

Conception et évaluation d'un système aquaponique poisson-chat (*Clarias Gariepinus*) basilic (*Ocimum Basilicum*) avec biofiltration en fonction de la densité des poissons

Nana Towa Algrient, Djousse Kanouo Boris Merlain, Kouayep Stéphane, Djakou Yopo Rodrigues, Youmsi Massoudom Astride, and Ali Nfor Hensel Tawe

Département de Foresterie, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, BP: 222 Dschang, Cameroon

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present work aims to evaluate the efficiency of a biochar biofilter to purify the water of an aquaponic system according to the density of fish. For this, a unit has been set up at the Rural Engineering Department of the University of Dschang to conduct the tests. The biofilter made up of biochar based on corn cobs and pozzolan was set up as well as six columns of hydroponic system each connected to a biofilter and each containing three basil plants. The experimental device consisted of two densities DP6 and DP9 representing respectively the densities of 6 and 9 catfish per tank. Each density representing a treatment was mounted in triplicate. The fry were fed at 5% of their biomass at 2 frequencies (morning and evening). The physico-chemical parameters were measured once a day for the most part. Plant growth characteristics were measured on the 14th and 28th day after transplanting. Those relating to the growth of fish on the 28th and 46th day after loading. The results showed that the physico-chemical parameters of the water remained within the standard range required in aquaponics whatever the density, thus reflecting the positive effect of the biofilter. The DP6 fish recorded a higher weight gain of 15.26 g against 13.87 g for the DP9 after 46 days of rearing. As for the basil plants, those of the DP6 recorded the greatest average height of 30.88 cm. However, no significant difference was recorded between the treatments for either fish or plant growth. Subject to future work aimed at evaluating the functioning of the system over a relatively longer period, the installation of the biofilter makes it possible to increase the stocking density of the fish and, in turn, the yield.

KEYWORDS: Aquaponics, biofilter, water quality, catfish, basil.

RESUME: Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un biofiltre à biochar, à épurer l'eau d'un système aquaponique en fonction de la densité des poissons. Pour ce fait, une unité a été installée au département du génie rural de l'Université de Dschang pour conduire les essais. Le biofiltre constitué de biochar à base des rafles de maïs et de pouzzolane a été monté ainsi que six colonnes de système hydroponique reliées chacune à un biofiltre et contenant chacune trois plants de basilic. Le dispositif expérimental était constitué de deux densités DP6 et DP9 représentant respectivement les densités de 6 et 9 poisson-chat par bac. Chaque densité représentant un traitement a été montée en triplicat. Les alevins ont été nourris à 5% de leur biomasse en 2 fréquences (matin et soir). Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés une fois par jour pour la plupart. Les caractéristiques de croissance des plantes ont été mesurées le 14^{ème} et 28^{ème} jour après repiquage. Celles relatives à la croissance des poissons le 28^{ème} et le 46^{ème} jour après la mise en charge. Les résultats ont montré que les paramètres physico-chimiques de l'eau sont restés dans la gamme standard requise en aquaponie quelle que soit la densité, traduisant ainsi l'effet positif du biofiltre. Les poissons de la DP6 ont enregistré un gain de poids plus élevé 15,26 g contre 13,87 g pour la DP9 au bout de 46 jours d'élevage. Quant aux plants de basilic, celles de la DP6 ont enregistré la plus grande hauteur moyenne 30,88 cm. Toutefois, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les traitements aussi bien pour la croissance des poissons que celle des plantes. Sous réserve des travaux futurs visant à évaluer le fonctionnement du système sur une durée relativement plus longue, l'installation du biofiltre permet d'augmenter la densité de charge des poissons et par ricochet le rendement.

MOTS-CLEFS: Aquaponie, biofiltre, qualité de l'eau, poisson chat, basilic.

1 INTRODUCTION

Le développement technologique a rendu possible des avancées majeures dans le domaine de l'agriculture (Alderman, 2015). L'agriculture de précision s'est énormément développée au cours des vingt dernières années afin d'augmenter les rendements et les profits tout en diminuant les impacts environnementaux (déchets) de l'agriculture traditionnelle (Mc Bratney, et al., 2005). Ces avancées ont entraîné l'apparition de nombreuses techniques agricoles innovantes parmi lesquelles l'hydroponie. Cette dernière permet d'obtenir plusieurs productions annuelles (100 fois plus) importantes grâce à une production non-interrompue et un environnement entièrement contrôlé, offrant des conditions de croissance optimale tout en diminuant drastiquement le risque de pertes (Kozai, et al., 2016). De plus, l'industrie de l'aquaculture cherche elle aussi à réduire ses rejets afin de respecter des normes environnementales (Meybeck, 2017). D'où le concept d'aquaponie qui se définit comme un couplage entre l'aquaculture et la culture végétale hors-sol avec recirculation de l'eau. Contrairement aux circuits piscicoles ouverts ou recirculés, ce système de production a l'avantage de valoriser les effluents chargés en composés dissous venant de la production aquacole, en les rendant utilisables en tant que nutriments pour la production de plantes hydroponiques (Rakocy et al., 2006; Diver, 2006; Klinger, 2012).

Cependant, ce système complexe fait appel à des compétences techniques dans les domaines d'aquaculture en recirculation, horticulture, chimie de l'eau, agroéquipements et implique donc une main d'œuvre compétente et formée pour faire face aux divers problèmes qui peuvent se poser. La qualité d'eau de la ressource, l'espèce de poisson, son stade de développement, l'espèce végétale et son stade phénologique sont autant de paramètres susceptibles d'influer sur les performances des productions animales et végétales (Foucard et al., 2015). La capacité d'épuration de l'eau du système aquaponique dépend du type de biofiltre.

Ce dernier est généralement, un réservoir ou un baril contenant un support poreux fortement aéré (Nelson, 2008), son volume minimum doit être égal au sixième de celui du réservoir de poissons. Cependant, le volume est influencé par le type de substrat utilisé (le gravier, l'argile, le schiste, le sable, la pouzzolane, la mousse synthétique et le biochar). Selon Jiang et al. (2012); Xu et al. (2013), le biochar à une grande surface spécifique visible au microscope ($10 \text{ à } 500 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ dépendamment de la biomasse et des conditions de pyrolyse), ce qui lui confère la capacité d'adsorber les contaminants organiques et inorganiques. Ainsi, le biochar peut être utilisé en pisciculture pour filtrer l'eau des aquariums et étangs piscicoles. Les travaux de Kearns et al. (2012) ont montré l'aptitude du biochar à fixer les résidus de pesticides contenus dans les eaux. C'est dans cette optique que cet essai a été initié en vue d'évaluer l'efficacité de bio-filtration au biochar de l'eau d'un système aquaponique en fonction de la densité des poissons, ainsi que la croissance du poisson chat et le basilic.

Plus spécifiquement, il s'est agit de:

- Réaliser un système aquaponique avec recirculation (SAR) de l'eau;
- Evaluer l'effet de la densité des poissons sur la capacité d'épuration du biofiltre.
- Evaluer la croissance des plantes et des poissons

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

ZONE DE L'ÉTUDE

L'essai a été mené en 8 semaines dans la Région de l'Ouest Cameroun, Département de la Ménoua, Arrondissement de Dschang, plus précisément au Département du Génie Rural de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA) de l'Université de Dschang. Cet Arrondissement est caractérisé par une saison des pluies allant de mi-mars à mi-novembre et une saison sèche s'étendant de mi-novembre à mi-mars. Les précipitations moyennes sont de 171,7mm et la température moyenne de 21°C.

MATERIELS BIOLOGIQUES (POISSON CHAT ET BASILIC)

Un total de 45 alevins de poids moyen 14g et longueur totale: 16,6cm provenant d'une ferme connue et 18 pieds de basilic de hauteur moyen 16,5 cm et de diamètre 0,35 cm (pré-germés) ont été utilisés lors de cette étude.

CHOIX DU SYSTÈME HYDROPONIQUE

Pour l'étude, le système « Nutrient Film Technique » (NFT) a été choisi à cause de ses multiples avantages: Hauteur limité; Facile à mettre en place; Economique en intrants; Nettoyage facile et Bonne accessibilité aux plantes

CHOIX DES MATÉRIAUX DE FILTRATION

Les substrats utilisés dans ce travail ont été le biochar à base de rafle de maïs et la pouzzolane.

BIOCHAR

Les rafles de maïs ont été choisi pour la fabrication du biochar à cause desadisponibilité localement; Il améliore la rétention d'eau et stimule le système immunitaire des plantes.

Les rafles de maïs ont été utilisées comme biomasse pour la fabrication du biochar par pyrolyse à l'aide d'un pyrolyseur. Après collecte, elles ont été pesées à l'aide d'une balance de précision 1 kg, puis introduites dans le pyrolyseur pendant 4 heures à la température de 400-500 °C mesurée par un thermocouple de marque type K (Model 800024, Geneq Inc). Après refroidissement, le produit (biochar) obtenuest peséen vue de calculer le rendement du biochar.

$$\eta = \frac{M_b}{M_r} \times 100 \quad (1)$$

Avec:

η : Rendement en %; M_b : Masse du biochar en kg; M_r : Masse des rafles de maïs en kg

Après pyrolyse, le biochar a été écrasé manuellement, puis tamisé afin d'obtenir les granulométries souhaitées

POZZOLANE

La pouzzolane noire a été utilisée en raison de son excellente stabilité physique et chimique, ce qui lui confère une grande durabilité (Reygrobelle, 2010). Elle ne se dégrade pas et ne réagit pas avec la solution nutritive et en plus, disponible localement. La pouzzolane achetée a été lavée à de l'eau puis tamisée afin d'obtenir les granulométries comprises entre 6 et 10 mm.

MONTAGE DE L'AQUAPONIE

Six unités aquaponiques identiques ont été réalisées à l'aide des bacs plastiques (volume: 32 litres par bac); de tuyaux PVC (100 mm de diamètre et 125 cm de longueur) perforés de trois orifices distant de 25 cm destinés à accueillir les plantes et d'un seau de 10 l (biofiltre). À l'extrémité des tuyaux PVC, ont été fixés un couvercle de 100 mm de diamètre, un embout et une vanne à pression de 25 mm. Chaque biofiltre était constitué de bas en haut d'une couche de 4 cm d'épaisseur de pouzzolane de granulométrie comprise entre l'intervalle 6 à 10 mm et 3 cm d'épaisseur de biochar de granulométrie comprise entre l'intervalle 1 à 2 mm, puis 7 cm d'épaisseur de biochar de granulométrie comprise entre 6 et 10 mm et une dernière couche de pouzzolane de même épaisseur et granulométrie que la précédente.

Les tuyaux PVC ci-dessus mentionnés ont été disposés horizontalement sur des supports en bois, respectant une pente (p) de 1 % qui favorise une circulation lente de l'eau. Un support en plastique a été mis à 5 cm de la base des seaux permettant de supporter le poids des différents substrats. Le dispositif a été reproduit six fois pour les six unités incluant 3 répétitions. Six mini pompes DC (12 V, 240l/h et une hauteur manométrique de 3 m) ont été installées pour faire la recirculation de l'eau dans le système.L'eau de forage a été utilisée et une quantité d'eau neuve équivalente à l'évapotranspiration et perte lors des manipulations a été ajoutée chaque semaine pour compensation.

CONDUITE DE L'ESSAI

Les alevins ont été répartis dans 6 bacs (30l chacun) à une densité de 6 et 9 poissons/bac. Chacune des densités a été répétée 3 fois. Un total de 18 jeunes plants de basilic de hauteur moyen 16,5 cm et de diamètre 0,35 cm ont été mis en pots dans de petits gobelets contenant le biochar comme substrats.

CONTRÔLE LA QUALITÉ DE L'EAU

Les paramètres physiques et chimiques de l'eau tels que: le pH, la température de l'eau, la conductivité électrique (EC), les solides dissouts totaux (TDS), l'oxygène dissous (OD), le potentiel redox, le taux de nitrite, nitrate et phosphore ont été mesurés pendant une durée de 8 semaines. Ces paramètres ont été mesurés quotidiennement dans les bacs à poissons le matin. Les teneurs en nitrites et nitrates ont été déterminées en prélevant 20 ml d'échantillon à l'aide d'une pipette, puis repartir en 2 portions dans 2 tubes (soit 10 ml) chacun pour les analyses à l'aide du spectrophotomètre au laboratoire.

ÉVALUATION DE LA CROISSANCE DES PLANTES ET POISSONS

Tout au long de l'étude, la longueur totale et le poids des alevins ont été mesurés une fois par mois à l'aide d'un ichtyomètre et d'une balance respectivement. La hauteur des tiges de basilic a été prise à l'aide d'une règle graduée et le diamètre à l'aide d'un pied à coulisse électronique de marque Mitutoyo.

ANALYSES STATISTIQUES

Les données collectées ont été soumises au T-TEST (test de student) au seuil de significativité de 5%. Les analyses ont été faites à partir du logiciel SPSS version 20.0 Les graphes et figures ont été réalisés dans Excel (2013)

3 RÉSULTATS

REALISATION DU SYSTEME AQUAPONIQUE AVEC RECIRCULATION DE L'EAU (SAR)

La conception et le fonctionnement du SAR sont illustrés par les figures 1 et 2.

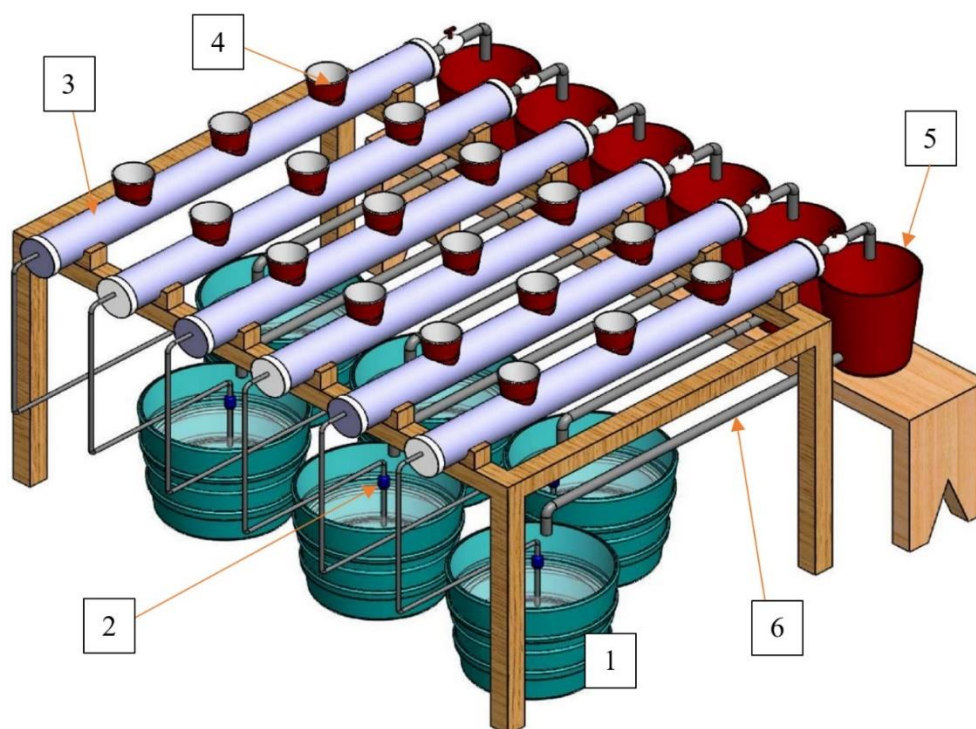


Fig. 1. Système NFT

L'eau contenant les effluents et reste d'aliment de poisson dans les bacs à poisson (1) est pompée à l'aide des mini pompes (2) vers la gouttière en PVC de 100 mm de diamètre (3), où elle approvisionne les plants de basilic contenus dans les pots (4) en nutriments nécessaires à leur croissance. Par la suite, l'eau chute dans le biofiltre (seaux en arrière contenant une succession de massif filtrant, biochar et pouzzolane) (5). Enfin, l'eau filtrée mécaniquement et biologiquement rejoint les bacs à poissons

grâce à des tuyaux PVC pression de 25 mm de diamètre (6). Rappelons qu'une partie de l'eau est filtrée par le substrat des pots contenant les plants de basilic.



Fig. 2. Système en fonctionnement

EVOLUTION DU PH ET LA TEMPERATURE DE L'EAU

La figure 3 illustre l'évolution du pH et la température de l'eau en fonction de la densité des poissons. Il en ressort que ces deux paramètres ont en général évolué de manière comparable en fonction de la densité des poissons.

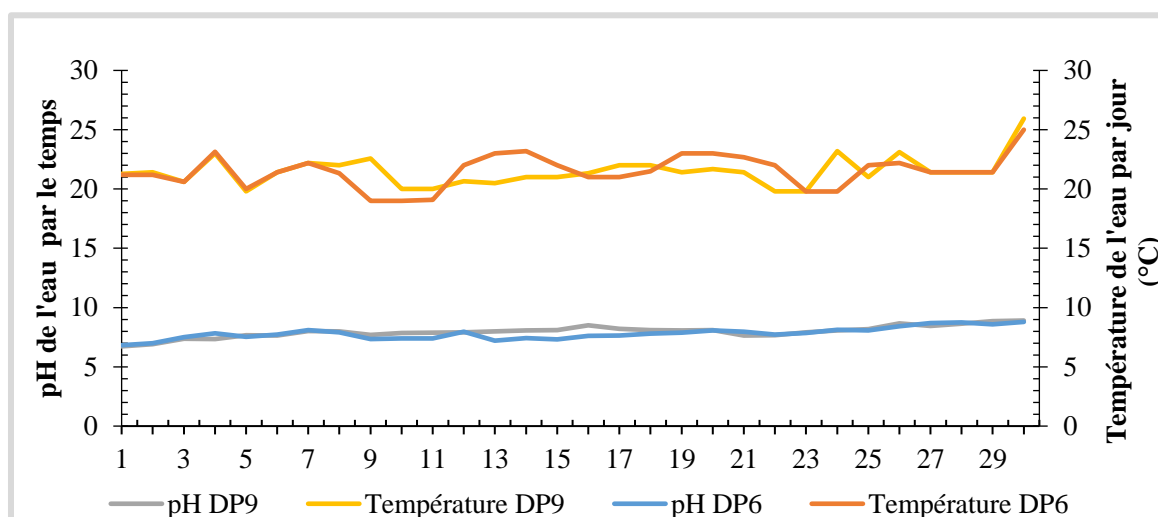


Fig. 3. Evolution du pH et la température de l'eau en fonction de la densité des poissons

EVOLUTION DE L'ELECTRO-CONDUCTIVITE DE L'EAU (EC)

L'évolution de l'EC de l'eau en fonction de la densité des poissons au cours de l'essai est illustrée par la figure 3. Il en ressort que l'électro-conductivité de l'eau a évolué de manière comparable entre les traitements avec les valeurs les plus élevées (795 $\mu\text{s/cm}$ DP9 et 726 $\mu\text{s/cm}$ DP6) observées le 11^{ème} jour.

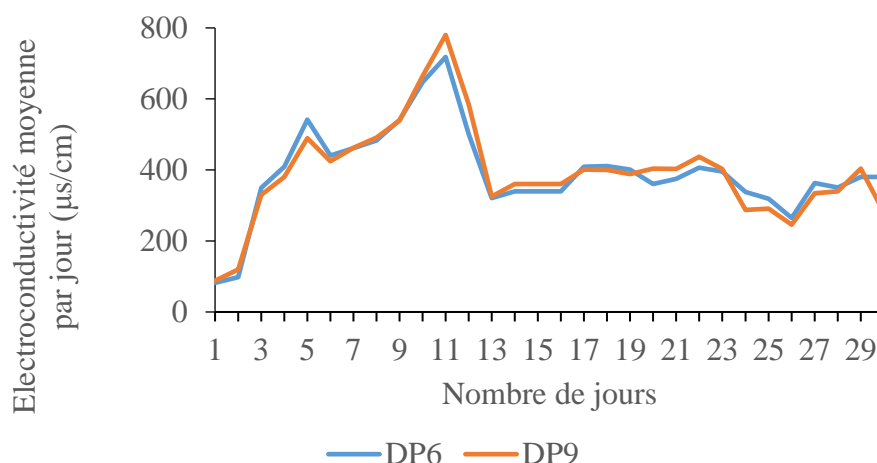


Fig. 4. Evolution de l'électro-conductivité de l'eau en fonction de la densité des poissons

EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS (OD) ET DU POTENTIEL REDOX (ORP)

La figure 5 présente l'évolution de l'oxygène dissous et de l'ORP en fonction de la densité des poissons. Il en ressort que l'OD dans les deux traitements a présenté la même tendance d'évolution au cours de l'étude. Toutefois, les valeurs maximales de 4mg.l^{-1} (DP6) et de 6mg.l^{-1} (DP9) ont été enregistrées dans chacun des traitements. Quant à l'ORP l'évolution a été comparable entre les deux traitements avec les valeurs moyennes de $218,45\text{ mV}$ (DP6) et $222,82\text{ mV}$ (DP9).

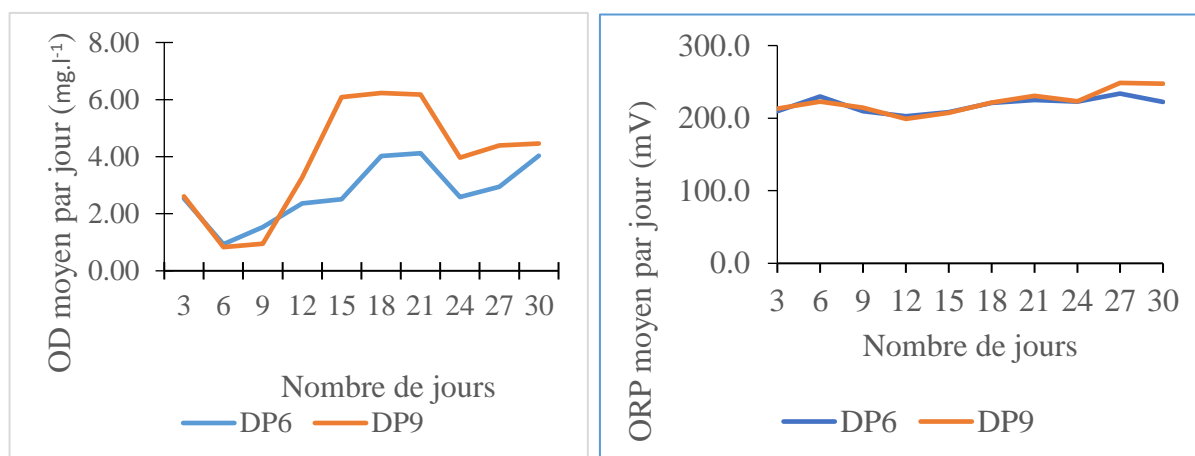


Fig. 5. Evolution de l'OD et de l'ORP en fonction de la densité des poissons

EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE NITRITE, NITRATE ET PHOSPHORE DE L'EAU

Les figures 6, 7 et 8, illustrent l'évolution de nitrite, nitrate et phosphore. Il apparaît que le nitrite et le phosphore ont présenté la même tendance et le même profil d'évolution. Toutefois, une diminution en concentration de ces paramètres a été enregistrée après la troisième semaine.

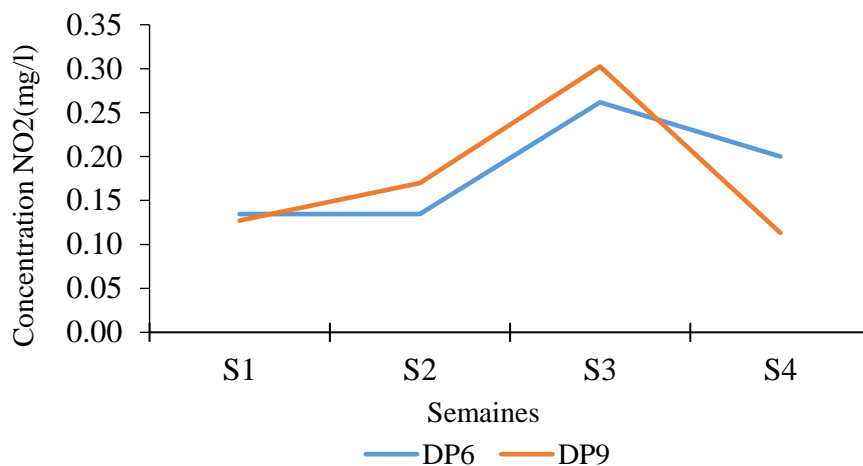


Fig. 6. Evolution de la concentration de nitrite en fonction de la densité des poissons

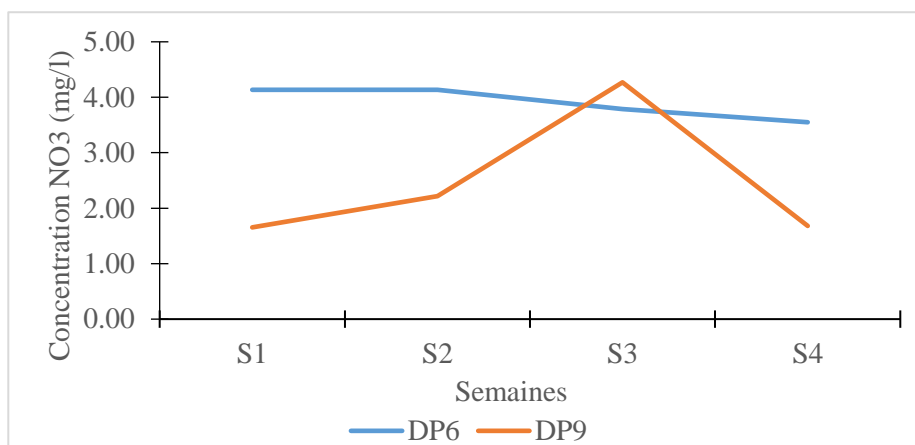


Fig. 7. Evolution de la concentration de nitrate en fonction de la densité des poissons

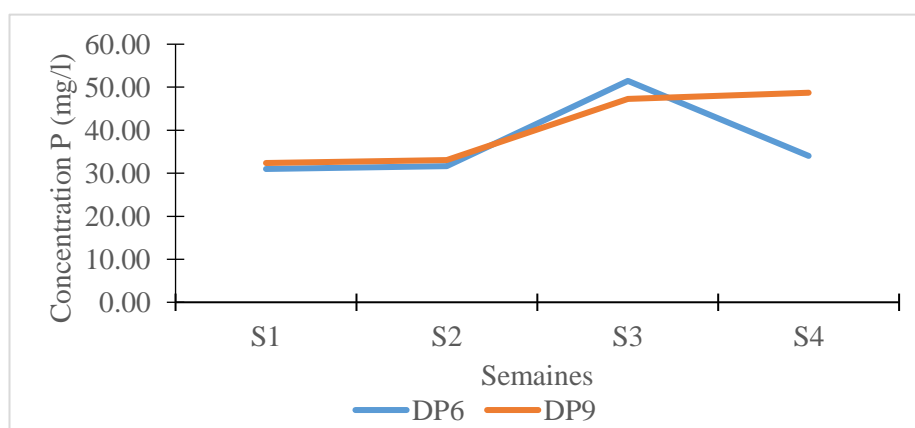


Fig. 8. Evolution de la concentration du phosphore en fonction de la densité des poissons

EFFET DE LA DENSITE DE POISSON SUR LA CROISSANCE DES PLANTS DE BASILIC

L'évolution et la moyenne de la hauteur et du diamètre des plants de basilic sont représentés par les figures 9 et 10, et le tableau 1.

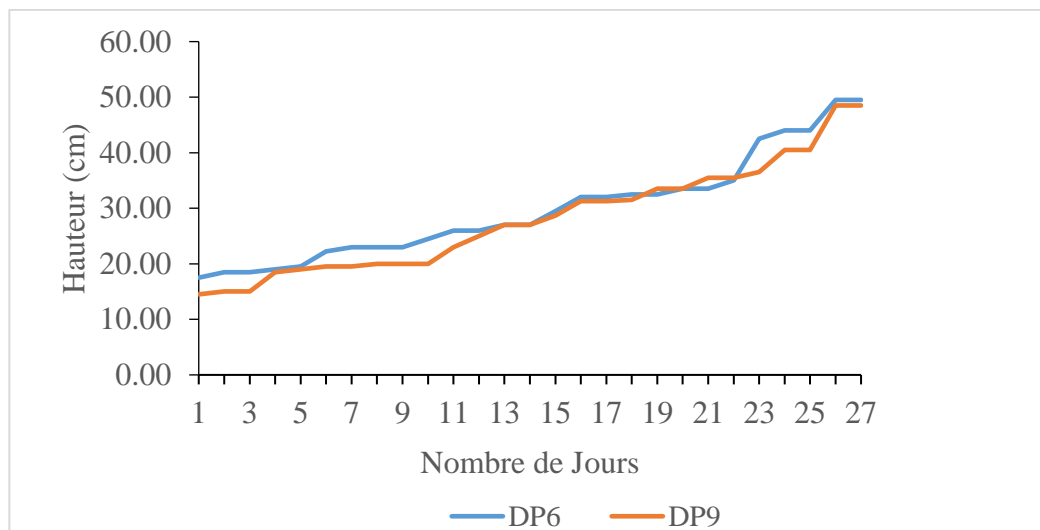


Fig. 9. Evolution de la hauteur des plants de basilic en fonction de la densité des poissons

Il ressort de l'observation de cette figure que la hauteur des plants de basilic a progressivement augmenté sans aucune différence significative ($p \leq 0,05$) entre les traitements. Toutefois, la hauteur moyenne des plants du traitement DP6 (30,88 cm) a été légèrement supérieure à celle de DP9 (30,08 cm) (Tableau 1).

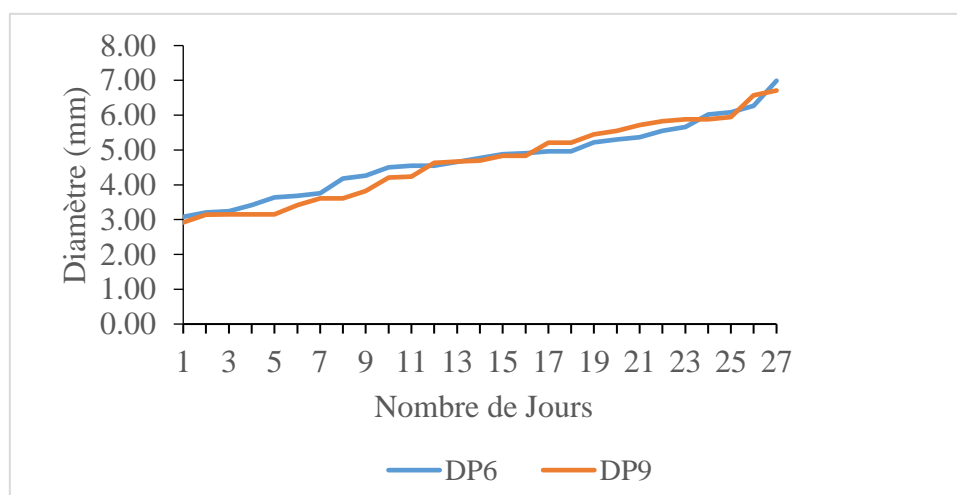


Fig. 10. Evolution du diamètre des plants de basilic en fonction de la densité des poissons

Il ressort de cette figure que le diamètre des plants de basilic a progressivement augmenté sans aucune différence significative ($p \leq 0,05$) entre les traitements. Les valeurs moyennes étaient de 5,41 mm pour la densité DP6 et de 5,29 mm pour la densité DP9 (Tableau 1).

Tableau 1. Synthèse de la croissance du basilic

Paramètres de croissance	Densité de charge des poissons	
	DP6	DP9
Hauteur des plants		
14ème jour	24,63±10,1 a	22,41±9a
28ème jour	30,88±11,43 a	30,08±10,84a
Sig = 0,9		F = 0,016
Diamètre des plants		
14ème jour	5,08±0,7a	5,06±0,9a
28ème jour	5,41±0,76a	5,29±1,03a
Sig = 0,474		F = 0,538

Les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne ne présentent aucune différencesignificative ($p \leq 0,05$).

EFFET DE LA DENSITE DE CHARGE SUR LA CROISSANCE DES POISSONS

Les paramètres de croissance des poissons résumés dans le tableau 2 montrent qu'aucune différence significative ($p \leq 0,05$) n'a été enregistrée entre les traitements.

Tableau 2. Résultats obtenus sur les poissons

Paramètres de croissance	Densité de charge des poissons	
	DP6	DP9
Poids initial (g)	14	13,8
Poids final (g)	31,86±3,8a	30,47±1,1a
Longueur totale initiale (cm)	16,6	16,6
Longueur totale finale (cm)	19,42±3,8a	17,88±1,1a
Gain de poids	15,26	13,87
Taux de croissance Journalière (%g/jr)	0,51	0,46

Les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne ne présentent aucune différence significative ($p \leq 0,05$)

4 DISCUSSION

QUALITÉ DE L'EAU

Au cours de l'essai, les niveaux des différents paramètres de qualité de l'eau sont restés dans les limites acceptables pour le développement des poissons. Les valeurs des nitrite (NO_2) et le nitrate (NO_3) de notre résultat sont meilleurs que celui observé par Hounsa (2019). L'évolution des concentrations de NO_2 et NO_3 au cours de l'expérimentation a permis de mettre en évidence l'activité des bactéries dans les biofiltres car pendant les deux premières semaines, les concentrations sont restées constantes et relativement basses. La concentration de NO_3 dans tous les systèmes est restée en dessous des valeurs standards fixées par Somerville et al. (2014).

La concentration moyenne en oxygène dissous est restée relativement faible ($< 5\text{mg/l}$) pour toutes les Unités. Cela serait dû au manque de pompe à air dans le système permettant d'améliorer la teneur en OD.

La variation de la température notée au cours de la journée est intrinsèquement liée aux conditions climatiques de notre milieu et les températures minimales ont été enregistrées le matin. D'après Somerville et al. (2014), les systèmes sont plus productifs si, chaque jour, de jour en nuit, les fluctuations de températures sont minimales. Par conséquent, ils suggèrent que la surface de l'eau elle-même, dans tous les aquariums, unités hydroponiques et biofiltres, soit protégée du soleil par des structures d'ombrage.

L'électro-conductivité et le potentiel redox obtenus sont restés faibles comparés au standard requis en hydroponie (Resh, 2013) et en aquaponie (Delaide et al., 2017; Stalport, 2018). Cela serait dû au fait que le système n'a pas eu suffisamment de temps d'accumuler les nutriments (Nicoletto et al., 2018; Maucieri et al., 2018).

La similarité des valeurs des paramètres physico-chimiques par rapport à la densité des poissons, traduit un effet positif du biofiltre sur la qualité de l'eau. Les résultats relatifs à la production des poissons chats ont montré que la densité de 6 poissons par bac a enregistré le gain le plus élevé en poids (15,26 g) et en taille (5,42 cm). Ce résultat corrobore les travaux de Chikorela et al. (2019) qui ont conclu que de faibles densités favorisent les prises d'aliments et par conséquent de poids chez les poissons. Ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus par Hounsa (2019). Les taux de croissance journalière de *C. gariepinus* dans la présente étude sont meilleurs chez la DP6. Cependant, ces valeurs sont relativement faibles par rapport à celles obtenues en élevage hors sol soit 1,1-1,7 g/j, par Yi et al. (2001); et 1,7-1,9 g/j, Yi et al. (2003).

La culture de basilic a été influencée par les densités de poissons du système au cours de leur croissance. A la fin de l'expérimentation la densité de 6 poissons a permis de produire plus de basilic tout en favorisant la prise de poids *C. gariepinus*. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Hounsa (2019) et est le plus expliqué par Bittsánszky et al. (2016) qui avaient constaté que les concentrations de nutriments fournies par les poissons dans le système aquaponique sont significativement faibles pour la plupart des nutriments, par rapport aux systèmes hydroponiques. Cependant, les plantes prospéraient plus dans des solutions contenant moins de nutriments que les solutions hydroponiques « standard ». Ils ajoutent que cela est particulièrement vrai pour les légumes à feuilles vertes qui ont rarement besoin de suppléments nutritionnels.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude dont l'objectif était de contribuer à développer un système aquaponique avec biofiltre à biochar ce, en fonction de la densité de charge des poissons, les conclusions suivantes ont été tirées: Les caractéristiques physicochimiques de l'eau n'ont pas significativement varié par rapport à la densité de poisson mis en charge dans les bacs. La similarité des valeurs par rapport à la densité des poissons, traduit ainsi l'effet positif du biofiltre sur la qualité de l'eau.

Pour ce qui concerne les performances de croissance des plantes et les poissons, les meilleurs résultats ont été enregistrés avec la plus petite densité. Toutefois, les traitements n'ont pas affecté significativement les performances de croissance des matériels biologiques (basilic et poisson chat). Donc le montage d'un système aquaponique avec bio-filtration au biochar permet d'augmenter la densité de mise en charge de poisson et par conséquent d'améliorer le rendement.

REFERENCES

- [1] Alderman, S., 2015. The practicality and sustainability of aquaponic agriculture versus traditional agriculture with emphasis on application in the middle. San Marcos: s.n.
- [2] Anderson, L., 2016. Détermination de la stratégie d'irrigation optimale de la fraise basée sur le potentiel matriciel du sol et un modèle climatique. Mémoire en génie agroalimentaire, Université de Laval ; Québec, Canada. pp. 76.
- [3] Arfang, B., 2011. Effets du biochar sur les activités microbiologiques du sol sous forts intrants azotes (maraichage). Mémoire en Biotechnologie végétale et microbienne. Université cheikh anta diop de dakar, Sénégal. pp 57.
- [4] Benoît, S., 2017. Modélisation et développement d'un système aquaponique avec surveillance métrologique pour l'étude du cycle de l'azote.
- [5] Bittsánszky, A., Uzinger, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villarroel, M., Kómvics, T. (2016). Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles*, 2(2), 17–20. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v2i2.57>
- [6] Bobak, C., Kunze, H., 2016. Modelling an aquaponic ecosystem using ordinary differential equations. *Mathematical and computational approaches in advancing modern science and engineering* / auteur du livre Bélair, J. pp.200.
- [7] Bouhenni, K. I., Chabani, R., 2018. Réalisation d'une micro-ferme aquaponique et développement d'une application de gestion commerciale pour les projets d'aquaponie. - Algérie : Université Abou bekr Belkaid – Tlemcen; Faculté de Technologie. pp.101.
- [8] Chikorela, G., Chirwa, E. R., & Mzengereza, K. (2019). Optimal Stocking Density of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) for Increased Growth in a Periphyton Based Aquaculture System. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 14(1), 33–38. <https://doi.org/10.3923/jfas.2019.33.38>
- [9] Diver, S., 2006. Aquaponics-Integration Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). PP. 28.
- [10] Djousse, B. M., 2017. Production et utilisation du biochar pour l'amendement des sols rouges lessivés tropicaux. Québec, Canada : Université de Laval, 2017. pp. 118.

- [11] Elegbe, H. A., Imorou Toko, I., Agbohessi, P., Ble, C., Banag, A., Chikou, A., ... Laleye, P. (2016). Co-culture *Clarias gariepinus*-*Oreochromis niloticus* : quels avantages pour l'amélioration des performances zootechniques et économiques des poissons élevés 50 dans les « whedos » du delta de l'Ouémé au Bénin ? *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4), 1937. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.19>
- [12] FAO, 2009. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture en 2008. Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 216p.
- [13] FAO, 2014. Vegetable production guidelines for 12 common aquaponic plants. *Aquaponics*. Rome, Italy. pp. 169–181.
- [14] FAO, 2015. A guide to recirculation aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Rome, Italy. pp. 203-246.
- [15] Foucard, P., Tocqueville, A., Gaumé, M., Labbé, L., Lejolivet, C., Baroiller, J. F., 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*. 45. pp. 125–139.
- [16] Fernandez, X., Chemat, F., 2012. <<Les huilles essentielles-vertes et application>>, Ed.Vuibert, Paris, pp. 160.
- [17] Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Dessalement*. pp. 147-156.
- [18] Harlaut, P., 2015. Tout savoir sur l'aquaponie. Formation pour démarrer l'aquaponie pour produire.
- [19] Hounsa, Prosper Marie-Guillaume., 2019. Évaluation de la performance d'un système Aquaponique simple pour la production de tilapia et de légumes (Laitue et Amarante) au Bénin.
- [20] Jiang, J., Xu, R. K., Jiang, T. Y., Li, Z., 2012. Immobilization of Cu, Pb, and Cd by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted ultisol. *J. Hazard. - Mater.* 229. pp. 145–150.
- [21] Kearns, J., Summers, S. R., Linden, K., Rosario-Ort, F., Knappe, D., Joseph, S., 2012. Sustainable Decentralized Water Treatment for Rural and Developing Communities Using Gasifier Biochar. *Aqueous Solutions*. Colorado, USA. pp. 65.
- [22] Klinger, D., Naylor, R., 2012. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual review of environment and resources*. - Stanford, California : Stanford University. Vol. 37. pp. 247-276.
- [23] Kozai, T., Niu, G. & Takagaki, M., 2016. Plant Factory An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. s.l.:Elsevier. *Légumes et poissons frais localement*. www.aquaponie.biz. pp. 240.
- [24] Li, C., Zhang, B., Luo, P., Shi, H., Li, L., Gao, Y., ... Wu, W. (2019). Performance of a pilotscale aquaponics system using hydroponics and immobilized bio film treatment for water quality control. *Journal of Cleaner Production*, 208, 274–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.170>
- [25] Mallya, Y., J., 2007. The effect of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture, pp.30.
- [26] Martinez, S., Morard, P., 2000. Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol. ENSAT, Toulouse : 4^e Forum Recherche : Graines de Chercheurs. pp. 6-10.
- [27] Maucieri, C., Forchino, A. A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3119–3127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.097>
- [28] Mullins, C., Nerrie, B., Sink, T. D., 2010. Principles of Small-Scale Aquaponics. pp. 1-8.
- [29] McBratney, A., Whelan, B. & Ancev, T., 2005. Futur directions of precision agriculture. *Precision agriculture*, Volume 6, pp. 7-23.
- [30] Meybeck, A., Laval, E., Lévesque, R., & Parent, G. (2017). Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques. In actes du colloque international organisé par le gouvernement du québec en collaboration avec la fao (p. 134). Québec.
- [31] Nelson, B. R., 2008. Aquaponic Equipment: the Bio Filter. pp. 22–23.
- [32] Ngo, T. D., Konnerup, D., Brix, H., 2017. Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*. N° 78. pp. 95–104.
- [33] Nichols, M. A., Lennard, W., 2010. Aquaponics in New Zealand. *Practical hydroponics and Greenhouses*. Pratical hydroponics and green houses. N° 115. pp. 46-51.
- [34] Nicoletto, C., Maucieri, C., Mathis, A., Schmutz, Z., Komives, T., Sambo, P., & Junge, R. (2018). Extension of Aquaponic Water Use for NFT Baby-Leaf Production: Mizuna and Rocket Salad. *Agronomy*, 8(5), 75. <https://doi.org/10.3390/agronomy8050075>
- [35] Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., Marcucci, A., 2010. Aquaponics vs hydroponics: Production and quality of lettuce crop. 28th IHC Abstracts I, 35. PP. 12.
- [36] Rakocy, J. E., Masser, M. P., Losordo, T. M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. *AgriLIFE EXTENTION*. - Texas, USA : Southern Regional Aquaculture Center Pub. N° 454. pp. 17

- [37] Rakocy, J., 2007. Use a feeding rate ratio for design calculations. N°3. pp. 14–17.
- [38] Resh, H. M. (2013). Hydroponic food production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener.
- [39] Reygrobellet, A., 2010. Impacts des conditions d'exploitation sur les performances des filtres au charbon actif biologique.
- [40] Savidov, N., 2005. Evaluation and development aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Phase II. Canada : Department of fisheries and oceans Canada. pp. 57.
- [41] Simeonidou, M., Paschos, I., Gouva, E., Kolygas, M., & Perdikaris, C. (2012a). Performance of a small-scale modular aquaponic system. *AACL Bioflux*, 5(4), 182–188.
- [42] Scott., 2002. Evolution of Aquaponics. *Aquaponics Journal*. VI (1). pp. 98.
- [43] Somerville C , 2014. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. - Rome, Itali : [s.n.], 2014. - 589.
- [44] Thorarinsdottir, R. I., Kledal, P. R., Skar, L. G., Sustaeta, F., Ragnarsdottir, K. V., Mankasingh, U.R., Shultz, C., 2015. *Aquaponics Guidelines*. PP. 123-243.
- [45] Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). *Recirculating Aquaculture*. (Ca Yuga Aqua Ventures, Ed.), Aquaculture. Sunset Drive Ithaca, Ny 1485: NRAC Publication No. 401-2010.
- [46] Treftz, C., Omaye, S. T., 2015. Nutrient analysis of soil and soilless strawberries and raspberries grown in a greenhouse. *Food and nutrition sciences*. - USA. pp. 11.
- [47] Véret, G., 2017. Programme de recherche et développement sur les serres maraîchères bioclimatiques et mobiles. *Fermes d'avenir, Agroécologie et permaculture*. PP. 88.
- [48] Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J., Khanal, S. K., 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*. No 76. pp. 9-19. 53
- [49] Wright, S. D., 2018. *Aquaponic System Design and Modeling Ammonia Production: An Overview of Aquaponics*. pp. 58.
- [50] Xu, R. K., Zhao, A., 2013. Effect of biochars on adsorption of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) by three variable charge soils from southern China. *Environmental Science and Pollution Research*. pp. 8491-8501.