REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOUT 1955 SKIKDA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PRODUCTION ET NUTRITION ANIMALE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

THÈME :

Evaluation de l'effet de la valorisation des effluents piscicoles cas de tilapia sur la productivité d'un système maraicher associant laitue, fraise et tomate.

RÉALISÉ PAR :

- **Bouguerba yasser**
- **Boudrouma Mohamed**
- **Boudjamaa Mohamed**

ENCADRÉ PAR :

- Dr. Oudjane Faiza

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre encadreuse, ***Dr. Oudjane Faiza****, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Ses précieux conseils, son orientation, sa patience et ses encouragements continus ont été le pilier de la réussite de ce travail. Nous la remercions pour le temps qu'elle nous a consacré et pour sa grande disponibilité.*

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury, ***Mme Nekib Lydia*** *et* ***Mme Zalani Karima****, pour l'honneur qu'elles nous font en acceptant d'examiner et d'évaluer ce travail.*

Nos remerciements s'étendent à l'ensemble des enseignants du Département des Sciences Agronomiques pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée tout au long de notre cursus universitaire.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette étude, en particulier le personnel de la ferme expérimentale pour leur aide sur le terrain.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur patience et leurs prières qui m'ont accompagné et éclairé tout au long de mon parcours. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude et mon immense respect pour vous. Que Dieu vous préserve et vous accorde santé et longue vie.

À mes chers frères et sœurs, Pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et les beaux moments partagés.

À toute ma famille ***Bouguerba****, Pour leur affection, leur présence et leur soutien infaillible.*

À tous mes amis et camarades de promotion, Pour l'entraide et les moments inoubliables passés ensemble durant ces années d'études.

À mes chers amis et binômes, ***Boudrouma Mohamed*** *et* ***Bendjamaa Mohamed****, En témoignage de notre fraternité, de notre solidarité, et des efforts que nous avons fournis main dans la main pour accomplir ce travail.*

Bouguerba Yasser

Dédicaces

Je dédie le fruit de ce travail :

À mes parents bien-aimés, Qui ont tout sacrifié pour me voir atteindre ce but. Votre soutien infaillible, votre bienveillance et vos précieuses prières ont été mon refuge et ma motivation dans les moments les plus difficiles. Puisse Dieu vous préserver et vous combler de ses bienfaits.

À mes frères et sœurs, Qui m'ont toujours soutenu et encouragé, trouvez ici l'expression de mon profond attachement.

À la grande famille ***Boudrouma****, Pour m'avoir toujours entouré d'ondes positives et de mots d'encouragement.*

À l'ensemble de mes amis et collègues d'études, Avec qui j'ai partagé les joies et les défis de ce parcours universitaire.

À mes chers compagnons de route, ***Bouguerba Yasser*** *et* ***Boudjamaa Mohamed****, Avec qui j'ai partagé cette riche expérience scientifique, dans la fraternité et le respect mutuel.*

Boudrouma Mohamed

Dédicaces

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce mémoire :

À mes formidables parents, Symboles de tendresse, de courage et de dévouement. Merci d'avoir cru en moi et d'avoir guidé mes pas avec tant de sagesse. Ce travail est le fruit de votre éducation et de votre patience. Que le Tout-Puissant vous garde et vous octroie une longue vie pleine de santé.

À mes frères et sœurs, Pour leur écoute, leur aide et les merveilleux moments de complicité partagés.

À l'ensemble de la famille ***Boudjamaa****, En témoignage de ma gratitude pour leur soutien de chaque instant.*

À tous mes amis, Pour leur présence et les encouragements qui m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même.

À mes exceptionnels binômes, ***Bouguerba Yasser*** *et* ***Boudrouma Mohamed****, Pour notre collaboration fructueuse, nos échanges enrichissants et les efforts conjugués qui ont mené à l'aboutissement de ce projet.*

Boudjamaa Mohamed

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : image représentent un concept intégré de poissons st de culture (FAO, 2003). 7

Figure 02 : image représentent un Systèmes couplés on Aquaponie (FAO, 2014). 8

Figure 03 : image représentent un Systèmes découplés on Aquaponie (FAO, 2014). 9

Figure 04 : image représentent un Systèmes basés sur les médias (FAO, 2014). 10

Figure 05 : image représentent un Systèmes de Culture en eau profonde (FAO, 2014). 11

Figure 06 : image représentent la Technique du film nutritif (NTF) ; (Sibinga, 2016). 11

Figure 07 : photo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). 17

Figure 08 : Position géographique de la ferme de crevetticulture La Marsa, Skikda ; (Google Earth, 2026). 21

Figure 09 : photo du champ avec les différant parcelles 22

Figure 10 : photo **la tomate (*Solanum lycopersicum)* L.** 25

Figure 11 : photo de la **laitue (*Lactuca sativa*) L** 26

Figure 12 : photo du fraisier ***Fragaria ananassa*** 27

Figure 13 : Mesure permettent le suivi de la croissance des plantes. 28

Figure 14 : Evolution des paramètres des effluents mesuré pendant la période d'essai 30

Figure 15 : Evolution du NO_3^- mesuré en fonction de la période d'essai 30

Figure 16 : Evolution des paramètres du sol selon le type d'irrigation pendant la période d'essai 31

Figure 17 : Comparaison des paramètres chimiques des eaux d'irrigation pendant la période d'essai 32

Figure 18 : Bassin d'élevage de poissons ferme de la Marsa (2026). 33

Figure 19 : Variation du poids en fonction du temps 34

Figure 20 : Variation de la hauteur en fonction du temps 34

Figure 21: Photo de la letus (***Lactuca sativa***) cultivée, (2026) 35

Figure 22 : Évolution de la hauteur de tige de la tomate (cm) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 36

Figure 23 : Évolution du poids moyen du fruit de la tomate (g) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 37

Figure 24 : Évolution du rendement de la tomate (kg/m²) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 37

Figure 25 : Photo des tomates cultivée **(*Solanum lycopersicum*)** ; (2026) 38

Figure 26 : Évolution du nombre de fleurs du fraisier en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 39

Figure 27 : Évolution du poids des feuilles du fraisier (g) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 39

Figure 28 : Évolution du rendement du fraisier (g/m²) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation 40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Mesure des différent paramètre d'effluent piscicole durant les 20 semaine. 30

Tableau 02 : de Paramètres de croissance des tilapias à la fin de l'expérimentation (n = 30)..... 33

Tableau 03 : les effets des traitements sur les paramètres de croissance 34

Tableau 04 : Rendement de la laitue selon les traitements appliquée (kg/m²)..... 35

Tableau 05: Rendement et qualité des fruits de tomate selon les traitements appliqués 36

Tableau 06 : Paramètres végétatifs de la fraise et Production fruitière de la fraise selon les traitements (20 semaines)..... 38

Tableau 07 : de Comparaison du gain de rendement des trois cultures sous le traitement T2 40

SOMMAIRE

Remerciements .....

Dédicaces .....

Dédicaces .....

Liste des abréviations .....

LISTE DES FIGURES .....

LISTE DES TABLEAUX .....

SOMMAIRE .....

Introduction générale 1

Partie I : Synthèse bibliographique 4

1. Intérêt de la valorisation des effluents de tilapia 4

2. Apport nutritionnel et limites agronomiques 5

2.1. Effets sur la laitue 5

2.2. Effets sur la tomate 6

2.3. Effets sur la fraise 6

3. Intérêt d'un système associant laitue, fraise et tomate 7

4. Types de systèmes aquaponiques intégrée 7

4.1. Systèmes couplés 8

4.2. Systèmes découplés 8

4.3. Systèmes basés sur les médias 9

4.4. Culture en eau profonde 10

4.5. Technique du film nutritif 11

5. Avantages et limites des différents systèmes 12

5.1. Production alimentaire durable et écologique 12

5.2. Économies d'eau et gestion énergétique 12

5.3. Amélioration de la qualité des cultures 13

5.4. Réduction de l'utilisation d'engrais et de pesticides 13

6. Principe de fonctionnement d'un système poisson-plante-bactéries 13

II. Traitement des rejets 15

1.1. Traitement physique 15

1.2. Traitement chimique 15

2. Cycle de l'azote : ammonium, nitrites et nitrates 16

2.1. Le cycle de l'azote 16

2.2. Fixation de l'azote 16

2.3. Nitrification 16

2.4. Dénitrification 17
III. Espèce étudié tilapia (*Oreochromis niloticus*) 17
Partie II : Matériel & Méthode 20
II.1. Le concept de l'intégration pisciculture-agriculture 20
II. 2. Zone d'étude (Site expérimental) 20
II.3. Durée de l'essai et méthode d'utilisation des effluent 22
II.4. Caractérisation physico-chimique 24
II.5. Présentation des trois espèces maraîchères étudiées 24
a) - La tomate : *Solanum lycopersicum* L. 24
b) - La laitue : *Lactuca sativa* L. 25
c)- La fraise : *Fragaria ananassa* 26
II.5. Suivi de la croissance des plantes 27
RESULTATS & DISCUSSION 30
1. Évolution des paramètres de l'eau : 30
2. Croissance et survie des tilapias 33
2.1. Paramètres de croissance 33
3.Croissance des cultures 34
3.1. Effet des effluents sur la croissance de la letus (*Lactuca sativa*) 34
3.1.1. Paramètres de croissance végétative : 34
3.1.2. Paramètres de Croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*) 36
3.1.3. Paramètres de Croissance de la fraise (*Fragaria ananassa*) 38
4.Comparaison de la productivité entre les trois cultures 40
Conclusion 46
Recommandations 49
Références bibliographiques 51

Introduction Générale

Introduction générale

L'aquaculture et le maraîchage durable sont essentiels pour répondre à la demande croissante de produits alimentaires tout en préservant les ressources naturelles (FAO, 2018). L'aquaculture durable contribue à la sécurité alimentaire mondiale en fournissant des aliments sûrs et nutritifs, en réduisant la pression sur les stocks de poissons sauvages et en protégeant les écosystèmes aquatique (Naylor et al., 2021). Le maraîchage durable est, de son côté, crucial pour la sécurité alimentaire et l'amélioration du niveau de vie des populations en offrant des produits sains et accessibles ; ces pratiques sont donc fondamentales pour un avenir durable et équitable pour les générations actuelles et futures (Pretty et al., 2019).

Cependant, malgré ces bénéfices, certains systèmes de production intensive, notamment l'élevage intensif du tilapia (*Oreochromis spp.),* peuvent engendrer des impacts environnementaux significatifs, principalement liés à la production d'effluents piscicoles (Tacon & Metian, 2015). Ces effluents issus d'élevage du tilapia, constitués essentiellement de déjections, de restes d'aliments non consommés et parfois de résidus de produits utilisés en élevage, sont riches en azote et en phosphore (Badiola et al., 2012). Leur rejet dans le milieu naturel favorise l'eutrophisation, caractérisée par des proliférations algales et une diminution de l'oxygène dissous, pouvant entraîner des mortalités massives d'organismes aquatiques et une dégradation de la qualité de l'eau (Smith et al., 1999 ; Camargo & Alonso, 2006). L'élevage à haute densité accentue ces impacts en augmentant la charge organique et la turbidité, et en favorisant la propagation de maladies (Boyd & Tucker, 2012). Ainsi, une gestion efficace des effluents, via des techniques de traitement appropriées et des systèmes aquacoles durables, est indispensable pour limiter leurs effets négatifs sur l'environnement (Masser et al., 1999).

La valorisation des effluents piscicoles comme ressource nutritive pour les cultures maraîchères apparaît comme une solution prometteuse dans cette optique (Rakocy et al., 2006). Ces effluents contiennent des nutriments essentiels tel que l'azote, phosphore et matière organique qui sont indispensables à la croissance végétale, et leur réutilisation en irrigation fertilisante permet de réduire la pollution des eaux et la dépendance aux engrais chimiques (Somerville et al., 2014). L'intégration aquaculture-maraîchage s'inscrit dans le concept d'aquaponie ou de systèmes intégrés de production, favorisant une meilleure valorisation des ressources et l'optimisation des cycles nutritifs (FAO, 2018 ; Love et al., 2015). Cette pratique

améliore la fertilité des sols, peut augmenter les rendements agricoles et promeut une production plus respectueuse de l'environnement (Kloas et al., 2015).

Parmi les approches intégrées, l'aquaponie combine l'élevage de poissons, la culture de plantes et l'activité microbienne pour transformer les déchets piscicoles en nutriments assimilables par les plantes, assurant ainsi une purification biologique de l'eau et la mise en place d'un cycle fermé et durable (Graber & Junge, 2009). Néanmoins, l'efficacité de ces systèmes dépend fortement de la composition des effluents, de la qualité de l'eau, du type de culture et de l'équilibre entre production piscicole et production maraîchère (Goddek et al., 2015).

Le choix des cultures étudiées (laitue, fraise et tomate), reste les plus couramment testées en aquaponie en raison de leur importance économique et de leurs besoins nutritifs variés, permettant d'évaluer la réponse agronomique à des effluents piscicoles (Love et al., 2015 ; Savidov, 2017).

La problématique, et que les effluents produits par l'élevage du tilapia contiennent des éléments nutritifs susceptibles d'être valorisés pour la production végétale. Cependant, leur efficacité en tant qu'amendement liquide dépend de leur composition, de la qualité physico-chimique de l'eau, du type de culture et de l'équilibre entre les composantes aquacoles et maraîchères (Somerville et al., 2014 ; Goddek et al., 2015).

Notre objectif spécifique, est de caractériser la qualité physico-chimique des effluents piscicoles issus de l'élevage du tilapia. Ainsi qu'étudier l'effet des effluents sur la croissance de la laitue, de la fraise et de la tomate ont comparent la productivité des trois cultures dans le système étudié. Sont oublier d'identifier la culture qui s'est mieux adaptée à la fertilisation par les effluents piscicoles. Enfin d'évaluer l'intérêt agronomique et environnemental de la valorisation des effluents.

Ce travail se compose de deux volets complémentaires. La première partie offre une synthèse bibliographique qui présente l'état des connaissances sur l'aquaculture durable, les impacts des effluents piscicoles et les approches de valorisation de l'intégration (Agriculture- Aquaculture). La seconde partie est dédiée à la partie pratique : elle décrit les matériaux et méthodes utilisés, expose les résultats obtenus lors des essais sur laitue, fraise et tomate, puis discute ces résultats en les confrontant à la littérature pour afin de proposer des recommandations.

Partie I

Synthèse bibliographique

Partie I : Synthèse bibliographique

La valorisation des effluents piscicoles de tilapia s'inscrit dans le cadre de l'aquaponie, un système intégré qui associe l'élevage de poissons et la culture de plantes. Les rejets azotés produits par les poissons sont transformés par les bactéries nitrifiantes en nitrates, forme assimilable par les végétaux, ce qui améliore à la fois la qualité de l'eau et la nutrition des cultures (Quilleré et al., 1994).

Face à cette problématique, plusieurs travaux proposent une gestion plus rationnelle des effluents par leur valorisation en agriculture (Agrimaroc, 2026 ; Intégration de l'aquaculture à l'agriculture, 2021.). L'idée principale repose sur le recyclage des nutriments contenus dans les rejets piscicoles afin de les utiliser comme ressource fertilisante pour les cultures végétales (Agrimaroc, 2026 ; Intégration de l'aquaculture à l'agriculture). Cette démarche s'inscrit dans une logique d'économie circulaire, où les déchets d'un système deviennent les intrants d'un autre (Agrimaroc, 2026). Elle permet non seulement de réduire la pollution de l'eau, mais aussi de limiter l'usage des engrais chimiques et d'améliorer l'efficience globale de la production.

L'intégration agriculture-aquaculture, souvent appelée aquaponie lorsqu'elle associe élevage de poissons et culture végétale hors-sol, constitue l'une des formes les plus prometteuses de cette valorisation (FAO, 2009 ; Agrimaroc, 2026). Dans ce système, l'eau chargée en nutriments issus de l'aquaculture est utilisée pour alimenter les plantes, qui absorbent une partie des composés minéraux tout en contribuant à l'épuration de l'eau (FAO, 2009 ; Agrimaroc, 2026). Les micro-organismes jouent également un rôle important dans la transformation des déchets organiques en éléments assimilables par les végétaux (FAO, 2009). Ce principe permet de créer un cycle plus fermé, plus durable et plus respectueux de l'environnement (Agrimaroc, 2026 ; FAO, 2009).

1. Intérêt de la valorisation des effluents de tilapia

Le tilapia, notamment *Oreochromis niloticus*, est l'une des espèces les plus utilisées en aquaponie en raison de sa croissance rapide, de sa tolérance aux variations de milieu et de sa gestion alimentaire relativement simple (FAO, 2021). Les effluents produits par cette espèce contiennent des éléments nutritifs exploitables par les cultures, principalement l'azote sous forme minérale après nitrification, mais aussi du phosphore, du potassium, du calcium et du magnésium en quantités variables (Quilleré et al., 1994). La disponibilité de ces nutriments dépend fortement de

la densité de poissons, de la ration distribuée, de la composition de l'aliment, de l'efficacité du biofiltre et du débit de circulation de l'eau (FAO, 2021).

La FAO considère l'aquaponie comme un système de production intégré associant l'aquaculture et la culture hors-sol, et souligne que l'équilibre entre poissons, bactéries et plantes est essentiel au bon fonctionnement du système. Les paramètres à surveiller en priorité sont l'oxygène dissous, le pH, la température, l'azote total et l'alcalinité, avec un pH généralement recommandé autour de 6 à 7 afin de maintenir un compromis acceptable entre nutrition des plantes et santé des poissons (FAO, 2021).

2. Apport nutritionnel et limites agronomiques

Les effluents piscicoles ne doivent pas être considérés comme un engrais complet. Les travaux sur la nutrition en aquaponie montrent que les concentrations en nutriments dans l'eau d'élevage sont souvent inférieures à celles des solutions hydroponiques classiques, en particulier pour le potassium, le calcium et le fer, qui sont souvent limitants pour la croissance végétative, la qualité des fruits et la prévention de certains désordres physiologiques.

L'effluent de tilapia peut convenir aux cultures choisi, peu exigeantes comme la laitue, mais il risque d'être insuffisant pour des cultures plus gourmandes comme la tomate et la fraise, surtout en phase de floraison et de fructification (Schmautz et al., 2016). Plusieurs études suggèrent donc qu'une supplémentation raisonnée en potassium, calcium, magnésium ou fer peut être nécessaire pour maintenir une productivité satisfaisante sans nuire à la santé des poissons (FAO, 2021 ; Schmautz et al., 2016).

2.1. Effets sur la laitue

La laitue est l'une des cultures les plus adaptées à l'aquaponie, car son cycle est court et ses besoins nutritionnels sont modérés. La FAO indique que les légumes-feuilles se comportent généralement très bien dans ce type de système, notamment lorsqu'ils sont associés à des cultures à cycle plus long comme la tomate. Dans plusieurs travaux, la laitue apparaît comme une culture sentinelle utile pour évaluer rapidement la qualité nutritionnelle de l'effluent et l'équilibre du système.

Une étude récente sur l'association tilapia-laitue a montré que la laitue cultivée en hydroponie standard pouvait présenter de meilleures performances de croissance que celle cultivée

en aquaponie sans correction nutritive, tandis que le système aquaponique favorisait davantage la croissance du poisson (Scientific Reports, 2024). Cela montre qu'un compromis existe entre performance végétale et performance piscicole, et que l'équilibre du système reste déterminant.

2.2. Effets sur la tomate

La tomate est plus exigeante que la laitue, surtout pendant la floraison et la fructification. Elle requiert notamment des apports suffisants en potassium, calcium et magnésium, qui ne sont pas toujours disponibles en quantités optimales dans les effluents piscicoles seuls (Schmautz et al., 2016). Malgré cela, les études en aquaponie montrent des résultats intéressants pour cette culture.

Ont comparent plusieurs systèmes hydroponiques intégrés à des unités d'élevage de tilapia et il a été observé que les rendements et la qualité des fruits de tomate restaient globalement comparables entre les systèmes, avec parfois une légère supériorité de l'irrigation goutte-à-goutte (Schmautz et al., 2016). D'autres travaux sur l'utilisation d'effluents piscicoles en maraîchage montrent que ces eaux peuvent améliorer la croissance, le nombre de fruits et certains paramètres de rendement, surtout lorsqu'elles sont combinées à une fertilisation organique ou minérale complémentaire (FAO, 2021).

2.3. Effets sur la fraise

La fraise est plus délicate à intégrer dans un système alimenté par des effluents de tilapia, car elle est sensible à la salinité, au pH, aux déséquilibres minéraux et aux excès d'azote. Une étude spécifique sur le couple tilapia-fraise a montré que les ions produits par les poissons ne suffisent pas à couvrir tous les besoins nutritifs de la fraise, mais qu'ils peuvent réduire le coût de supplémentation des solutions hydroponiques. Il a été également montré que certains nutriments comme les nitrates et le calcium sont présents en quantité utile, mais souvent insuffisante pour remplacer totalement une solution nutritive complète.

Des travaux plus récents indiquent que la fraise peut produire des rendements comparables à ceux de l'hydroponie tout en réduisant l'usage d'engrais chimiques, mais ces résultats concernent parfois d'autres types d'effluents piscicoles et doivent donc être interprétés avec prudence. Néanmoins l'intérêt général de l'aquaponie pour la fraise, à condition d'un suivi fin de la nutrition minérale.

3. Intérêt d'un système associant laitue, fraise et tomate

L'association laitue-fraise-tomate est pertinente, mais elle doit être conçue comme un système à besoins nutritifs différenciés. La laitue peut jouer le rôle de culture à cycle court et à absorption rapide de l'azote, alors que la tomate et la fraise sont des cultures plus longues et plus sensibles aux déséquilibres en potassium, calcium et fer (FAO, 2021 ; Schmautz et al., 2016). La FAO recommande d'associer des légumes à cycle court entre des cultures à cycle plus long afin d'optimiser l'espace et de maintenir une production continue (FAO, 2021).

Le principal risque est que les trois cultures n'exploitent pas les nutriments au même rythme. Si l'effluent est riche en azote mais pauvre en potassium, calcium ou fer, la laitue peut bien se développer tandis que la tomate et la fraise peuvent présenter une baisse de floraison, de nouaison, de calibre ou de qualité des fruits (Schmautz et al., 2016).

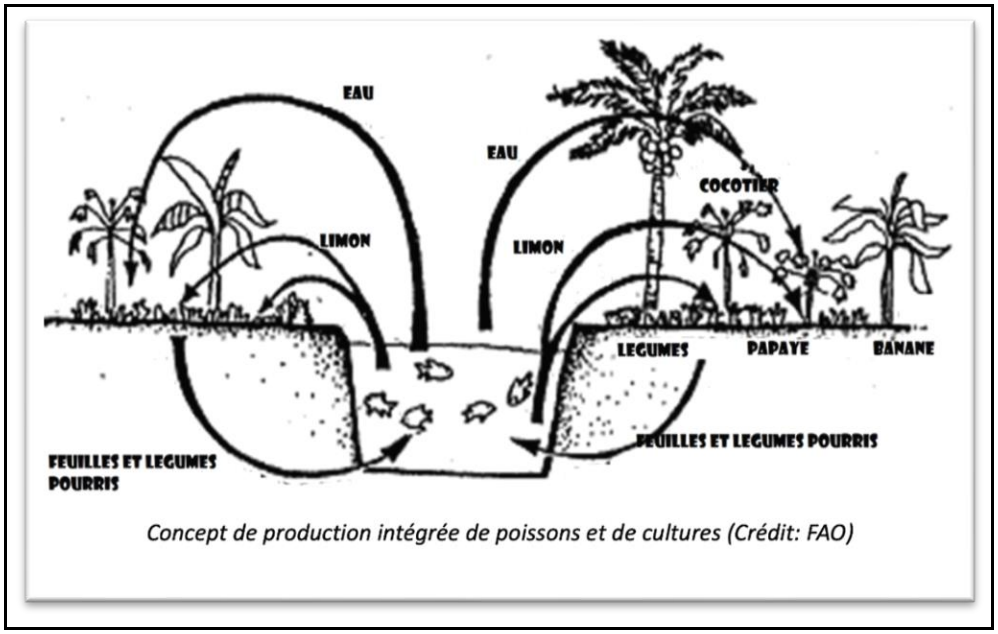


Figure 01 : image représentent un concept intégré de poissons st de culture (FAO, 2003).

4. Types de systèmes aquaponiques intégrée

Les systèmes aquaponiques peuvent être classés selon leur mode de circulation de l'eau et selon le type de dispositif hydroponique utilisé pour la culture des plante2021ans la littérature, les systèmes les plus fréquents sont les systèmes couplés, les systèmes découplés, les systèmes à substrat, les systèmes en eau profonde et les systèmes utilisant la technique du film nutritif. Ces dispositifs reposent tous sur le même principe général : l'eau issue de l'élevage des poissons est utilisée comme source de nutriments pour les plantes, tandis que les plantes et les bactéries

contribuent à l'épuration de cette eau avant sa réutilisation dans le système aquacole. Selon la FAO, les systèmes aquaponiques de petite échelle reposent principalement sur trois dispositifs de culture végétale : les lits de culture à substrat, la culture en eau profonde et la technique du film nutritif (FAO, 2014).

4.1. Systèmes couplés

Les systèmes couplés, appelés aussi systèmes à boucle unique, sont les formes classiques de l'aquaponie. Dans ce type de système, l'eau circule en continu entre le bassin d'élevage des poissons, le système de filtration biologique et l'unité de culture des plantes. Les poissons produisent des déchets riches en composés azotés, qui sont transformés par les bactéries nitrifiantes en formes assimilables par les plantes. Les plantes absorbent ensuite une partie de ces nutriments et contribuent ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau avant son retour vers les poissons. Il est donc plus juste de dire que les plantes épurent l'eau destinée aux poissons, et non qu'elles les nourrissent directement. Ce type de système exige un équilibre délicat entre la densité de poissons, la quantité d'aliment distribuée, la surface de culture et la capacité du biofiltre (FAO, 2014).

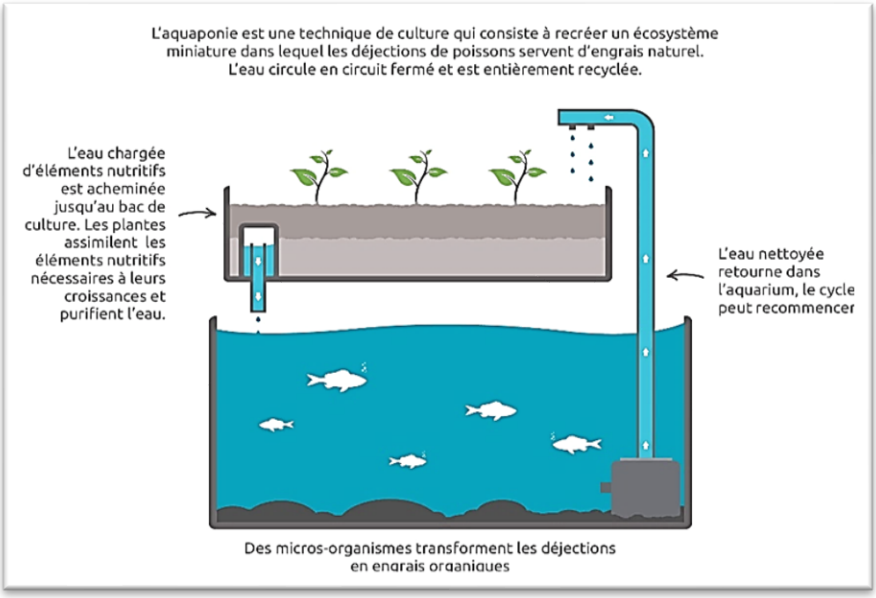


Figure 02 : image représentent un Systèmes couplés on Aquaponie (FAO, 2014).

4.2. Systèmes découplés

Les systèmes découplés séparent partiellement ou totalement l'unité aquacole et l'unité hydroponique. Contrairement aux systèmes couplés, l'eau ne retourne pas toujours directement des plantes vers les poissons. Cette organisation permet un meilleur contrôle des conditions

propres à chaque compartiment. Par exemple, les poissons peuvent être maintenus à un pH favorable à leur croissance, tandis que les plantes peuvent recevoir une solution nutritive ajustée selon leurs besoins.

Les systèmes découplés sont donc particulièrement intéressants pour les cultures exigeantes, comme la tomate ou la fraise, car ils permettent de corriger plus facilement les carences en potassium, calcium, magnésium ou fer. Les travaux de Goddek et al. Montrent que le découplage améliore le contrôle des paramètres de production et peut augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau et des nutriments (Goddek et al., 2019; Goddek et al., 2020).



Figure 03 : image représentent un Systèmes découplés on Aquaponie (FAO, 2014).

4.3. Systèmes basés sur les médias

Les systèmes à substrat utilisent des supports inertes comme les billes d'argile, le gravier, la pouzzolane, la perlite ou d'autres matériaux poreux. Ces supports assurent plusieurs fonctions : ils maintiennent les racines des plantes, facilitent la circulation de l'eau et offrent une surface de colonisation aux bactéries nitrifiantes. Ces systèmes sont souvent utilisés dans les installations de petite et moyenne taille, car ils sont simples à mettre en place et peuvent assurer à la fois la filtration mécanique, la filtration biologique et le soutien des plantes. La FAO présente les lits de culture à

substrat comme l'un des systèmes aquaponiques les plus accessibles pour les débutants et les petites unités de production (FAO, 2014).

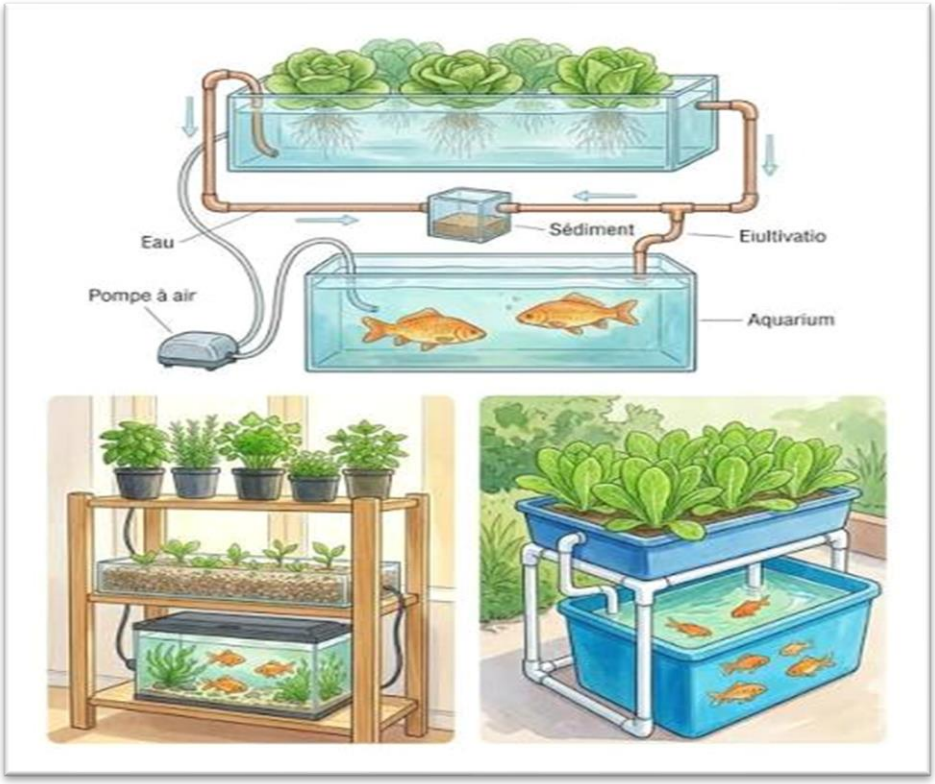


Figure 04 : image représentent un Systèmes basés sur les médias (FAO, 2014).

4.4. Culture en eau profonde

La culture en eau profonde, appelée aussi système à radeaux flottants, consiste à placer les plantes sur des plaques flottantes, généralement en polystyrène ou en matériau similaire, avec les racines directement immergées dans l'eau enrichie en nutriments. Les poissons sont élevés dans un bassin séparé, et l'eau est conduite vers le bassin de culture après filtration. Ce système est particulièrement adapté aux légumes-feuilles à cycle court, comme la laitue, car les racines restent en contact permanent avec la solution nutritive. Il nécessite cependant une bonne oxygénation de l'eau afin d'éviter l'asphyxie racinaire et le développement de conditions anaérobies (FAO, 2014).

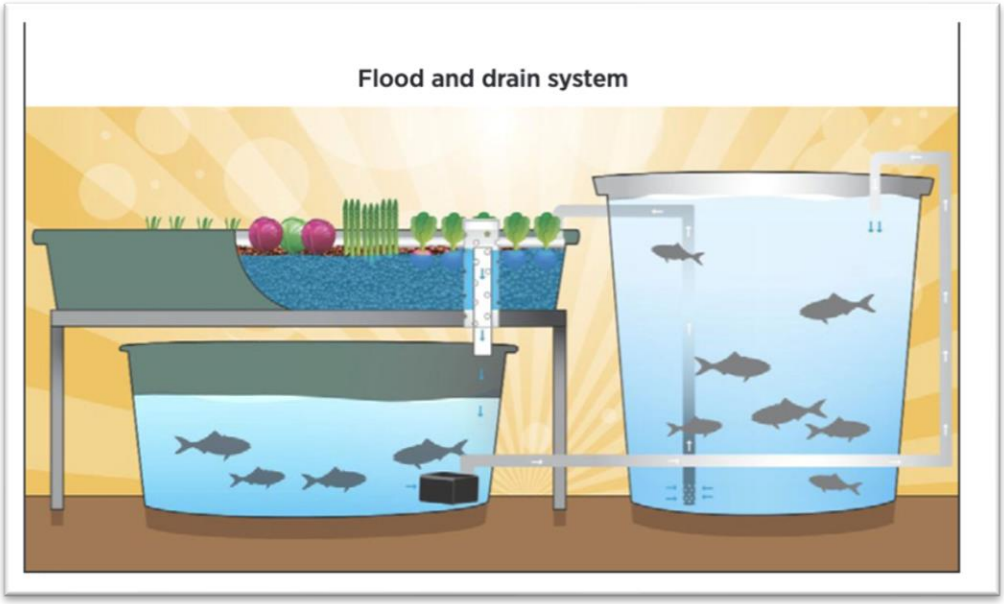


Figure 05 : image représentent un Systèmes de Culture en eau profonde (FAO, 2014).

4.5. Technique du film nutritif

La technique du film nutritif repose sur la circulation d'une fine lame d'eau riche en nutriments dans des rigoles ou des canaux légèrement inclinés. Les racines des plantes sont en contact avec ce flux continu, ce qui leur permet d'absorber l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leur croissance. Ce système est léger, peu encombrant et adapté à certaines cultures à petit système racinaire, mais il est plus sensible au colmatage et aux interruptions de pompage. Il nécessite donc une filtration efficace en amont afin d'éviter l'accumulation de particules solides provenant des déjections des poissons ou des restes d'aliments (FAO, 2014).

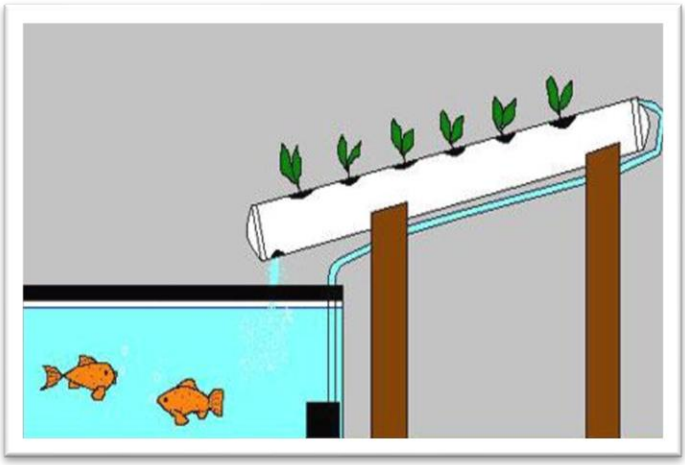


Figure 06 : image représentent la Technique du film nutritif (NTF) ; (Sibinga, 2016).

5. Avantages et limites des différents systèmes

Les différents systèmes présentent plusieurs avantages agronomiques et environnementaux, notamment le recyclage de l'eau, la valorisation des effluents piscicoles, la réduction de l'usage des engrais chimiques et la production simultanée de poissons et de légumes. Cependant, elle ne doit pas être présentée comme une solution parfaite. Son fonctionnement dépend d'un équilibre biologique complexe entre poissons, bactéries et plantes. Toute perturbation du pH, de l'oxygène dissous, de la température ou de la charge organique peut affecter l'ensemble du système. La FAO souligne que la réussite d'un système intégrée exige un suivi régulier de la qualité de l'eau et une bonne compréhension du cycle de l'azote (FAO, 2014).

5.1. Production alimentaire durable et écologique

L'aquaponie est considérée comme une méthode de production durable, car elle associe l'élevage de poissons et la culture de plantes dans un système à eau recyclée. Les déchets issus des poissons, notamment l'ammonium et les matières organiques, sont transformés par les bactéries en nutriments utilisables par les plantes. Ce fonctionnement permet de réduire les rejets polluants liés à l'aquaculture et de limiter l'utilisation d'engrais minéraux en production végétale. L'intérêt écologique du système repose donc sur la transformation d'un déchet piscicole en ressource fertilisante. (FAO, 2018).

Toutefois, la durabilité réelle dépend de plusieurs facteurs, notamment la consommation d'énergie, l'origine de l'aliment des poissons, la gestion des boues et le niveau de supplémentation minérale nécessaire aux cultures (FAO, 2019 ; Goddek et al., 2019).

5.2. Économies d'eau et gestion énergétique

L'un des avantages les plus reconnus de l'aquaponie est l'économie d'eau. Comme l'eau circule en boucle fermée ou semi-fermée, les pertes sont principalement liées à l'évaporation, à la transpiration des plantes et aux opérations de nettoyage. La FAO indique que certaines fermes intégrées utilisant ces systèmes pour réduire la consommation d'eau d'environ 90% par rapport à l'agriculture traditionnelle (FAO, 2018). En revanche, l'affirmation selon laquelle l'aquaponie consomme toujours moins d'énergie que les systèmes agricoles classiques doit être nuancée. Les pompes, l'aération, la filtration, les capteurs, et parfois le chauffage ou le refroidissement de l'eau, peuvent représenter une dépense énergétique importante. L'aquaponie est donc surtout performante lorsque le système est bien dimensionné, que les pompes sont efficaces et que la gestion de l'eau et de l'oxygénation est optimisée (FAO, 2019).

5.3. Amélioration de la qualité des cultures

L'aquaponie peut favoriser une bonne qualité des cultures lorsque les paramètres du système sont bien contrôlés. Le recyclage de l'eau, la filtration biologique et l'absorption des nutriments par les racines créent un environnement relativement stable pour la croissance des plantes. Les paramètres tels que le pH, l'oxygène dissous, l'ammonium, les nitrites et les nitrates doivent cependant être suivis régulièrement, car ils influencent directement la disponibilité des nutriments et la santé des racines. Les cultures à cycle court, comme la laitue, sont souvent plus faciles à réussir que les cultures fruitières exigeantes, comme la tomate ou la fraise (FAO, 2014 ; Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Dans plusieurs cas, les effluents piscicoles peuvent être insuffisants en potassium, calcium ou fer. Ces éléments sont essentiels pour la qualité des fruits, la croissance végétative et la prévention de certains désordres physiologiques. Pour cette raison, une supplémentation raisonnée peut être nécessaire, surtout pour les cultures fruitières (Goddek et al., 2019 ; Goddek et al., 2020).

5.4. Réduction de l'utilisation d'engrais et de pesticides

Ce système permet de réduire l'utilisation d'engrais chimiques, car une partie des éléments nutritifs provient directement des déchets des poissons et des restes d'aliments transformés par les bactéries. Les plantes absorbent les nutriments dissous dans l'eau, ce qui diminue le recours aux fertilisants externes. Cette approche contribue aussi à limiter les pertes de nutriments vers les sols et les eaux souterraines, surtout lorsque le système fonctionne en recirculation (FAO, 2014).

Il réduit considérablement l'usage des pesticides, mais elle ne supprime pas totalement le risque phytosanitaire. Les maladies racinaires, les insectes ravageurs et les déséquilibres microbiens peuvent toujours apparaître. De plus, les traitements chimiques doivent être utilisés avec beaucoup de prudence, car certains produits tolérés en culture végétale peuvent être toxiques pour les poissons ou perturber les bactéries du biofiltre. La gestion sanitaire repose donc davantage sur la prévention, la surveillance, l'hygiène du système et les méthodes de lutte biologique compatibles avec les poissons (FAO, 2014 ; Central Baltic Programme, 2023).

6. Principe de fonctionnement d'un système poisson-plante-bactéries

Ce système fonctionne comme un écosystème contrôlé associant trois composantes principales : les poissons, les bactéries et les plantes. Les poissons sont nourris avec un aliment

distribué par l'éleveur. Une partie de cet aliment est transformée en biomasse piscicole, tandis qu'une autre partie est rejetée sous forme de déjections, d'ammonium, d'urée, de matières organiques et de nutriments dissous. Ces déchets, toxiques pour les poissons lorsqu'ils s'accumulent, deviennent une ressource pour les plantes après transformation biologique (FAO, 2014).

Les bactéries jouent un rôle central dans le cycle de l'azote. Les bactéries nitrifiantes transforment d'abord l'ammoniac ou l'ammonium en nitrites, puis les nitrites en nitrates. Les nitrates sont moins toxiques pour les poissons et constituent une forme d'azote directement assimilable par les plantes. Cette transformation permet au biofiltre de protéger les poissons contre l'accumulation de composés azotés toxiques tout en assurant une nutrition minérale aux plantes (FAO, 2014).

Les plantes prélèvent une partie des nitrates, du phosphore, du potassium et d'autres éléments minéraux dissous dans l'eau. Par l'absorption racinaire, elles participent activement à l'épuration du milieu avant le retour de l'eau vers le bassin piscicole. Le fonctionnement du système repose ainsi sur un équilibre dynamique entre la production de déchets par les poissons, l'activité des bactéries nitrifiantes et la capacité d'assimilation des plantes. Lorsque la densité de poissons est excessive, l'ammonium et les nitrites peuvent s'accumuler à des concentrations toxiques. À l'inverse, une biomasse végétale insuffisante entraîne l'accumulation des nutriments dans l'eau, tandis qu'une demande trop élevée des plantes peut provoquer des déséquilibres nutritionnels (FAO, 2014 ; Goddek et al., 2020).

Des bactéries aérobies assurent la transformation des composés azotés issus des déjections piscicoles, notamment l'ammoniac, l'ammonium et l'urée, en nitrites puis en nitrates. Ces derniers représentent une forme minérale de l'azote directement assimilable par les végétaux. Ces microorganismes jouent donc un rôle essentiel de filtre biologique, car l'accumulation des excrétions piscicoles peut devenir toxique pour les poissons en perturbant notamment le transport de l'oxygène par l'hémoglobine et, par conséquent, la respiration. La toxicité relative des composés azotés varie fortement selon leur nature, avec un rapport d'environ 100 entre certains d'entre eux. Les seuils toxiques généralement admis sont inférieurs à 0,5 mg/L pour le couple $NH4+/NH3$, à 0,5 mg/L pour les nitrites ($NO2-$) et à environ 50 mg/L pour les nitrates ($NO3-$), voire davantage selon les espèces.

En pratique, l'eau du bassin piscicole est pompée vers une unité de filtration mécanique destinée à éliminer les matières solides, puis vers un biofiltre où se développent les bactéries nitrifiantes. Elle circule ensuite vers l'unité hydroponique, qui peut être un lit de culture à substrat, un système en eau profonde ou un système à film nutritif. Après absorption partielle des nutriments par les plantes, l'eau retourne vers le bassin des poissons. Ce cycle permet de recycler l'eau, de valoriser les effluents piscicoles et de produire simultanément des poissons et des cultures végétales (FAO, 2014 ; Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

II. Traitement des rejets

2.1. Traitement physique

Depuis quelques années, le traitement physique des rejets piscicoles s'est amélioré grâce à l'utilisation de filtres à tambour rotatif, capables de retenir les matières en suspension. Ces dispositifs produisent des boues qui doivent ensuite être stockées, analysées et traitées avant toute valorisation, notamment par épandage. Malgré leur efficacité, ces équipements restent coûteux et parfois difficiles à intégrer dans les installations existantes. Leur mise en œuvre peut également poser des problèmes de nuisances sonores et olfactives, qui doivent être maîtrisées.

Dans certains cas, notamment lors de travaux de modernisation, des pisciculteurs envisagent l'installation de filtres à tambour afin de réduire l'impact des rejets au point de déversement. Le traitement mécanique permet d'extraire une partie de l'azote organique contenu dans les matières en suspension, mais il n'agit pas directement sur la concentration en ammonium. En revanche, lorsqu'il est associé à une recirculation de l'eau dans un circuit fermé bien oxygéné, il peut contribuer au recyclage de l'eau.

2.1. Traitement chimique

Le traitement chimique des rejets piscicoles reste difficile à mettre en œuvre lorsque les concentrations en polluants sont faibles et que le débit d'eau est important. Dans les conditions d'élevage en eau froide, avec une faible teneur en ammonium, les procédés chimiques deviennent souvent coûteux et peu rentable2021es micro-stations expérimentales ont bien été testées dans certains pays, mais sans atteindre une rentabilité satisfaisante à l'échelle industrielle. Ce type de traitement peut être envisagé sur des sites disposant d'une grande surface, permettant l'installation de lagunes ou de bassins de décantation. En revanche, dans les exploitations de petite taille ou dans les régions où l'espace est limité, cette solution est généralement peu adaptée

2. Cycle de l'azote : ammonium, nitrites et nitrates

2.1. Le cycle de l'azote

Le cycle de l'azote est un cycle biogéochimique qui décrit les transformations successives de l'azote entre ses différentes formes, notamment le diazote, l'ammoniac, l'ammonium, les nitrites, les nitrates et l'azote organique. Cependant, sous sa forme moléculaire N_2 il est très peu réactif et donc directement inutilisable par la majorité des organismes vivants.

Les êtres vivants ont pourtant besoin d'azote pour synthétiser les protéines et les acides nucléiques. Ils utilisent donc l'azote fixé, c'est-à-dire des formes dans lesquelles l'atome d'azote est associé à d'autres éléments, comme l'hydrogène dans l'ammoniac NH_3 ou l'oxygène dans les nitrates NO^-_3. Le cycle de l'azote comprend trois grandes étapes : la fixation, la nitrification et la dénitrification.

2.2. Fixation de l'azote

La fixation de l'azote correspond à la conversion du diazote atmosphérique en formes assimilables par les plantes et les animaux. Ce processus est assuré par certaines bactéries libres dans le sol ou dans l'eau, ainsi que par des bactéries vivant en symbiose avec les plantes. Parmi elles, on trouve notamment les cyanobactéries et plusieurs bactéries fixatrices d'azote. Cette transformation permet la production de composés ammoniaqués, en particulier l'ammonium NH^+_4 et l'ammoniac NH_3. Dans les milieux à pH élevé, l'ammonium peut se transformer plus facilement en ammoniac gazeux, qui s'échappe dans l'atmosphère. La fixation de l'azote est une réaction de réduction nécessitant un apport d'énergie, souvent fourni par la photosynthèse.

2.3. Nitrification

La nitrification est un processus d'oxydation qui transforme les formes réduites de l'azote, notamment l'ammoniac et l'ammonium, en nitrites puis en nitrates. Cette réaction est réalisée par des bactéries spécialisées présentes dans les sols, les eaux et les biofiltres. Les nitrites constituent une forme intermédiaire instable, tandis que les nitrates représentent la forme finale la plus courante de l'azote minéral dans l'environnement.

Dans les systèmes aquacoles et aquaponiques, cette étape est particulièrement importante, car elle permet de réduire la toxicité des rejets azotés et d'assurer une alimentation minérale pour les plantes.

2.4. Dénitrification

La dénitrification correspond au retour de l'azote vers l'atmosphère sous forme de diazote N_2. Ce processus produit également, dans certaines conditions, du protoxyde d'azote N_2O, un gaz à effet de serre puissant. La dénitrification est réalisée par des bactéries qui utilisent les nitrates comme source d'azote en présence de matière organique.

III. Espèce étudié tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) est une espèce de poisson d'eau douce appartenant à la famille des Cichlidae et au genre *Oreochromis*. Il est largement reconnu pour sa capacité à protéger ses œufs et ses alevins par incubation buccale, comportement qui améliore la survie des jeunes stade2021ans l'Égypte antique, il était déjà considéré comme un poisson bénéfique, au point d'être représenté dans l'iconographie hiéroglyphique par le signe K1 de la liste de Gardiner (FAO, 2021. ; Lemma et al., 2010).



Figure 07 : photo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Sur le plan zootechnique, le tilapia du Nil se distingue par une croissance rapide en conditions favorables. Il peut atteindre une taille commercialisable de 400 à 600 g en 6 à 12 mois, selon le système d'élevage, la qualité de l'aliment et les conditions du milieu (El-Sayed, 2006 ; FAO, 2021). L'existence de souches améliorées, telles que Bouaké ou Sirba, a permis d'obtenir de meilleures performances de croissance, de reproduction et de survie que celles observées chez les souches sauvages (Ponzoni et al., 2011). Son régime omnivore constitue également un avantage

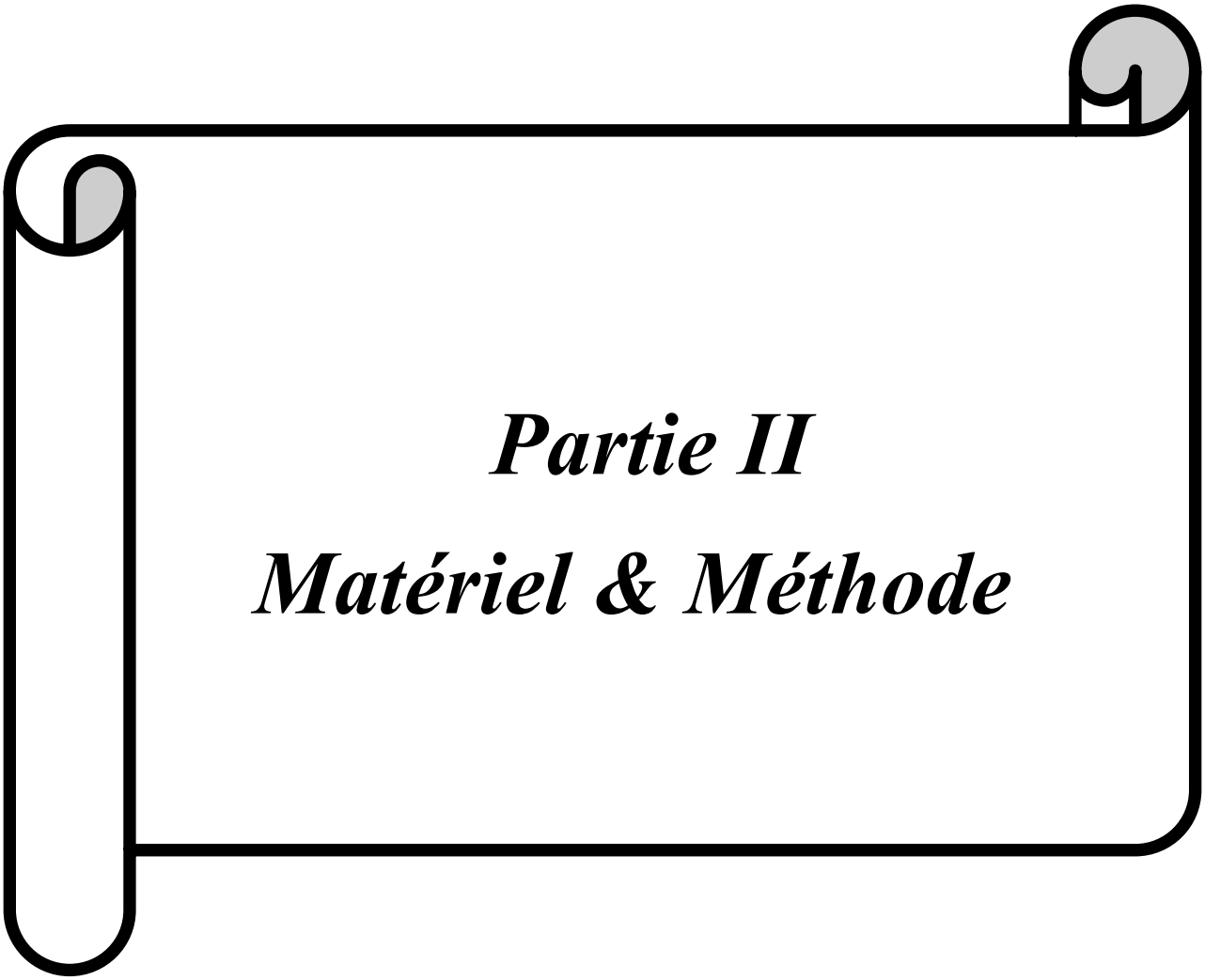
important, puisqu'il lui permet de valoriser des aliments composés, mais aussi des ressources naturelles produites dans le milieu, ce qui réduit les coûts de production (El-Sayed, 2006).

Le tilapia du Nil présente aussi une reproduction très prolifique. Cette caractéristique est intéressante pour la production d'alevins, mais elle peut entraîner une surpopulation dans les systèmes d'élevage si elle n'est pas maîtrisée. Pour cette raison, les producteurs ont souvent recours à l'élevage mono-sexe mâle ou à d'autres stratégies de contrôle de la reproduction (Mair et al., 1997 ; El-Sayed, 2006). Le poisson est également connu pour son mode d'incubation buccale, dans lequel la femelle garde les œufs puis les larves dans sa bouche, ce qui accroît fortement la protection des descendants (FAO, 2021).

Du point de vue de l'adaptation, *Oreochromis niloticus* est une espèce rustique, capable de supporter des variations de température, d'oxygène dissous et de salinité. Cette tolérance explique sa large diffusion dans les systèmes aquacoles intensifs et semi-intensifs (El-Sayed, 2006). Il est considéré comme une espèce euryhaline, pouvant vivre dans une large gamme de salinité, bien qu'il préfère l'eau douce (FAO, 2021). Ses meilleures performances de croissance sont généralement obtenues à des températures comprises entre 25 et 30 °C, avec une alimentation riche en protéines et une bonne gestion de la densité d'élevage (El-Sayed, 2006).

Morphologiquement, le tilapia du Nil possède un corps trapu, de couleur grisâtre, brunâtre ou bronze. Sa nageoire caudale présente généralement des bandes verticales noires, ce qui permet de le distinguer du tilapia bleu, chez lequel les bandes sont interrompues (FAO, 2021). Sa chair est appréciée pour sa qualité nutritionnelle, car elle constitue une bonne source de protéines, de phosphore et de sélénium, avec un profil d'acides aminés essentiel intéressant pour l'alimentation humaine (FAO, 2021).

En aquaculture, le tilapia du Nil occupe une place majeure à l'échelle mondiale. Il représente une part très importante de la production totale de tilapia, en raison de sa croissance rapide, de sa résistance aux maladies, de sa capacité d'adaptation à différents systèmes d'élevage et de sa rentabilité économique (FAO, 2021. ; El-Sayed, 2006). Son régime alimentaire omnivore permet de réduire les coûts d'alimentation, tandis que sa reproduction prolifique assure un approvisionnement constant en alevins (Mair et al., 1997). Par ailleurs, sa chair blanche, au goût neutre, est très appréciée des consommateurs et se prête facilement à la transformation en filets, conserves et autres produits à valeur ajoutée (Ponzoni et al., 2011).



Partie II

Matériel & Méthode

Partie II : Matériel & Méthode

II.1. Le concept de l'intégration pisciculture-agriculture

Ce concept constitue une approche durable visant à optimiser l'utilisation des ressources naturelles et à renforcer l'équilibre des écosystèmes agricoles. Selon Little et Edwards (2003), cette intégration permet de mieux valoriser les interactions entre les productions animales aquatiques et les cultures végétales, notamment à travers le recyclage de l'eau et des nutriments.

Dans ce type de système, les ressources hydriques sont exploitées de manière plus rationnelle, ce qui contribue à améliorer l'efficacité globale de la production agricole (Fernando et Halwart, 2000 ; FAO, 2011). Les effluents issus de l'aquaculture, souvent riches en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, peuvent être réutilisés pour l'irrigation et la fertilisation des cultures. Cette pratique permet non seulement de réduire le gaspillage de l'eau, mais aussi de limiter les rejets polluants dans l'environnement. La valorisation des effluents aquacoles représente donc une solution intéressante pour réduire l'accumulation des déchets organiques et prévenir la pollution des eaux et des sols (Little et Muir, 1987 ; Boyd, 2003). Plusieurs travaux ont montré que l'agriculture intégrée à l'aquaculture permet de diminuer efficacement les charges polluantes tout en améliorant l'utilisation des nutriments disponibles dans le système de production (Boyd, 2003 ; Martins et al., 2010 ; Miller et al., 2010).

II. 2. Zone d'étude (Site expérimental)

Le ferme expérimental est implanté dans la commune d'El Marsa, à l'extrême Est de la wilaya de Skikda, (Est algérien). Elle se situe à environ 500 mètres de l'oued El Kebi, cette ferme est rattachée au Centre National de la Recherche et du Développement de la Pêche et de l'Aquaculture, dont le siège se trouve à Bou Ismail, dans la wilaya de Tipaza, au centre de l'Algérie. Elle est destinée, à terme, à constituer une pépinière au service du développement de la péniculture en Algérie. Actuellement des bassins sont utilisée afin d'élevé et d'expérimenté tilapia *(Oreochromis niloticus)*, c'est à cette base que les effluents utilisés dans cette étude pour irriguée nos produits maraichers.



Figure 08 : Position géographique de la ferme de crevetticulture La Marsa, Skikda ; (Google Earth, 2026).

- **Type d'installation**

L'expérimentation a été conduite sur une parcelle de terrain agricole afin d'évaluer l'effet des traitements étudiées dans des mêmes conditions culture du milieu habituel. Le site expérimental a été choisi pour sa représentativité, sa facilité d'accès à filfila (Skikda) et la possibilité de suivre les paramètres agronomiques dans un contexte naturel. Avant l'installation de l'essai, la parcelle a été préparée par les opérations culturales usuelles, notamment le labour, le nivellement et le traçage des unités expérimentales selon le dispositif retenu deux partie à irrigué. Les traitements ont ensuite été appliqués sur les différentes parcelles élémentaires conformément au plan expérimental (parcelle 1 : irriguée à l'eau des effluant de tilapia, parcelle 2 : irriguée à l'eau potable, le reste de la parcelle 3 : irriguée à l'eau potable additionnée d'engrais chimique, en veillant à assurer une répartition homogène des conditions de culture. Au cours de l'essai, les observations ont porté sur les paramètres de croissance, l'état sanitaire des plantes, ainsi que sur les rendements obtenus, afin de comparer l'effet des différents traitements testés.

Les cultures sur lesquelles nous avons travaillé sont des cultures maraîchères saisonnières (tomate, fraise, letus) censées produire des résultats dans les délais cours pour la mise en œuvre de notre projet, et elles se présentent comme suit.



Figure 09 : photo du champ avec les différant parcelles

- **Préparation du sol**

Le semis en ligne a été effectué manuellement directement au sol, avec un taux uniforme de graines. Une analyse préalable a été réalisée par le propriétaire du champ afin d'assurer le bon déroulement de l'expérience et de valider l'hypothèse de l'étude. Les semis se sont affectée à la demi mai 2026.

II.3. Durée de l'essai et méthode d'utilisation des effluent

L'essai expérimental s'est déroulé sur une période totale de 20 semaines, subdivisée en deux phases successives. La récolte des effluents piscicole s'est effectuée au niveau des bassins de la ferme expérimentale de la Marsa, régulièrement à chaque utilisation.

Avant l'irrigation, l'eau piscicole doit être décantée ou filtrée afin d'éliminer les matières solides, les restes d'aliments et les boues organiques. Cette étape est importante pour éviter le colmatage des systèmes d'irrigation, pour limiter l'accumulation excessive de matière organique au niveau du sol.

L'utilisation de cette eau doit être précédée d'une analyse de ses paramètres physico-chimiques. Les paramètres les plus importants sont le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, l'ammonium, les nitrites, les nitrates, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le fer. Un pH proche de 6 à 7 est généralement recherché en culture intégrée, car il représente un

compromis acceptable entre les besoins des poissons, l'activité des bactéries nitrifiantes et l'absorption des nutriments par les plantes.

Pour les cultures maraîchères, les effluents piscicoles peuvent être utilisée de préférence par irrigation localisée, notamment par goutte-à-goutte. Cette méthode permet d'apporter l'eau directement au niveau des racines, de limiter le contact avec les feuilles et les fruits, et de réduire les pertes par évaporation. Elle est particulièrement recommandée pour les cultures comme la tomate, la fraise et la laitue, à condition d'adapter la fréquence d'irrigation au stade de croissance de la plante et à la capacité de rétention du sol ou du substrat.

L'eau piscicole peut être utilisée pure ou diluée selon sa concentration en sels et en nutriments. L'application directe d'une eau trop concentrée peut provoquer un stress salin, une toxicité azotée ou un déséquilibre nutritionnel. Les effluents piscicoles ne remplacent pas toujours complètement les engrais, car ils peuvent être insuffisants en potassium, calcium ou fer, surtout pour les cultures fruitières comme la tomate et la fraise.

Dans le cas de la laitue, l'effluent piscicole est généralement plus facile à valoriser, car cette culture a un cycle court et des besoins nutritionnels modérés. Pour la tomate et la fraise, une surveillance plus stricte est nécessaire, car ces cultures sont plus sensibles aux carences en potassium et en calcium pendant la floraison et la fructification. Une complémentation minérale raisonnée peut donc être nécessaire afin d'éviter une baisse du rendement, une mauvaise nouaison, une diminution du calibre des fruits ou des problèmes physiologiques.

L'utilisation de l'eau piscicole doit également respecter des précautions sanitaires. Il faut éviter l'irrigation par aspersion sur les parties consommables, surtout pour les légumes consommés crus comme la laitue et la fraise. L'irrigation au pied des plantes est préférable. Les recommandations de l'OMS sur la réutilisation des eaux en agriculture insistent sur la gestion des risques microbiologiques et sur l'importance d'adapter la qualité de l'eau au type de culture et au mode d'irrigation.

Ainsi, l'effluent piscicole peut être utilisée efficacement pour l'irrigation des plantes maraîchères si elle est filtrée, analysée, éventuellement diluée et appliquée de manière contrôlée. Son intérêt principal réside dans sa double fonction : elle apporte de l'eau et des nutriments aux cultures tout en réduisant la pollution liée aux rejets aquacoles. Cependant, son efficacité dépend d'une bonne gestion de la qualité de l'eau et d'un ajustement des apports nutritifs selon les besoins spécifiques de chaque culture.

II.4. Caractérisation physico-chimique

La zone de Filfila, dans la wilaya de Skikda, est caractérisée par des sols globalement neutres, non salés et d'une fertilité relativement élevée. Les analyses disponibles montrent une diversité texturale marquée, allant de sols limono-sableux à sablo-argileux et sableux, ce qui conditionne leur perméabilité et leur réserve utile en eau. Ces propriétés physico-chimiques confèrent à la zone un intérêt agronomique certain, bien que la gestion de l'irrigation et des apports organiques doive être adaptée à la variabilité des profils pédologiques

Sur le plan agronomique, ces caractéristiques sont intéressantes pour les cultures maraîchères, car un sol neutre et peu salé favorise généralement une bonne disponibilité des nutriments. Toutefois, la texture influence fortement les besoins en irrigation et en amendement organique. Les sols à texture sableuse ou sablo-limoneuse nécessitent souvent une gestion plus attentive de l'eau et de la fertilisation que les sols plus fins.

II.5. Présentation des trois espèces maraîchères étudiées

Dans le cadre d'un système maraîcher valorisant les effluents piscicoles de tilapia, le choix de la tomate, de la laitue et de la fraise présente un intérêt agronomique particulier. Ces trois espèces appartiennent à des groupes botaniques différents et possèdent des exigences nutritionnelles distinctes. Leur association permet donc d'évaluer l'effet de l'eau piscicole sur des cultures à cycles, organes récoltés et besoins minéraux variés.

a) - La tomate : *Solanum lycopersicum* L.

La tomate, anciennement désignée sous le nom *Lycopersicon esculentum* Mill., appartient à la famille des Solanaceae. Elle est considérée comme une espèce acceptée sous le nom *Solanum lycopersicum* L. Son aire d'origine cultivée est associée au Pérou, et l'espèce est largement utilisée pour l'alimentation humaine.

Sur le plan botanique, la tomate est une plante herbacée à port dressé ou semi-rampant, cultivée principalement pour ses fruits charnus. Elle possède un système racinaire relativement développé, une tige ramifiée, des feuilles composées et des fleurs jaunes regroupées en inflorescences. La fructification dépend fortement de la nutrition minérale, de la température, de la lumière et de la disponibilité en eau.

Dans un système utilisant des effluents piscicoles, la tomate représente une culture exigeante. Elle a besoin d'un apport suffisant en azote pendant la croissance végétative, mais aussi en potassium,

calcium et magnésium pendant la floraison et la fructification. L'eau piscicole peut donc contribuer à sa nutrition, mais elle peut être insuffisante si elle est pauvre en potassium ou en calcium. Pour cette raison, la tomate est une bonne espèce indicatrice pour évaluer si les effluents de tilapia peuvent remplacer partiellement ou totalement une fertilisation classique.



Figure 10 : photo **la tomate (** ***Solanum lycopersicum)*** **L.**

b) - La laitue : ***Lactuca sativa*** **L.**

La laitue, *Lactuca sativa* L., appartient à la famille des Asteraceae, il s'agit d'une espèce acceptée, annuelle ou bisannuelle, principalement cultivée comme plante alimentaire. Son origine cultivée est associée à l'Asie occidentale.

La laitue est une plante maraîchère à cycle court, cultivée pour ses feuilles. Elle possède un système racinaire relativement superficiel et une croissance rapide, ce qui la rend adaptée aux systèmes hydroponiques et aquaponiques. Elle demande surtout une bonne disponibilité en azote, élément essentiel pour le développement foliaire.

Dans un système valorisant les effluents piscicoles, la laitue est généralement l'espèce la plus facile à conduire. Les nitrates issus de la transformation des déchets azotés des poissons peuvent favoriser sa croissance végétative. Elle permet donc d'évaluer rapidement l'effet fertilisant de l'eau piscicole. Cependant, une concentration excessive en azote peut entraîner une accumulation de nitrates dans les feuilles, ce qui justifie un contrôle régulier de la qualité de l'eau et de la fertilisation.



Figure 11 : photo de la **laitue (*Lactuca sativa*) L**

c)- La fraise : *Fragaria ananassa*

La fraise cultivée, *Fragaria ananassa*, appartient à la famille des Rosaceae. Elle est issue d'une hybridation entre *Fragaria virginiana*, originaire d'Amérique du Nord, et *Fragaria chiloensis*, originaire d'Amérique du Sud.

La fraise est une plante herbacée vivace cultivée pour ses faux-fruits charnus. Elle présente des feuilles trifoliées, des stolons et un système racinaire plutôt superficiel. Sa production dépend fortement de l'équilibre entre croissance végétative, floraison, nouaison et maturation des fruits.

Dans un système irrigué par des effluents piscicoles, la fraise est plus délicate que la laitue. Elle est sensible aux déséquilibres minéraux, à la salinité et aux excès d'azote. Pour produire des fruits de bonne qualité, elle nécessite une disponibilité suffisante en potassium, calcium et oligo-éléments. L'eau piscicole peut donc contribuer à sa nutrition, mais une complémentation minérale peut être nécessaire pour éviter une baisse du rendement, une mauvaise qualité des fruits ou des troubles physiologiques.

Ainsi, ces trois espèces permettent d'analyser non seulement l'effet fertilisant global des effluents de tilapia, mais aussi leurs limites selon les exigences spécifiques de chaque culture. Cette comparaison est pertinente pour déterminer si l'eau piscicole peut être utilisée seule ou si elle nécessite une correction nutritive adaptée à chaque espèce.



Figure 12 : photo du fraisier ***Fragaria ananassa***

II.5. Suivi de la croissance des plantes

Afin d'évaluer l'effet des effluents piscicoles sur le développement végétatif des cultures, un suivi régulier de la croissance des plants de tomate (***Solanum lycopersicum***), la letus (***Lactuca sativa***) et de frais (***Fragaria ananassa***) a été réalisé tout au long de la période expérimentale. Ce suivi a porté sur plusieurs paramètres biométriques, mesurés à intervalles réguliers, notamment le diamètre de la tige, la longueur de la tige et le nombre de feuilles. Ces indicateurs ont permis de comparer objectivement les performances de croissance entre les trois traitements appliqués : irrigation avec l'eau de pisciculture, irrigation avec de l'eau potable ordinaire, et irrigation avec de l'eau potable supplémentée en engrais chimique.

a) - **Le diamètre de la tige** constitue un indicateur pertinent de la vigueur et de la robustesse des plants. Il a été mesuré à la base de chaque plant, à environ 1 cm au-dessus du niveau du sol, à l'aide d'un pied à coulisse numérique, puis exprimé en millimètres (mm). Les relevés ont été effectués de façon hebdomadaire. Un diamètre de tige plus important est généralement associé à une meilleure absorption des nutriments et à une plus grande résistance aux stress environnementaux (Naika et al., 2005).

b) - **Le nombre de feuilles** a également été retenu comme indicateur de croissance, car il traduit le degré de développement végétatif et la capacité photosynthétique des plantes. Le comptage a été effectué manuellement, de manière hebdomadaire, sur l'ensemble des plants de chaque traitement. Un nombre élevé de feuilles traduit généralement une bonne nutrition minérale et une croissance végétative soutenue, ce qui représente un indicateur favorable dans le cadre d'une

irrigation raisonnée à base d'eaux issues de l'aquaculture (Zouakh et al., 2016 ; Corner et al., 2020).

c) - **La surface foliaire** constitue un indicateur essentiel du développement végétatif, car elle reflète la capacité photosynthétique de la plante et son aptitude à capter la lumière. Elle a été évaluée à partir des feuilles pleinement développées de chaque plant, en utilisant une méthode de mesure adaptée à la forme des feuilles ou, selon le protocole retenu, à partir de la longueur et de la largeur foliaires. Les mesures ont été réalisées à intervalles réguliers, en parallèle avec les autres paramètres de croissance, afin de suivre l'évolution de l'appareil foliaire au cours de l'expérimentation.

L'analyse de la surface foliaire permet d'apprécier l'effet des différents traitements d'irrigation sur la vigueur des plants. Une surface foliaire plus importante traduit généralement une meilleure nutrition hydrique et minérale, ainsi qu'un potentiel photosynthétique plus élevé, ce qui peut se répercuter positivement sur la croissance et le rendement.



Figure 13 : Mesure permettent le suivi de la croissance des plantes.

RESULTATS & DISCUSSION

RESULTATS & DISCUSSION

1. Évolution des paramètres de l'eau :

Le suivi des paramètres physicochimiques de l'eau d'élevage constitue un indicateur essentiel de la qualité du milieu aquatique et de la santé des poissons. Les valeurs mesurées hebdomadairement au cours des vingt-quatre semaines d'expérimentation sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 01 : Mesure des différent paramètre d'effluent piscicole durant les 20 semaine.

Paramètre	Semaine1	Semaine4	Semaine8	Semaine12	Semaine16	Semaine 20
Température (C°)	27,2	27,6	28,2	28,7	29,1	29,5
pH	7,1	7,4	7,8	8,1	8,1	8.2
O_2 dissous (mg/L)	5,8	4,2	3,5	3,1	3,0	2,9
NH_4^+ (mg/L)	0,1	0,18	0,22	0,24	0,25	0,27
NO_2^-(mg/L)	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
NO_3^-(mg/L)	5,1	38,4	94,7	142,3	192,3	234,3

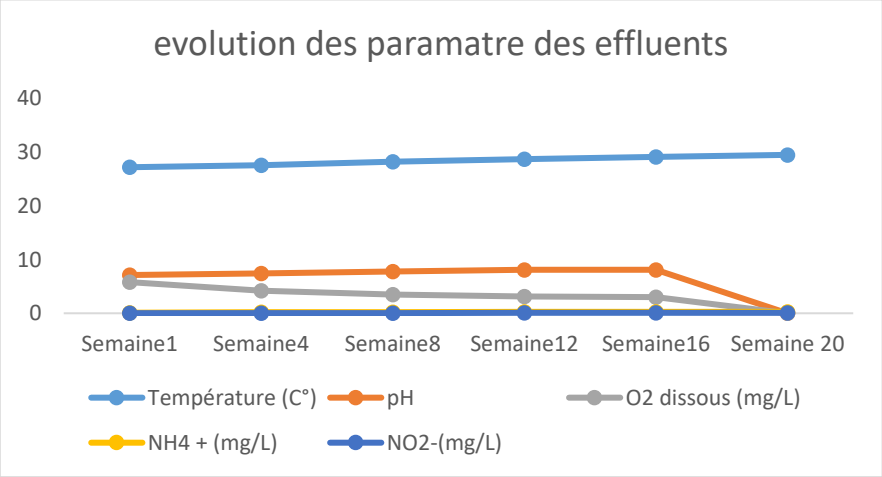


Figure 14 : Evolution des paramètres des effluents mesuré pendant la période d'essai

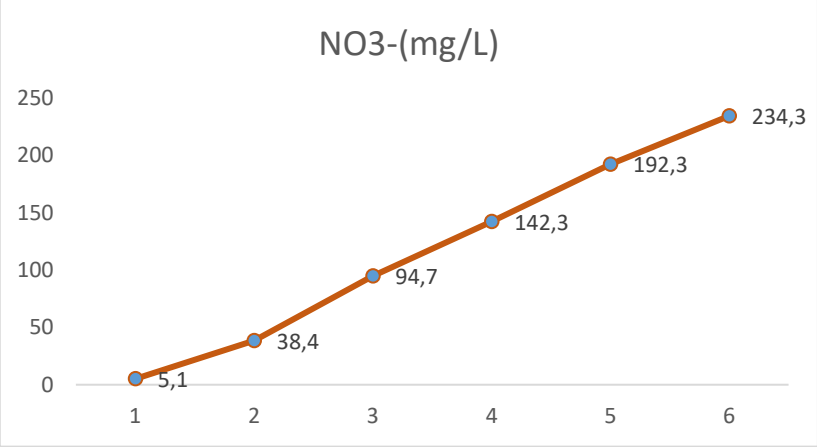


Figure 15 : Evolution du NO_3^- mesuré en fonction de la période d'essai

Les graphes montrent que l'eau de pisciculture améliore surtout l'apport en éléments minéraux basiques comme Na^+, K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}, mais elle n'apporte pas beaucoup de nitrates par rapport à l'eau potable enrichie en engrais. Pour le sol, l'irrigation par eau de pisciculture améliore la matière organique et la stabilité structurale, mais elle augmente aussi la conductivité électrique et certains ions, ce qui impose un suivi de la salinité. Selon la FAO, l'évaluation d'une eau d'irrigation ne doit pas se limiter à sa composition chimique immédiate ; elle doit aussi tenir compte de ses effets à long terme sur le sol, les cultures et la gestion agricole.

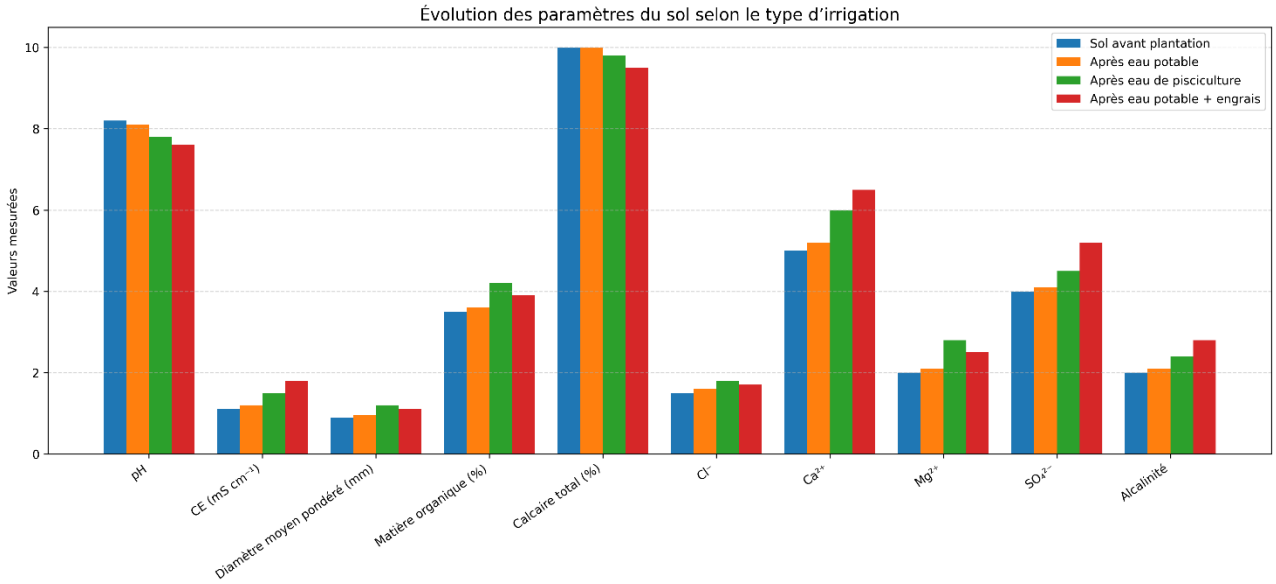


Figure 16 : Evolution des paramètres du sol selon le type d'irrigation pendant la période d'essai

Après plantation, le pH du sol diminue légèrement dans tous les traitements, surtout avec l'eau potable enrichie d'engrais et l'eau de pisciculture, par rapport à la valeur initiale. Cette baisse reste favorable dans un sol alcalin, car elle peut améliorer la disponibilité des éléments nutritifs, tout en maintenant un pH globalement basique.

Selon la figure 16 la conductivité électrique augmente dans tous les cas, avec des valeurs plus élevées sous eau potable + engrais et eau de pisciculture. Cela traduit une accumulation de sels dans le sol, ce qui montre un effet fertilisant, mais aussi un risque de salinisation si le drainage est insuffisant.

Le diamètre moyen pondéré augmente après irrigation, surtout avec l'eau de pisciculture, ce qui indique une amélioration de la stabilité structurale du sol. De même, la matière organique s'élève nettement, particulièrement avec l'eau piscicole, montrant un enrichissement du sol en composés organiques.

Enfin, les teneurs en calcium et en magnésium augmentent avec l'eau de pisciculture, ce qui confirme son apport en cations utiles. Les sulfates et l'alcalinité sont toutefois plus élevés avec l'eau potable + engrais, suggérant une accumulation plus importante de sels solubles.

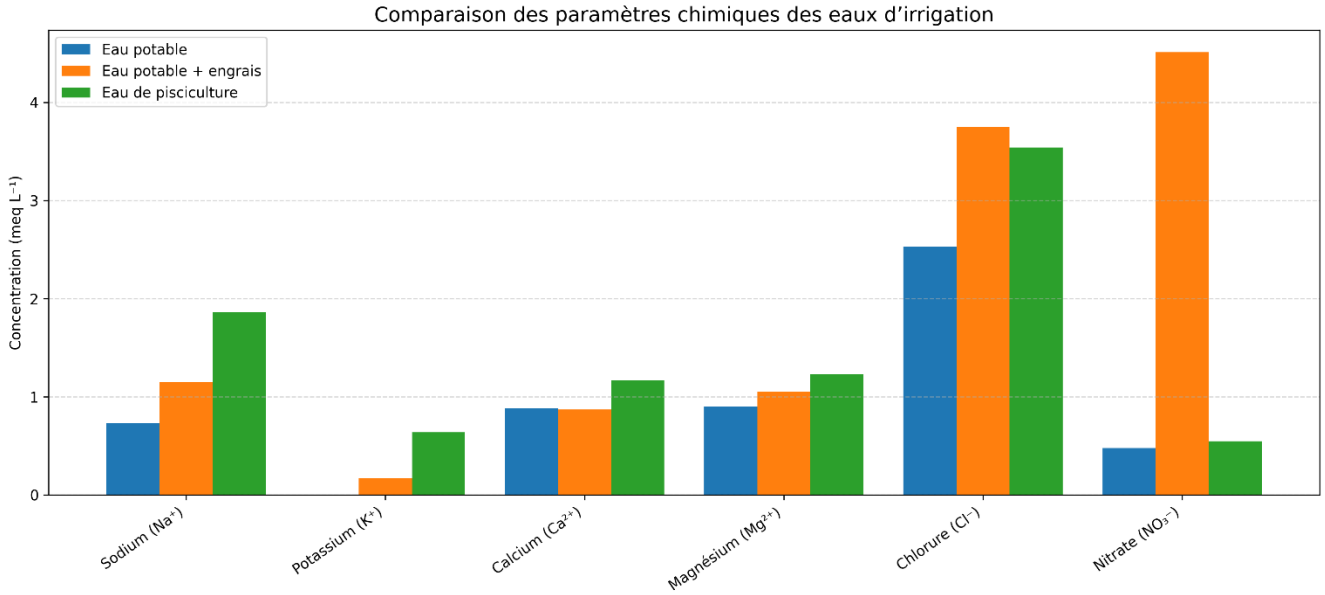


Figure 17 : Comparaison des paramètres chimiques des eaux d'irrigation pendant la période d'essai

L'eau de pisciculture présente les teneurs les plus élevées en sodium, potassium, calcium et magnésium. Cela montre qu'elle apporte des sels dissous et des éléments minéraux utiles à la nutrition des plantes, tout en nécessitant une surveillance de la salinité, car une accumulation excessive de sodium peut affecter la structure du sol.

Le potassium, le calcium et le magnésium contenus dans l'eau piscicole représentent un apport intéressant pour la croissance végétale, la photosynthèse et la qualité des fruits. Cependant, ces valeurs restent souvent insuffisantes pour satisfaire à elles seules les besoins des cultures les plus exigeantes.

Le chlorure est également présent à des niveaux relativement élevés, ce qui impose une attention particulière pour les cultures sensibles. Enfin, le nitrate est nettement plus abondant dans l'eau potable additionnée d'engrais que dans l'eau de pisciculture, ce qui indique que cette dernière ne peut pas remplacer totalement une fertilisation azotée complète.

2. Croissance et survie des tilapias

2.1. Paramètres de croissance

Les performances de croissance des tilapias ont été évaluées à l'aide de plusieurs indicateurs zootechniques calculés à la fin de la période expérimentale de 20 semaines. Le tableau 02 présente les principaux paramètres de croissance des tilapias à la fin de l'expérimentation (n=30).

Tableau 02 : de Paramètres de croissance des tilapias à la fin de l'expérimentation (n = 30)

Paramétré	Valeur Moyenne
Poids initial moyen (g)	14,7
Poids final moyen (g)	139,94
Gain de poids (g)	200,23
taux de croissance spécifique (% /j)	3,09
Indice de conversion alimentaire	1,83
Taux de survie (%)	96

Le gain de poids moyen enregistré, soit 200,23 g en 140 jours, correspond à un taux de croissance spécifique de 5 % par jour. L'indice de conversion alimentaire (ICA=1,83), traduit une bonne efficacité d'utilisation de la ration distribuée. Ces performances sont comparables à celles observées dans des systèmes d'élevage similaires utilisant des aliments commerciaux contenant entre 29 et 32% de protéines.

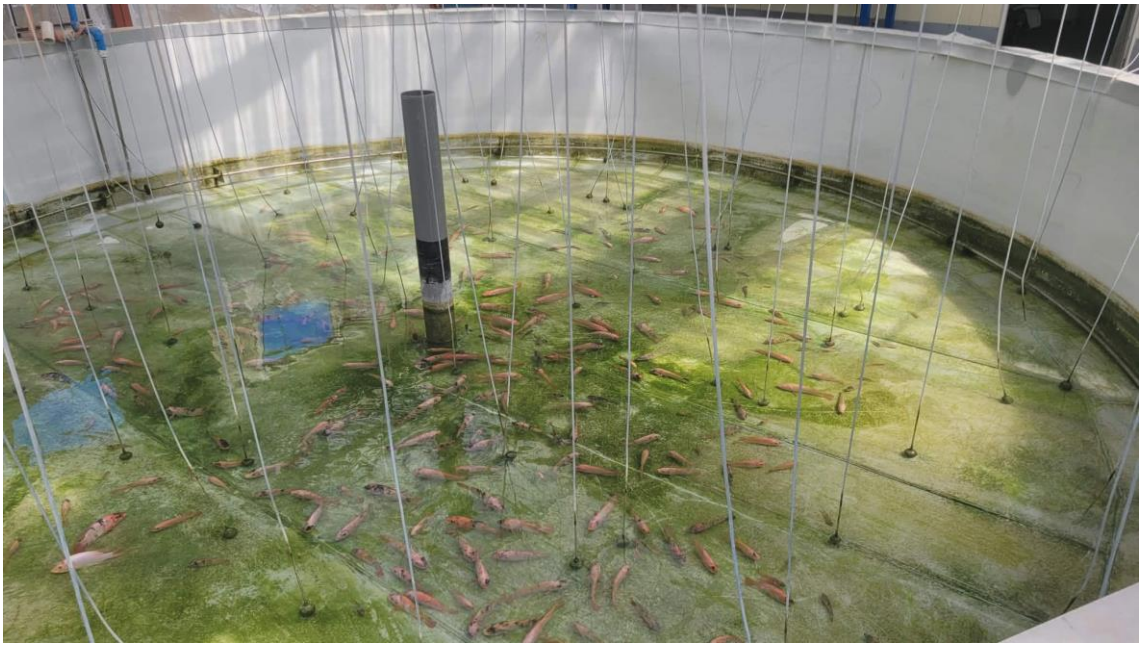


Figure 18 : Bassin d'élevage de poissons ferme de la Marsa (2026).

3. Croissance des cultures

L'évaluation des paramètres de croissance, notamment la longueur de la tige, le nombre de feuilles et l'épaisseur de la tige, a montré que la qualité de l'eau d'irrigation influence les performances végétatives des cultures étudiées. Les différences observées entre les traitements indiquent que l'eau de pisciculture peut améliorer la croissance des plants par rapport à l'eau potable seule et à l'eau potable enrichie en engrais.

3.1. Effet des effluents sur la croissance de la letus (*Lactuca sativa*)

3.1.1. Paramètres de croissance végétative :

L'application d'effluents piscicoles à différentes dilutions a produit des effets significatifs sur les paramètres végétatifs de la laitue. Les résultats obtenus à 12 semaines sont présentés dans le tableau :

Tableau 03 : les effets des traitements sur les paramètres de croissance

Paramètre	T0	T1	T2	T3
Poids (g)	31,4	58,6	89,2	92,7
Hauteur plante (cm)	13,4	16,9	20,7	21,3

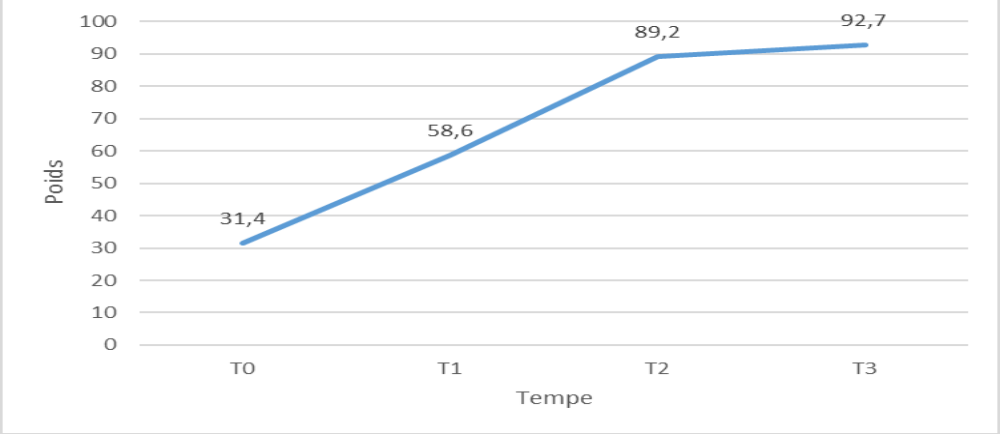


Figure 19 : Variation du poids en fonction du temps

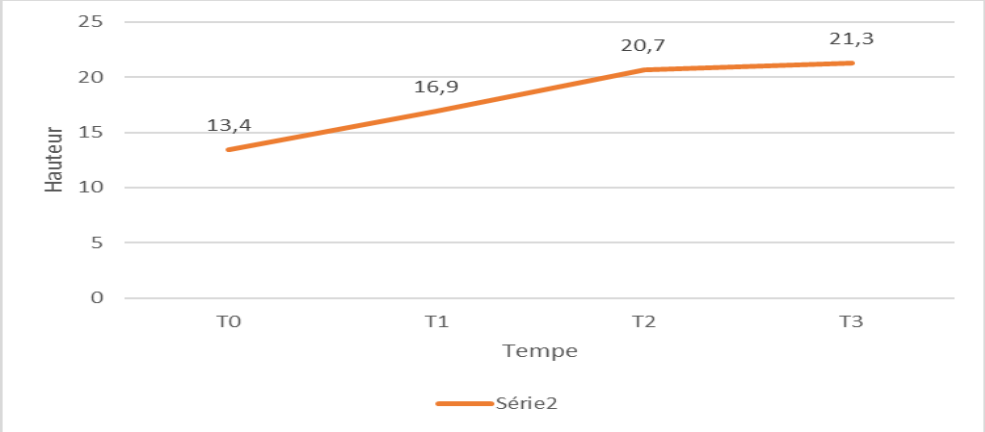


Figure 20 : Variation de la hauteur en fonction du temps

Le poids des plants de laitue augmente progressivement entre T0 et T3, passant de 31,4 g à 92,7 g. Cette progression est particulièrement marquée entre T1 et T2, où le poids passe de 58,6 g à 89,2 g. En revanche, l'augmentation devient très faible entre T2 et T3, avec une évolution limitée de 89,2 g à 92,7 g. Cette tendance montre que la croissance pondérale tend vers une phase de stabilisation, ce qui peut traduire un ralentissement de la réponse de la plante au traitement ou l'approche d'un seuil maximal de croissance.

La hauteur des plants présente également une augmentation progressive entre T0 et T3, passant de 13,4 cm à 21,3 cm. Toutefois, contrairement au poids, cette croissance reste plus régulière et ne présente pas d'accélération brusque. L'augmentation observée entre T2 et T3 reste modérée, avec une progression de 20,7 cm à 21,3 cm, ce qui indique un léger ralentissement de la croissance en hauteur en fin de suivi.

Tableau 04 : Rendement de la laitue selon les traitements appliquée (kg/m²).

Traitement	**T0 (eau claire)**	**T1-25% effluents**	**T2- 50% effluents**	**T3- 100% effluents**
Rendement (Kg/m²)	0,28	0,72	1,36	1,94
Grain par rapport T0 (%)		157%	386%	593%



Figure 21: Photo de la letus (***Lactuca sativa***) cultivée, (2026)

Le rendement de la laitue dans le traitement T3, correspondant à une irrigation avec 100% d'effluents piscicoles, a atteint 1,94 kg/m², soit une valeur environ sept fois supérieure à celle observée dans le traitement témoin, qui n'a produit que 0,28 kg/m². Le traitement T2 a également montré une amélioration notable, avec un rendement de 1,36 kg/m², soit une augmentation de 386% par rapport au témoin. Ces résultats mettent en évidence l'effet fertilisant marqué des effluents piscicoles sur la laitue, culture à cycle court, en raison notamment de leur teneur en azote minéral sous forme de nitrates directement assimilables par les plantes (Figure 21).

3.1.2. Paramètres de Croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*)

Comme le montre la Figure 22, les plants de tomate irrigués avec de l'eau potable ont présenté les plus faibles performances de croissance. La longueur de la tige est passée d'environ 6 cm au stade initial à près de 13 cm au dernier stade d'observation. Cette évolution reste limitée comparativement aux autres traitements, ce qui montre que l'eau potable seule ne fournit pas suffisamment d'éléments nutritifs pour assurer une croissance végétative optimale.

La tomate est une culture exigeante en nutriments, notamment en azote, phosphore et potassium. L'apport d'effluents piscicoles, naturellement riches en ces éléments, a produit des effets significatifs sur la vigueur végétative et la productivité

En revanche, les plants irrigués avec l'eau de pisciculture ont enregistré les meilleures performances. La longueur de la tige est passée d'environ 12 à 13 cm au stade initial à près de 20 à 21 cm au dernier stade. Cette amélioration peut être liée à la richesse relative de l'eau de pisciculture en éléments nutritifs issus des déjections des poissons et des résidus d'aliments, notamment certains composés azotés et minéraux favorables au développement des plantes.

Tableau 05: Rendement et qualité des fruits de tomate selon les traitements appliqués

Paramètre	T0 (témoin)	T1 (25%)	T2 (50%)	T3 (100%)
Hauteur tige (cm)	64,6	79,4	94,6	96,8
Poids moyen/fruit (g)	62,4	78,6	95,2	97,4
Rendement	1,01	1,95	3,2	3,42

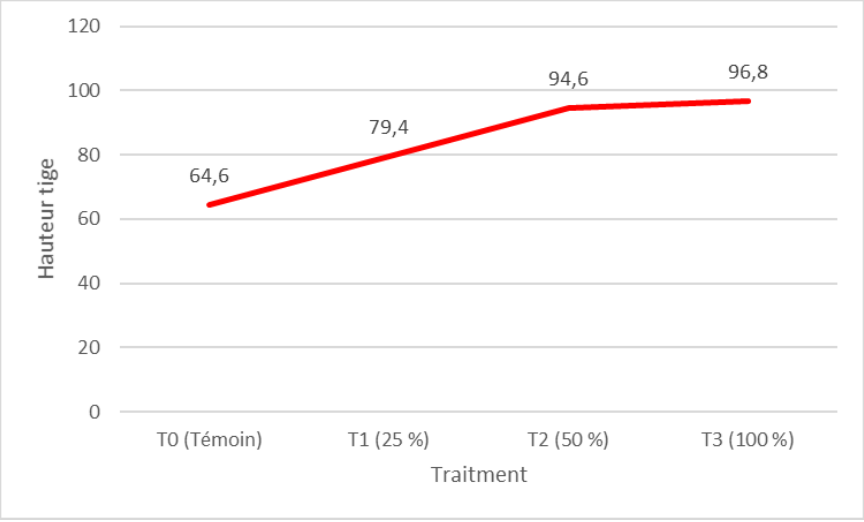


Figure 22 : Évolution de la hauteur de tige de la tomate (cm) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

Les deux graphique 22 et 23 montre que la hauteur de la tige de tomate augmente progressivement avec l'augmentation des concentrations d'eau d'irrigation. Elle passe de 64,6 cm pour le témoin

(T0) à 79,4 cm pour T1 (25 %), puis à 94,6 cm pour T2 (50 %), pour atteindre 96,8 cm à T3 (100 %). Cependant, la croissance devient plus lente entre T2 et T3, ce qui suggère une tendance vers un seuil de saturation de la croissance végétative.

De la même manière, le poids moyen des fruits augmente en fonction des concentrations appliquées. Il passe de 62,4 g (T0) à 78,6 g (T1), puis à 95,2 g (T2) et atteint 97,4 g (T3). Comme pour la hauteur, l'augmentation est importante jusqu'à T2, puis devient très faible entre T2 et T3, indiquant également une stabilisation progressive de la réponse de la plante aux traitements.

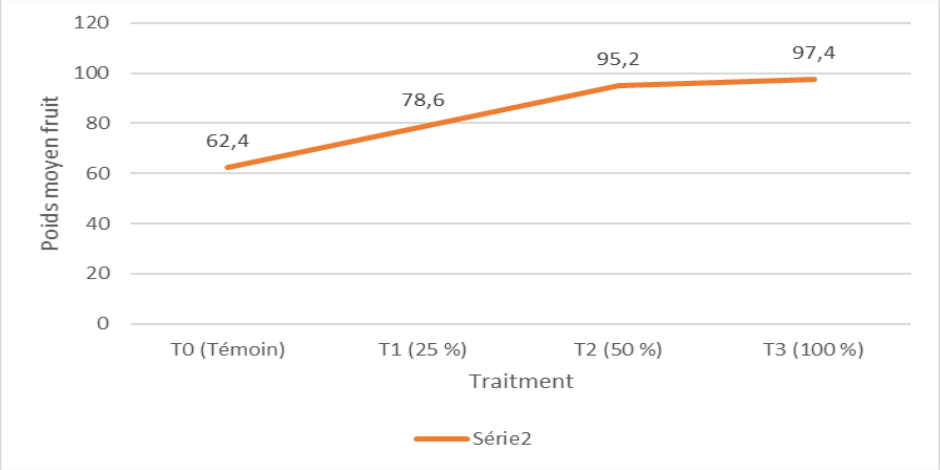


Figure 23 : Évolution du poids moyen du fruit de la tomate (g) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

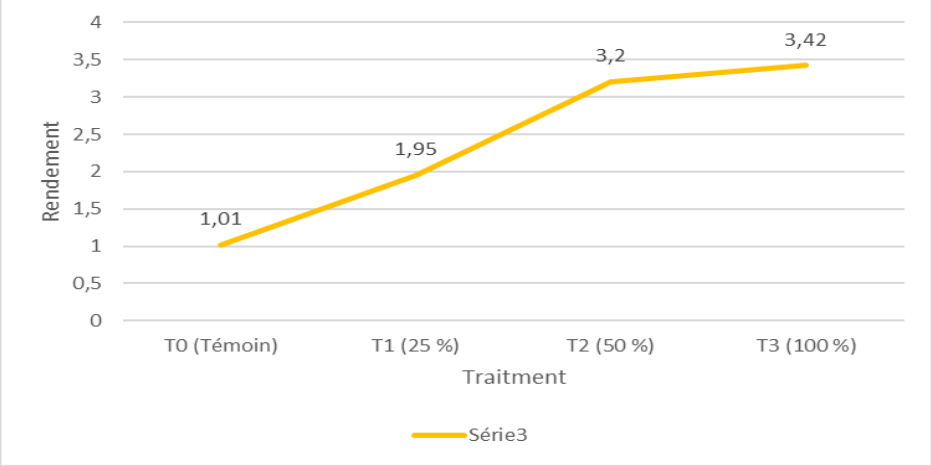


Figure 24 : Évolution du rendement de la tomate (kg/m²) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

L'évolution du rendement de la tomate en fonction des concentrations d'eaux usées utilisées pour l'irrigation. Il ressort clairement de la lecture de la courbe que le rendement augmente progressivement avec l'augmentation de la concentration du traitement, passant de 1,01 kg/m² pour le témoin (T0) à 1,95 kg/m² pour T1 (25%), puis à 3,2 kg/m² pour T2 (50%), pour atteindre 3,42 kg/m² pour T3 (100%). Cependant, le rythme d'augmentation a ralenti de manière notable

entre T2 et T3, ce qui indique que le rendement approche de sa limite maximale et que la plante tend vers un état de saturation.



Figure 25 : Photo des tomates cultivée **(*Solanum lycopersicum*)** ; (2026).

3.1.3. Paramètres de Croissance de la fraise (*Fragaria ananassa*)

La courbe met en évidence une augmentation progressive du nombre de fleurs du fraisier avec l'augmentation du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation. Le traitement témoin T0, irrigué avec de l'eau claire, a enregistré le nombre de fleurs le plus faible, avec 6,5 fleurs. Ce nombre s'est ensuite élevé à 8,4 dans le traitement T1 à 25%, puis à 10,8 dans le traitement T2 à 50%, où l'augmentation la plus marquée a été observée. En revanche, la progression s'est nettement ralentie entre T2 et T3, avec un écart limité à 0,4 fleur, pour atteindre 11,2 fleurs dans le traitement T3 à 100%.

Tableau 06 : Paramètres végétatifs de la fraise et Production fruitière de la fraise selon les traitements (20 semaines)

Paramètre	T0 (Témoin)	T1 (25%)	T2 (50%)	T3 (100%)
Nombre de fleurs	6,5	8,4	10,8	11,2
Pois feuilles	16,2	22,4	29,7	30,8
Poids moyen/fruit (g)	8,8	10,6	13,1	13,5
Rendement	65,1	118,7	204,4	217,4

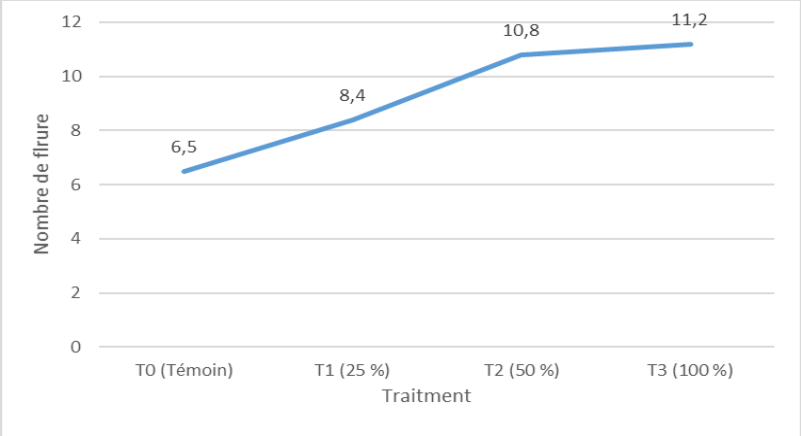


Figure 26 : Évolution du nombre de fleurs du fraisier en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

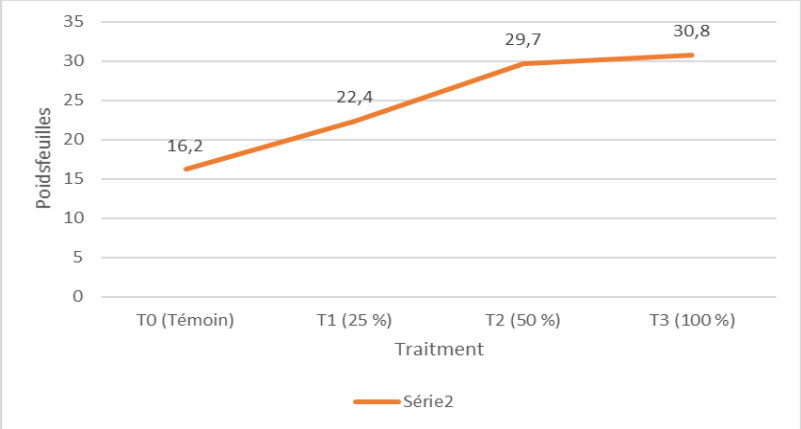


Figure 27 : Évolution du poids des feuilles du fraisier (g) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

Le poids des feuilles du fraisier augmente avec le taux d'effluents utilisés pour l'irrigation. Il passe de 16,2 g dans le témoin T0 à 22,4 g dans T1 à 25%, puis à 29,7 g dans T2 à 50%. L'augmentation devient ensuite faible entre T2 et T3, avec une valeur de 30,8 g à 100%.

Le poids moyen des fruits suit la même tendance. Il est de 8,8 g dans T0, de 10,6 g dans T1 à 25%, puis de 13,1 g dans T2 à 50%, avec l'augmentation la plus marquée entre les traitements.

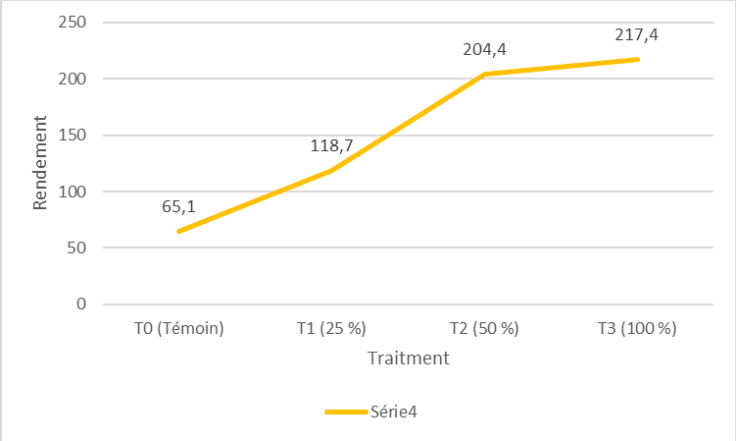


Figure 28 : Évolution du rendement du fraisier (g/m²) en fonction du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation

La courbe montre une augmentation progressive du rendement du fraisier avec l'augmentation du taux d'effluents utilisés pour l'irrigation. Le traitement témoin T0, irrigué avec de l'eau claire, a présenté le rendement le plus faible, soit 65,1 g/m². Ce rendement a ensuite augmenté à 118,7 g/m² dans T1 à 25%, puis à 204,4 g/m² dans T2 à 50%, où l'augmentation a été la plus marquée. Entre T2 et T3, la progression s'est ralentie, avec un gain limité à 13 g/m², pour atteindre 217,4 g/m² dans T3 à 100%, ce qui suggère une tendance à la stabilisation.

Par ailleurs, le rendement en fruits a été multiplié par plus de trois dans T2 par rapport au témoin. La teneur en sucres solubles n'a pas varié de manière significative entre les traitements, ce qui indique que l'apport d'effluents piscicoles améliore la production sans altérer la qualité gustative des fruits.

4. Comparaison de la productivité entre les trois cultures

Le tableau présente une synthèse comparative des gains de rendement enregistrés pour les trois cultures sous le traitement T2 (50 % effluents), considéré comme le traitement de référence optimal

Tableau 07 : de Comparaison du gain de rendement des trois cultures sous le traitement T2

Culture	Rendement T0	Rendement T2	Grain relatif (%)	Classement
Laitue	0,28 kg/m²	1, 36 kg/m²	386%	1er
Fraise	65,1/ plant	204,4g/plant	214%	3éme
Tomate	1,01kg/plant	3,20kg/plant	217%	2éme

La laitue présente la plus forte amélioration avec un rendement passant de 0,28 à 1,36 kg/m², soit 386 %, ce qui traduit une forte réponse à la disponibilité en azote, et de son cycle court. La tomate arrive en deuxième position avec une augmentation de 1,01 à 3,20 kg/plant (217 %), montrant une réponse favorable mais plus modérée que la laitue. La fraise enregistre la plus faible

progression avec 65,1 à 204,4 g/plant (214 %), ce qui peut s'expliquer par sa sensibilité aux déséquilibres nutritionnels.

Globalement, la laitue est la culture la plus réactive, suivie de la tomate puis de la fraise, ce qui reflète les différences de besoins nutritionnels entre espèces. L'analyse général des résultats met en évidence que le traitement T2, correspondant à une dilution de 50 % d'effluents piscicoles et 50 % d'eau claire, constitue la meilleure performance agronomique et environnementale.

Ce traitement permet d'obtenir des rendements similaires à ceux du traitement T3 (100 % effluents), sans différence statistiquement significative pour les trois cultures étudiées. Il assure également le maintien des paramètres de qualité de l'eau dans les intervalles recommandés pour l'élevage du tilapia, notamment des concentrations en ammonium inférieures à 0,25 mg/L ainsi qu'un niveau satisfaisant d'oxygène dissous.

Sur le plan agronomique et économique, T2 représente un compromis optimal, permettant de valoriser les effluents tout en limitant la consommation d'eau et le recours aux intrants chimiques.

Discussion

Plusieurs travaux ont montré l'intérêt agronomique de ce type de système. Dans une étude menée en région d'Ouargla, ce système associant tilapia et laitue a permis d'améliorer la qualité de l'eau tout en maintenant une croissance satisfaisante des poissons et des plantes (Hemeir, Fentiz & Touati, 2020). De même, des recherches sur la performance d'un système aquaponique simple au Bénin ont confirmé que la laitue répond bien à la fertilisation issue des effluents piscicoles (Hounsa, 2019).

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation des effluents piscicoles comme eau d'irrigation exerce globalement un effet positif sur la croissance des plantes et la productivité du système. Parmi les traitements testés, T2, correspondant à une dilution de 50 % d'effluents piscicoles et 50 % d'eau claire, se distingue comme le plus performant sur les plans agronomique et environnemental. Ce résultat indique qu'un apport intermédiaire permet d'assurer une fertilisation efficace tout en évitant les excès de sels et les déséquilibres nutritionnels, ce qui est cohérent avec les travaux de Goddek et al. (2019) sur l'importance de l'équilibre dans les systèmes aquaponiques.

Sur le plan de la qualité de l'eau, l'augmentation progressive des nitrates reflète l'activité du cycle de l'azote et la transformation des rejets piscicoles par les bactéries nitrifiantes. À l'inverse, les faibles concentrations en ammonium et nitrites indiquent une bonne stabilité du système et des conditions favorables à l'élevage du tilapia. Cette stabilité rejoint les recommandations de la FAO (2014), selon lesquelles l'équilibre entre charge piscicole, activité microbienne et besoins des plantes est essentiel au bon fonctionnement de l'aquaponie.

Les performances zootechniques des tilapias confirment également la maîtrise du système. Le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire traduisent une croissance satisfaisante, comparable à celle observée dans des systèmes aquaponiques utilisant des aliments standards (El-Sayed, 2006). Le taux de survie élevé suggère que l'association avec les cultures végétales n'a pas perturbé la santé des poissons, et que l'amélioration de la qualité de l'eau a pu contribuer à réduire le stress et les pertes, conformément aux observations de la FAO (2014). Ces résultats sont en accord avec d'autres études montrant que la présence de plantes améliore la stabilité du milieu et favorise la survie des poissons (Goddek et al., 2020).

Concernant les cultures végétales, la laitue présente la réponse la plus marquée. Les rendements les plus élevés sont obtenus avec T2, suivis de T3, ce qui traduit une forte sensibilité

à la disponibilité en azote. Cette performance est cohérente avec les travaux de la FAO (2018) et de Pérez-Urrestarazu et al. (2019), qui soulignent que les légumes-feuilles sont particulièrement adaptés aux systèmes aquaponiques en raison de leur cycle court et de leur forte capacité d'absorption des nitrates. Le fait que T2 soit comparable à T3 confirme par ailleurs qu'un excès d'effluents n'apporte pas nécessairement un gain supplémentaire significatif.

La tomate montre également une réponse positive aux effluents piscicoles, avec une amélioration progressive de la croissance et du rendement. Cette évolution s'explique par l'apport en nutriments essentiels tels que l'azote, le potassium et le calcium, indispensables au développement végétatif et à la fructification (Naika et al., 2005). Toutefois, la tendance au ralentissement observée entre T2 et T3 suggère un effet de saturation, déjà rapporté dans la littérature sur la tomate en aquaponie (Goddek et al., 2019). La tomate apparaît ainsi plus exigeante que la laitue, mais reste compatible avec une valorisation efficace des effluents piscicoles, notamment à des niveaux de dilution intermédiaires.

La fraise présente une amélioration progressive de ses paramètres de croissance et de rendement avec l'augmentation de la concentration en effluents. Cependant, la stabilisation observée entre T2 et T3 met en évidence une sensibilité accrue aux déséquilibres nutritionnels. Cette observation est cohérente avec les travaux indiquant que la fraise est une culture délicate en aquaponie, nécessitant un équilibre précis en potassium, calcium et fer (FAO, 2018). Malgré cela, la stabilité des sucres solubles montre que l'amélioration du rendement ne s'est pas faite au détriment de la qualité des fruits.

La comparaison globale des cultures met en évidence une hiérarchie claire : la laitue est la plus réactive aux effluents piscicoles, suivie de la tomate, puis de la fraise. Cette différence s'explique par les exigences nutritionnelles et physiologiques propres à chaque espèce. Les cultures à forte production de biomasse foliaire exploitent plus efficacement les nitrates, tandis que les cultures fruitières présentent des besoins plus complexes et des seuils de tolérance plus étroits (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Dans ce contexte, le traitement T2 apparaît comme le meilleur compromis entre productivité, stabilité du système et valorisation des effluents. Il permet d'obtenir des rendements proches de ceux de T3, sans les inconvénients potentiels liés à une concentration excessive en sels ou en nutriments. Ce résultat rejoint plusieurs études montrant que les performances maximales ne sont pas toujours atteintes à la concentration la plus élevée en effluents, mais plutôt à des niveaux intermédiaires assurant un équilibre entre nutrition et salinité (Goddek et al., 2020).

D'un point de vue pratique, ces résultats confirment l'intérêt de l'utilisation partielle des effluents piscicoles dans une logique d'économie circulaire. Ce système permet de réduire l'usage d'eau claire et d'engrais chimiques tout en maintenant des performances agronomiques élevées, ce qui renforce son intérêt pour une production agricole durable.

D'autres auteurs ont souligné que l'intensification de la production végétale peut être obtenue par la valorisation des eaux aquacoles, à condition de bien équilibrer la charge piscicole, le volume d'eau et les besoins des cultures (Bahri, 2021.). Dans le même sens, les travaux d'Ezzraimi sur les effluents de tilapia ont montré leur effet positif sur la croissance et le rendement d'une culture maraîchère, confirmant leur intérêt comme source nutritive alternative (Ezzraimi, 2021.).

Ainsi, la littérature montre que les effluents piscicoles de tilapia peuvent constituer une ressource fertilisante intéressante pour un système maraîcher associant laitue, fraise et tomate. Toutefois, la réussite du système dépend d'un bon équilibre entre production piscicole, charge nutritive et exigences propres à chaque culture.

Ainsi, la synthèse met en évidence que l'aquaculture durable ne peut être pleinement efficace sans une gestion appropriée des effluents (FAO, 2009; FAO, 2018). Leur valorisation en agriculture constitue une solution pertinente, à la fois sur le plan agronomique et environnemental, en favorisant le recyclage des nutriments et la réduction des rejets polluants (Agrimaroc, 2026; Intégration de l'aquaculture à l'agriculture, 2021.). L'intégration agriculture-aquaculture apparaît donc comme une approche innovante et durable, susceptible de contribuer à une meilleure utilisation des ressources naturelles (FAO, 2009; Agrimaroc, 2026).

Conclusion

Conclusion

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation des effluents piscicoles comme eau d'irrigation exerce globalement un effet positif sur la croissance des plantes et la productivité du système. Parmi les traitements testés, T2, correspondant à une dilution de 50 % d'effluents piscicoles et 50 % d'eau claire, se distingue comme le plus performant sur les plans agronomique et environnemental. Ce résultat indique qu'un apport intermédiaire permet d'assurer une fertilisation efficace tout en évitant les excès de sels et les déséquilibres nutritionnels, ce qui est cohérent avec les travaux de Goddek et al. (2019) sur l'importance de l'équilibre dans les systèmes aquaponiques.

Sur le plan de la qualité de l'eau, l'augmentation progressive des nitrates reflète l'activité du cycle de l'azote et la transformation des rejets piscicoles par les bactéries nitrifiantes. À l'inverse, les faibles concentrations en ammonium et nitrites indiquent une bonne stabilité du système et des conditions favorables à l'élevage du tilapia. Cette stabilité rejoint les recommandations de la FAO (2014), selon lesquelles l'équilibre entre charge piscicole, activité microbienne et besoins des plantes est essentiel au bon fonctionnement de l'aquaponie.

Les performances zootechniques des tilapias confirment également la maîtrise du système. Le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire traduisent une croissance satisfaisante, comparable à celle observée dans des systèmes aquaponiques utilisant des aliments standards (El-Sayed, 2006). Le taux de survie élevé suggère que l'association avec les cultures végétales n'a pas perturbé la santé des poissons, et que l'amélioration de la qualité de l'eau a pu contribuer à réduire le stress et les pertes, conformément aux observations de la FAO (2014). Ces résultats sont en accord avec d'autres études montrant que la présence de plantes améliore la stabilité du milieu et favorise la survie des poissons (Goddek et al., 2020).

Concernant les cultures végétales, la laitue présente la réponse la plus marquée. Les rendements les plus élevés sont obtenus avec T2, suivis de T3, ce qui traduit une forte sensibilité à la disponibilité en azote. Cette performance est cohérente avec les travaux de la FAO (2018) et de Pérez-Urrestarazu et al. (2019), qui soulignent que les légumes-feuilles sont particulièrement adaptés aux systèmes aquaponiques en raison de leur cycle court et de leur forte capacité d'absorption des nitrates. Le fait que T2 soit comparable à T3 confirme par ailleurs qu'un excès d'effluents n'apporte pas nécessairement un gain supplémentaire significatif.

La tomate montre également une réponse positive aux effluents piscicoles, avec une amélioration progressive de la croissance et du rendement. Cette évolution s'explique par l'apport en nutriments

essentiels tels que l'azote, le potassium et le calcium, indispensables au développement végétatif et à la fructification (Naika et al., 2005). Toutefois, la tendance au ralentissement observée entre T2 et T3 suggère un effet de saturation, déjà rapporté dans la littérature sur la tomate en aquaponie (Goddek et al., 2019). La tomate apparaît ainsi plus exigeante que la laitue, mais reste compatible avec une valorisation efficace des effluents piscicoles, notamment à des niveaux de dilution intermédiaires.

La fraise présente une amélioration progressive de ses paramètres de croissance et de rendement avec l'augmentation de la concentration en effluents. Cependant, la stabilisation observée entre T2 et T3 met en évidence une sensibilité accrue aux déséquilibres nutritionnels. Cette observation est cohérente avec les travaux indiquant que la fraise est une culture délicate en aquaponie, nécessitant un équilibre précis en potassium, calcium et fer (FAO, 2018). Malgré cela, la stabilité des sucres solubles montre que l'amélioration du rendement ne s'est pas faite au détriment de la qualité des fruits.

La comparaison globale des cultures met en évidence une hiérarchie claire : la laitue est la plus réactive aux effluents piscicoles, suivie de la tomate, puis de la fraise. Cette différence s'explique par les exigences nutritionnelles et physiologiques propres à chaque espèce. Les cultures à forte production de biomasse foliaire exploitent plus efficacement les nitrates, tandis que les cultures fruitières présentent des besoins plus complexes et des seuils de tolérance plus étroits (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Dans ce contexte, le traitement T2 apparaît comme le meilleur compromis entre productivité, stabilité du système et valorisation des effluents. Il permet d'obtenir des rendements proches de ceux de T3, sans les inconvénients potentiels liés à une concentration excessive en sels ou en nutriments. Ce résultat rejoint plusieurs études montrant que les performances maximales ne sont pas toujours atteintes à la concentration la plus élevée en effluents, mais plutôt à des niveaux intermédiaires assurant un équilibre entre nutrition et salinité (Goddek et al., 2020).

D'un point de vue pratique, ces résultats confirment l'intérêt de l'utilisation partielle des effluents piscicoles dans une logique d'économie circulaire. Ce système permet de réduire l'usage d'eau claire et d'engrais chimiques tout en maintenant des performances agronomiques élevées, ce qui renforce son intérêt pour une production agricole durable.

Recommandations

Recommandations

Les résultats obtenus permettent de formuler plusieurs recommandations pratiques pour l'optimisation d'un système intégrant effluents piscicoles et cultures maraîchères.

Il est recommandé d'adopter un niveau de dilution intermédiaire des effluents, proche de T2, afin de garantir un équilibre entre apport nutritif, stabilité de l'eau et performance des cultures. L'utilisation d'effluents non dilués ne semble pas apporter d'amélioration significative supplémentaire et peut augmenter le risque d'accumulation de sels.

Un suivi régulier des paramètres physico-chimiques de l'eau doit être assuré, notamment le pH, la conductivité électrique, les nitrates, l'ammonium et les nitrites, afin de maintenir des conditions optimales pour les poissons et les plantes.

Il est également recommandé d'adapter la stratégie de fertilisation selon les espèces cultivées. La laitue peut être conduite principalement avec les effluents piscicoles, tandis que la tomate et la fraise peuvent nécessiter une complémentation en éléments minéraux, notamment en potassium, calcium et fer.

Enfin, pour une meilleure performance globale, il est conseillé de poursuivre les recherches en intégrant des essais à long terme et en testant différentes charges piscicoles afin d'optimiser davantage le compromis entre production végétale et production aquacole.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Awaad, A. (2008). Performance of aquaponic system for fish production and plant growth. [référence à compléter si vous avez le détail exact].
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Review of methods to decrease water use and environmental impacts of marine aquaculture. Reviews in Aquaculture, 4(2), 2–29. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01043.x
- Bahri, A. (n.d.). Valorisation des eaux aquacoles dans l'amélioration de la production végétale [mémoire, Université d'Ouargla].
- Baille, A., Kittas, C., & Katsoulas, N. (1994). Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. Agricultural and Forest Meteorology, 107(4), 293–306.
- Barrut, B., Blancheton, J.-P., Champagne, J.-Y., & Grasmick, A. (2012). [référence à compléter].
- Benali, M., Draredja, B., & Hadjoudj, M. (2020). Caractérisation hydroclimatique de la région de Skikda (nord-est algérien). Revue des Sciences de l'Eau, 33(1), 45–58.
- Boyd, C. E. (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer, New York.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5186-8
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment International, 32(6), 831–849. https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002
- Claude E. Boyd. (1998). Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers.
- Corner, A., et al. (2020). Études sur la croissance végétative sous irrigation enrichie.
- Debets Schalke. (n.d.). Systèmes de culture.
- https://www.debetsschalke.com/fr/solutions/systemes-de-culture
- El-Sayed, A.-F. M. (2006). Tilapia Culture. CABI Publishing.
- Ezzraimi, M. Z. (n.d.). Valorisation des effluents piscicoles de tilapia et leur impact sur la croissance et le rendement de la fève (Vicia faba L.) [mémoire, ENSA].

- FAO. (2009). Développement de l'aquaculture. 4. Une approche écosystémique de l'aquaculture. https://www.fao.org/4/i1750f/i1750f.pdf
- FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf
- FAO. (2018a). Every drop counts: how aquaponics and integrated agri-aquaculture farms are making smart use of water.
- FAO. (2018b). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the sustainable development goals. https://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf
- FAO. (2019). Sustainable water use in the Near East and North Africa.
- FAO. (2021a). Aquaponie : systèmes de production alimentaire.
- FAO. (2021b). Documents techniques sur le tilapia du Nil et l'aquaculture.
- Ferme de crevetticulture de Marsa. (2024). Données de terrain et infrastructure expérimentale. Marsa, Wilaya de Skikda, Algérie. Communication personnelle.
- Forchino, A., et al. (2017). Systèmes RAS – Recirculating Aquaculture Systems.
- Forchino, A., et al. (2017). Systèmes DAPS – Double Aquaponic Production System.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, M. H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges and opportunities of sustainable soilless cultivation in aquaponic systems. Critical Reviews in Plant Sciences, 34(3-4), 295–313. https://doi.org/10.1080/07352689.2015.1028325
- Goddek, S., et al. (2019). Decoupled aquaponics systems. Springer Nature.
- Goddek, S., et al. (2020). Improving nutrient and water use efficiencies in multi-loop aquaponics systems. Aquaculture International.
- Goddek, S., & Körner, O. (2019). Source mentionnée dans l'article sur la valorisation des effluents.
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination, 246(1-3), 147–156. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048
- Hemeir, Fentiz, & Touati. (2020). Conception et effet d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du Tilapia et de laitue [mémoire, Université d'Ouargla].
- Hounsa, P. M. G. (2019). Évaluation de la performance d'un système aquaponique simple pour la production de tilapia et de légumes (laitue et amarante) au Bénin.
- Jobling, M. (1994). Fish Bioenergetics. Chapman & Hall.
- Kloas, W., Kundt, M., Böttcher, M., Bialkowska, A., Seidel, P., Rennert, B., et al. (2015). Recirculating aquaculture systems and their role in sustainable

aquaculture. Reviews in Aquaculture, 7(1), 1–25. https://doi.org/10.1111/raq.12046
- Körner, C., & Basler, D. (2010). Phenology under global warming. Science, 327(5972), 1461–1462.
- Lemma, T., et al. (2010). Travaux sur l'histoire et l'iconographie du tilapia.
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., & Semmens, K. (2015). An international survey of aquaponics practitioners. PLOS ONE, 10(7), e0133932. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133932
- Mair, G. C., et al. (1997). Production of all-male tilapia. Aquaculture.
- Marsa, Wilaya de Skikda, Algérie. (2024). Ferme de crevetticulture de Marsa : données de terrain et infrastructure expérimentale. Communication personnelle.
- Masser, M., Rakocy, J., & Losordo, T. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems: An overview of marine and freshwater systems (SRAC Publication No. 452). https://doi.org/10.13140/2.1.2461.6966
- Mekhloufi, F. (n.d.). Conception et effet d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du Tilapia et de laitue.
- Meybeck, A., et al. (2017). Source mentionnée dans l'article sur l'intégration agro-piscicole.
- M'balaka, M., Kassam, D., & Rusuwa, B. (2012). [référence à compléter].
- Muñoz, P., Antón, A., Nuñez, M., et al. (2008). Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in Spain. Journal of Cleaner Production, 16(3), 324–331.
- National Research Council. (2011). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press.
- NRC. (2011). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington, DC.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., et al. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. Nature, 591(7849), 551–563. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6
- Naika, S., et al. (2005). La culture de la tomate en production maraîchère. FAO.
- Office National des Statistiques. (2023). Monographie de la wilaya de Skikda. Alger : ONS.
- Pérez-Urrestarazu, L., et al. (2019). Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics model. Aquacultural Engineering.
- Poorter, H., Fiorani, F., Pieruschka, R., et al. (2016). Pampered inside, pestered outside? Differences and similarities between plants growing in controlled conditions and in the field. New Phytologist, 212(4), 838–855.

- Ponzoni, R. W., et al. (2011). Genetic improvement of Nile tilapia. Aquaculture Research.
- Popma, T., & Masser, M. (1999). Tilapia: Life History and Biology (SRAC Publication No. 283). Southern Regional Aquaculture Center.
- Quilleré, I., Aubin, J., et al. (1994). L'intégration de cultures végétales dans les élevages piscicoles en eau recyclée. Cahiers Agricultures.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Aquaponics—Integrating fish and plant culture (SRAC Publication No. 454). https://srdc.msstate.edu/publications/454.pdf
- Rebouças, V. T., Lima, F. R. S., Cavalcante, D. H., & Sá, M. V. C. (2015). [référence à compléter].
- Sauvant, D., Perez, J. M., & Tran, G. (2002). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA Éditions.
- Schmautz, Z., et al. (2016). Tomato production in aquaponics with tilapia. Water, 8(11), 533. https://www.mdpi.com/2073-4441/8/11/533
- Smidap. (n.d.). Optimisation Pilote Régional Aquaponie.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, 100(1-3), 179–196. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3
- 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. http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 23(1), 1–10. https://doi.org/10.1080/23308249.2014.986193
- Tidwell, J. H. (2012). Aquaculture Production Systems. Wiley-Blackwell.
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). Recirculating Aquaculture.
- Tyson, R. V., et al. (2011). Water quality in aquaponic systems.HortScience.
- Yildiz, H. Y., et al. (2020). Nutrient limitations in aquaponic systems.Water, 12(5), 1259. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1259
– Zouakh, A., et al. (2016). Travaux sur le suivi du nombre de feuilles en culture maraîchère.

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : ..31/07/2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **Zalani karima** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : Bougerba Yasser

Spécialité : production et nutrition animale

Intitulé : Evaluation de l'effet de la valorisation des effluents piscicoles cas de tilapia sur la productivité d'un système maraicher associant laitue, fraise et tomate.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

Scanné avec CamScanner

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 31/07/2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **Zalani karima** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : Boudrouma Mohamed

Spécialité : production et nutrition animale

Intitulé : Evaluation de l'effet de la valorisation des effluents piscicoles cas de tilapia sur la productivité d'un système maraicher associant laitue, fraise et tomate.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

Scanné avec CamScanner

الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الشعبيـــة.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 31/01/2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **Zalani karima** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : Boujemaa Mohamed

Spécialité : production et nutrition animale

Intitulé : Evaluation de l'effet de la valorisation des effluents piscicoles cas de tilapia sur la productivité d'un système maraicher associant laitue, fraise et tomate.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

Scanné avec CamScanner