

JOURNEES DE RECHERCHE DES IST ANTANANARIVO, ANTSIRANANA ET AMBOSITRA,
ET LEURS PARTENAIRES INTERNATIONAUX

6ème Edition

« Interdisciplinarité des recherches scientifiques au service du développement durable et d'une société résiliente »

Hôtel Restaurant Nambinina Ambohimiadana, AMBOSITRA,

Les 05, 06 et 07 Octobre 2021

Expérimentation et optimisation de la production d'intégration agriculture élevage par le système aquaponique

H. P. Rakotondrabe¹, T. D. Razafinarivo^{1, 2}, A. Rasoanomenjanahary³, O. F. Maminiaina^{2, 3}

¹ SPAD (Systèmes de Production d'Altitude et Durabilité), Mention E=CES (Entomologie-Culture- Elevage- Santé animale), Faculté des sciences d'Antananarivo(rrherifandresena@gmail.com)

^{1,2} Département de Recherches Zootechniques Vétérinaires et Piscicoles (FOFIFA-DRZVP)
(razafinarivotsiry@gmail.com)

³ Institut Malgache de Vaccins Vétérinaires (IMVAVET) (maminiaina.fridolin@gmail.com, auldinerasoa@gmail.com)

RESUME

L'aquaponie est une technique de production agricole par la combinaison de l'aquaculture et de l'hydroponie dans un cycle fermé qui permet de valoriser les nutriments et de réduire les besoins en eau. Les systèmes aquaponiques sont encore peu vulgarisés dans les pays moins développés comme Madagascar. La présente étude vise à connaître l'importance de cette technique à travers des expérimentations d'optimisation de l'intégration-agriculture-élevage par le système aquaponique. D'après l'étude expérimentale, la température moyenne dans le bac d'élevage est de 23°C, et le pH de l'eau est à peu près de 7,5. Le cycle d'azote a un rôle important sur l'aquaponie ; la concentration de l'ammoniaque dans le système est de 0,05 à 0,2 mg/l pour une apparition de nitrite de concentration 0,05 à 0,6 mg/l et de nitrate de 0,05 à 7 mg/l. Le taux d'oxygène dissout dans le bac d'élevage est de 2,5 mg/l, c'est suffisant pour l'*Oreochromis macrochir*. La valeur des macroéléments comme le fer, et le phosphore sont respectivement 0,2 mg/l et 1,5 mg/l. Pour la croissance des plantes (laitue : *Lactuca sativa* et riz : *Oryza sativa*) et de *Oreochromis macrochir* nous avons obtenu des rendements avantageux tels ; 16 cm de hauteur en 4 semaines pour *Lactuca sativa*, le nombre de talles de riz est de 30 avec une hauteur de 89 cm, pour *Oreochromis macrochir*, le poids moyen est de 361,5 g

Le cout de l'installation du système est de 2 321 940 Ariary avec une valeur ajoutée nette de 65436 Ariary et un seuil de rentabilité de 734072,412 Ariary. Cette rentabilité montre qu'il y a une marge brute positive dans le système.

Mots clés : *Oreochromis macrochir*, *Oryza sativa*, *Lactuca sativa*, aquaponie, agriculture, élevage

INTRODUCTION

Le développement d'un pays se focalise en général sur plusieurs domaines, dont le secteur primaire. En plus de l'industrie, le secteur agriculture et élevage sont les points à déployer pour le développement d'un pays. La majorité des pays développés ont investi sur le développement de ces domaines pour arriver à leurs places actuelles (BOUHENNI, 2017).

Madagascar est un pays à vocation Agricole où le secteur primaire occupe une place prépondérante. Elle est considérée comme un des secteurs porteurs pour sa participation à l'amélioration des revenus des paysans, aux apports en matières premières pour les marchés locaux et aux emplois qu'elle génère. Aussi, il est à savoir que ce secteur est très dépendant de l'eau, qui est un élément indispensable à la vie des êtres vivants. Cependant, actuellement, l'eau commence à diminuer considérablement par les effets du réchauffement climatique qui provoque des périodes de déficit hydrique, des pollutions de l'eau et de l'environnement (Hounsa, 2018). Ainsi, la gestion de l'eau est donc très importante dans les systèmes de production tant en agriculture qu'en élevage. A Madagascar, le manque d'eau accentuée par l'insuffisance des engrais utilisés dans l'agriculture provoque la diminution du rendement. Cette baisse de rendement est marquée quand la volonté des agriculteurs à effectuer des travaux d'irrigation, ou de désherbage devient exceptionnelle.

Pour résoudre ce problème, l'application de l'intégration agriculture-élevage par la combinaison de l'aquaculture et de l'hydroponie s'avère être une solution pertinente. Il assure la sécurité alimentaire et la gestion durable des ressources de l'écosystème. Ainsi, l'objet de cette étude qui s'intitule « expérimentation et optimisation de la production d'intégration-agriculture-élevage par le système aquaponique », est de répondre à la question si ce système est potentiellement un moyen d'améliorer la productivité d'une manière durable et à l'abri des problèmes liés au manque d'eau, de terrain et d'engrais ?

L'hypothèse de recherche est que le système aquaponique est une source d'élément nutritif pour la plante, aussi, il assure la sécurité alimentaire et la rentabilité du système.

L'objectif global de cette étude est d'améliorer la productivité d'une manière durable à tout moment et en tout lieu. Pour y parvenir ; quatre objectifs spécifiques seront préférables : (i) contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la

population, (ii) utiliser efficacement les sources de nutriments disponibles ; (iii) gérer avantageusement l'eau dans l'Agriculture et (vi) éliminer l'utilisation des herbicides et des pesticides chimiques dans le système de production

I. MATERIELS ET METHODE

I.1. Cadrage de l'étude

Le but de cet article est de pouvoir rassembler les informations permettant d'accroître la productivité des unités plante et poisson, et de contribuer à la préservation de leur écosystème. L'expérimentation s'est déroulée au Département de Recherches Zootechniques, Veterinaires et Piscicoles (DRZVP) d'Ampandranomby Antananarivo, en partenariat avec l'Institut Malgache de Vaccins Vétérinaires (IMVAVET).

I.2. Choix des matériels biologiques

Selon Maleshela et al., 2020, les choix du *Lactuca sativa* (laitue) est basé sur le fait que ce légume est parmi ceux qui ont une bonne croissance dans le système aquaponique. La laitue a toujours été une excellente candidate pour la production hydroponique. De plus, celle-ci s'adapte à des conditions plus défavorables, dont celle des eaux plus pauvres en nutriments. Ce qui fait d'elle une culture phare de l'aquaponie (Kloas et al., 2015). Pour le riz (*Oryza sativa*), le choix était basé sur sa place dans la culture malgache et sur la demande qui n'est pas encore couverte actuellement à Madagascar.

Le Tilapia (*Oreochromis macrochir*) a été choisi pour les expérimentations, car il est l'une des espèces d'eau douce les plus populaires dans les systèmes aquacoles mondiaux et à Madagascar. Il résiste à de nombreux agents pathogènes et parasites, il supporte également le stress. Le tilapia peut survivre et coloniser des milieux aquatiques largement variés. Il peut tolérer un large éventail de variation de la qualité de l'eau et est plus productif par temps chaud. De plus, le tilapia est caractérisé par une croissance rapide (Hounsa, 2018).

1.1. Structure expérimentale du système aquaponique

Le système aquaponique est constitué :

- D'un bac à poisson de 70 cm de hauteur ;
- De tuyaux pvc pour mettre en place la culture et
- D'un système de filtrage.

L'intérieur du bac est revêtu d'une bâche en plastique sous forme de bassin pour contenir l'eau. Le dispositif est installé sur une superficie de 14m² (7m*2m). Le système est composé de 10 tuyaux installés au-dessus du bac. Chaque tuyau contient 25 trous pour l'installation des plantes. L'écartement entre les trous est de 15 cm. La plantation est faite dans des pots remplis de sols. Une moto pompe sert à remonter l'eau du bac à poisson vers l'hydroponie



Schéma 1 : Système aquaponique

1.2. Protocole d'expérimentation

Pendant la plantation des jeunes plantes, tous chocs mécaniques ont été évités par la manipulation soigneuse des pépinières. Ensuite, les pots remplis de substrat (terre) ont été installés dans les perforations effectuées sur les tuyaux. Pour le riz, les grains sont placés directement dans les pots remplis de substrat (un grain par pot).

Concernant les poissons, cent (100) alevins d'*Oreochromis macrochir* avec un poids moyen de 42,5 g ont été introduits dans le bassin en novembre 2020. Ces derniers ont été transportés dans des bacs plastiques oxygénés.

1.3. Paramètres mesurés

1.5.1 Qualité de l'eau

Durant l'expérimentation, la température de l'eau a été mesurée 2 fois par jour. Pour les paramètres physico-chimiques (pH de l'eau, Nitrites (NO₂), Nitrates (NO₃), Ammonium (NH₄), Oxygène dissout(O₂), Phosphates (PO₄), Fer (Fe)) de l'eau de la cuve d'élevage, ils ont été mesurés par un appareil TESTLAB. La mesure de ces paramètres s'est faite tous les 15 jours.



TEST LAB



Schéma 2 : Appareils de mesure

1.5.2 Croissance de plantes et des poissons

Plantes

Des mesures : (i) de la hauteur des plants (cm) en partant du collet jusqu'au méristème apical, (ii) du nombre de tiges, (iii) du rendement en riz ont été effectuées hebdomadairement à l'aide d'une règle graduée et d'une balance électronique.

Paramètres zootechniques des poissons

Les poissons étaient pesés (g) à l'aide d'une balance électronique et mesurés à l'aide d'une règle graduée chaque mois à partir du jour de mise en charge

d'alevins. Les paramètres zootechniques et indices piscicoles ci-après ont été évalués pour caractériser la croissance des alevins des poissons (Maleshela et al. 2020) :

$$PM = B/Np$$

PM : Poids Moyen des poissons (g), B : Biomasse (g) et Np : Nombre des poissons.

$$GPM = (Pmf-Pmi) /Nbj$$

GPM : Gain de Poids Moyen, Pmf : Poids moyen final des poissons (g), Pmi Poids moyen initial des poissons (g) et nombre du jour par mois.

1.4. Analyse économique

Il a été nécessaire d'analyser un à un tous les éléments qui composent le coût de production, la valeur ajoutée brute et la valeur nette.

Le coût de production, qui est appelé également charge de production, détermine les dépenses de la construction comme les tuyaux, les pots ; l'amortissement et les charges des personnels (mains d'œuvres durant la construction de l'expérimentation)

La valeur ajoutée brute : détermine la totalité de la production obtenue exprimée en ariary sans éliminer les charges.

$$VB = \text{Prix de produit} * \text{Production total}$$

La valeur nette : détermine le bénéfice obtenu après avoir déduit toutes les dépenses. C'est donc la différence entre la valeur ajoutée brute et les coûts de production.

$$VN = VB - \text{coûts de production}$$

Pour obtenir les résultats concernant la valeur nette, il est important de calculer l'amortissement du matériel utilisé.

Annuité d'amortissement = Prix d'achat * Taux d'amortissement

$$\text{Avec Taux d'amortissement} = \frac{1}{\text{Durée d'utilisation}}$$

Le seuil de rentabilité : il permet de déterminer le prix de vente minimum pour couvrir les coûts de production. C'est donc le rapport entre les charges fixes et le Taux Moyen sur Coût Variable (TMCV). C'est donc le seuil où ni les pertes ni les bénéfices ne sont acquis. Il est obtenu après la formule suivante :

$$\mathbf{SR = \frac{CF}{TMCV} \text{ avec } \quad \mathbf{TMCV = \frac{MCV}{CA} \quad \mathbf{MCV = CA - CV}}$$

Avec SR : Seuil de Rentabilité,

CF : Charge Fixe,

TMCV : Taux Moyen sur Coût Variable,

CA : Chiffre d'Affaire,

MCV : Moyen sur Coût Variable

Et CV : Charge Variable

1.5. **Analyses et traitements statistiques**

Les données obtenues sur les variations des différents paramètres physico-chimiques des eaux, la croissance des plantes (légumes et riz) et les données des paramètres zootechniques des poissons ont été encodées sur le tableur Excel 2013 avant de les soumettre aux analyses statistiques. Durant le traitement statistique, les logiciels RStudio et XLSTAT ont été utilisés.

II. RESULTATS

II.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau

II.1.1 Température et pH

Durant l'expérimentation, aucune variation considérable de la température n'a été enregistrée. La température moyenne était de 23°C le matin et le soir

La figure ci-dessous exprime le pH de l'eau. En moyenne, le pH de l'eau est de 7,5 cependant durant la quatrième mesure, cette valeur a augmenté jusqu'à 8. Cette modification est due à la diminution de l'eau dans le bac qui a causé une concentration de l'ensemble engendrant une augmentation considérable de la valeur du pH.

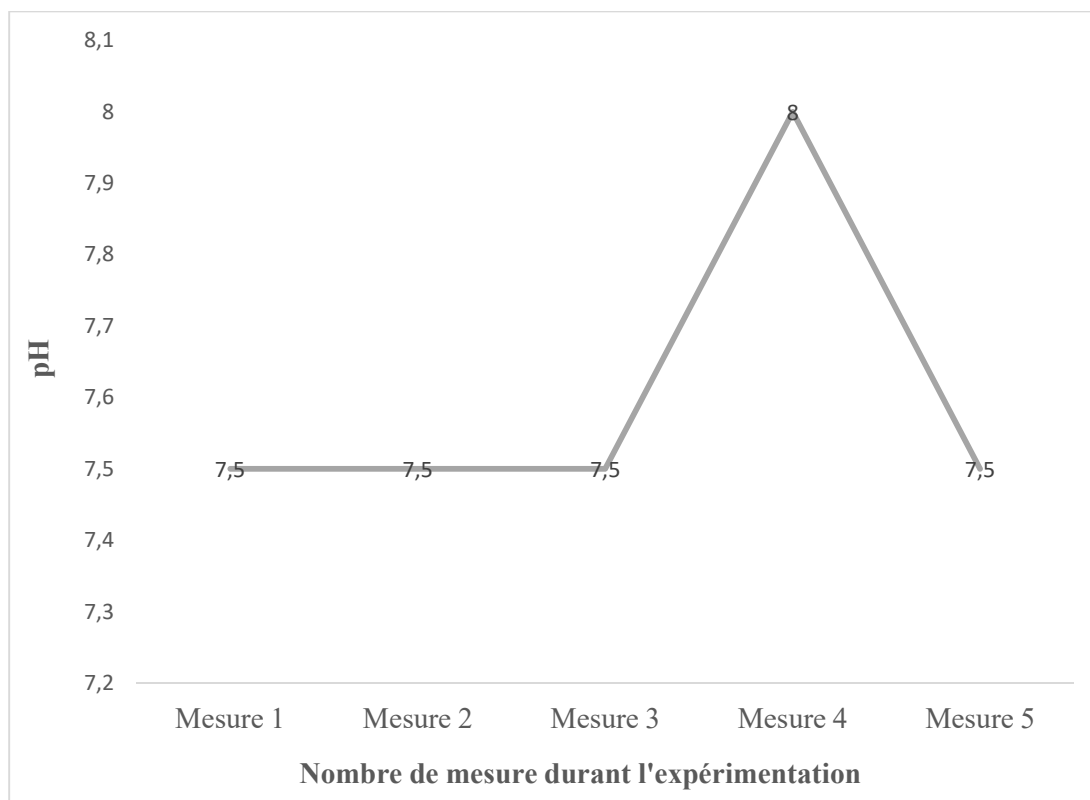


Figure 1 : pH de l'eau durant l'expérimentation

II.1.2 Cycle d'azote

Cette figure présente la concentration de l'azote dans le bac d'élevage durant l'expérimentation. Au début du cycle (mesure 1), la concentration de l'ammoniaque (NH_4) est de 0,05 mg/l mais il augmente jusqu'à 0,2 mg/l à partir de la mesure 3.

Après, il a une apparition de nitrite (NO_2) depuis la mesure 2 avec une valeur de 0,05 mg/l et il s'accroît jusqu'à 0,5 - 0,6 à la fin de l'expérimentation. Cela exprime bien l'évolution du cycle d'azote. Pour NO_3 , depuis l'apparition de NO_2 , au début de l'expérience la quantité de NO_3 est de l'ordre de 0,05 mg/l. Ensuite, il y a eu une évolution suffisante de ce cycle azote pour atteindre une concentration en NO_3 allant jusqu'à 7 mg/l dans la mesure n° : 5.

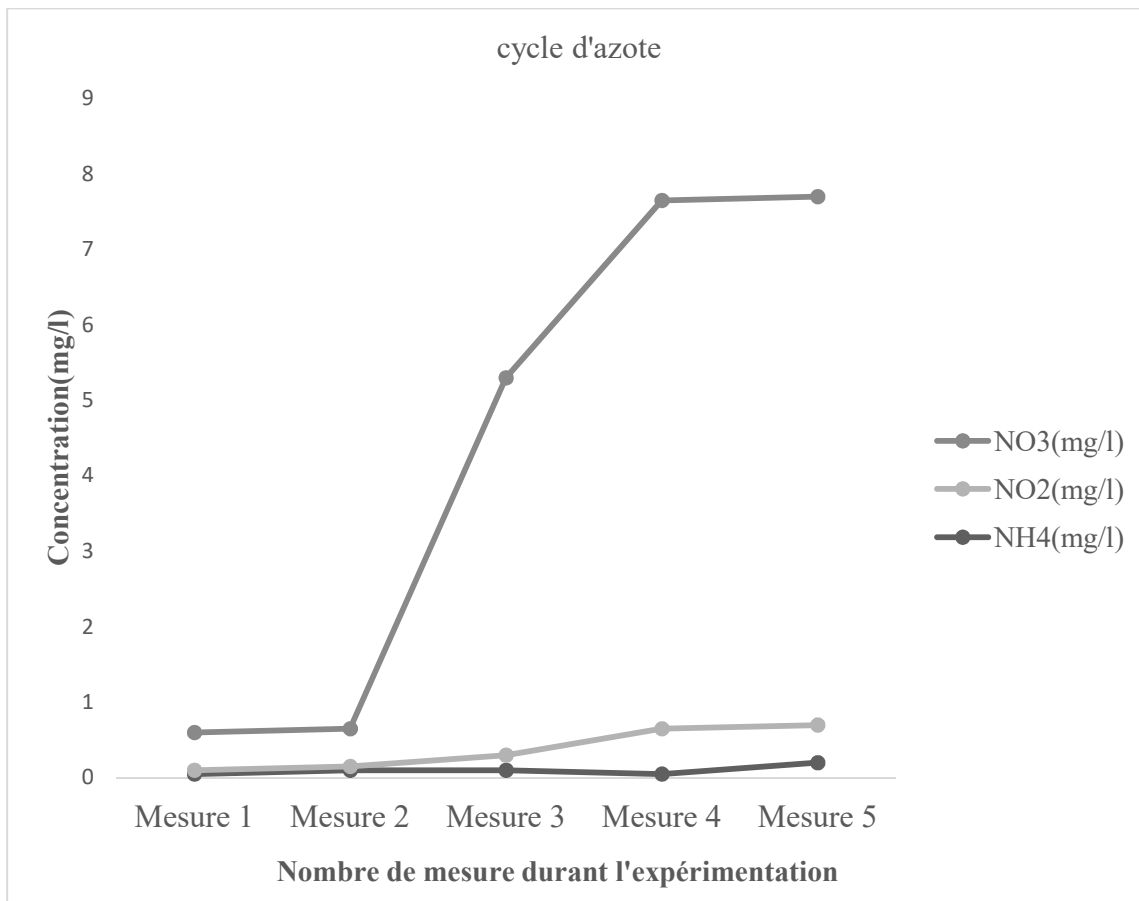


Figure 2: Cycle d'azote

II.1.3 O_2 ; Fe et PO_4

Cette figure ci-dessous montre la concentration en d'autres éléments à part l'azote qui sont : l'oxygène, le fer, et le phosphore.

Pendant l'expérimentation, une concentration élevée en d'O₂ (8 mg/l) a été enregistrée depuis la mesure n° 3, alors qu'au début de l'expérimentation, cette concentration était de 2,5 mg/l. Pour le phosphore PO₄, une augmentation graduelle a été enregistrée au fur et à mesure de l'avancement de l'expérimentation pour atteindre une valeur de 1,5 mg/l à la fin de l'expérimentation. En fin, pour le fer (Fe), la concentration était restée inchangée à 0,2 mg/l durant tout le travail

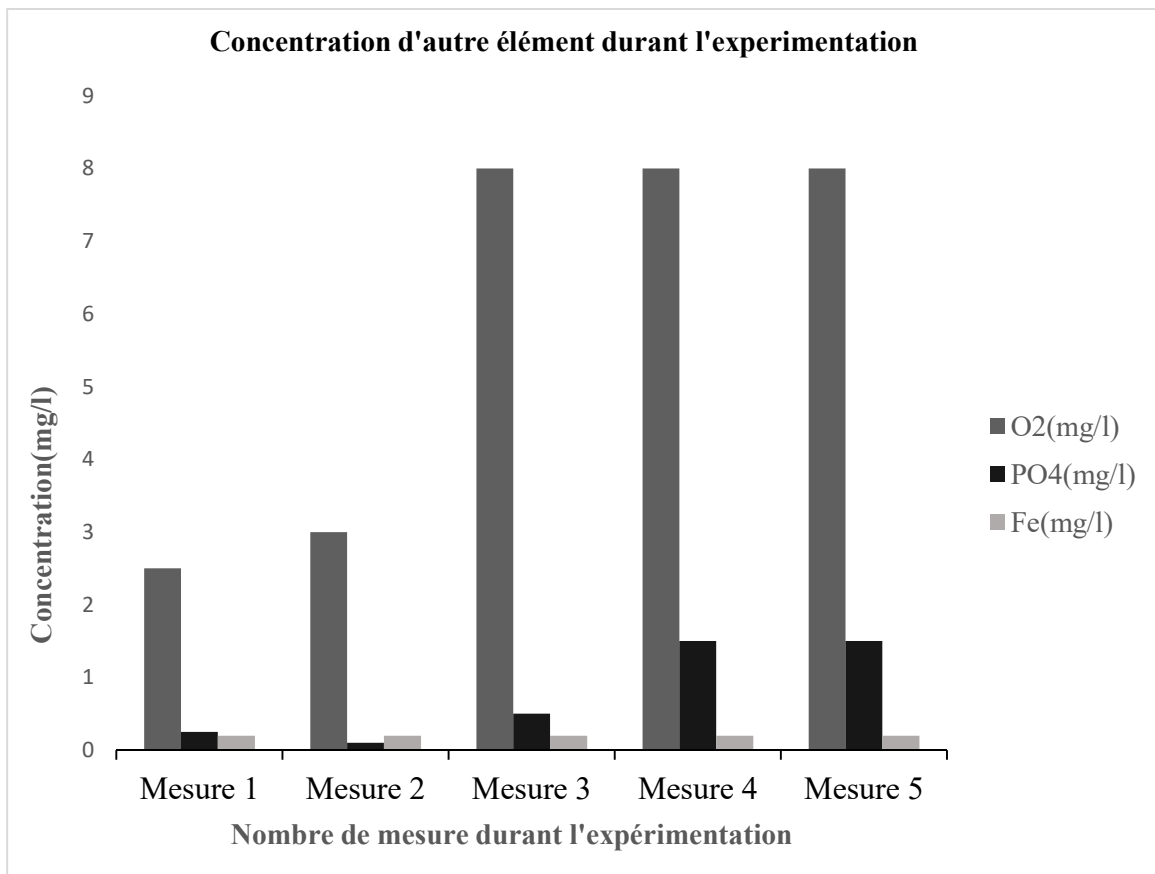


Figure 3 : Concentration d'autre élément

II.2. Croissances des plantes et poissons

II.2.1 Plantes

□ Hauteur de la salade

La figure ci-dessous présente la hauteur de la laitue par semaine. Les résultats d'analyses statistiques montrent qu'il y a un fort développement de la hauteur moyenne des laitues qui atteint une hauteur de 16 cm après 4 semaines d'expérimentation.

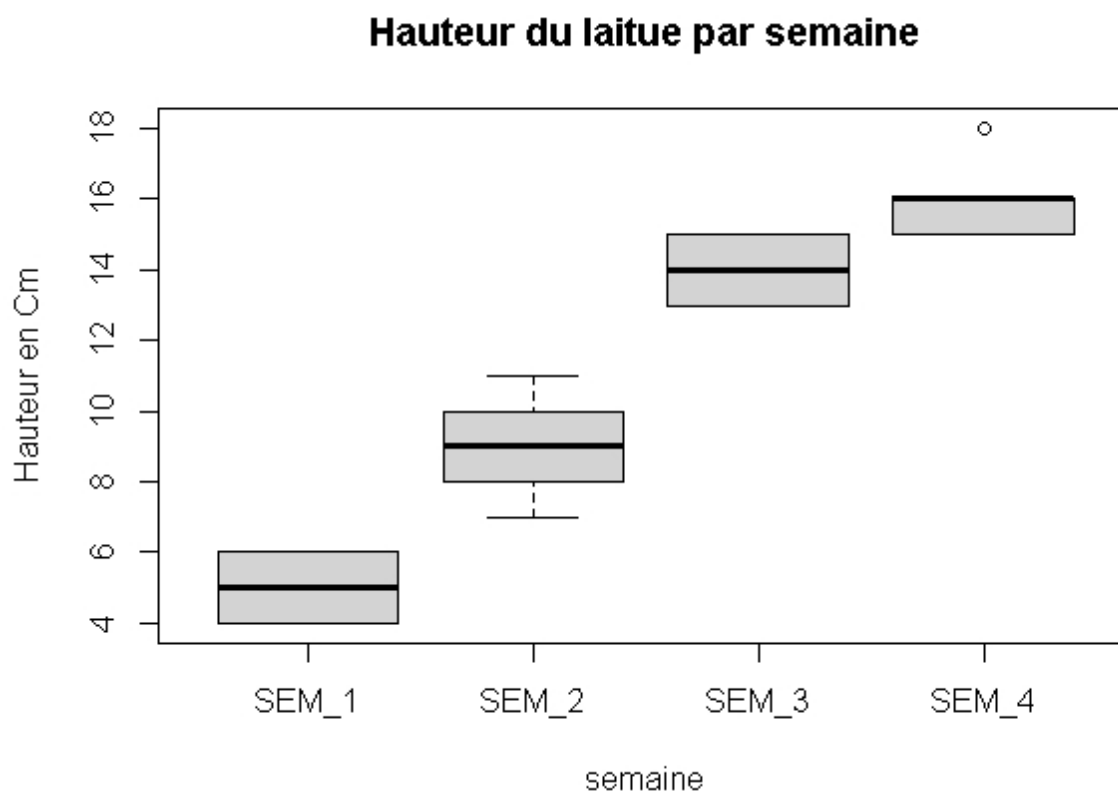


Figure 4 : Variation de la hauteur de laitue par semaine

□ Nombre de tallage du riz

La figure ci-dessous montre le nombre de talles par mois du riz. Une différence significative a été enregistré durant les mois de : Décembre-Novembre ; Janvier-

Novembre ; Février-Novembre ; Mars-Novembre ; Mars-Décembre ; Mars-Janvier, contrairement aux données des mois de : Mars-Février ; Février-Janvier ; Janvier-Décembre ; Février- Décembre.

Le nombre moyen de talles au début de l'expérimentation été de 3,33, mais cela a augmenté considérablement à partir du deuxième mois pour atteindre un nombre moyen de 19,08 à la fin de l'étude. De même pour la hauteur, une évolution considérable a été enregistrée allant d'une moyenne de 4cm au début de l'expérimentation jusqu'à une hauteur moyenne de 89 cm en 5 mois.

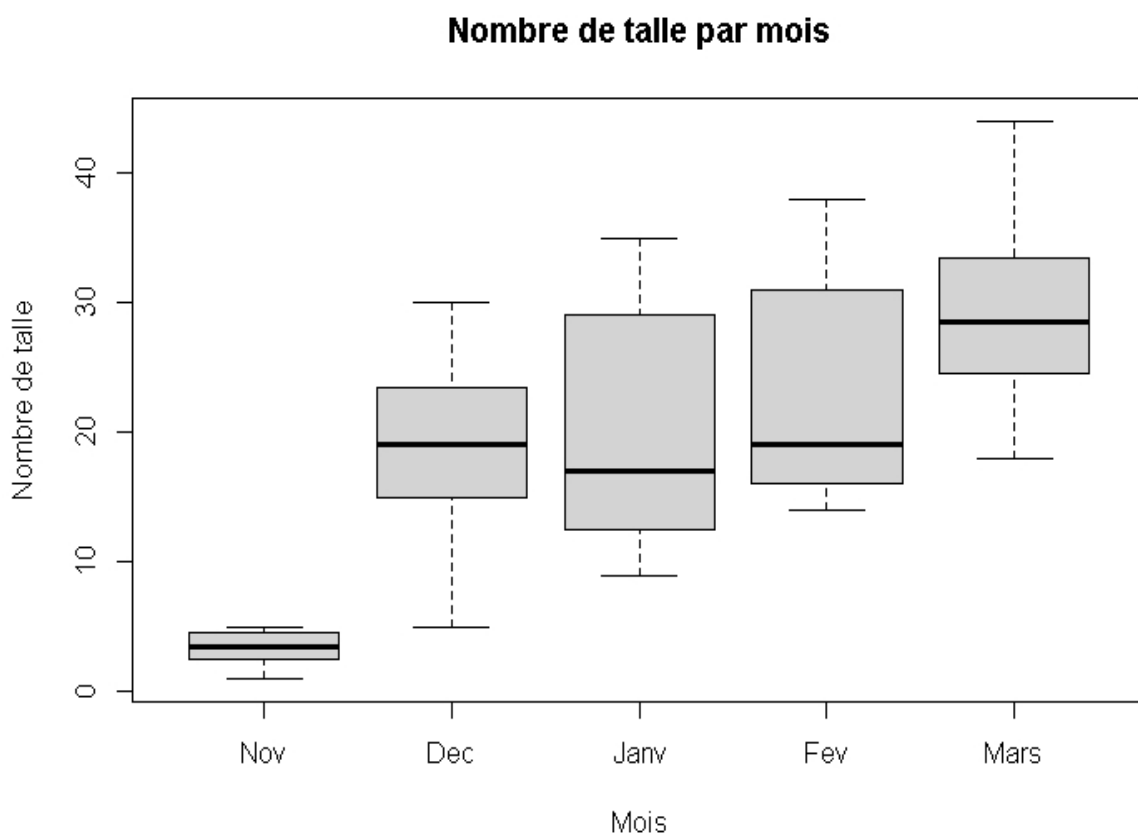


Figure 5 : Evolution du nombre de talle par mois

II.2.2 Paramètres zootechniques des poissons

□ Poids moyen

La figure n°6 montre l'évolution des poids moyens des poissons durant l'expérimentation. Cette figure indique qu'il y a eu une évolution considérable du poids. Cependant, il est également à constater qu'une forte variabilité du poids a été enregistrée, car le poids moyen des poissons à la fin de l'expérimentation été de 361,5 g avec un poids maximum de 687 g et un poids minimum de 165 g

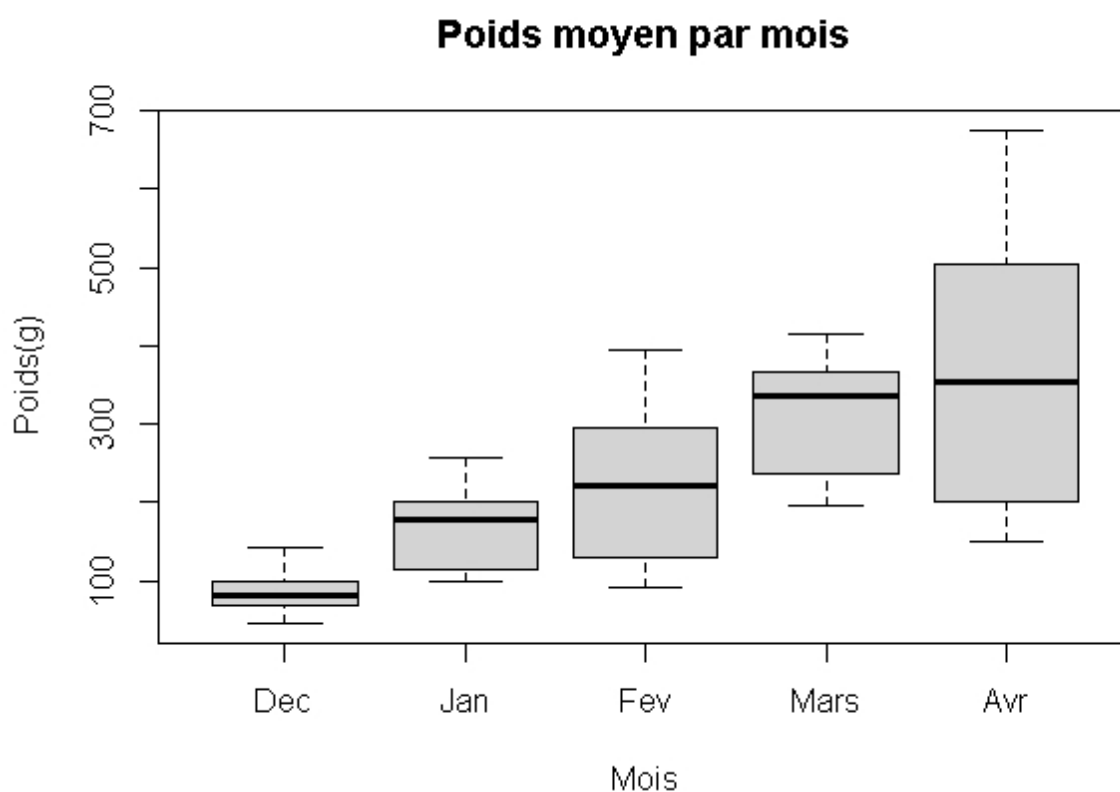


Figure 6 : Evolution du poids moyen de poisson par mois

□ Gain moyen de poisson

D'après les analyses statistiques, il a une différence significative des gains moyens de poisson par mois. Ces différences sont principalement enregistrées durant les mois de mars-décembre ; mars-avril ; janvier-décembre et janvier-avril. LA figure n°7 montre que le gain moyen le plus élevé été enregistré durant le mois de mars **(3,13)**. Et le plus faible été durant le mois de décembre **(1,35)**.

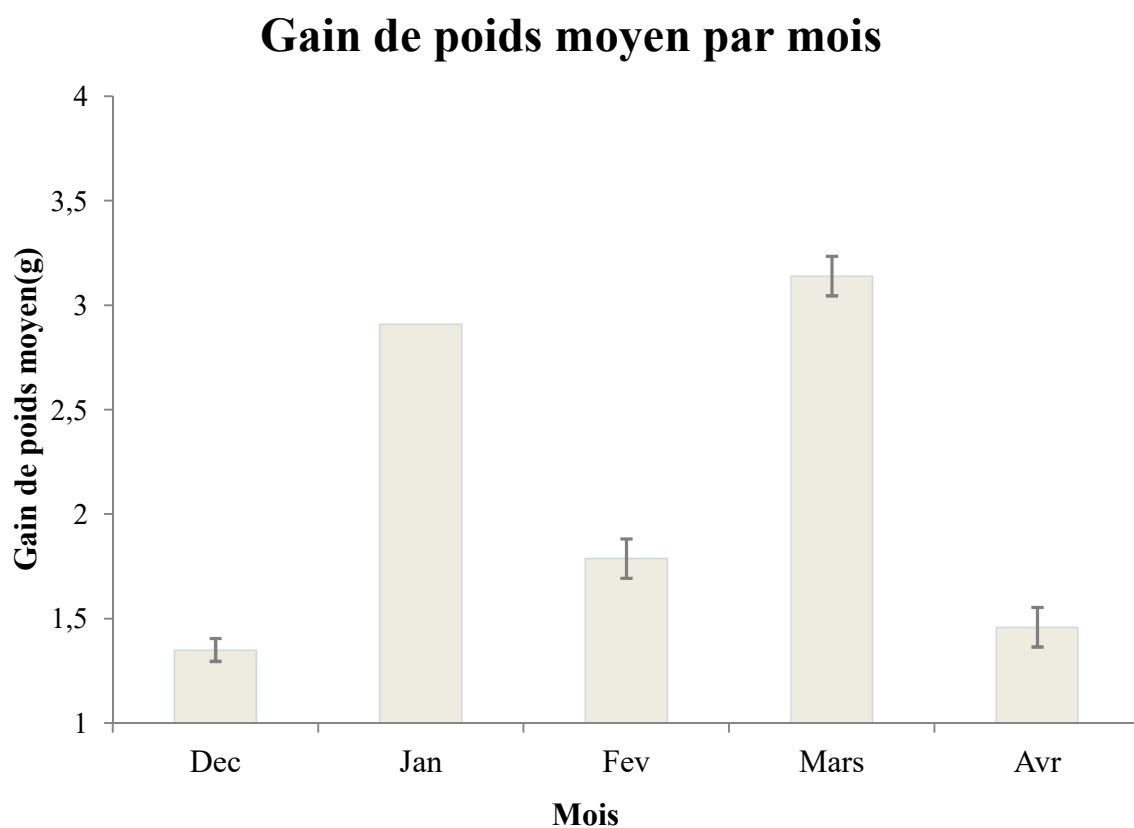


Figure 7 : Gain moyen de poisson par mois

II.3. Analyse économique

II.3.1 Coût de production

Le coût de production désigne toutes les dépenses de culture et d'élevage durant l'expérimentation. Il est intéressant de le connaître pour bien déterminer la rentabilité économique de ce système.

□ Dépenses en construction du système

Ce type de dépenses désigne tous les coûts de la construction du système. La valeur a été exprimée en Ariary.

Tableau 1: Dépenses de la construction de système aquaponique

Désignations	Quantité	Coût unitaire (Ariary)	Coût total (Ariary)
Tuyau pvc	10 pièces	26 000	260 000
Pots	7 paquets	2 500	17 500
Entrée d'eau (tuyau 20 + accessoire + bouchon		140 000	140 000
Pompe à eau émergée pour 3m	1	450 000	450 000
Boulon + vis	100 Pièces	15 040	15 040
Tôle	32 m	16 200	518 400
Bâche + soudure	10 m	520 000	520 000
Filtration (Bidon 20 l + pierre)		9 000	9 000
Clou	2 kg	6 000	12 000
Madrier	18	20 000	360 000
Main d'œuvre	2	10 000	20 000
TOTAL			2 321 940

□ Dépense en intrant

L'évaluation des dépenses est importante afin d'évaluer la rentabilité économique. Les intrants figurent parmi les charges que possède chaque

agriculteur pendant ses activités. Ils sont constitués par plusieurs produits, dont la semence végétale, les alevins, l'alimentation de poisson. Ces derniers sont utiles pour assurer un rendement de quantité.

Tableau 2: Dépense en intrant

Désignation	Quantité	Coût unitaire (Ariary)	Coût total (Ariary)
Alevins	36	100	3600
Alimentation	45,2	4200	189840
Electricité	9,36 KWh/jr	1497,6	224640
Riz	1 kapoaka	1000	1000
Semence	2 sachets 10g	1000	2000
TOTAL			421080

II.3.2 Etude de rentabilité économique

La rentabilité économique détermine les bénéfices apportés par le système. Elle détient donc tous les calculs aboutissant à l'obtention du solde. Ce dernier est obtenu par la différence entre la recette et les charges. D'une part, les charges désignent le coût de la production avec le coût des intrants et l'amortissement du matériel. D'autre part, la recette désigne la somme d'argent obtenue durant la vente des produits. C'est la production brute multipliée par le prix d'un kilogramme pour le poisson et le prix par pied de laitue.

L'amortissement est une dépréciation en valeur d'un matériel répartie sur chaque année. Tous les matériels utilisés ont leur propre amortissement et leur propre durée de vie. Il est important de le savoir pour bien calculer les charges durant l'expérimentation.

□ Recettes

Elles déterminent la somme obtenue après la vente de tous les produits. Elles sont obtenues par la multiplication de tous les produits bruts avec le prix du kilo du poisson et le prix par pied de la laitue (salade). Durant la période où la récolte a été effectuée, le prix du poisson est environ **17 000** Ar/Kg sur le marché et pour la salade le prix d'une pièce est de **500** Ar. Pour calculer la recette, le poisson et la laitue sont vendus par ces prix. La recette peut déterminer la valeur ajoutée brute de la production. Le tableau montre le calcul aboutissant à l'obtention de la recette obtenue par le système.

Produit	Quantité	Prix unitaire	Montant en Ariary
Poisson	36 kg	17000	612000
Laitue	500 pieds	500	250000
Total			862000

□ Valeur ajoutée nette

Dans le but de bien déterminer le bénéfice et la rentabilité de cette intégration, il est nécessaire de déterminer le solde. La valeur nette représente le solde obtenu durant l'expérimentation. Elle est définie comme étant le bénéfice obtenu par le système. C'est donc la soustraction entre les recettes et toutes les charges avec l'amortissement des matériels.

Rubrique	Prix en Ariary
Recette	862000
Charge	796564
Solde	65436

□ **Seuil de rentabilité**

Il marque le seuil de l'utilisation des chiffres d'affaires qui ne donne ni perte ni bénéfice. Il est important de le connaître pour savoir le minimum de production nécessaire afin de subvenir à toutes les charges. Elle est obtenue par le rapport entre le Charge Fixe et le Taux Moyen sur Coût Variable. Les Charges Fixes sont définies par les personnels permanents et les amortissements du matériel. Durant l'expérimentation, l'amortissement est la seule Charge Fixe. Les autres charges sont variables. Ce dernier est désigné par les coûts de production. Pour aboutir à l'obtention du seuil de rentabilité, il est nécessaire de calculer le Taux moyen sur coût variable.

Rubrique	Valeur
CF	375 484
TMCV	0,51
SR	734072,412

III. DISCUSSION

III.1. pH et température

Selon FAO en 2017, le pH normal est de 7 - 7,2. Ceci est appuyé par Kestemont et al, (1989) ;Kilingwa et al., 2020; Fiogbe et al., 2009, que les poissons et les plantes aquatiques évoluent bien dans un pH compris entre 6 et 8. Durant l'expérimentation, le pH varié entre 7,5 et 8. Du début jusqu'à la mesure n°3, la valeur du pH est restée stable à 7,5, mais il a augmentée à 8 à la mesure n°4 car durant cette période, l'eau dans le bac à poisson a diminué à cause de l'évaporation. Pour faire descendre la valeur du pH, l'addition d'eau est donc indispensable afin d'avoir une valeur proche de 7.

La variation de la température notée au cours de la journée est liée aux conditions climatiques durant l'expérience. Selon BOUHENNI, 2017, la température idéale de l'aquaponique est entre 18 et 30°C. Cette publication est appuyée par celle de Hounsa, qui affirme que la température idéale pour avoir une croissance optimale du tilapia se situe entre 14 – 32°C. Ainsi, notre expérimentation était bien dans les bonnes conditions.

III.2. Cycle d'azote

Pendant l'expérimentation, la concentration en azote (NH_4 et NO_2) a permis de mettre en évidence l'activité des bactéries. Selon Somerville et al., 2014, la concentration standard de l'ammoniac est au-dessous de 3 mg/l pour éviter la toxicité. Au début de l'essai, la concentration du NH_4 était peu élevée. Mais d'après la figure 2 : il y a eu une augmentation considérable de concentration en NH_4 à la 5ème mesure. Pendant cette période ; l'eau dans le bac d'élevage avait diminué. Alors, l'addition d'eau reste une solution pour corriger ce problème afin de garder la qualité de l'eau. D'après Hounsa, il faut compléter l'eau pour s'assurer le recyclage maximal d'élément nutritif et optimiser la ration poisson/plante. GRABER et JUNGE (2009), affirment que 69% de l'azote généré par les poissons dans un système aquaponique est converti pour les végétaux.

Selon Maleshela et al., la valeur du seuil de tolérance de la concentration de NO_2 est de $\leq 1,0$ mg/l. Cette valeur est confirmée par Somerville et al., 2014. Ainsi, durant l'expérimentation, la concentration du nitrite NO_2 était proche de la norme. Alors, aucune contrainte n'est à redouter dans ce sens pour la croissance de plante. GRABER et JUNGE (2009), ont affirmé que les nitrites sont également toxiques pour les animaux puisqu'ils perturbent leur capacité à absorber l'oxygène.

III.3. Oxygène

L'oxygène est essentiel pour tous êtres vivants, il est donc important de bien le gérer. Durant l'étude, la concentration en oxygène O_2 était aux normes, car elle était au voisinage de 8mg/l qui est identique à la valeur recommandée par Somerville et al., 2014. Cependant, cette teneur n'était pas toujours ainsi, car ; au début de l'expérimentation, la concentration en O_2 était de 2,5mg/l. Cela a été causé par la puissance de la pompe à eau qui été trop faible pour générer assez d'oxygène, alors il été judicieux de remplacer cette pompe à eau. Cependant, cette faible teneur en O_2 n'a causé aucun problème sur notre expérimentation sur la croissance des poissons, car leur densité était encore faible en raison de leurs tailles. Cependant, à partir de la mesure 3, il a eu une augmentation de la taille des poissons donc de densité de l'ensemble, il s'avère donc indispensable d'augmenter cette concentration de l' O_2 par le remplacement de la pompe. A l'inverse, cette augmentation de densité permet de réchauffer le bac à poisson qui est un facteur favorable à l'accroissement de la consommation des organismes aquatiques, car ces animaux sont poïkilothermes (à sang froid), et leur métabolisme augmente avec la température (GRABER et JUNGE 2009).

III.4. Hauteur des plantes

Les deux cultures effectuées dans notre expérimentation (Laitue et riz) ont été influencées par la disponibilité des nutriments. D'après la loi de Liebig sur la disponibilité minimale de nutriments ; le nutriment le moins disponible détermine le taux de croissance maximal des plantes. Monsees et al. 2017 ont montré une absorption accrue de NO_3^- lorsque la source de N dans une solution nutritive contenait entre 5% et 25% de NH_4^+ . Cette information a été confirmée par Karimou, sur l'Effet du guano de chauve-souris sur la production de la laitue verte (*Lactuca sativa* L.) et sur la fertilité du sol dans la cuvette de Balla (Département de Gouré - Niger) ». Il évoque qu'en générale, la hauteur moyenne de la laitue est entre **3,25 et 8,25cm**. Cependant, dans notre expérimentation elle a atteint une hauteur allant de 5 à 16 cm. Les nutriments disponibles influencent la bonne croissance de la laitue dans le système. Pour la riziculture, les nombres de talles dépendent des caractéristiques variétales et aussi de la nature de l'environnement de la plante qui est constitué par le sol, le climat, la conduite des cultures et d'autres facteurs externes tels que les maladies et les insectes. D'après l'étude effectuée par Bagayoko et al., en 2017, le nombre de talles était compris entre **26,2 à 63,4**. Et à Madagascar, selon une l'étude de RASOAMANANA en 2015 sur l'étude de « Effets agroéconomiques de l'utilisation de la dolomie, du fumier de ferme et des engrais chimiques (urée et DAP) sur des rizières à sol acide », le nombre de talles moyen est comprise entre (**1 – 13**). Ainsi, il est à noter que le nombre de talles dans le système aquaponique est assez remarquable, car il était compris entre **3,33 - 29,08**. Qui est une valeur largement supérieure à ceux obtenus par RASOAMANANA en 2015.

III.5. Paramètre zootechnique du poisson

Durant l'expérimentation, la croissance pondérale des poissons était remarquablement élevée. Cette croissance est due au sexage préalable des poissons, car les tilapias utilisés durant l'expérimentation sont tous des mâles. D'après Hasinarivo, (2007), les performances de croissance des mâles sont supérieures à celles des femelles dans les différentes espèces de tilapia. Cette croissance est aussi occasionnée par la température de l'eau dans le bac d'élevage. Le tilapia a une bonne croissance à une température comprise entre 14 – 32°C ce qui a été démontré par Hounsa qu'une augmentation de température réduit l'efficacité des processus physiologiques associés à la digestion et à la rétention d'azote. Par

conséquent, l'élévation de la température engendre une prise de poids rapide. Cela a également été démontré durant cette expérience pendant le mois de février où la diminution de la température a été très visible sur le retard de croissance des poissons.

III.6. Aspect économique

L'étude économique effectuée a montré la rentabilité économique du système aquaponique. Cependant, par faute de moyen, certains paramètres n'ont pas été considérés ; comme les coûts de l'eau, du transport, l'alimentation des poissons et de l'électricité. Ainsi, pour avoir les bénéfices exacts du système, il faut introduire ces dépenses dans les analyses. D'après Somerville et al., 2015, l'utilisation d'eau de pluie est une autre solution pour diminuer la dépense. Pour l'électricité, il est également judicieux d'utiliser de l'énergie renouvelable telle que les panneaux solaires et les éoliennes , (Somerville et al., 2015)

CONCLUSION

L'intérêt que présente l'aquaponique est tout d'abord la sécurité alimentaire, étant donné que les produits obtenus sont des éléments essentiels à l'alimentation humaine. Le système fournit également une source de nutriments pour la plante ; une gestion raisonnable de l'eau ; et une rentabilité économique.

La concentration des paramètres physico-chimique de l'eau (pH, température, cycle d'azote, autres éléments) est très intéressante pour la croissance des poissons et de la culture. La stabilité de la qualité de l'eau assure les performances des produits animales et végétales. De plus, face au problème de terrain ce système est praticable dans les zones urbaines et péri-urbaines. La construction du système est rentable.

Durant l'expérimentation, certains coûts n'ont pas été considérés ; mais cela reste comme des perspectives d'avenir pour la suite de ce travail.

Cette étude est une grande première sur la pratique de l'aquaponie à Madagascar. Par ailleurs, d'autres investigations doivent être effectuées pour améliorer l'adaptation du système au contexte local. Il est également indispensable d'effectuer des projets de vulgarisation de ce système pour améliorer la sécurité alimentaire à Madagascar.

REMERCIEMENT

Aux premiers mots de cet ouvrage, nous aimerons bien remercier DIEU Tout Puissant de nous avoir donné de l'énergie, de la force et du courage pour la réalisation du présent mémoire. Ce dernier n'aurait pas pu arriver à bon port sans la contribution et le soutien à la fois technique, pédagogique, financière et moral non négligeable de nombreuses personnes.

Références bibliographiques

1. ABDELLATIF, C. (2015). *DEVLOPPEMENT DE SYSTÈMES HORSSOL INNOVANTS POUR JARDINS URBAINS — PROJET NATIONAL PROD'URBAN.*
2. Andrianantoandro, V. T. (2014). *Structures familiales, organisation des activités et développement en milieu rural malgache.* 378.
3. Aubry, C. (2013). *L'AGRICULTURE URBAINE, CONTRIBUTRICE DES STRATEGIES ALIMENTAIRES DES MEGAPOLES ?* 12.
4. Aurélien TOCQUEVILLE, Matthieu GAUME, Pierre FOUCARD, Pierre-Etienne ROLLET, & Benoît VIDAL-GIRAUD. (2019). *Étude sur la pisciculture en circuit « recirculé ».*
5. Ayassamy, P. (s. d.). *Toit végétal: Un aménagement avantageux pour Montréal ?* 104.
6. B., H. (1950). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. *Population (French Edition)*, 5(4), 764. <https://doi.org/10.2307/1523706>
7. Bagayoko, M., Traore, G., & Samake, O. (2017). *VARIABILITE SPATIALE DES RENDEMENTS DU RIZ EN SYSTEME DE RIZICULTURE INTENSIVE (SRI) EN ZONE OFFICE DU NIGER AU MALI.* 11.
8. Bénard--Déraspe, Marie--Hélène, Bergeron, Josiane, Gilmore, Solomon, & Lisandre. (2020). *L'AQUAPONIE: UN PROJET MULTIDISCIPLINAIRE NOVATEUR POUR LA JEUNE RELÈVE SCIENTIFIQUE.*
9. BOUHENNI, K. I. (2017). *Réalisation d'une micro-ferme aquaponique et développement d'une application de gestion commerciale pour les projets d'aquapon.* Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen.
10. Briand, B. (2008). *Construction d'arbres de discrimination pour expliquer les niveaux de contamination radioactive des végétaux.* UNIVERSITE MONTPELLIER II SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC.

11. Brondis Manon. (2018). *L'AGRICULTURE URBAINE : UNE ALTERNATIVE OU UNE COMPLEMENTARITE A L'AGRICULTURE CONVENTIONNELLE ?*
12. Delorme, L. (2020). *Acquisition de données de performances des systèmes aquaponiques : Potentiel phytoépuration et qualité des produits.* 81.
13. Dhanhani, M. A. A. (2018). *Determination of the Ideal Plant Density of Tomato Solanum Lycopersicum under an aquaponic Production System with Tilapia Oreochromis Aureus under UAE Conditions.* 100.
14. DJAHA, K. F. (2015). *CONTRIBUTION DE NOUVEAUX MODES DE PRODUCTION A UNE AGRICULTURE DURABLE : CAS DEL' AGRICULTURE HORS SOL EN COTE D'IVOIRE.*
15. EFOLE EWOUKEM, T. (2011). *Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun.*
16. Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. (2014, octobre 2). *Elsevier B.V.*, 217-227.
17. Fiogbe, E., Akitikpa, B., & Accodji, J.-M. M. (2009). Essais de mise au point de formules alimentaires à base d'azolla (*Azolla microphylla kaulf*) et de sous-produits locaux pour la pisciculture rurale du tilapia *Oreochromis niloticus* L. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(2).
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i2.44511>
18. Foucard, P. (26May2020). Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA®“ Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture. *Innovations Agronomiques*, 71, 385-40.
19. Foucard, P., Tocqueville, A., Gaumé, M., Labbé, L., Baroiller, J. F., Lejolivet, C., Lepage, S., & Darfeuille, B. (2015). Tour d'horizon du potentiel de développement de l'aquaponie en France : Présentation et regard critique sur cette voie de développement alternative pour les productions piscicoles et horticoles. *Innovations Agronomiques*, 125-139.
20. Foucard, P., Tocqueville, A., Gaumé, M., Lejolivet, C., Labbé, L., DFAouRcFarEdU, B., & Baroiller, J. (2016). *Premières expérimentations d'aquaponie associant aquaculture et horticulture.* 10.
21. *ANALYSE COÛTS – BÉNÉFICES DES PRODUCTIONS AÉROPONIQUES PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES TRADITIONNELLES*, (2015) (testimony of Iacono Giovanni,).
22. 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>

23. Haingotiana, M. R., & Tony, M. R. (s. d.). *ENCADREUR PROFESSIONNEL*. 117.
24. HARLAUT, P. (s. d.). *Tout savoir sur lo'aquaponie : L'aquaponie expliquée de A à Z*. www.aquaponie.biz
25. Hasinarivo, T. H. F. (2007). «LA DETERMINATION DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DU TILAPIA OREOCHROMIS NILOTICUS ELEVE EN CAGES FLOTTANTES AU CANAL DES PANGALANES (LAC RASOABE) ET LES ETUDES FINANCIERES ». 102.
26. Hounsa, P. M.-G. (2018). *Evaluation de la performance d'un système aquaponique simple pour la production de tilapia et de légumes (Laitue et Amarante) au Bénin*. 91.
27. Jaeger C., Foucard P., Tocqueville A., Nahon S., & Aubin J. (2020). Bilan environnemental d'un système d'aquaponie carpes-salades. *Innovations Agronomiques*. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>
28. Julio Cesar Ramirez. (2015). *DEVELOPEMENT D'UNE CULTURE DURABLE DE LAITUE DE TRANSFORMATION EN SOL MINERAL*.
29. Karimou, A. H. (s. d.). *Effet du guano de chauve-souris sur la production de la laitue verte (Lactuca saliva L.) et sur la fertilité du sol dans la cuvette de Balla (Département de Gouré—Niger)*. 87.
30. Kestemont, P., J.C. Micha, & U. Falter. (1950). Les Méthodes de Production d'Alevins de Tilapia nilotica. ADCP/REP/89/46, FAO, Rome, 132 p. *Population (French Edition)*, 5(4), 764. <https://doi.org/10.2307/1523706>
31. Kilingwa, C. M., Mutanda, S. K., Muamba, N. B., Nzadimwena, L. K., Swana, W. L., & Kiamfu, V. P. (2020). *Evaluation de la Qualité Écologique de la Rivière Musolo à Kinkole Basée sur les Macroinvertébrés Benthiques (Kinshasa, R.D Congo)*. 15.
32. Kloas, W, Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., Wittstock, B., Wuertz, S., Zikova, A., & Rennert, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 179-192. <https://doi.org/10.3354/aei00146>
33. Lamotte, P. (s. d.). *L'aquaponie dans la boîte*.
34. Love, D. C. (2014, septembre 28). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Elsevier B.V.*, 67-74.
35. Maleshela, C. M., Ndamba, A. K., Tabou, T. T., Mutambwe, S. M., Kyela, C. M., Swana, W. L., & Kiamfu, V. P. K. P. (2020). *Mise Au Point Et Évaluation D'un Système Aquaponique Domestique Dans La Ville Province De Kinshasa (République*

- Démocratique Du Congo). *European Scientific Journal ESJ*, 16(24).
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n24p70>
36. Mayer, A. (1947). L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. *Revue Internationale de la Croix-Rouge et Bulletin international des Sociétés de la Croix-Rouge*, 29(342), 487.
<https://doi.org/10.1017/S1026881200127618>
37. Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W., & Wuertz, S. (2017). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 48(7), 3482-3492. <https://doi.org/10.1111/are.13174>
38. Niaina, R. T. (s. d.). *ETUDES DE LA VARIABILITE ECONOMIQUE DES PISCICULTURES DANS LA ZONE DU LAC ALAOTRA : APPROCHE TYPOLOGIQUE*. 129.
39. Olivia, H. A. L. (2011). *Essai de production d'alevins d'Oreochromis niloticus en eaux saumâtres*. 53.
40. Petitet-Gosgnach, F. (2017). *Aquaponie : Le guide de référence*.
41. Pierre- François, Jean, Emmanuel DUCATTEAU. (2015). *PISCICULTURE : BILAN SUR LES MODES D'ÉLEVAGE ET PERSPECTIVES EN MATIÈRE DE DURABILITÉ ENVIRONNEMENTALE. EXEMPLE DU SAUMON ATLANTIQUE EN NORVÈGE*.
42. Piquard, V., & Teletchea, F. (2020). *Développer l'aquaponie sur l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon : Analyse de la faisabilité technico-scientifique*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19340.95366/2>
43. RAKOTORAHALAHY, S. Z. (2009). *CARACTERISATIONS AGROMORPHOLOGIQUES DES LIGNEES ISSUES DU CROISEMENT INTERSPECIFIQUE ENTRE Oryza sativa L. et Oryza longistaminata A. Chev. & Roehr SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDRIQUES EN SERRE*. Antananarivo.
44. RAMBOARIMANANA, F. G. (2009). *Contributtiion à ll''étude sur lla performance de croissance des alleviins de ttiillapiia en foncttiion de lla densiitté*.
45. RANDRIANOMANANA, M. (2013). *POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES TILAPIAS (Oreochromis niloticus) D'AMBATONDRAZAKA DESTINES A LA CONSOMMATION D4ANTANANARIVO*. Antananarivo.
46. RASOAMANANA, A. T. (2015). *EFFETS AGRO-ECONOMIQUES DE L'UTILISATION DE LA DOLOMIE, DU FUMIER DE FERME ET DES ENGRAIS CHIMIQUES (UREE ET DAP) SUR DES RIZIERES A SOL ACIDE Cas du sol d'AMBOLOMARO : zone de relocalisation des paysans anciennement dans le site minier d'AMBATOVY*. Antananarivo.

47. RASOAMASIMBOLANORO, V. (05 Décembre 20 0 5). *PROJET D'INSTALLATION DE CENTRE DE PRODUCTION D'ALEVINS DE TILAPIA MONO SEXE DANS LA COMMUNE RURALE D'ILAFY AMBATONDRAZAKA REGION ALAOTRA MANGORO.*
48. RASOLOFOMANANA, T. H. (2013). *Variabilités du genre Tilapia, commercialisé dans la ville d'Antananarivo (Cas de la zone de pêche de Miandrivazo.* Antananarivo.
49. Razafindranaivo, M. E. F. (s. d.). *A LA STATION PISCICOLE DE KIANJASOA MAHASOLO- TSIROANOMANDIDY MADAGASCAR.* 70.
50. Scott, J. (2002). *Evolution of Aquaponics.* 04.
51. Sklodowska, M. (2014). *Deliverables 2.1 Establishing Environmental Impact Assessment and Habitat Modification.* 83.
52. Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2015). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming.*
53. Stalport, B. (2016). *Modélisation et développement d'un système aquaponique avec surveillance métrologique pour l'étude du cycle de l'azote.* 103.
54. VIDAL, A. (1989). *ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION PAR TELEDETECTION APPLICATION AU CONTROLE DE L'IRRIGATION.* Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
55. Wirza, R., & Nazir, S. (2021). Urban aquaponics farming and cities- a systematic literature review. *Reviews on Environmental Health*, 36(1), 47-61. <https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0064>