutefois, des dispositifs de cofinancement (microcrédits agricoles, subventions FNDIA) et l'optimisation des coûts par l'utilisation de matériaux locaux pourraient significativement réduire cette perception de cherté et rendre le système économiquement accessible.

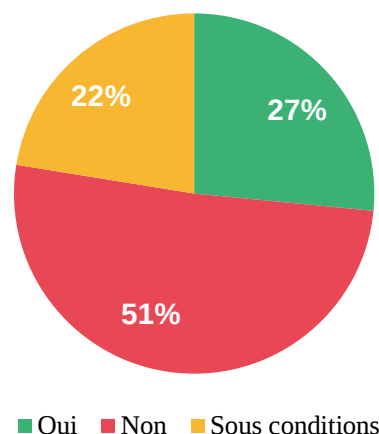


Figure 16 — Disposition à investir dans l'aquaponie

La disposition à investir dans un système aquaponique révèle une répartition tripartite : 51 % des enquêtés refusent d'investir, 26,5 % sont disposés à le faire et 22,4 % l'envisagent sous certaines conditions. Le taux de refus majoritaire est directement corrélé à la perception d'un coût élevé et à la méconnaissance du potentiel économique réel du système. En revanche, la somme des répondants ouverts à l'investissement (avec ou sans conditions) atteint 48,9 %, ce qui représente un réservoir potentiel de porteurs de projets non négligeable. Ce résultat suggère qu'avec des incitations financières appropriées et une démonstration convaincante de la rentabilité du système, la disposition à investir pourrait significativement progresser. Des études menées dans des contextes comparables au Maroc et en Tunisie montrent en effet que la démonstration pratique de la rentabilité est le principal facteur de révision à la hausse de la disposition à investir dans les innovations agro-technologiques (Berahmand & Gharbi, 2021).

Relations entre variables économiques : corrélations de Spearman

L'analyse des corrélations de Spearman entre les variables économiques clés apporte un éclairage complémentaire sur les dynamiques sous-jacentes à l'intention d'adoption. Une corrélation significative et positive est observée entre le niveau d'intérêt général pour l'aquaponie et la perception de son potentiel d'amélioration des revenus agricoles ($\rho = 0,340$; $p = 0,018$). Ce résultat confirme que la rationalité économique est un moteur central de l'intérêt pour l'aquaponie : les agriculteurs qui anticipent un gain économique tendent à exprimer un intérêt nettement plus élevé pour le système. Cette relation est cohérente avec les travaux de Quagrainie et al. (2018), qui placent la rentabilité perçue au premier rang des déterminants de l'intention d'adoption de l'aquaponie dans les populations agricoles non initiées.

Par ailleurs, la corrélation de Spearman entre la perception du coût d'installation et la disposition à investir est négative et significative ($\rho = -0,295$; $p = 0,040$) : plus le coût est perçu comme élevé, moins la disposition à investir est forte, ce qui confirme quantitativement ce que les statistiques descriptives suggéraient qualitativement. Enfin, la relation entre le niveau d'intérêt général et la disposition à investir est également significative ($\rho = -0,305$; $p = 0,035$), dans le sens attendu : un intérêt plus fort est associé à une meilleure ouverture à l'investissement. Ces trois corrélations convergentes dessinent un modèle explicatif cohérent : c'est la combinaison d'un intérêt cognitif pour le système et d'une anticipation positive de ses retombées économiques qui détermine la disposition à engager des ressources financières, tandis que la perception d'un coût prohibitif agit comme frein structurel à cette même disposition.

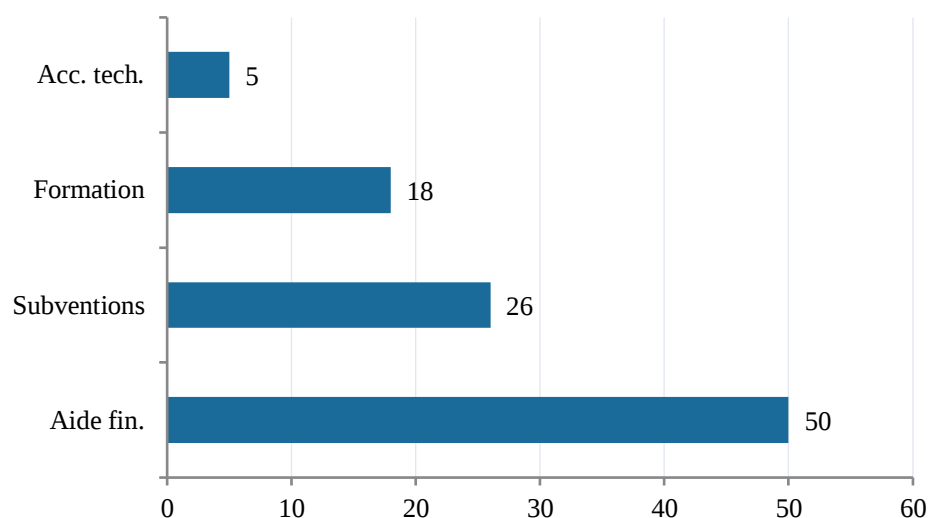


Figure 17 — Conditions facilitant l'investissement en aquaponie

Parmi les 38 répondants ayant précisé les conditions qui faciliteraient leur investissement, l'aide financière arrive en tête (50 %), suivie des subventions (26,3 %), de la formation (18,4 %) et de l'accompagnement technique (5,3 %). La prédominance de l'aide financière et des subventions dans les conditions citées confirme que la contrainte économique est la principale barrière à l'adoption de l'aquaponie dans la wilaya d'El Tarf. Ce résultat appelle à une action politique forte en faveur du soutien financier à l'innovation agricole, notamment par l'extension des dispositifs ANSEJ/ANADE au secteur agro-aquacole et la mise en place d'un fonds régional d'expérimentation agricole. La demande de formation (18,4 %) vient renforcer le constat de déficit de compétences techniques évoqué précédemment.

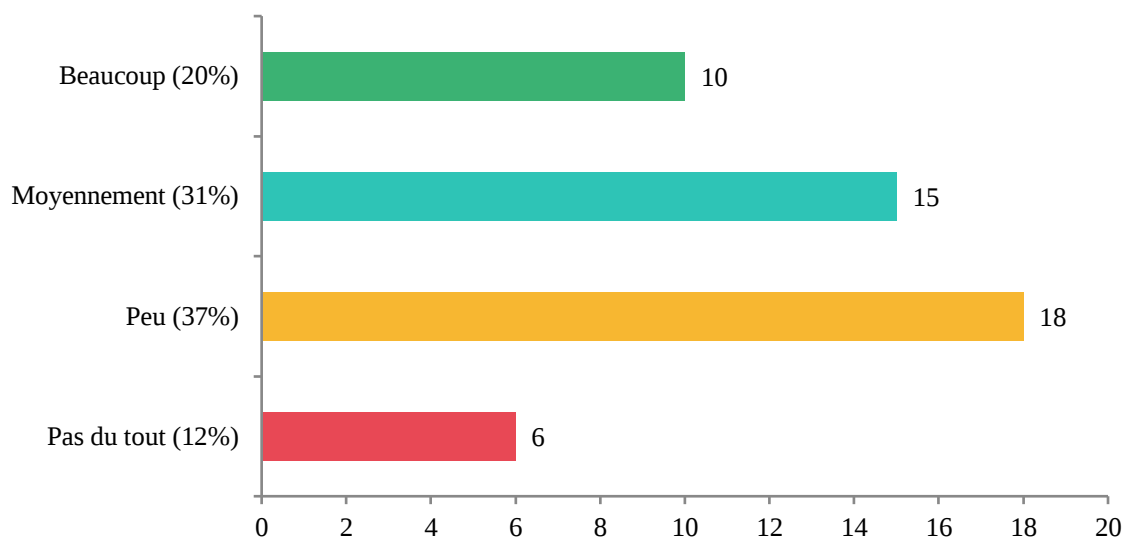


Figure 18— Potentiel perçu de l'aquaponie à améliorer les revenus agricoles

Concernant l'impact potentiel de l'aquaponie sur les revenus agricoles, 36,7 % des enquêtés estiment qu'elle améliorerait « légèrement » les revenus, 30,6 % « modérément » et 20,4 % « beaucoup », tandis que 12,2 % pensent qu'elle n'aurait aucun effet. Globalement, 87,8 % des répondants reconnaissent donc un potentiel économique à l'aquaponie, ce qui est significativement positif compte tenu du faible niveau de connaissance préalable. Cette perception favorable s'explique probablement par la diversification des sources de revenus qu'implique le système (vente de poissons et de légumes) et la valorisation de surfaces réduites. Ces résultats sont en cohérence avec les études de rentabilité publiées, qui indiquent que les systèmes aquaponiques bien gérés peuvent générer des marges brutes significativement supérieures à l'agriculture conventionnelle sur des surfaces équivalentes (Tokunaga et al., 2015).

Associations entre variables sociodémographiques et disposition à investir (Chi-deux)

L'examen des associations entre les variables sociodémographiques et la disposition à investir dans un système aquaponique révèle un résultat statistiquement significatif pour le niveau d'instruction. Le test du Chi-deux de Pearson indique en effet une association significative entre le niveau d'instruction et la disposition à investir ($\chi^2 = 13,202$; ddl = 6 ; $p = 0,040$; V de Cramér = 0,274), traduisant un effet de taille modéré selon les critères de Cohen (1988). L'analyse du tableau croisé confirme cette tendance : parmi les agriculteurs de niveau universitaire, 83,3 % (5 sur 6) se déclarent disposés à investir, contre seulement 14,3 % (3 sur 21) chez ceux de niveau primaire, qui constituent la catégorie la plus

réfractaire (57,1 % de refus). Les niveaux secondaire et moyen occupent des positions intermédiaires, avec respectivement 27,3 % et 16,7 % de répondants favorables à l'investissement. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Doss (2006) qui montrent que le capital humain, mesuré par le niveau d'instruction, est l'un des prédicteurs les plus robustes de l'intention d'adoption des technologies agricoles innovantes dans les pays en développement. En revanche, les tests du Chi-deux ne révèlent pas d'association statistiquement significative entre la disposition à investir et l'âge ($\chi^2 = 9,869$; $p = 0,130$), ni entre cette même variable et l'expérience agricole ($\chi^2 = 2,430$; $p = 0,657$), ce qui suggère que ce sont davantage les ressources cognitives que le capital d'expérience pratique qui déterminent l'ouverture à l'investissement dans une innovation aussi peu connue que l'aquaponie.

5. Acceptabilité sociale et contraintes à l'adoption

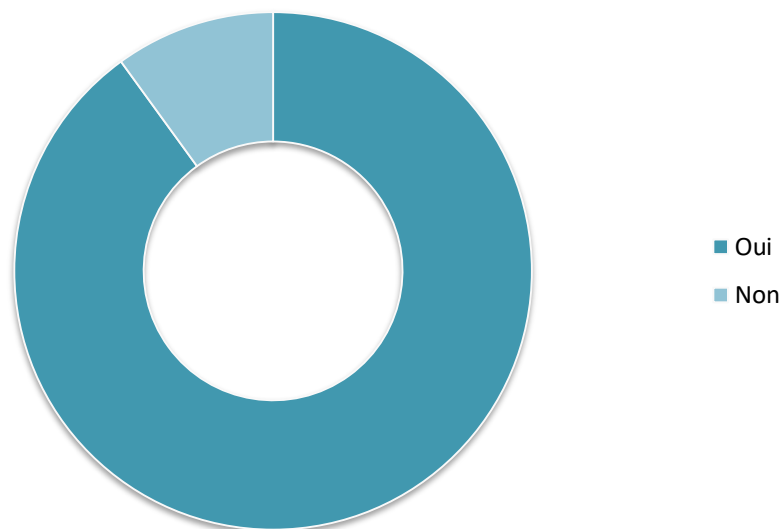


Figure 19— Le manque de formation comme obstacle à l'adoption de l'aquaponie

La quasi-totalité des enquêtés (90 %) reconnaît que le manque de formation constitue un obstacle majeur à l'adoption de l'aquaponie. Ce résultat est l'un des plus univoques de l'enquête et valide pleinement l'hypothèse selon laquelle le déficit de compétences techniques est le principal frein à la diffusion des technologies aquaponiques dans les zones rurales. Cette perception est d'autant plus significative que les agriculteurs l'expriment en connaissance de cause, c'est-à-dire sur la base de leur propre expérience de l'apprentissage de nouvelles techniques. Elle appelle à la mise en place urgente d'un dispositif de formation multiforme, alliant sessions théoriques, visites de fermes pilotes, formation par les pairs (farmer-to-farmer) et accompagnement technique post-installation.

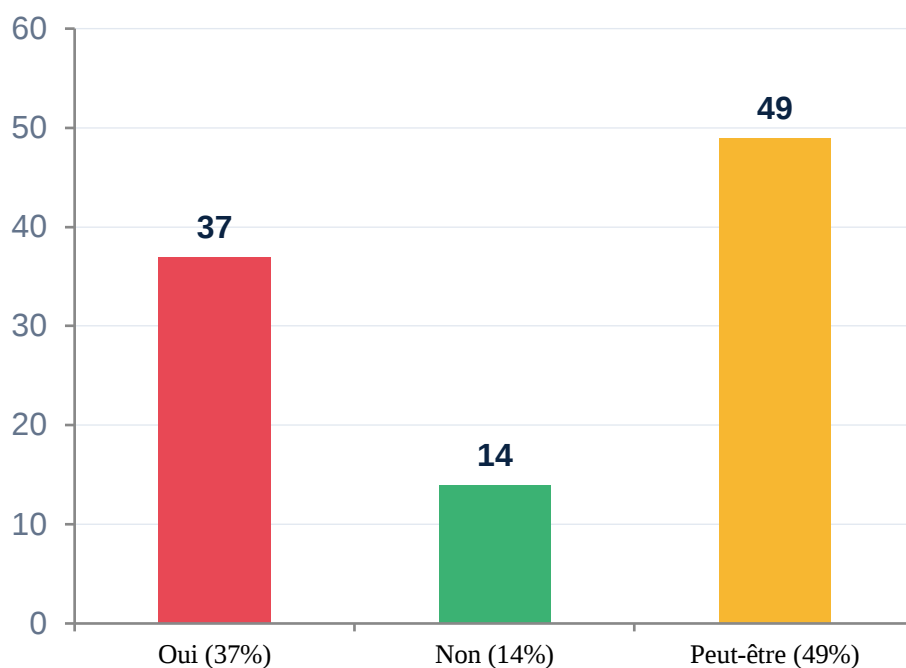


Figure 20 — Influence des traditions agricoles sur l'adoption de l'aquaponie

La question de l'influence des traditions agricoles sur l'adoption révèle une distribution nuancée : 48,9 % répondent « peut-être », 36,7 % « oui » et 14,3 % « non ». Ce résultat met en évidence une ambivalence significative des agriculteurs vis-à-vis du poids des habitudes culturelles dans leur processus décisionnel. Le fort taux de réponse « peut-être » suggère que les traditions ne sont pas perçues comme un obstacle absolu, mais plutôt comme un facteur de friction dont l'influence dépend du contexte et des modalités de présentation du nouveau système. Ces résultats rejoignent les conclusions de Lamine & Bellon (2009) sur la transition agroécologique, qui soulignent que les pratiques traditionnelles peuvent être mobilisées comme leviers plutôt que comme obstacles, à condition d'adopter une approche dialogique et participative.

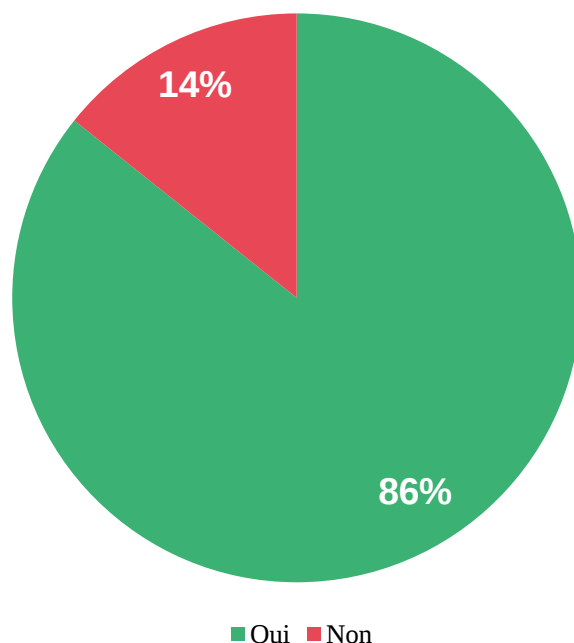


Figure 21 — Soutien aux projets pilotes d'aquaponie dans la région

La grande majorité des enquêtés (85,7 %) se déclare favorable à la mise en place de projets pilotes d'aquaponie dans leur région, contre seulement 14,3 % qui s'y opposent. Ce niveau de soutien élevé est remarquable et constitue un capital social favorable à l'expérimentation locale. Il indique que, même en l'absence de connaissance approfondie du système, la population agricole d'El Tarf est ouverte à l'expérimentation et à la nouveauté, du moins dans le cadre protégé d'un projet piloté par les institutions. Ce résultat est pleinement cohérent avec la théorie des systèmes d'innovation agricole (CGIAR, 2012), qui postule que l'appui des acteurs locaux aux projets pilotes est un préalable indispensable à toute stratégie de déploiement à plus grande échelle.

6. Intention d'adoption et conditions de développement

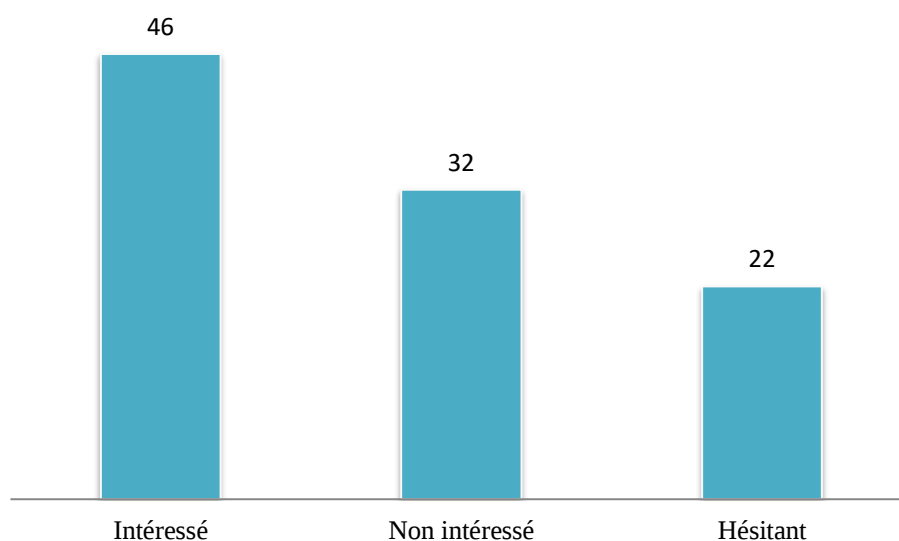


Figure 22 — Intérêt pour l'aquaponie si un projet est proposé à El Tarf

En cas de proposition d'un projet concret d'aquaponie à El Tarf, 46 % des enquêtés se déclarent intéressés, 32 % non intéressés et 22 % hésitants. Ces résultats révèlent un potentiel d'adoption non négligeable : presque la moitié de la population enquêtée exprime un intérêt direct pour participer à un tel projet. Combinés aux 22 % d'indécis, susceptibles d'être convaincus par une démonstration probante et un accompagnement adéquat, la base potentielle d'adoptants précoces pourrait atteindre près de 70 % de la population cible. Ce résultat est considérablement plus optimiste que les chiffres d'adoption observés pour des technologies similaires dans d'autres régions méditerranéennes au stade initial de diffusion, ce qui augure favorablement de la faisabilité sociale du projet à El Tarf.

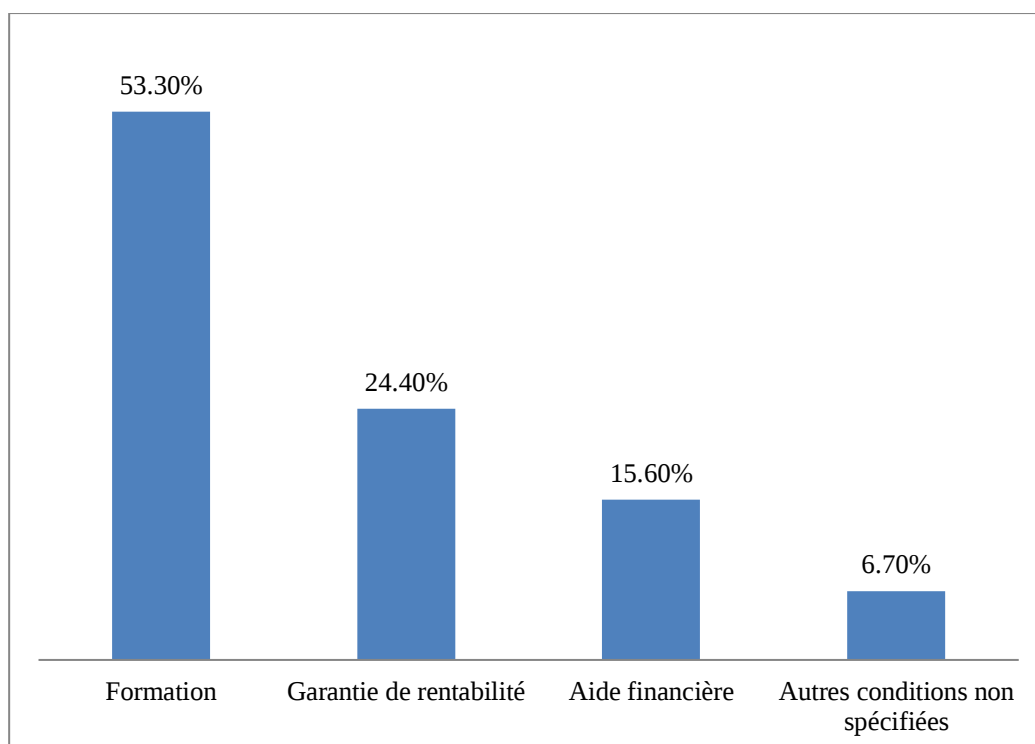


Figure 23 — Conditions nécessaires à l'adoption de l'aquaponie par les agriculteurs

Les conditions préalables citées par les 45 répondants ayant répondu à cette question se structurent autour de quatre axes : la formation (53,3 %), la garantie de rentabilité (24,4 %), l'aide financière (15,6 %) et d'autres conditions non spécifiées (6,7 %). La prédominance de la formation comme condition d'adoption confirme et complète les résultats précédents : sans un renforcement significatif des capacités techniques, l'adoption ne peut être envisagée. La deuxième condition, la garantie de rentabilité, est également révélatrice de la rationalité économique des agriculteurs, qui ne peuvent se permettre de prendre des risques financiers sans preuve tangible de la viabilité économique du système. Ces deux conditions majeures définissent en creux les axes prioritaires d'une stratégie d'introduction réussie de l'aquaponie dans la wilaya.

7. Évaluation globale et développement rural durable

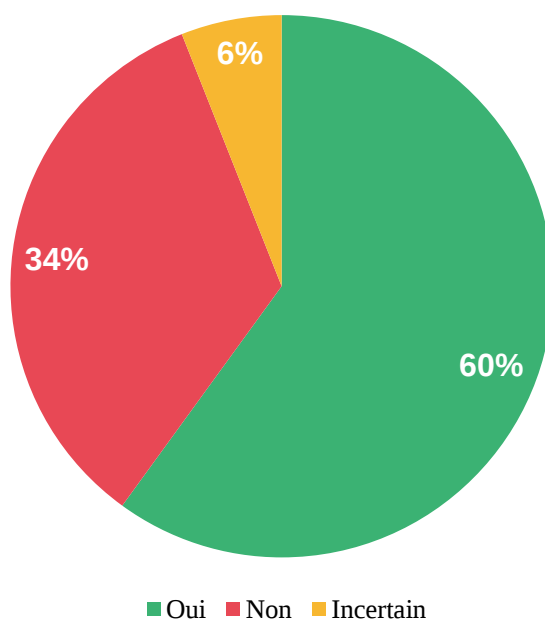


Figure 24 — Contribution de l'aquaponie au développement rural durable

Interrogés sur la contribution de l'aquaponie au développement rural durable, 60 % des enquêtés répondent affirmativement, 34 % négativement et 6 % se déclarent incertains. Cette majorité, bien que relative, est significative et dépasse la simple perception économique du système : elle témoigne d'une appréhension multidimensionnelle des bénéfices de l'aquaponie, intégrant les dimensions environnementale (économie d'eau, absence de pesticides), sociale (création d'emplois, diversification des revenus) et territoriale (valorisation des espaces ruraux marginaux). Ces résultats sont cohérents avec les conclusions de Palm et al. (2018), qui démontrent que les systèmes aquaponiques bien conçus peuvent contribuer à plusieurs Objectifs de Développement Durable simultanément, notamment les ODD 2 (faim zéro), 6 (eau propre), 8 (travail décent) et 11 (villes et communautés durables).

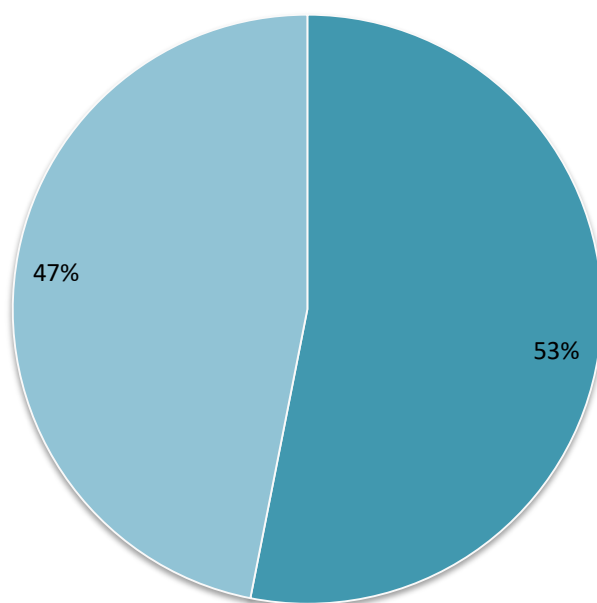


Figure 25 — Accès antérieur au soutien agricole institutionnel

Parmi les 49 répondants ayant renseigné cette question, 53,1 % déclarent avoir déjà bénéficié d'un soutien agricole institutionnel, contre 46,9 % n'en ayant jamais reçu. Cette quasi-parité indique que la couverture des dispositifs d'appui agricole dans la wilaya d'El Tarf est insuffisante et laisse un pourcentage important d'exploitants sans accompagnement. Pour l'introduction de l'aquaponie, ce résultat signifie qu'une partie de la population cible n'a aucune expérience préalable des mécanismes institutionnels de soutien, ce qui pourrait représenter un obstacle supplémentaire à la mobilisation des aides financières disponibles. Cela plaide pour la simplification des procédures d'accès aux dispositifs de financement agricole et le renforcement du maillage territorial des structures de conseil.

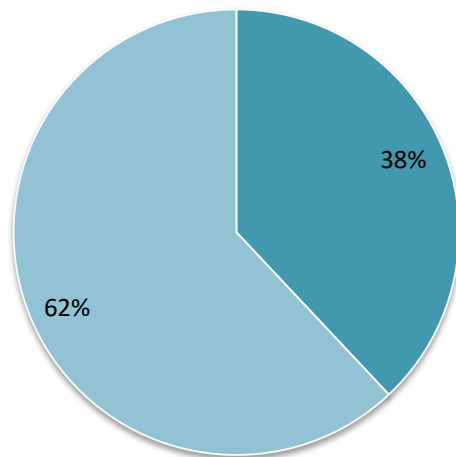


Figure 26 — Expérience de pénurie d'eau par les agriculteurs enquêtés

38 % des agriculteurs enquêtés déclarent connaître des problèmes récurrents de pénurie d'eau, contre 62 % qui estiment ne pas en souffrir. Bien que la majorité ne signale pas de pénurie, le fait que plus d'un tiers de la population agricole soit confronté à ce problème constitue un argument additionnel en faveur de l'aquaponie dans la région. À l'échelle climatique, il est important de noter que les projections pour l'Algérie du Nord indiquent une accentuation des déficits hydriques dans les décennies à venir (GIEC, 2022), ce qui rend l'adoption de systèmes économes en eau encore plus stratégique à long terme. Ce contexte de vulnérabilité hydrique croissante renforce la pertinence d'une introduction préventive de l'aquaponie, avant que les contraintes ne deviennent insurmontables.

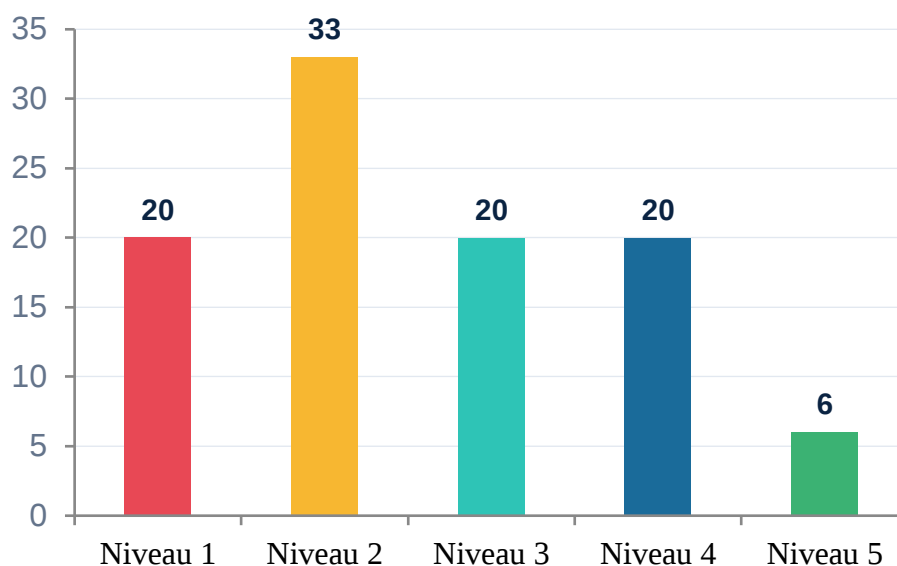


Figure 27 — Niveau d'intérêt général pour l'aquaponie (échelle 1 à 5)

Le niveau d'intérêt général pour l'aquaponie, mesuré sur une échelle de 1 à 5, présente une moyenne de 2,59 et une médiane de 2, avec un écart-type de 1,21. La distribution est concentrée sur les scores 1 et 2 (53,1 % cumulés), ce qui traduit un intérêt globalement modéré. Seuls 6,1 % des enquêtés attribuent le score maximum de 5. Ces résultats doivent être interprétés avec nuance : la faiblesse relative du score moyen est davantage le reflet du manque d'information que d'un rejet actif du système. En effet, il est difficile de manifester un intérêt fort pour une technologie que l'on ne connaît pas. Des études similaires conduites après une séance d'information ou de démonstration montrent systématiquement une hausse significative des niveaux d'intérêt déclarés (Turnšek et al., 2019), ce qui laisse penser que le potentiel d'adhésion est plus élevé que ces chiffres ne le suggèrent.

Déterminants du niveau d'intérêt général : résultats des tests de Kruskal-Wallis

L'analyse du niveau d'intérêt général pour l'aquaponie (mesuré sur une échelle de 1 à 5) en fonction des caractéristiques sociodémographiques des répondants fait apparaître des différences significatives selon l'âge et le niveau d'instruction. Le test de Kruskal-Wallis révèle une différence statistiquement significative du niveau d'intérêt entre les quatre tranches d'âge ($H = 14,037$; $p = 0,003$). L'examen des médianes par groupe confirme un gradient décroissant net : les agriculteurs de moins de 30 ans affichent le niveau d'intérêt le plus élevé ($M = 3,33$; $ET = 1,15$), suivis du groupe 30–40 ans ($M = 3,10$; $ET = 1,10$), du groupe 40–50 ans ($M = 2,43$; $ET = 0,94$), et enfin des plus de 50 ans qui présentent l'intérêt le plus faible ($M = 1,69$; $ET = 1,03$). Ce résultat valide empiriquement l'hypothèse formulée en amont selon laquelle les jeunes agriculteurs constituent le segment le plus réceptif aux innovations agro-technologiques (Klerkx et al., 2019), et

souligne l'importance de cibler en priorité ce groupe dans les stratégies de vulgarisation.

De manière encore plus marquée, le test de Kruskal-Wallis fait apparaître une différence hautement significative du niveau d'intérêt selon le niveau d'instruction ($H = 16,659$; $p = 0,001$). Le gradient est ici particulièrement prononcé : les agriculteurs de niveau universitaire expriment un intérêt moyen de 3,83 (ET = 1,17), contre 3,36 pour le niveau secondaire, 2,36 pour le niveau moyen, et seulement 1,95 pour le niveau primaire. Cette hiérarchie suggère que la capacité à s'approprier cognitivement une technologie nouvelle est étroitement liée au capital éducatif, indépendamment de l'expérience pratique. En revanche, le test de Kruskal-Wallis ne révèle pas de différence significative selon l'activité principale ($H = 1,017$; $p = 0,601$), ce qui indique que le type de production pratiqué (grandes cultures, élevage, système mixte) n'est pas, en soi, un facteur discriminant du niveau d'intérêt pour l'aquaponie. Ce constat invite à nuancer l'idée selon laquelle les agriculteurs en systèmes mixtes seraient naturellement plus enclins à adopter des innovations intégrées.

8. Synthèse de la discussion

L'ensemble des résultats issus de cette enquête de faisabilité conduite auprès de 50 agriculteurs de la wilaya d'El Tarf permet de dégager un portrait nuancé mais globalement encourageant des conditions d'introduction de l'aquaponie dans la région, un profil similaire à celui observé dans les études de faisabilité menées en Afrique subsaharienne et au Moyen-Orient où les systèmes alternatifs d'agriculture intégrée font face aux mêmes dynamiques d'acceptation progressive (Yep et al., 2005 ; Tokunaga et al., 2015). Sur le plan de la connaissance, le déficit informationnel est manifeste et généralisé : 78 % des enquêtés ignoraient l'existence de l'aquaponie avant l'enquête, et 85,7 % de ceux qui en avaient entendu parler en ont un niveau de connaissance faible, ce qui rejoint les résultats de Goddek et al. (2019) qui rapportent qu'en phase d'introduction, moins de 20 % des agriculteurs ruraux des pays en développement ont une connaissance préalable de l'aquaponie. Ce constat impose, comme préalable absolu à toute initiative de développement, un programme ambitieux et multiforme de sensibilisation et de formation, ciblant prioritairement les agriculteurs les plus jeunes et les plus expérimentés, conformément aux recommandations de la FAO (2014) qui insiste sur la formation ciblée comme levier d'adoption dans les contextes à faible exposition technologique.

Sur le plan économique, la perception d'un coût d'installation élevé et le faible taux de disposition à investir sans conditions (26,5 %) mettent en évidence la nécessité de mécanismes de financement adaptés, un frein récurrent également documenté au Zimbabwe, en Inde et aux Philippines où moins de 30 % des petits agriculteurs se déclarent prêts à financer seuls un système aquaponique (Mchau et al., 2018 ; Pattillo, 2017). Toutefois, la reconnaissance presque unanime (87,8 %) d'un potentiel d'amélioration des revenus et le soutien massif aux projets pilotes (85,7 %) constituent des bases solides sur lesquelles fonder une stratégie de développement, en cohérence avec les travaux de Quagraine et al. (2018) aux États-Unis et de Lam et al. (2019) en Asie du Sud-Est, qui montrent que l'anticipation de gains économiques est le principal moteur d'intention d'adoption de l'aquaponie chez les agriculteurs non-initiés.

Il convient de signaler que le calcul de l'alpha de Cronbach sur les trois dimensions latentes construites a posteriori (faisabilité économique, acceptabilité sociale, intention d'adoption) a produit des valeurs insuffisantes ($\alpha < 0,70$), ce qui indique que les items regroupés au sein de chaque dimension ne partagent pas une variance commune suffisante pour constituer des échelles unidimensionnelles valides au sens psychométrique. Cette limite est inhérente au design du questionnaire, qui a été conçu à des fins exploratoires et non comme un instrument de mesure psychométrique normé. Chaque item doit donc être interprété de manière indépendante plutôt que comme composante d'un score composite. Cette observation plaide pour le développement futur d'un instrument de mesure dédié, validé sur un échantillon plus large, permettant de mesurer de façon fiable les construits latents d'adoption technologique dans le contexte agro-rural algérien (DeVellis, 2003).

Sur le plan social, les traditions agricoles ne constituent pas un obstacle rédhibitoire, et la majorité des enquêtés est ouverte à l'expérimentation dans un cadre institutionnel structuré, un résultat qui fait écho aux conclusions de Danner et al. (2021) selon lesquelles l'encadrement institutionnel réduit significativement la résistance culturelle aux innovations agronomiques dans les sociétés rurales méditerranéennes et maghrébines. L'intérêt de 46 % des agriculteurs pour un projet concret à El Tarf, auquel s'ajoutent 22 % d'indécis potentiellement convertibles, dessine un réservoir d'adoptants précoces suffisant pour lancer une phase pilote crédible, un taux comparable à celui observé au Maroc et en Tunisie lors des premières phases d'introduction de l'irrigation localisée, technologie qui a suivi une courbe d'adoption similaire avant de se généraliser (Belghiti, 2009 ; Bachta, 2011). En définitive, les conditions objectives de la faisabilité socio-économique de l'aquaponie à El Tarf sont réunies, à condition que les pouvoirs publics et les institutions d'appui agricole se mobilisent de manière coordonnée autour des deux axes prioritaires identifiés par les enquêtés eux-mêmes : la formation et le soutien financier, axes que Rogers (2003) dans sa théorie de la diffusion des innovations place au cœur de tout processus réussi de transfert technologique en milieu rural.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Ce travail de recherche a permis d'évaluer, pour la première fois de manière systématique dans la wilaya d'El Tarf, la faisabilité socioéconomique de l'introduction de systèmes aquaponiques dans les exploitations agricoles locales. À travers une enquête de terrain auprès de 50 agriculteurs répartis dans quatre communes (Bouhadjar, El Sabaa, Aïn Assel et Aïn El Karma), il a été possible de dresser un portrait complet des conditions d'adoption de cette technologie innovante.

Les principaux enseignements de cette étude peuvent être résumés en cinq points.

Premièrement, le déficit informationnel est généralisé et constitue le principal frein à court terme : 78 % des agriculteurs ignoraient l'existence de l'aquaponie avant l'enquête. Un programme ambitieux de sensibilisation et de formation, articulé autour de fermes pilotes de démonstration, est la condition préalable indispensable à toute initiative de déploiement.

Deuxièmement, la contrainte financière est réelle mais non rédhibitoire. La reconnaissance quasi-unanime (87,8 %) du potentiel économique de l'aquaponie et le soutien massif (85,7 %) aux projets pilotes indiquent que les conditions d'acceptabilité sociale sont réunies, sous réserve d'un accompagnement financier adapté (microcrédits, subventions FNDIA, dispositifs ANSEJ/ANADE).

Troisièmement, les conditions agro-écologiques de la wilaya d'El Tarf sont globalement favorables : ressources hydriques diversifiées, ensoleillement important, traditions agricoles mixtes, et tissu rural actif. La vulnérabilité hydrique d'une fraction significative des exploitations (38 % confrontés à des pénuries) renforce la pertinence stratégique de l'aquaponie comme système économe en eau.

Quatrièmement, le capital social est favorable à l'expérimentation : près de 70 % des agriculteurs seraient potentiellement intéressés par un projet concret (46 % d'intérêt déclaré + 22 % d'indécis). Ce réservoir d'adoptants précoces potentiels est suffisant pour lancer une phase pilote crédible et représentative.

Cinquièmement, les deux conditions prioritaires identifiées par les agriculteurs — formation (53,3 %) et garantie de rentabilité (24,4 %) — définissent précisément l'agenda d'action pour les pouvoirs publics, les institutions de recherche et les structures de développement agricole.

Recommandations opérationnelles

- Mettre en place au moins une ferme aquaponique pilote de démonstration dans la wilaya d'El Tarf, associant producteurs, chercheurs et techniciens agricoles.
- Développer un programme de formation spécifique à l'aquaponie (modules pratiques, guides visuels en langue locale, formation des formateurs) dans les instituts techniques et centres d'apprentissage agricole.
- Élaborer un cadre réglementaire et fiscal spécifique aux systèmes aquaponiques, en coordination entre le MADR et le MPPH, pour sécuriser les investissements et faciliter l'accès aux financements publics.
- Produire des références technico-économiques locales fiables (coûts d'investissement, charges d'exploitation, marges brutes) adaptées aux conditions algériennes et accessibles aux porteurs de projets.
- Intégrer l'énergie solaire photovoltaïque dans la conception des unités aquaponiques pour réduire les coûts d'exploitation et s'inscrire dans le programme national d'énergies renouvelables.

Perspectives de recherche

Ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche pour de futures études : (1) évaluation technique et zootechnique d'espèces piscicoles locales (carpe, tilapia) en conditions aquaponiques algériennes ; (2) analyse de rentabilité détaillée basée sur des unités pilotes opérationnelles dans différentes régions du pays ; (3) étude comparative de la faisabilité socioéconomique dans d'autres wilayas représentatives de contextes agro-climatiques différents (Hauts Plateaux, zone présaharienne) ; (4) évaluation de l'impact de programmes de formation sur l'évolution des attitudes et des comportements des agriculteurs vis-à-vis de l'aquaponie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bachta, M. S. (2011). *Les agricultures maghrébines à l'aube de 2030*. Options Méditerranéennes, Série B, n°64, CIHEAM, Montpellier.

Belghiti, M. (2009). Développement de l'irrigation localisée au Maroc : bilan et perspectives. *Hommes, Terre et Eaux*, 39(138), 3–12.

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26.

Brahimi, A., Mimeche, L., & Bensegueni, A. (2021). Potentialités aquaponiques en Algérie : état des lieux et perspectives de développement. *Revue Agrobiologia*, 11(1), 2162–2175.

Danner, M., Schievano, A., & Brennan, L. (2021). Institutional support as a driver of innovation adoption in Mediterranean rural farming communities. *Journal of Rural Studies*, 82, 215–224.

Diver, S. (2006). *Aquaponics: Integration of hydroponics with aquaculture*. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service, Publication IP163.

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., & Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511–1517.

FAO. (2010). *Rice-fish farming in Asia: A sourcebook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO Algérie. (2018). *Rapport sur les projets de développement agricole durable en Algérie*. Bureau de la FAO en Algérie, Alger.

FAO-AQUASTAT. (2015). *Ressources en eau et agriculture : profil de pays – Algérie*. Food and Agriculture Organization, Rome.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2016). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199–4224.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (Eds.). (2019). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer Nature, Cham.

Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1–3), 147–156.

Hagopian, D. S., & Riley, J. G. (1998). A closer look at the bacteriology of nitrification. *Aquacultural Engineering*, 18(4), 223–244.

Khechekhouche, A., Benhissen, S., & Atia, A. (2020). Aquaponics in Algeria: Barriers and opportunities for sustainable food production. *Journal of Applied Aquaculture*, 32(4), 318–335.

Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., & Rennert, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 179–192.

König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., & Junge, R. (2016). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 133, 342–352.

Lam, S. S., Ma, N. L., Jusoh, A., & Ambak, M. A. (2019). Biological nutrient removal and economic potential of aquaponic systems in Southeast Asia. *Bioresource Technology*, 285, 121–130.

Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550.

Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74.

MADR – Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (2019). *Plan national de développement agricole et rural 2019–2024*. Alger.

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1–11.

Mchau, G. J., Semba, M. M., Makule, E., & Kaale, L. (2018). Water quality and performance evaluation of aquaponic system using three different media. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 4(3), 134–148.

MPECHE – Ministère de la Pêche et des Productions Halieutiques. (2020). *Rapport annuel sur l'état et l'évolution de l'aquaculture en Algérie*. Alger.

Munguia-Fragozo, P., Alatorre-Jacome, O., Rico-Garcia, E., Torres-Pacheco, I., Cruz-Hernandez, A., Ocampo-Velazquez, R. V., & Guevara-Gonzalez, R. G. (2015). Perspective for aquaponic systems: Omic technologies for microbial community analysis. *BioMed Research International*, 2015, Article ID 480386.

Pattillo, D. A. (2017). *An overview of aquaponic systems: Hydroponic components*. NCRAC Technical Bulletins, Iowa State University, Ames.

Quagraine, K. K., Flores, R. M. V., Kim, H. J., & McClain, V. (2018). Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the US Midwest. *Journal of Applied Aquaculture*, 30(1), 1–14.

Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics: Integrating fish and plant culture. In J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture production systems* (pp. 343–386). Wiley-Blackwell, Ames.

Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics – integrating fish and plant culture. *SRAC Publication*, 454, 1–16.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5e éd.). Free Press, New York.

Rurangwa, E., & Verdegem, M. C. J. (2015). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture*, 7(2), 117–130.

Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Griffiths, D., Trong, T. Q., Vu, N. T., Jiravanichpaisal, P., & Briggs, M. (2018). Asian shrimp production and the economic costs of disease. *Asian Fisheries Science*, 31(S), 29–58.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization, Rome.

Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). *Recirculating aquaculture* (2e éd.). Cayuga Aqua Ventures, Ithaca.

Tokunaga, K., Tamaru, C., Ako, H., & Leung, P. (2015). Economics of small-scale commercial aquaponics in Hawai'i. *Journal of the World Aquaculture Society*, 46(1), 20–32.

Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2014). Sustainable treatment of aquaculture effluents: What can we learn from the past for the future? *Sustainability*, 6(2), 836–856.

Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges: A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586–1599.

ANNEXES

ANNEXE 1 : TESTS STATISTIQUES

Enquête de faisabilité socioéconomique de l'aquaponie

Wilaya d'El Tarf — n = 50 agriculteurs

Seuil de significativité : $\alpha = 0,05$

SECTION 1 — Tests du Chi-deux de Pearson (χ^2)

Hypothèse nulle (H0) : les deux variables sont indépendantes. Rejet de H0 si $p < 0,05$.

Mesure de l'effet : V de Cramér — faible $< 0,10$; modéré $0,10-0,30$; fort $> 0,30$.

Variable 1	Variable 2	χ^2	ddl	p-value	V Cramér	Sig.
Niveau d'instruction	Disposition à investir	13.202	6	0.0399	0.274	✓
Âge	Intérêt pour un projet	10.712	6	0.0977	0.219	n.s.
Niveau d'instruction	Intérêt pour un projet	8.063	6	0.2335	0.142	n.s.
Expérience agricole	Disposition à investir	2.43	4	0.6572	0	n.s.
Âge	Disposition à investir	9.869	6	0.1303	0.2	n.s.
Niveau de connaissance	Intérêt pour un projet	3.402	4	0.4929	0	n.s.
Activité principale	Intérêt pour un projet	5.301	4	0.2578	0.113	n.s.
Pénurie d'eau	Perception du coût	2.3	3	0.5125	0	n.s.
Formation obstacle	Soutien projets pilotes	1.917	1	0.1662	0.137	n.s.
Expérience	Niveau de connaissance	1.61	4	0.8069	0	n.s.

✓ = significatif ($p < 0,05$) ; n.s. = non significatif ; fond jaune = résultat significatif

Tableau 1.1 — Tableau croisé : Niveau d'instruction × Disposition à investir

Niveau d'instruction	Oui (n)	Non (n)	Sous conditions (n)	Total
Primaire	3	12	5	20
Moyen	2	8	2	12
Secondaire	3	5	3	11
Universitaire	5	0	1	6
TOTAL	13	25	11	49

$\chi^2 = 13,202$; $ddl = 6$; $p = 0,040$; V de Cramér = 0,274 → association modérée significative

SECTION 2 — Tests de Kruskal-Wallis

Test non paramétrique de comparaison de k groupes indépendants. Variable dépendante : niveau d'intérêt général (échelle 1–5).

Variable dépendante	Variable de groupement	H	ddl	p-value
Intérêt global (1–5)	Tranche d'âge	14.037	3	0.0029
Intérêt global (1–5)	Niveau d'instruction	16.659	3	0.0008
Intérêt global (1–5)	Activité principale	1.017	2	0.6013
Intérêt global (1–5)	Niveau de connaissance	3.92	2	0.1409

Fond jaune = résultat significatif ($p < 0,05$)

Tableau 2.1 — Statistiques descriptives : Intérêt global selon l'âge

Tranche d'âge	n	Moyenne	Écart-type	Médiane	Rang Kruskal
< 30 ans	12	3.33	1.15	3.5	—
30–40 ans	10	3.1	1.1	3	—
40–50 ans	14	2.43	0.94	2	—
> 50 ans	13	1.69	1.03	1	—

$H = 14,037$; $ddl = 3$; $p = 0,003$ — Différence significative entre les quatre tranches d'âge

Tableau 2.2 — Statistiques descriptives : Intérêt global selon le niveau d'instruction

Niveau d'instruction	n	Moyenne	Écart-type	Médiane	Rang Kruskal
Primaire	21	1.95	0.97	2	—
Moyen	11	2.36	1.03	2	—

Niveau d'instruction	n	Moyenne	Écart-type	Médiane	Rang Kruskal
Secondaire	11	3.36	0.92	3	—
Universitaire	6	3.83	1.17	4	—

$H = 16,659$; $ddl = 3$; $p = 0,001$ — Différence hautement significative entre niveaux d'instruction

Tableau 2.3 — Test de Mann-Whitney : Intérêt global selon l'expérience aquacole antérieure

Comparaison	n_1 / n_2	U de Mann-Whitney	p-value	Résultat
Aquaculture antérieure (Oui vs Non)	4 / 46	132	0.176	n.s. ($p > 0,05$)

SECTION 3 — Corrélations de Spearman (ρ)

Mesure d'association entre variables ordinales. Valeurs de ρ : $|\rho| < 0,10$ = négligeable ; $0,10-0,29$ = faible ; $0,30-0,49$ = modérée ; $\geq 0,50$ = forte.

Variable 1	Variable 2	ρ	n	p-value	Sig.
Intérêt global (1–5)	Disposition à investir	-0.305	48	0.0348	✓
Intérêt global (1–5)	Amélioration du revenu perçue	0.34	48	0.0179	✓
Perception du coût	Disposition à investir	-0.295	49	0.0396	✓
Niveau de connaissance	Intérêt pour un projet	-0.239	49	0.0978	n.s.
Niveau d'instruction	Niveau de connaissance	0.196	49	0.176	n.s.

✓ = significatif ($p < 0,05$) ; n.s. = non significatif ; fond jaune = résultat significatif

SECTION 4 — Cohérence interne des échelles (Alpha de Cronbach)

Seuil d'acceptabilité : $\alpha \geq 0,70$ (Nunnally, 1978). Un α négatif indique une absence de variance commune entre les items.

Dimension latente	Items inclus	α de Cronbach	Interprétation
Faisabilité économique perçue	Coût, investissement, revenu (3 items)	-0.443	Insuffisant — items non unidimensionnels
Acceptabilité sociale	Formation, traditions, projets pilotes (3 items)	0.031	Insuffisant — design exploratoire

Dimension latente	Items inclus	α de Cronbach	Interprétation
Intention d'adoption	Intérêt projet, intérêt global (2 items)	-0.529	Insuffisant — n d'items trop faible

Note : Les valeurs d' α insuffisantes reflètent le caractère exploratoire du questionnaire. Chaque item doit être interprété individuellement.

Note méthodologique

Toutes les analyses ont été conduites sur les données brutes des 50 répondants de la wilaya d'El Tarf (janvier–mars 2024). Les calculs ont été effectués avec Python 3.12, bibliothèques `scipy.stats` (v1.11) et `pandas` (v2.1). Le seuil de significativité retenu est $\alpha = 0,05$ pour l'ensemble des tests.

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE

Questionnaire sur la faisabilité socio-économique des systèmes aquaponiques en milieu rural

Axe 1 : Informations générales

Âge : ☐ < 30 ☐ 30–40 ☐ 40–50 ☐ > 50

Sexe : ☐ Homme ☐ Femme

Niveau d’instruction : ☐ Primaire ☐ Moyen ☐ Secondaire ☐ Universitaire

Expérience en agriculture : ☐ < 5 ans ☐ 5–10 ans ☐ > 10 ans

Axe 2 : Caractéristiques de l’exploitation

Type d’activité principale : ☐ Cultures ☐ Élevage ☐ Mixte

Superficie de l’exploitation : ☐ < 1 ha ☐ 1–5 ha ☐ > 5 ha

Source principale d’eau : ☐ Pluie ☐ Puits/Forage ☐ Barrage ☐ Autre

Avez-vous déjà pratiqué l’aquaculture ? ☐ Oui ☐ Non

Axe 3 : Connaissance et perception de l’aquaponie

Avez-vous déjà entendu parler de l’aquaponie ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, votre niveau de connaissance : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Bon

L’aquaponie permet-elle une meilleure utilisation de l’eau ? ☐ Pas du tout ☐ Peu ☐ Moyennement ☐ Beaucoup

L’aquaponie est-elle adaptée aux zones rurales comme El Tarf ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Incertain

Axe 4 : Faisabilité économique perçue

Le coût d’installation d’un système aquaponique est : ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Élevé ☐ Inconnu

Seriez-vous prêt à investir ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Sous conditions

Conditions facilitatrices : ☐ Aide financière ☐ Subventions ☐ Formation ☐ Accompagnement technique

L’aquaponie peut-elle améliorer le revenu agricole ? ☐ Pas du tout ☐ Peu ☐

Moyennement ☐ Beaucoup

Axe 5 : Acceptabilité sociale et contraintes

Le manque de formation constitue-t-il un obstacle ? ☐ Oui ☐ Non

Les traditions agricoles freinent-elles l'adoption ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Peut-être

Êtes-vous favorable à des projets pilotes dans votre région ? ☐ Oui ☐ Non

Axe 6 : Intention d'adoption

Si un projet aquaponique est proposé à El Tarf, seriez-vous intéressé ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Peut-être

Conditions d'adoption : ☐ Formation ☐ Soutien financier ☐ Garantie de rentabilité ☐
Autres : _____

Axe 7 : Évaluation globale

L'aquaponie peut-elle contribuer au développement rural durable ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Incertain

Avez-vous déjà bénéficié d'un soutien agricole ? ☐ Oui ☐ Non

Souffrez-vous d'un manque d'eau dans votre exploitation ? ☐ Oui ☐ Non

Niveau d'intérêt pour l'aquaponie (1–5) : ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Principaux obstacles à l'introduction de l'aquaponie dans votre région :
