

UNIVERSITE DES SCIENCES
ET TECHNIQUE DE
MASUKU



INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR
D'AGRONOMIE ET DE
BIOTECHNOLOGIES



Département de phytotechnologie

N° d'ordre :/2024/Phytotechnologie/INSAB

Mémoire de fin de cycle

Parcours : Licence Professionnelle

Option : Productions Végétales

Thème :

Valorisation des eaux usées d'aquaculture pour la production du Gombo (*A.esculentus*) en culture hydroponique sur trois substrats de culture (fibre de coco, gravier, parche de café).

Stage effectué du 09 juillet au 07 octobre 2024

Présenté par :

OYOUGOU TIDJANI Mardiyath Abeke

Soutenu le vendredi 31 Janvier 2025 devant le jury composé du

Président : Dr BOUSSIENGUI BOUSSIENGUI Gino

Directeur : Ir MOUKETOU MOUKETOU Armel

Membre 1: Ir MBOUMBA Sylvère

Membre 2: Ir MBEANG BEYEME Antoine

Année académique 2023-2024

Table des matières

DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS	iv
Listes de figures	v
Résumé	vii
Abstract	viii
Introduction	1
Partie I : Synthèse bibliographique	3
1. L'hydroponie	3
1.1 Définition	3
1.2 Besoins des plantes en nutriments.....	4
1.3 Température et photopériode	5
1.4 Techniques de culture	5
1.4.1 Culture en substrat.....	5
1.4.2 Les types de substrat	6
1.5 Avantages de l'hydroponie	8
1.6 Les différents systèmes de culture hydroponique.....	9
1.6.1 Les systèmes hydroponiques passifs	9
1.6.2 Les systèmes hydroponiques actifs.....	9
2. Généralités sur le gombo.....	11
2.1 Classification	12
2.2 Description botanique	12
2.3 Variétés de gombo	12
2.4 Écologie et cycle végétatif	13
2.5 Potentiel nutritionnel	15
2.6 Principaux ennemis de la culture	15
3. Les étangs hors sol.....	16
4. Poisson chat (<i>Clarias gariepinus</i>).....	16
Partie II : MATERIEL ET METHODE	18
1. Présentation du site d'étude	18
1.1 Localisation	18
2. Matériel	18
2.1 Matériel végétal	18
2.2 Matériel technique.....	19
2.2.1 Matériel de mise en place de l'expérimentations	19
2.3 Substrats de culture.....	21

3. Méthodes	21
3.1 Préparation du terrain.....	21
3.2 Préparation des substrats	22
3.3 Eaux usées d'aquaculture	22
3.4 Semis et repiquage à.....	22
3.5 L'irrigation.....	23
3.6 Dispositif expérimental	23
3.7 Paramètres mesurés	23
3.8 Analyse statistique.....	25
Partie III : Résultats et Discussion	26
1. Résultats	26
1.1 Taux de levée.....	26
1.2 Paramètres de croissance.....	27
1.2.1 Le nombre de feuille.....	27
1.2.2 La surface foliaire.....	28
1.2.3 Diamètre au collet.....	28
1.2.4 Délai et pourcentage au stade de la floraison des plants de gombo sur les différents substrats.....	29
1.2.5 La hauteur des tiges à la floraison	30
1.2.6 Teneur en eau des feuilles de Gombo.....	31
1.3 Paramètre de production	31
1.3.1 Diamètre des fruits à maturité	31
1.3.2 Longueur des fruits à maturité	32
1.3.3 Composante de rendement	32
2. Discussions	33
Conclusion	35
Références bibliographiques.....	36

DEDICACES

À la mémoire de mon oncle TIDJANI Chakirou, tu demeureras éternellement dans nos cœurs.
Que le paradis soit ta demeure éternelle.

À mon père TIDJANI Semiyou et ma mère TIDJANI Aziza, je vous dédie ce travail avec tout mon amour et ma gratitude car vos sacrifices, votre soutien indéfectible, vos encouragements et votre foi en mes capacités m'encourage chaque jour a donné le meilleur de moi.

À ma jumelle OYUGOU TIDJANI Radiyath Adouke, pour témoigner mon amour et ma gratitude pour tout ce que tu représentes pour moi ;

À mon enfant BICKOUBILOU Sèmiyath Alakè, que cette réussite puisse t'apporter un bel exemple de volonté et de persévérance.

REMERCIEMENTS

En premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée durant toutes ces années.

C'est également l'occasion d'exprimer ma gratitude au Professeur OGNALAGA Maurice, Directeur Général de l'Institut National Supérieur d'Agronomie et des Biotechnologies (INSAB), et au Docteur Gino BOUSSIENGUI BOUSSIENGUI, Chef du département phytotechnologie de l'INSAB pour m'avoir accueilli et formé comme il sait bien le faire. Tous les Enseignants-Chercheurs de cet Institut ne sont pas en reste.

Ensuite je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadrant Monsieur MOUKETOU Armel pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses encouragements, sa patience, sa disponibilité et sa gentillesse.

Je remercie Monsieur MBOUMBA Sylvère, pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein du projet INCiTIS-FOOD .

Listes de figures

Figure 1: quelques substrats organiques.....	7
Figure 2: quelques substrats minéraux	8
Figure 3: système de table à marée (flux-reflux) (Jorge, 2013).	10
Figure 4: la technique du film nutritif (NFT)	11
Figure 5: Fruits de différente variété d'Okra (Siemonsma, 2004).....	13
Figure 6: illustration d'un plant de gombo	14
Figure 7: Localisation du site d'étude	18
Figure 8: semence de gombo variétés Clemson spinles	19
Figure 9: kit d'irrigation.....	19
Figure 10: mise en place du système	19
Figure 11: outils de mesure utilisés	20
Figure 12: thermomètre hygromètre.....	20
Figure 13: Kit d'analyse de l'eau (Aquatest).....	20
Figure 14: les différents substrats utilisés	21
Figure 15: site d'étude nettoyer	21
Figure 16: schéma du dispositif expérimental.....	23
Figure 17: analyse de l'eau des poissons.....	26
Figure 18: plants de gombo en pépinière	27
Figure 19: illustration de l'évolution d'un plant de gombo sur le substrat gravier	27
Figure 20: Nombre moyen de feuille (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	28
Figure 21: surface foliaire moyenne par traitement (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	28
Figure 22: diamètre au collet moyen par traitement (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	29
Figure 23: les hauteurs moyennes des tiges au stade floraison (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	30
Figure 24: teneur en eau par rapport à la masse sèche (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	31
Figure 25: diamètre moyen des fruits à maturité (mm) (<i>les barres représentent les écarts types</i>)	31
Figure 26: longueur moyenne des fruits à maturité (<i>les barres représentent les écarts types</i>).....	32

Listes de tableaux

Tableau 1: variétés de gombo et leurs caractéristiques	13
Tableau 2: valeur nutritive pour 100g de gombo (Grubben, G. J. H et al., 1977) (Charrier, A, 1983).....	15
Tableau 3: le délai et le pourcentage au stade de la floraison des plants de gombo sur les différents substrats.....	30
Tableau 4: composante de rendement selon les substrats	32

Résumé

Un essai sur la valorisation des eaux usées d'aquaculture pour la production du gombo (*Albelmoschus esculentus*, variété Clemson Spineless) en système hydroponique goutte à goutte mettant l'accent sur l'utilisation des substrats locaux (fibre de coco, gravier et parche de café) a été effectué du 29 juillet au 07 octobre 2024 dans les locaux du projet INCiTIS-FOOD à Franceville (Haut Ogooué). L'objectif général de cet essai portait sur la valorisation des eaux usées d'aquaculture dans un système hydroponique pour la production de légume fruits (gombo) dans la ville de Franceville. L'essai a été conduit suivant un dispositif aléatoire complet a trois blocs avec trois répétitions a été mis en place afin d'évaluer l'effet de l'irrigation à l'eau de poisson et des substrats locaux sur la croissance du gombo en culture hydroponique. Le nombre de feuille, la surface foliaire, le diamètre au collet, la hauteur des tiges à la floraison, le délai de floraison, la production moyenne par plant, ainsi que le diamètre et la longueur des fruits de gombo ont été évalués. Les résultats obtenus montrent que les plants présents sur les substrats fibre de coco et gravier présentent de meilleures performances avec un nombre de feuille moyen de 6,31 et 6,29, une surface foliaire moyenne de 30,28 cm² et 37,21 cm², un diamètre au collet moyen 4,18 mm et 4, 29 mm, une hauteur à la floraison moyenne de 48,14 cm et 51,57 cm, le délai de floraison moyen est respectivement de 7 semaines et 6 semaines après le semis avec un pourcentage de 83% et 86% pour le pourcentage de floraison, et un rendement de 0,53 et 0,92 T. La parche de café a présenté les performances de croissance et de production les plus faibles avec respectivement 5,11 feuilles, une surface foliaire de 12,98 cm², un diamètre au collet de 2,98 mm, une hauteur moyenne de 31, 95 cm, un délai de floraison de 6 semaines après repiquage pour un taux de 33,33% avec un rendement moyen de 0,08 T. Les résultats ne relèvent aucune différence significative entre la longueur et le diamètre des fruits récoltés quel que soit le substrat utilisé.

Mots clés : eau usée d'aquaculture, culture hydroponique, substrat, fibre de coco, gravier, parche de café, le gombo, projet INCiTIS FOOD,

Abstract

A trial on the recovery of aquaculture wastewater for the production of okra (*Albelmoschus esculentus*, Clemson Spineless variety) in a drip hydroponic system with a focus on the use of local substrates (coconut fiber, gravel and coffee parch) was carried out from July 29 to October 07, 2024 at the premises of the INCiTIS-FOOD project in Franceville (Haut Ogooué). The general objective of this test was the recovery of aquaculture wastewater in a hydroponic system for the production of fruit vegetables (okra) in the city of Franceville. The test was conducted following a complete three-block random device with three repetitions was put in place to evaluate the effect of irrigation with fish water and local substrates on the growth of okra in hydroponic cultivation.

The number of leaves, the leaf area, the diameter at the collar, the height of the stems at flowering, the flowering time, the average production per plant, as well as the diameter and length of the okra fruits were evaluated. The results obtained show that the plants present on the coconut fiber and gravel substrates have better performance with an average leaf count of 6.31 and 6.29, an average leaf surface of 30.28 cm² and 37.21 cm², an average collar diameter of 4.18 mm and 4.29 mm, an average flowering height of 48.14 cm and 51.57 cm, the average flowering time is respectively 7 weeks and 6 weeks after sowing with a percentage of 83% and 86% for the percentage of flowering, and a yield of 0.53 and 0.92 T. The coffee patch had the lowest growth and production performance with respectively 5.11 leaves, a leaf area of 12.98 cm², a collar diameter of 2.98 mm, an average height of 31.95 cm, a flowering time of 6 weeks after transplanting for a rate of 33.33% with an average yield of 0.08 T. The results do not note any significant difference between the length and diameter of the fruits harvested regardless of the substrate used.

Keywords: aquaculture wastewater, hydroponic culture, substrate, coconut fiber, gravel, coffee patch, okra, INCiTIS FOOD project,

Introduction

Le niveau d'urbanisation du Gabon est l'un des plus élevés d'Afrique, avec plus de 80 % de sa population résidant dans des zones urbaines. Les deux principales villes, Libreville et Port-Gentil, abritent près de 59 % des habitants (Banque mondiale, 2024). L'urbanisation rapide au Gabon exerce une pression considérable sur le secteur agricole, modifiant à la fois la disponibilité des terres agricoles et les dynamiques socio-économiques liées à la production agricole (FAO, 2019). Le phénomène d'urbanisation au Gabon pose un défi croissant à la disponibilité des terres agricoles, un problème exacerbé par l'étalement urbain rapide et non planifié. Ce phénomène se traduit par une réduction drastique des superficies cultivables, en particulier autour des centres urbains, où la pression foncière entraîne des conflits d'usage entre les activités agricoles et le développement (Ondo, 2011). Les terres agricoles ne bénéficient souvent pas d'une protection légale face à l'expansion des villes. Par ailleurs, les systèmes de cadastre et de gestion des titres fonciers au Gabon sont encore faiblement structurés, rendant difficile l'identification et la préservation des espaces réservés à l'agriculture. Cette dynamique pousse également les agriculteurs à abandonner leurs terres ou à se déplacer vers des zones plus éloignées, souvent moins accessibles et moins fertiles. En conséquence, la production agricole nationale, déjà faible, est compromise, ce qui entraîne la dépendance du pays aux importations alimentaires, qui représente plus de 80 % des besoins (FAO, 2019). En adoptant l'hydroponie, les agriculteurs sont en mesure de produire des récoltes abondantes et de haute qualité, tout en minimisant l'utilisation de l'eau et des produits chimiques. Ce système permet également une plus grande flexibilité en termes de localisation, rendant possible la culture des plantes dans des environnements urbains ou des zones arides où le sol fertile fait défaut. Au-delà de son potentiel en matière d'agriculture commerciale, l'hydroponie trouve également des applications dans le domaine de la recherche scientifique, de l'éducation et même de l'agriculture urbaine communautaire. Elle offre une alternative fascinante à l'agriculture traditionnelle, ouvrant de nouvelles perspectives pour l'alimentation durable et la sécurité alimentaire mondiale (Şafak, 2023). L'intérêt de l'hydroponie a été particulièrement mis en lumière lors des périodes de confinement, notamment pendant la crise sanitaire du COVID-19. Les restrictions de déplacement et les perturbations des chaînes d'approvisionnement ont révélé la vulnérabilité des systèmes agricoles conventionnels et la nécessité de développer des solutions résilientes pour assurer la sécurité alimentaire des populations urbaines (Savvas, D. & Gruda, N., 20018). Dans ce contexte, l'hydroponie s'est avérée être une alternative viable pour la production locale

et autonome de légumes, réduisant ainsi la dépendance aux importations et aux marchés physiques.

Les eaux usées d'aquaculture en culture hors sol représentent une approche innovante visant à optimiser l'utilisation des ressources dans les systèmes agricoles et aquacoles. Les modèles de production végétale hors-sol sous serres sont aujourd'hui à un stade avancé de maîtrise technique et agronomique et peuvent contribuer à de nouvelles pratiques et innovations qui s'inscrivent dans un mouvement plus large d'ajustement ou de réorientation face aux défis alimentaires, écologiques et climatiques de notre siècle. En effet, L'aquaculture génère des effluents riches en nutriments, principalement sous forme de nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4^{3-}) et potassium (K^+), issus de l'alimentation des poissons et de leurs excréments qui, s'ils ne sont pas gérés correctement, peuvent devenir des sources de pollution. Ces eaux usées, lorsqu'elles sont traitées et réutilisées, offrent un potentiel considérable pour soutenir la croissance des plantes en culture hors sol (Foucard et al., 2015)

Confronté à une urbanisation rapide, le pays cherche à diversifier ses moyens de production alimentaires. Bien que naissante, la culture hydroponique au Gabon dispose d'un fort potentiel de développement pour diversifier la production agricole, notamment dans les zones urbaines. C'est dans ce contexte que la culture hydroponique avec des substrats locaux biologique (fibre de coco, parche de café et gravier) fertirrigué avec les eaux d'élevage de poisson en bassin feront l'objet de notre expérimentation notamment sur la culture du gombo à cause non seulement de son appréciation par les consommateurs gabonais, mais aussi pour ses vertus thérapeutiques.

Ainsi l'objectif général de cette étude porte sur la valorisation des eaux usées d'aquaculture dans un système hydroponique pour la production de légume fruits (gombo) dans la ville de Franceville. De manière spécifique il s'agit de : (1) évaluer les performances de croissance de la culture de Gombo sur les différents substrats et (2) évaluer les performances de production de la culture de Gombo sur les différents substrats.

Le plan de ce travail s'articule sur trois parties, la première partie présente la revue bibliographique sur la culture hydroponique, les généralités sur le gombo et les eaux usées, la deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes, et enfin la troisième partie aux résultats et discussion.

Partie I : Synthèse bibliographique

1. L'hydroponie

1.1 Définition

Le terme « hydroponie » trouve ses origines dans les mots grecs « hydro », signifiant l'eau et « ponos », désignant le travail. Au sens littéral, hydroponie veut donc dire : « l'eau fait le travail ». L'hydroponie est l'art et la manière de cultiver des plantes sans terre. Placée le plus souvent dans un support de culture organique ou inorganique, la plante assimile les nutriments contenus dans un milieu liquide minéral appelé solution nutritive, apportée par l'eau d'arrosage ou d'irrigation. Les racines tirent de la solution l'intégralité de leurs besoins nutritifs. Pratiquement toutes les plantes peuvent être cultivées en culture hors sol, mais à grande échelle sont principalement concernées les cultures de légumes et de petits fruits. L'espèce principale est la tomate, suivie de la fraise, du concombre, du poivron et de l'aubergine. Ces dernières années, se sont aussi développées les productions de melon, de la courgette et de la framboise. Cette technique est aussi utilisée en culture florale pour les orchidées, (Hanna instruments France, 2001)

Historique

La culture hydroponique est considérée actuellement comme une pratique moderne, mais la culture des plantes dans des conteneurs par-dessus du sol a été tentée à différentes époques à travers l'histoire. Les peintures murales trouvées dans le temple de Deir el Bahari semblent être le premier cas documenté de plantes cultivées en conteneur (Naville, E & H. R. Hall, 1913). Les arbres matures étaient transférés de leur pays d'origine vers le palais du roi et ensuite cultivés en culture hors-sol lorsque les sols locaux n'étaient pas adaptés pour la plante. Beaucoup d'anciennes civilisations ont utilisé la culture hors-sol pour leurs productions agricoles. Dans les dessins hiéroglyphiques égyptiens remontant à plusieurs centaines d'années avant J-C montre la culture des plantes dans l'eau. Les jardins Aztèques flottants utilisés pour certaines cultures. Le jardin suspendu de Babylone est aussi un bon exemple de la culture hors-sol. La publication la plus ancienne sur la culture hors-sol était le livre *Sylva Sylvarum* publié en 1627 par Francis Bacon ; et après cela, la culture de l'eau est devenue une technique de recherche populaire. En 1699, John Woodward a publié ses expériences de la culture de l'eau avec la menthe verte. En 1859-1860, les découvertes des botanistes allemands Julius von Sachs et Wilhelm Knop ont abouti à un développement de la technique de la culture hors-sol (Mehdaoui, 2022).

Cette technique de culture est devenue rapidement un standard de la recherche et de l'enseignement qui est encore largement utilisé et considéré actuellement comme un type de la

culture hydroponique. En 1929, William Frederick Gerick Berkeley a fait publiquement la promotion de cette culture comme solution utilisée pour la production agricole. Gerick a fait pousser des tomates à vingt-cinq pieds de haut dans des solutions nutritives minérales plutôt que le sol. Il a aussi inventé le terme de la culture hydroponique en 1937 pour la culture des plantes dans l'eau (du grec hydro, « eau », et ponos, « travail »). Un des premiers succès de la culture hydroponique a eu lieu à Wake Island où la culture hydroponique était utilisée pour cultiver des légumes pour les passagers. Dans les années 1960, Allen Cooper en Angleterre a développé la technique du film des éléments nutritifs. Le terrain du Pavillon à Epcot Center de Walt Disney World a ouvert en 1982 et figure en bonne place parmi les différents types des techniques hydroponiques. Durant les années 1960 et 70, les fermes commerciales de la culture hydroponique ont été développées à Abu Dhabi, en Arizona, Belgique, Californie, Danemark, Allemagne, Hollande, Iran, Italie, Japon, la Fédération de Russie et d'autres pays. Au cours des années 1980, de nombreuses fermes hydroponiques automatisées et informatisées ont été établies dans le monde entier. Au cours des dernières décennies, la NASA a effectué des recherches approfondies en hydroponie pour leur système contrôlé de soutien à la vie écologique ou CELSS (Jorge C, 2013).

1.2 Besoins des plantes en nutriments

La teneur en substance nutritive est un facteur clé dans la production agricole. Sur la base de la nutrition des cultures, les plantes sont capables de rester végétatives, de fleurir ou de produire des fruits. Nous pouvons contrôler leur santé en évitant toute carence en nutriment ou toxicité. Fondamentalement, en comprenant la nutrition des plantes, vous disposerez de l'un des outils les plus puissants de la production végétale. La plupart des nutriments nécessaires aux plantes sont appelés « macronutriments ». Ces nutriments sont essentiels et requis en grande quantité. Les macronutriments primaires sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Les macronutriments secondaires sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). Le reste des nutriments essentiels dans la nutrition des plantes sont appelés « micronutriments » : fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn), cuivre (Cu), bore (B), molybdène (Mo), nickel (Ni), chlorure (Cl). Les micronutriments sont principalement impliqués dans la fonction enzymatique et sont nécessaires en plus petites quantités. Le silicium (Si) est un autre élément qui n'est pas essentiel mais qui peut améliorer la santé de nos plantes. Le Si se trouve couramment dans le sol et peut aider à la structure et à la force des plantes en créant une certaine résistance aux stress environnementaux (Hort Americas Canada, 2018). Ces nutriments peuvent être apportés à la plante sous forme d'engrais solide au pied de la plante, ou sous forme liquide par pulvérisation ou par fertirrigation.

1.3 Température et photopériode

En hydroponie, la gestion de la température et de la photopériode est cruciale pour optimiser la croissance des plantes, en particulier en ce qui concerne le développement des racines, la photosynthèse et la floraison. La température affecte directement le métabolisme des plantes, incluant la respiration et la croissance cellulaire. Pour la plupart des cultures hydroponiques, la plage de température optimale varie entre 18 °C et 25 °C. Des températures trop élevées peuvent entraîner une transpiration excessive, un stress hydrique et un ralentissement de la photosynthèse. Inversement, des températures trop basses peuvent ralentir la croissance et affecter l'absorption des nutriments. De plus, la température de la solution nutritive doit être surveillée, car une température idéale de 18-22 °C permet une meilleure absorption des nutriments.

La photopériode, c'est-à-dire la durée d'exposition à la lumière, joue un rôle tout aussi essentiel dans les systèmes hydroponiques, influençant les processus de photosynthèse et le cycle de croissance des plantes. Les plantes peuvent être classées selon leur réponse à la photopériode : plantes de jour long, de jour court, ou indifférentes à la longueur du jour. Par exemple, le gombo, souvent cultivé dans des systèmes hydroponiques, est une plante de jour court, ce qui signifie qu'une photopériode réduite est plus favorable à sa floraison. Dans des environnements contrôlés comme les serres, il est possible d'ajuster la photopériode à l'aide de lumières artificielles pour maximiser la productivité, avec des durées typiques allant de 12 à 18 heures de lumière par jour, selon les besoins de la culture. (Resh, HM et Howard, M, 2012)

En résumé, une gestion optimale de la température et de la photopériode en hydroponie permet de créer un environnement propice à la croissance végétale, réduisant les facteurs de stress et améliorant la performance globale. Les ajustements doivent être spécifiques à chaque culture, et l'utilisation de capteurs pour surveiller ces paramètres peut être une stratégie efficace pour maintenir des conditions idéales dans un système hydroponique. Les recherches montrent que ces deux facteurs, lorsqu'ils sont bien maîtrisés, augmentent significativement le rendement et la qualité des récoltes (Resh, 2012).

1.4 Techniques de culture

1.4.1 Culture en substrat

Les substrats en culture hydroponique sont utilisés pour remplacer le sol. Les substrats ont pour rôle de fournir un soutien et de l'humidité aux plantes. Contrairement au sol, nous ne pouvons pas attendre du substrat qu'il fournisse la nutrition. Au contraire, les substrats sont censés être inertes. Inerte en chimie est défini pour décrire une substance ou un matériau qui n'est pas

chimiquement réactif. Les substrats ne doivent pas modifier notre solution nutritive. Un effet très minime ou nul sur notre conductivité électrique (CE) ou notre pH est attendu lors de la sélection de substrats de bonne qualité. La capacité d'échange cationique est un terme couramment utilisé en culture hydroponique pour décrire l'interaction entre les substrats et les nutriments présents dans l'eau. De bons substrats présenteront une faible capacité d'échange cationique, ce qui signifie une interaction minimale ou nulle entre le substrat et la solution nutritive.

L'utilisation de substrats permet de mieux contrôler l'environnement racinaire, ce qui permet de calculer un calendrier d'irrigation plus précis, d'améliorer l'uniformité des cultures et de limiter les maladies racinaires. De plus, l'utilisation de substrats avec une nutrition spécifique permet d'avoir des résultats plus cohérents et prévisibles sur notre rendement (Hort Americas Canada, 2018).

1.4.2 Les types de substrat

En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique (Valérie, 2015).

a. L'origine organique

- **Tourbe** : L'appellation générale « tourbe » regroupe un grand nombre de matériaux qui renferment au minimum 75% de matière organique (sur base poids sec) (Morel, P *et al.*, 2000). Ce sont des matériaux d'origine végétale, essentiellement organiques mousses plantes vasculaires, plantes à fleurs et feuillus. Les propriétés fondamentales des tourbes sont : le comportement mécanique (élasticité, retrait), (rétention d'eau, aération) et chimique (teneur en azote et rapport carbone/azote) (Bottraud, JC, 1980)
- **Fibre de coco** : La fibre de coco ou moelle est une ressource naturelle et renouvelable produite à partir de cosse de noix de coco. Les cosses sont broyées, les fibres longues et moyennes sont enlevées, le coir restant étant constitué d'une moelle granulaire avec des fibres courtes. Il a de grandes capacités de rétention d'eau et de nutriments mais a une faible capacité d'échange de cations. Avec un pH de 5,7 à 6,5, le chaulage n'est pas requis (Texier, W, 2015).
- **Sphaigne** : C'est une plante aquatique, mousse, hydrophyte qui peut être partiellement décomposée. Son poids frais représente 10 fois de son poids sec grâce à une bonne rétention de l'eau (Morel, P *et al.*, 2000).
- **La parche de café** : est un sous-produit de la transformation du café, elle est utilisée dans l'industrie agroalimentaire, l'agriculture, la pharmacologie et la cosmétologie, pour sa

composition riche en antioxydants et en fibres alimentaires (Kholkhal Kheira & Boukli Hacene Imene Fatima Zohra, 2021). La figure 1 ci-dessous illustre quelque différents substrats organiques cités plus haut.



Figure 1: quelques substrats organiques

A : tourbe

B : fibre de coco

C : sphaigne

b. L'origine minérale

- **Graviers** : Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains anguleux aux arêtes vives, d'autres sont tirés de rivières une fois calibrés, les grains sont arrondis ou émoussés. Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires (Titouna, D, 2011).
- **La vermiculite** : Est une argile phylliteuse (en feuillet ou mica) qui contient de l'eau. Lorsqu'elle est traitée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale produisant des fragments de 1 à 6 mm
- **La perlite** : Est un sable siliceux d'origine volcanique chauffé à plus de 1000°C qui fond et gonfle d'environ vingt fois son volume. Il en résulte des perles blanches vitreuses, légères, très poreuses, contenant 75% de silice initiale (Morard, 1995).
- **Les billes d'argile** : Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise pour recouvrir les pots de fleurs, les granulés sont obtenus par un traitement de forte chaleur de l'argile. L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger

les racines des changements de température. Il est composé de silice, d'alumine, d'oxydes de fer, et de soufre. Sa capacité de rétention en eau est de 15% en masse. (Mehdaoui, 2022)
La figure 2 présente une illustration des substrats minéraux cités plus haut.

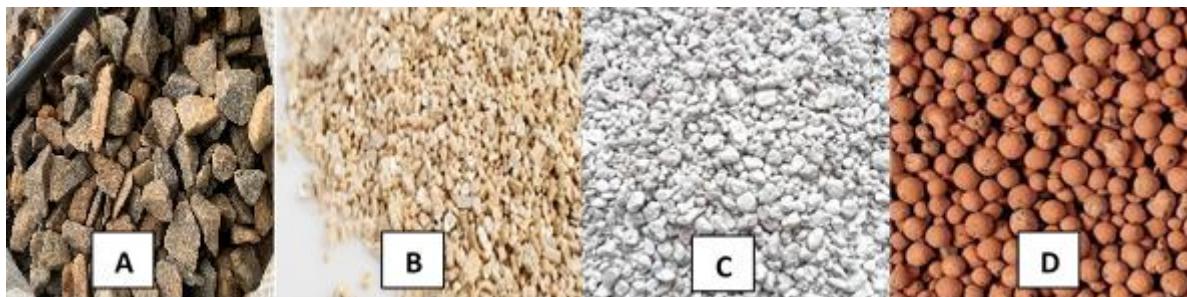


Figure 2: quelques substrats minéraux

- A : gravier
- B : vermiculite
- C : perlite
- D : bille d'argile

1.5 Avantages de l'hydroponie

Il existe d'innombrables raisons d'avoir recours aux technologies hydroponiques, à l'échelle de la planète et dans notre propre espace de culture.

- Le contrôle de la nutrition : Seuls les éléments que vous introduisez dans l'eau sont présents dans la zone racinaire, dans les proportions que vous avez choisies (William T, 2013).
- L'économie d'eau et d'engrais minéraux : les cultures hors sol ont permis de développer des activités horticoles dans des régions où l'eau est un facteur limitant : on évite ainsi les pertes par diffusion dans le milieu naturel. Quant aux engrais minéraux, les techniques de culture hors sol conduisent aussi à une économie importante puisque les apports sont calculés en fonction des besoins et qu'il n'y a pas de stockage au niveau du sol (Morard, 1995).
- L'élimination des problèmes liés au sol : La principale raison du développement agricole de la culture hors sol provient de la nécessité d'éliminer certains problèmes liés au sol comme le problème de la salinité ou la contamination par les agents pathogènes (Morard, 1995).
- La réduction de l'utilisation de pesticides, grâce à une meilleure santé et une croissance plus rapide : Bien conduite, la culture hydroponique assure à la plante une croissance saine et rapide, lui permettant ainsi de surmonter les attaques de nuisibles ou, du moins, d'y résister (William T, 2013).
- L'inutilité d'un recours aux herbicides : Ce point est assez évident. Dans les plateaux et les rigoles en plastique, il n'y a pas de place pour les mauvaises herbes. L'hydroponie, parce

qu'elle permet de se passer d'herbicides et d'éliminer les nuisibles de façon moins agressive, est une technologie assez propre (William T, 2013).

- L'utilisation optimale du potentiel génétique de la plante : En hydroponie, la plante bénéficie de conditions optimales pour exprimer tout son potentiel (William T, 2013).
- La production d'une grande quantité de biomasse,
- Une meilleure utilisation de l'espace.

1.6 Les différents systèmes de culture hydroponique

Les systèmes hydroponiques se différencient par la manière dont la solution nutritive est acheminée.

Il existe deux catégories principales : les procédés d'absorption passive et les procédés actifs.

1.6.1 Les systèmes hydroponiques passifs

Les systèmes passifs s'appuient sur la capillarité pour conduire la solution nutritive du réservoir au support de culture. Une mèche absorbe la solution et la transporte jusqu'au support et racines. Dans ces systèmes, les supports demeurent très humides, avec pour inconvénients une perte de rétention d'air et une absorption des nutriments par les racines ralenties. Les systèmes passifs ne sont pas recommandés pour la grande salle de culture, mais conviennent aux plantes vertes et aux petits jardins d'intérieur. D'une performance limitée, ils présentent néanmoins des avantages. D'une part, les systèmes passifs à mèche séduisent par leur faible coût d'achat. D'autre part, ils ne se composent d'aucun élément mobile, à même de casser ou susceptible de ne pas fonctionner. Ils conviennent parfaitement pour l'enracinement des boutures, l'entretien des plantes mères et pour stimuler la croissance de jeunes semis.

1.6.2 Les systèmes hydroponiques actifs

Les systèmes actifs distribuent la solution nutritive de manière active, employant une pompe pour irriguer. Il existe 4 types principaux de systèmes actifs.

a. L'irrigation goutte-à-goutte

Les systèmes goutte-à-goutte sont très couramment utilisés dans les salles de culture, car ils sont très efficaces et productifs. Il existe plusieurs variantes de ce type d'irrigation. La solution nutritive, contenue dans un réservoir central, est acheminée au goutte-à-goutte, « poussée » par une pompe dans des tuyaux (tuyaux «spaghettis») ou anneaux situés au pied de chaque plante. Une fois drainée par le support, la solution est recueillie et retournée dans le réservoir pour être recyclée après avoir été ré-oxygénée à l'aide d'une pompe à air.

b. Les systèmes d'inondation (tables à marée, Ebb and flood)

Les systèmes d'inondation sont basés sur l'alternance du remplissage et du drainage (figure 3). Très efficaces, ils sont aussi très appréciés pour leur simplicité d'utilisation et d'entretien. La solution nutritive est pompée d'un réservoir central jusqu'au substrat de culture pour l'inonder temporairement (1 à 30 minutes par jour, variable selon les systèmes, le type de plante cultivée ou de la taille des plants...). À l'arrêt de la pompe, un labyrinthe de rigoles draine la solution qui se déverse dans le réservoir, créant un appel d'air riche en oxygène, en contact avec les racines. Ce système est couramment utilisé dans les grandes installations commerciales.

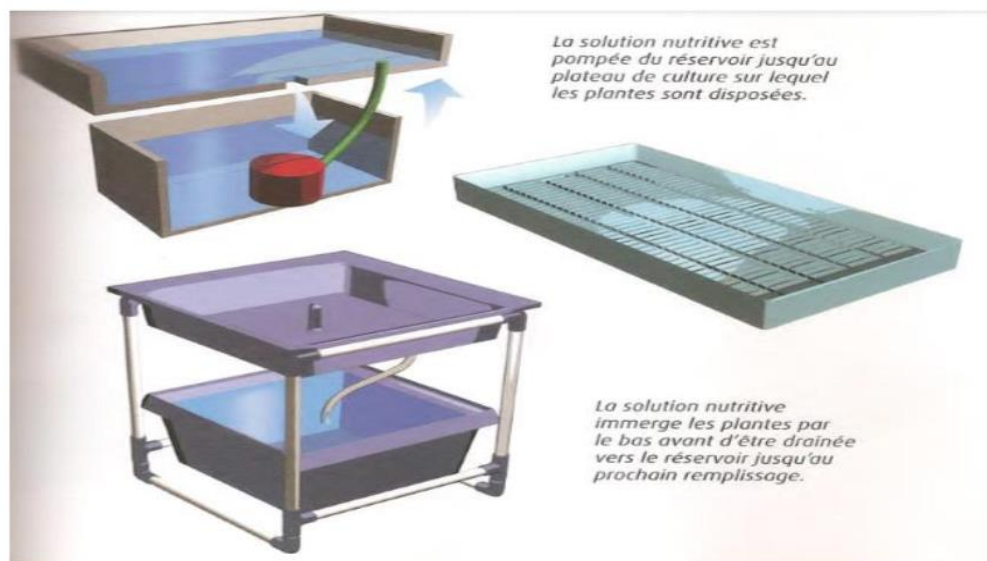


Figure 3: système de table à marée (flux-reflux) (Jorge, 2013).

c. Les systèmes NFT (Nutrient Film Technique, technique sur film nutritif)

Apparus plus récemment, ils se révèlent très performants, produisant une croissance des plantes très rapide. Plus complexe, le système exige savoir-faire et attention. Les plantes, soutenues par le haut à l'aide de fils, sont placées sur une natte absorbante posée sur le fond du plateau. La solution nutritive coule par gravité 24 heures sur 24, humectant au passage les racines, avant de s'écouler dans le réservoir. Avec ce système, les racines reçoivent suffisamment d'oxygène pour absorber la solution nutritive. Tous les paramètres doivent être parfaitement maîtrisés. En cas de panne d'électricité ou d'interruption du flux de la solution, les plantes, sans support de culture, s'assèchent rapidement et meurent. La figure 4 ci-dessous donne une illustration du système NFT.

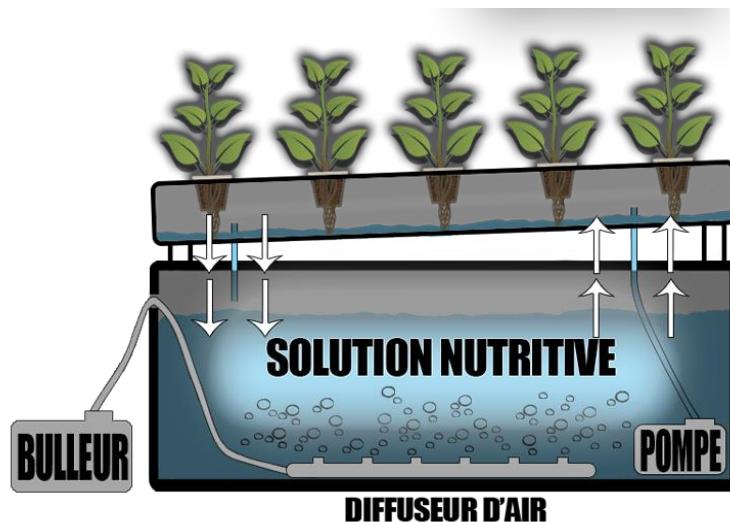


Figure 4: la technique du film nutritif (NFT)

d. Les systèmes aéroponiques

Ces systèmes n'en sont encore qu'au stade expérimental et sont peu répandus, en partie à cause des coûts de départ assez prohibitifs (réservoirs, chambres d'aspersion, pulvérisateurs...). Ils permettent cependant une croissance phénoménale. Les racines des plantes pendent tout simplement dans le vide dans une chambre d'aspersion obscure, dans laquelle l'humidité persiste aux alentours de 100 %. La solution nutritive est pulvérisée sur les racines à des intervalles réguliers. Les racines sont constamment exposées à l'oxygène, ce qui leur permet d'atteindre un potentiel d'absorption optimal. Ce système exige précaution et maîtrise : en cas de panne d'une pompe, les plantes, exemptes de support de culture, meurent rapidement. Si le pH ou la solution varient, aucun support ne fera tampon (Texier, W, 2015).

2. Généralités sur le gombo

Le gombo (*Abelmoschus esculentus*) esculentus (Moench, C, 1794) est une Malvacée des régions tropicales et subtropicales largement cultivée en Afrique (George, 1989). Deux espèces sont cultivées en Afrique de l'ouest, *Abelmoschus esculentus* et *Abelmoschus caillei*, sous l'appellation de gombo en français. Malgré que le gombo est devenu une culture universel ; historiquement cette plante était cultivée dès l'Antiquité en Egypte et en Inde, puis a été importée en Europe par les Maures espagnols au XII^{ème} siècle. Originaire d'Afrique ou d'Inde et appartenant à la famille des Malvaceae par le botaniste allemand FRIEDRICH MEDIKUS à la fin du XVII^{ème} siècle (Birlouez, 2020) .Le gombo est une espèce de plante tropicale à fleurs botaniquement proche des hibiscus est initialement classé dans le genre hibiscus (Chevalier, A, 1940).

2.1 Classification

Classification phylogénétique APG III (Angiosperm Phylogeny Group, 2009).

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Viridiplantae
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Rosidées
Ordre :	Malvales
Famille :	Malvacées
Genre :	<i>Abelmoschus</i>
Espèce :	<i>Esculentus</i>

2.2 Description botanique

Le gombo « *Abelmoschus esculentus* » est une plante annuelle robuste, érigée, atteignant, selon les variétés et les conditions climatiques entre 1,30 et 4 m de hauteur, plus ou moins fortement ramifiée (Charrier, A, 1983). Elle est caractérisée par une racine pivotante et de grandes feuilles longuement pétiolées et au limbe profondément lobé. La tige et les feuilles sont recouvertes de poils, désagréables au toucher, un peu irritants. Ses fleurs éphémères, hermaphrodites, axillaires et solitaires (Hamon, S, 1987) attirent les insectes (Al-Ghzawi, A.M *et al.*, 2003).

Les fleurs des gombos ressemblent beaucoup à celles de l'hibiscus, de belles et larges fleurs turbinées, couleur crème avec un centre sombre et un long pistil. Elles sont fécondées par les insectes butineurs (Hamon, 1988). Les fruits se développent rapidement : ce sont des gousses allongées, et plus ou moins côtelées, anguleuses, pouvant atteindre plus de 20 cm de longueur (Chevalier, 1940).

De nombreuses variétés de gombo sont été sélectionnées, recherchant un fruit moins long, qui n'est plus pointus, plus lisses, peu côtelés, donc qui sèchent moins vite, et qui restent tendres. Certains sont devenus nains (Jiro, H *et al.*, 2011).

2.3 Variétés de gombo

Le gombo est caractérisé par une diversité (figure 5). Il existe plusieurs variétés du gombo dans le monde qui se différencient par la hauteur de la plante, période de floraison et même la qualité nutritionnelle et la forme des fruits et de la couleur des fruits et des tiges (Sigg, J, 1991).



Figure 5: Fruits de différente variété d'Okra (Siemonsma, 2004)

A : gombo Clemson

B : gombo velours blanc

Le tableau 1 ci-dessous présente quelques variétés de gombo et leurs caractéristiques.

Tableau 1: variétés de gombo et leurs caractéristiques

Variétés	Hauteur plante	Forme de fruit	Couleur du fruit	Délai de floraison	Rendement	Proportion des fibres
Côte d'or	2 m	Ronde, non nervurées	Vert-blanchâtre	70 jours	élevé	9 g / 100 g
Velours blanc	130 cm	longues et minces - rondes et minces - charnues lisses - croustillantes	blanc verdâtre		Abondante	
Clemson	95 cm	longues nervurées	verte – sans épines	58 jours	d'une plante est de 250 g de gousses	4,5 g / 100 g de poids sec
Gousse longue verte naine	60 cm	Nervurées à texture et sauvage	vert foncé	75 jours		3,16 g / 100 g de poids sec
Artest	120 cm	longue coriace	rouge foncé	65 jours	abondante	
Chaleurusement	130 cm	nervurée	verte			

2.4 Écologie et cycle végétatif

L'Abelmoschus esculentus est une plante de saison chaude, très exigeante en chaleur, lumière et humidité. Mais il est sensible à la sécheresse et cette sensibilité varie suivant les phases du cycle (Sawadogo, M *et al.*, 2006). Les semences ne germent pas au-dessous de 15°C (optimum de la température du sol : 20 C°). La germination nécessite 17 jours à 20 C°, 13 j à 25 C° et 7

j à 30 C°, c'est une plante annuelle qui s'auto-pollinise. Les exigences en sol sont faibles ; la culture préfère un sol sableux. Les terrains silico-argileux, pas trop humides ni froids, conviennent aussi à la culture. Le pH optimal du sol est de 6-6,8 (Khedidja, D. A. H. L. I, 2019). La récolte commence deux ou un mois et demi après le semis, selon la variété et concerne les fruits jeunes de 3 à 5 jours après la floraison, les fruits trop mûrs étant fibreux. Il faut, chaque jour, cueillir les gombos, et enlever les vieilles gousses (Chevalier, A, 1932).

Il existe de nombreuses variétés annuelles ou pluriannuelles. Elles sont réparties en deux groupes de variétés : les variétés à courtes tiges ayant un cycle de vie court dont les fruits arrivent à maturité au bout de trois mois et celles à hautes tiges dont le cycle est plus long, 6 à 9 mois (Ekra, K. A, 2010). Le cycle varie de trois mois pour les variétés les plus précoces à un an et parfois plus pour les plus tardives (Jiro *et al.*, 2019). Selon la variété et les conditions climatiques, la floraison se produit un à deux mois après semis. Elle est continue dans le temps. Le gombo est auto compatible (Charrier, A, 1983). Après la fécondation, la croissance du jeune fruit est rapide qui se ralentie par la suite (Hamon, S, 1987).

La maturation correspond à la phase de lignification du fruit. Elle commence une semaine après la floraison et dure environ un mois (Lemmens, L *et al.*, 2012).

La figure ci-dessous (figure 6) présente un plant de gombo en production.

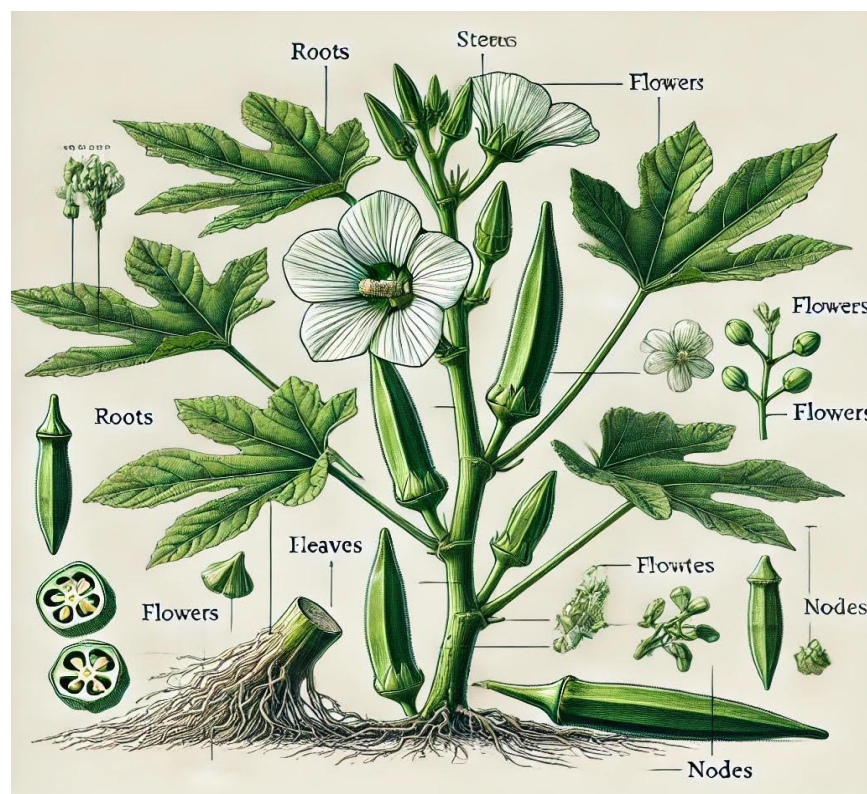


Figure 6: illustration d'un plant de gombo

2.5 Potentiel nutritionnel

Le tableau ci-dessous présente les éléments nutritifs présents dans les fruits du gombo.

Tableau 2: valeur nutritive pour 100g de gombo (Grubben, G. J. H *et al.*, 1977) (Charrier, A, 1983).

Éléments nutritifs	Organes	
	Fruits	Feuilles
Matière sèche (g)	10,4	10
Énergie (Kcal)	31,00	33,00
Protéines (g)	1,80	2,00
Calcium (mg)	90,00	70,00
Fer (mg)	1,00	1,00
Carotène (mg)	0,10	0,99
Thiamine (mg)	0,07	0,10
Riboflavine (mg)	0,08	0,10
Niacine (mg)	0,80	1,00
Vitamine C (mg)	18,00	25,00

Les études de (Hamon, S & Koechlin, J, 1991), en démontées que son fruit est en effet riche en glucides (7 à 8 % de la matière sèche) présents sous forme de mucilage. Il est assez pauvre en fibres mais riche en protéines pour un légume fruit (1,8 % de la matière sèche), l'acide aspartique et l'arginine représentent 10 % des acides aminés. Malgré une teneur moyenne en vitamine A (300 UI), les teneurs en thiamine, riboflavine, acide ascorbique (Vitamine C) sont bonnes. Une consommation quotidienne de 100g de gombo frais fournirait environ 20% des besoins en calcium, 15 % des besoins en fer et 50 % des besoins en vitamines C (Hamon, S, 1988). Il contient peu de calcium (90 mg pour 100 g), de phosphore (56 mg) et de magnésium (43 mg pour 100 g), et très peu de potassium (Moyin-Jesu, E. I, 2007). Le gombo est aussi une bonne source d'iode et peut être un élément du régime alimentaire dans les zones où l'eau potable manque d'iode et entraîne plusieurs personnes développant le goitre (Agbessi *et al.*, 1987).

2.6 Principaux ennemis de la culture

Tout au long de son cycle agricole ; le gombo est sujet à beaucoup d'attaques d'agents pathogènes virus bactérie et champignons comme (mildiou, verticillium, fusarium, Pithium ,rhizoctonia). En plus des nématodes ou pour lutter contre Il faut respecter la rotation culturale (pas de gombo après gombo ou tomate ou aubergine). Les insectes ravageurs (criquets, vers gris, taupins, mouche blanche, mineuse et pucerons) causent aussi des dégâts à la culture et cela se passe à tous les stades de son développement et en attaquant une ou plusieurs partie de la plante que ce soit tige feuille ou fruits (Messiaen, C. M *et al.*, 1991) (El Hociene, 2021).

3. Les étangs hors sol

L'élevage de poisson peut se faire dans toute infrastructure pouvant contenir durablement de l'eau sans fuite importante. Tout dépend du but visé et de l'espèce à élever. La pisciculture en bacs ou bassins se prête bien à l'élevage en milieux urbains et périurbains. Plusieurs types de bacs peuvent être construits de nos jours, à partir de matériaux locaux et/ou en utilisant des réservoirs et autres conteneurs vendus sur le marché et destinés à des usages multiples. Un bac hors sol (BHS) est une infrastructure d'élevage de poissons, au même titre qu'un étang ou un bassin, mais avec la particularité qu'on peut le déplacer à volonté selon la nécessité. On peut aussi l'adapter à l'espace disponible. Il permet de mener facilement les activités piscicoles en milieux urbains et périurbains (ALMEIDA Arsène F. M *et al.*, 2014).

Avant d'entreprendre la pisciculture en bacs hors sol, il est nécessaire de s'assurer de la disponibilité de l'eau en qualité et en quantité suffisante, mais de prévoir également la possibilité d'évacuation de l'eau usée issue de l'élevage.

4. Poisson chat (*Clarias gariepinus*)

La *Clarias gariepinus*, communément appelée poisson-chat africain, est une espèce d'eau douce appartenant à la famille des Clariidae. Elle est particulièrement prisée en aquaculture en raison de sa résistance aux conditions environnementales difficiles et de sa croissance rapide (Géoffroy *et al.*, 2019).

Morphologie :

Apparence : Le poisson-chat africain possède un corps allongé et cylindrique, dépourvu d'écailles. Il est généralement de couleur gris à brun, avec des teintes plus claires sur le ventre.

Barbillons : Il est doté de plusieurs paires de barbillons autour de la bouche, qui lui permettent de détecter les proies dans les eaux troubles.

Organe respiratoire accessoire : Cette espèce peut respirer l'air atmosphérique grâce à un organe accessoire situé près des branchies, ce qui lui permet de survivre en eau pauvre en oxygène.

Habitat et Répartition :

Répartition géographique : Le *Clarias gariepinus* est largement distribué en Afrique subsaharienne et au Moyen-Orient.

Habitat : Il est souvent trouvé dans les rivières, les lacs, les étangs et les marais, y compris les environnements hypoxiques (pauvres en oxygène).

Alimentation :

Régime alimentaire : C'est une espèce omnivore, se nourrissant de petits poissons, d'insectes, de crustacés, de matières végétales, et même de matières organiques en décomposition.

Reproduction

Cycle de reproduction : Le *Clarias gariepinus* est une espèce prolifique. La reproduction est souvent induite artificiellement en aquaculture pour maximiser la production de larves.

Conditions de frai : La reproduction naturelle a lieu généralement pendant la saison des pluies, lorsque les niveaux d'eau augmentent.

Importance en Aquaculture

Croissance rapide : Grâce à sa capacité à utiliser des aliments variés et à sa tolérance aux environnements difficiles, le *Clarias gariepinus* est un choix privilégié pour l'aquaculture en Afrique (Micha, J.C., 1973).

Utilisation des eaux usées : les eaux usées d'aquaculture peuvent être utilisées pour irriguer des cultures, favorisant un système de production durable.

Partie II : MATERIEL ET METHODE

1. Présentation du site d'étude

1.1 Localisation

L'étude a été réalisée dans la période du 09 juillet au 07 octobre 2024 à Franceville (Masuku), chef-lieu du département de la Mpassa, dans la province du Haut-Ogooué, à l'atelier de l'Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies (INSAB) au sein du projet INCITIS FOOD (The INtegrated and Circular Technologies for Sustainable city region FOOD systems in Africa) (figure 7).



Figure 7: Localisation du site d'étude

Cette étude a été conduite en serre agricole avec une surface agricole utile de 766,8 m² et un pourcentage de pente de 19%. Nous avons utilisé pour notre essai 29,97 m² de surface.

2. Matériel

2.1 Matériel végétal

Pour la réalisation de cette expérience le gombo (*Albelmonschus esculentus*) de la variété Clemson Spineless a été utilisé. Le choix de cette variété a été basé sur les variables suivantes : la productivité et la précocité.

En effet, le gombo de variété Clemson Spineless présente une haute performance en termes de rendement, résistance aux maladies et son adaptation à divers environnements de culture. Son cycle de croissance relativement court permet de mener des études dans des délais plus serrés, facilitant l'obtention de résultats rapides et reproductibles.

La figure 8 illustre la variété de gombo Clemson que nous avons utilisé.



Figure 8: semence de gombo variétés *Clemson spinles*

2.2 Matériel technique

2.2.1 Matériel de mise en place de l'expérimentations

Dans le cadre de notre étude, divers matériels techniques ont été employé pour garantir la rigueur et la reproductibilité des résultats.

Le dispositif principal consistait à mettre en place un système hydroponique goutte à goutte composée de sac de ciments vide recycler utilise comme conteneur, un réservoir d'eau de 132 L et d'un kit d'irrigation goutte à goutte (figure 9 et 10).



Figure 9: kit d'irrigation



Figure 10: mise en place du système

Des outils de mesure spécifiques (figure 11,12 et 13) ont été utilisés pour l'évaluation des différents paramètres notamment un pied à coulisse ayant servi pour prendre les mensuration du diamètre aux collet des tiges, un décamètre pour la prise de la hauteur des plants, une règle graduée qui a servi à mesurer les longueurs et largeurs des feuilles afin de calculer la surface

foliaire, une balance de précision pour prendre la masse des fruits après récolte, un thermomètre hygromètre ayant servi pour prendre la température et l'hygrométrie dans la serre et un kit d'analyse de l' eau de poisson.

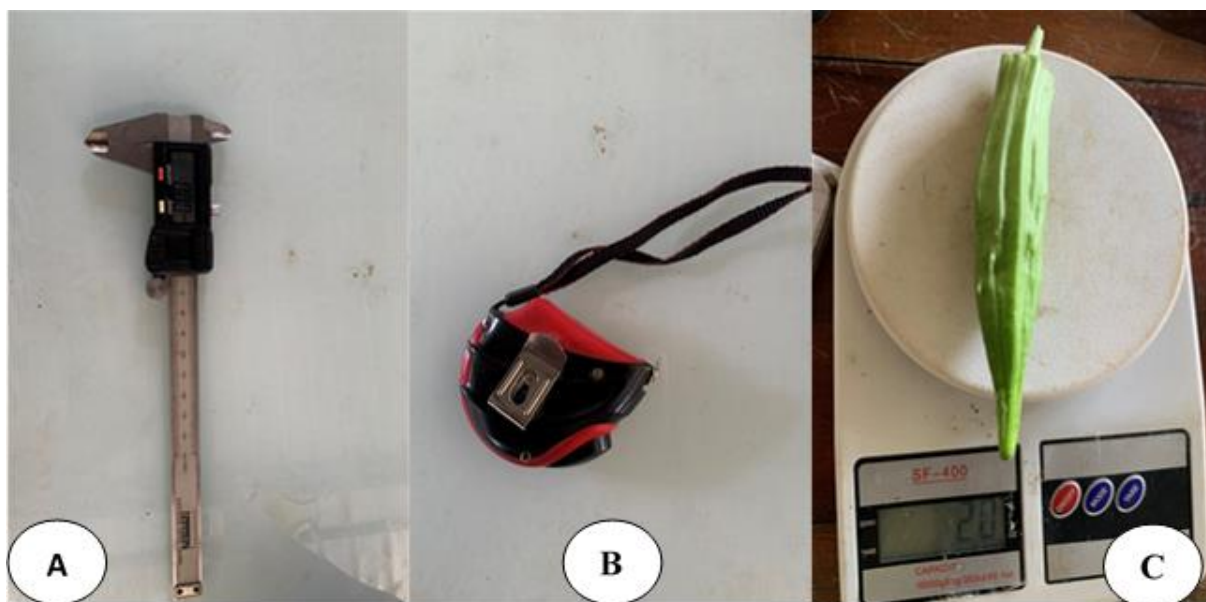


Figure 11: outils de mesure utilisés

A : pieds à coulisse

B : décamètre

C : balance de précision



Figure 12: thermomètre hygromètre



Figure 13: Kit d'analyse de l'eau (Aquatest)

2.3 Substrats de culture

Pour mener cet essai nous disposons de trois substrats locaux : fibre de coco, parche de café et gravier (figure 14).

Leurs origines sont diverses, la fibre de coco provient des déchets de récoltes des consommateurs de coco dans la zone de Maboukou, la parche de café provient de la direction provinciale de la CAISTAB / Franceville. Le gravier a été pris dans l'enceinte de l'Université des Sciences et Techniques de Masuku.



Figure 14: les différents substrats utilisés

A : substrat fibre de coco

B : substrat gravier

C : substrat parche de café

3. Méthodes

3.1 Préparation du terrain

L'espace retenu pour l'essai en serre a été sarclé à la houe compte tenue de l'herbe qui n'était pas très hautes (figure 15). Après cela, la disposition des sacs en bloc et à la mise en place du système d'irrigation goutte à goutte a été effectué.



Figure 15: site d'étude nettoyer

3.2 Préparation des substrats

Dans cette étude, trois types de substrats à base de sous-produits agricoles locaux ont été utilisés. Les fibres de coco (substrat 1), le gravier (substrat 2) et la parche de café (substrat 3), le tout irrigué par les eaux usées d'aquaculture.

Tous les substrats utilisés n'ont pas été préparé au préalable il n'y que la fibre de coco et le gravier qui l'ont été.

La fibre de coco a été nettoyer en la trempant dans de l'eau de robinet pendant 10 jours puis pressées et séchées au soleil pendant 7 jours. Après séchage, le substrat a été mis dans les sacs de culture. Cette immersion permet d'éliminer les parasites contenus dans le substrat (Noupé Diakaria COULIBALY1 *et al.*, 2021).

Le gravier quant à lui a été nettoyé abondamment avec de l'eau pour éliminer la terre

3.3 Eaux usées d'aquaculture

Les substrats à base de fibre de coco, gravier et parche de café ont été alimentés par des eaux usées à base de déjection de poisson chat (*Clarias gariepinus*). Cette eau provenait des bassins de production de poissons. Les déchets de poissons contiennent de l'ammoniac, qui, par le biais de bactéries nitrifiantes présentes dans l'eau et le substrat, est transformé en nitrates, une source d'azote assimilable par les plantes. L'utilisation des eaux usées, en plus d'être durable, permet un recyclage constant des nutriments et optimise l'utilisation de l'eau en la recyclant au sein d'un même système. En termes d'éléments nutritifs, l'eau de poisson offre un apport équilibré en azote, phosphore et potassium, ainsi que des oligo-éléments essentiels comme le calcium, le magnésium, et le fer (Rafiee *et al.*, 2020).

Un tuyau relié à une motopompe se trouvant dans le bassin de poisson chat (*Clarias gariepinus*) a aidé dans l'alimentation du fut qui servait de réservoir dans le système.

3.4 Semis et repiquage à

Pour la réalisation de la pépinière, les graines de gombo ont été semées dans des alvéoles en polyéthylène. Les alvéoles ont été préalablement remplies avec le substrat parche de café décomposé. Elles étaient arrosées tous les jours avec de l'eau de robinet. Ensuite, les alvéoles ont été conservées dans la serre pour assurer les conditions favorables pour une germination optimale.

Après une période de 14 jours en pépinière, les plants de gombo ont été repiqués dans les sacs remplis avec les différents substrats élaborés. Ils ont été repiqués à raison de 1 plant par sac.

3.5 L'irrigation

Le fut était rempli en moyenne 4 fois par jour soit 528 L d'eau / jour, avec un débit nominal de 1,14 L/h tous les 20cm.

3.6 Dispositif expérimental

Dans cette étude, un dispositif aléatoire complet a trois blocs avec trois répétitions a été mis en place afin d'évaluer l'effet de l'irrigation à l'eau de poisson et des substrats locaux sur la croissance du gombo en culture hydroponique. Chaque bloc représente une unité expérimentale indépendante, au sein de laquelle les traitements ont été attribués de manière aléatoire afin de minimiser les biais liés aux variations environnementales.

La figure ci-dessous est une illustration du dispositif que nous avons mis en place.

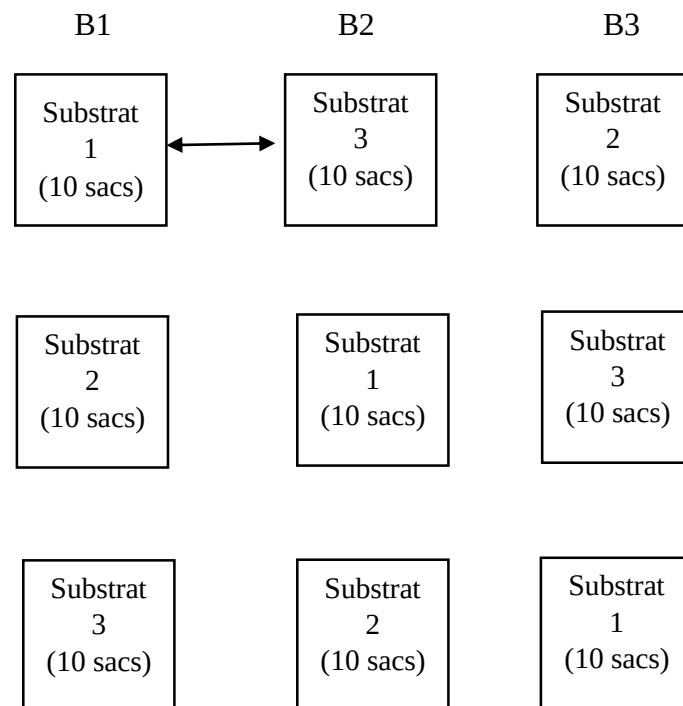


Figure 16: schéma du dispositif expérimental

Légende : B1= bloc 1 ; B2=bloc 2 ; B3= bloc 3

Substrat 1= fibre de coco, substrat 2= gravier, substrat 3=parche de café

3.7 Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés permettent d'évaluer l'effet de chaque substrat sur la croissance et le développement du gombo. Ces paramètres sont :

- ✓ L'analyse de l'eau, réalisée à l'aide d'un kit d'analyse Aquatest,

- ✓ Le taux de levée est calculé à la fin de la période de germination et nous avons utilisé la formule suivante, $\text{taux de levée} = \frac{\text{nombre de graine levés}}{\text{nombre total de graines semées}} * 100$ (Peyronnet, C & Quillien, L, 2009)
- ✓ La hauteur des plantes mesurer à l'aide d'un ruban-métrique au moment de la floraison de la base de la tige jusqu'au sommet.
- ✓ Le nombre de feuille, un dénombrement des feuilles s'est fait de manière hebdomadaire
- ✓ La surface foliaire, calculer par la formule suivante : $S = \pi * \frac{L}{2} * \frac{l}{2}$ (Radford, P. J, 1967)
ou (L) correspond à la longueur et (l) correspond à la largeur
- ✓ Le diamètre au collet (mesuré à l'aide d'un pied à coulisse)
- ✓ Les composantes du rendement mesurées sont :
- ✓ La date d'apparition des fleurs,
- ✓ La date d'apparition des fruits,
- ✓ Le nombre moyen de fruits par plant (compté au moment de la récolte),
- ✓ Le nombre moyen de fruits par traitement (compté au moment de la récolte),
- ✓ Le rendement estimatif (calculé en ramenant la production à l'hectare), nous avons d'abord calculé le poids moyen de fruit par plante en g (obtenu en faisant une division du poids total de fruit par traitement sur le nombre de plant ayant produit des fruits). Ensuite nous avons utilisé la densité du gombo (40 000T/ha) en faisant un produit avec le poids moyen de fruit par plante, enfin nous avons convertie le résultat en tonne.
- ✓ La teneur en eau des feuilles par rapport à la masse sèche a été mesurée chez les plantes préalablement marquées dans chaque sac à la fin de l'expérimentation 11 semaines après repiquage. Le prélèvement des racines a été fait en découpant les racines au niveau du collet. Les échantillons ont été emballés dans du papier aluminium avant leur transfert au Laboratoire. La mesure est faite suivant la méthode de Rasmata N ANA *et al.*, (2009). Le principe a consisté à prélever trois plantes par substrat. Les racines ont été découpées et rincé. La masse fraîche (MF) a été prise à l'aide d'une balance de précision 0,001g et ensuite ces échantillons ont été séchés à l'étuve à 85°C pendant 24 heures et pour déterminer la masse sèche (MS). La teneur en eau par rapport à la masse sèche (TE/MS) exprimée en pourcentage (%) est le rapport de la masse d'eau contenu dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon. Elle est calculée selon la formule suivante : Teneur en eau = $[(Mf - Ms) / Ms] * 100$ (Leterne P., 2003).

3.8 Analyse statistique

Les données ont été mesurées une fois par semaines (il s'agit du nombre de feuille, le diamètre au collet et la surface foliaire), puis saisis sur tableur Excel. Une analyse statistique descriptive a été faite en calculant les moyennes et les écarts types des différents paramètres mesurés.

Partie III : Résultats et Discussion

1. Résultats

1.1 Analyse de l'eau

La figure 17 présente les quantités de NO_3 , de PO_4 et de K présent dans l'eau de poisson qui a été utilisé pour la fertirrigation de nos plants de gombo.

L'analyse de l'eau de poisson montre que la quantité moyenne de nitrate (NO_3) est de 4,50 mg/L, néanmoins on observe un pic à la quatrième semaine avec 15 mg/L de NO_3 et une faible quantité à la troisième et à la huitième semaine avec une quantité de NO_3 de 1, 2 à 1,8 mg/L. La quantité de phosphate (PO_4) dans l'eau de poisson tout au long est relativement inférieure à 2 mg/L avec une moyenne de 1,23 mg/L. quant à la quantité de potassium (K) elle reste constante tout le long avec 2mg/L.

Notons en plus que le pH de l'eau tout au long de notre expérimentation est resté constant à 7,4.

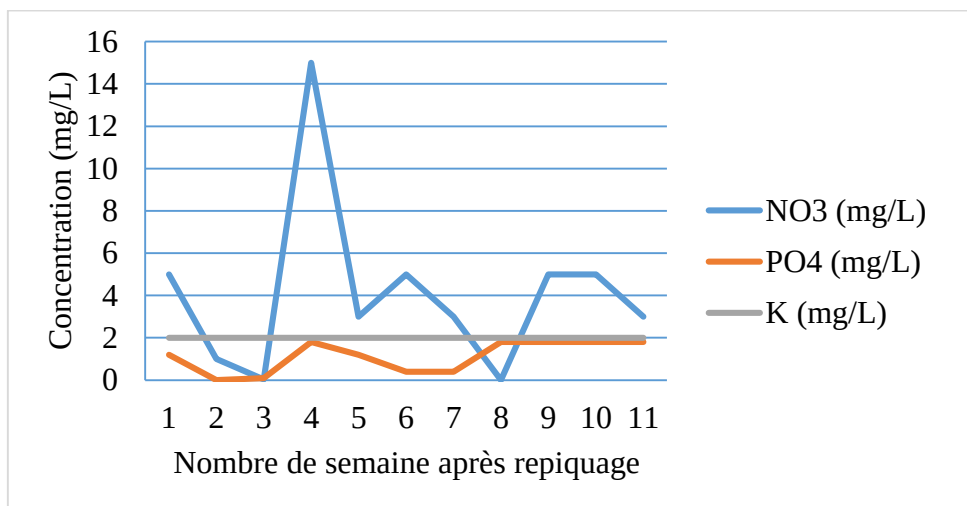


Figure 17: analyse de l'eau des poissons

1.1 Taux de levée

Les résultats obtenue montre que le taux de levée des graines de gombo sur le substrat parche de café décomposé (figure 18) est de 62,5%. Ces plants ont été repiqués sur les différents substrats au stade 2 à 3 feuilles 2 semaines après la mise en pépinière.



Figure 18: plants de gombo en pépinière

1.2 Paramètres de croissance

Les paramètres de croissance évalués sont : le nombre de feuille, la surface foliaire, le diamètre au collet, le délai et pourcentage de floraison et la hauteur des plants a la floraison. La figure 19 ci-dessous montre une illustration de l'évolution d'un plant de gombo entre le stade du repiquage et de la deuxième floraison.



Figure 19: illustration de l'évolution d'un plant de gombo sur le substrat gravier

1.2.1 Le nombre de feuille

La figure 20 présente le nombre moyen de feuille par traitement. Les résultats obtenus relèvent que le substrat fibre de coco a permis le développement foliaire le plus important avec une moyenne de 6,3. Le gravier présente une moyenne légèrement inférieure de 6,29. En revanche, la parche de café affiche la performance la plus faible avec une moyenne e feuille de 5,11.

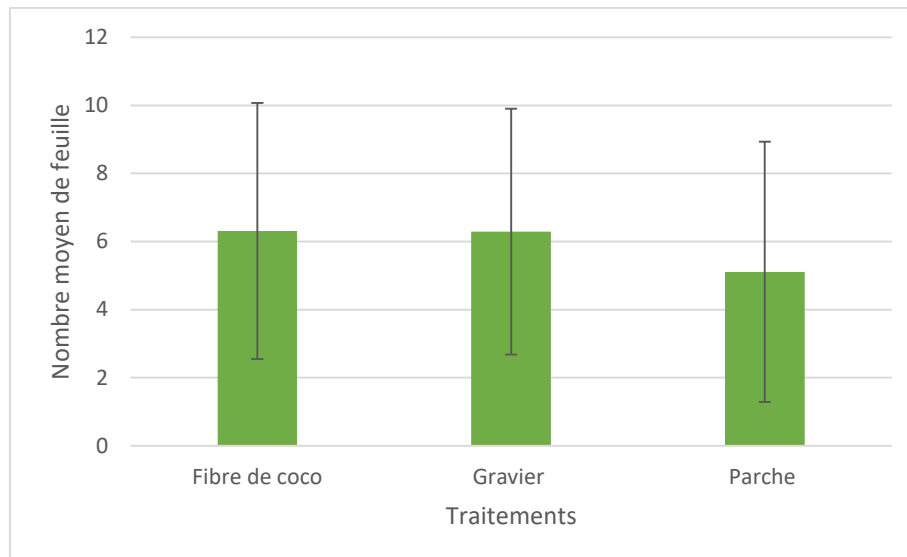


Figure 20: Nombre moyen de feuille (les barres représentent les écarts types)

1.2.2 La surface foliaire

La figure 21 présente la moyenne en surface foliaire des plants présents sur les différents substrats. L'analyse des résultats de cette figure a révélé que le substrat gravier présente la plus grande surface foliaire moyenne avec 37,21 cm². La fibre de coco affiche une surface foliaire moyenne de 30,28 cm². Enfin Les plants sur parche de café e ont montré des surfaces foliaires réduites, atteignant 12,98 cm² par feuille.

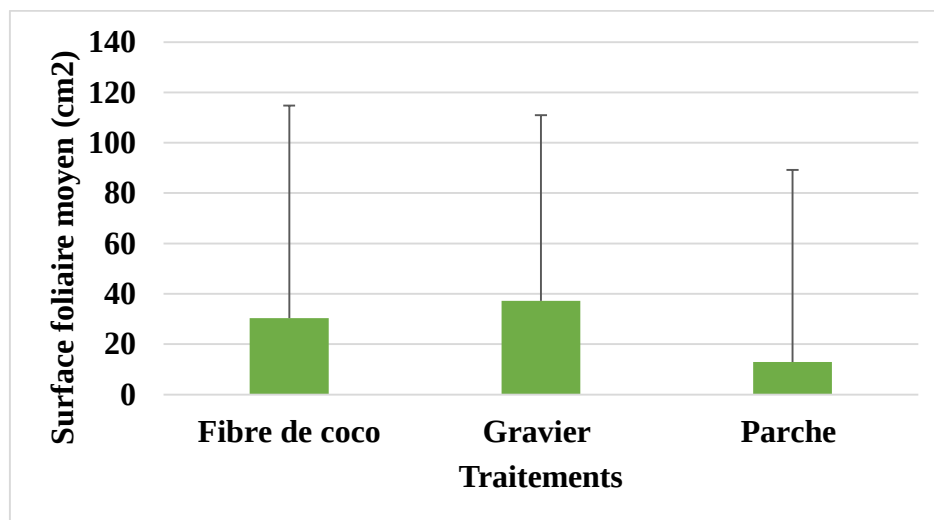


Figure 21: surface foliaire moyenne par traitement (les barres représentent les écarts types)

1.2.3 Diamètre au collet

La figure 22 ci-dessous présente la moyenne de diamètre au collet des plants par traitement. Les résultats obtenus sur le diamètre moyen au collet des plants de gombo cultivés sur différents substrats montrent que la fibre de coco et le gravier, ont permis d'avoir un diamètre moyen au

collet respectivement de 4,18 mm et 4,29 mm. En revanche, les Plants présent sur le substrat parche de café ont donné des diamètres au collet plus faible de 2,98 mm.

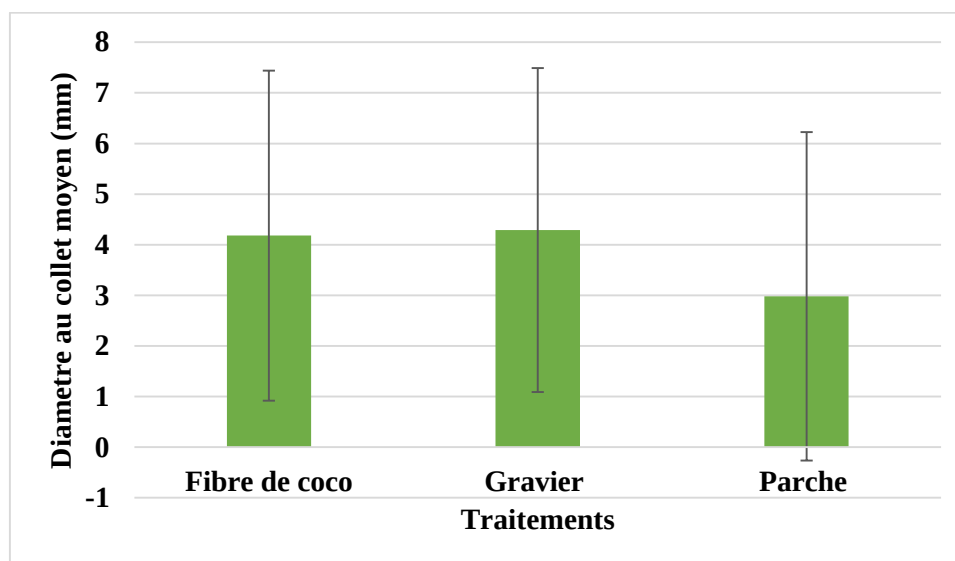


Figure 22: diamètre au collet moyen par traitement (les barres représentent les écarts types)

1.2.4 Délai et pourcentage au stade de la floraison des plants de gombo sur les différents substrats

Le tableau 3 ci-dessous regroupe le délai et le pourcentage au stade de la floraison des plants de gombo sur les différents substrats.

Les plants sur la fibre de coco et le gravier ont montré un délai de floraison légèrement long, respectivement de 7 et 6 semaines en moyenne, avec un pourcentage de floraison respective de 86,66 % et 83,33 % à la 11^e semaine après repiquage. En revanche, les plants sur parche de café démarré plus tardivement la floraison à savoir 6 semaines après repiquage, avec un pourcentage de floraison très faible de 33,33 %, 11 semaines après semis.

Tableau 3: le délai et le pourcentage au stade de la floraison des plants de gombo sur les différents substrats

Traitement	Gravier	Fibre de coco	Parche
Semaine 4			
Semaine 5	4		
Semaine 6	12	14	3
Semaine 7		7	4
Semaine 8	1	1	1
Semaine 9	2	3	1
Semaine 10	5		
Semaine 11	1	1	1
Total	25	26	10
% Floraison	83,3333333	86,6666667	33,3333333
date 50% Floraison	5-6 SAS	6 SAS	6-7 SAS

SAS : Semaine après semis

1.2.5 La hauteur des tiges à la floraison

La figure 23 ci-dessous présente les hauteurs moyennes des tiges au stade floraison des plants sur les différents substrats. Les résultats obtenus concernant la hauteur des tiges des plants de gombo à la floraison montrent des différences significatives en fonction des substrats utilisés. Les plants issus des substrats fibre de coco, le gravier et la parche de café ont présenté des hauteurs moyennes respectives de 48, 14, de 51,57 et de 31,95 cm.

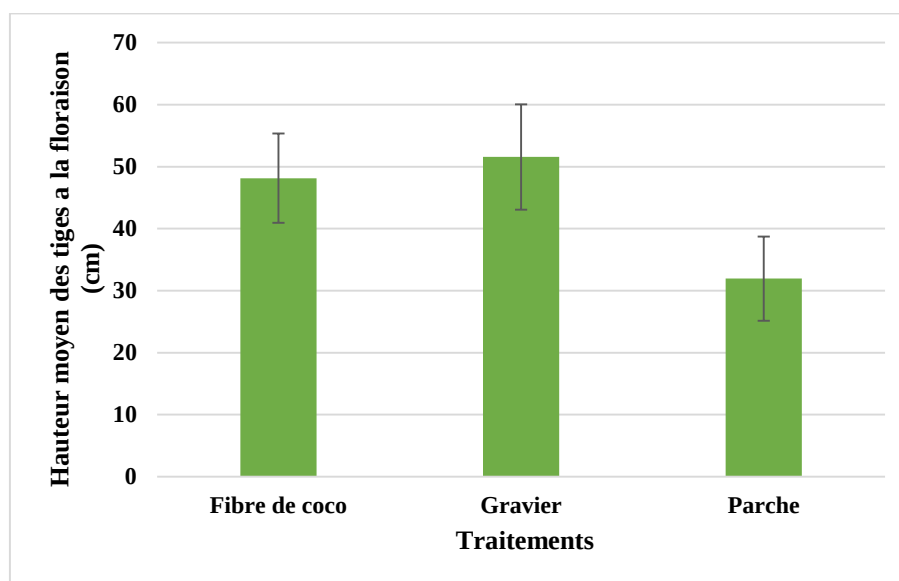


Figure 23: les hauteurs moyennes des tiges au stade floraison (les barres représentent les écarts types)

1.2.6 Teneur en eau des feuilles de Gombo

La figure 24 ci-dessous représente la teneur en eau des feuilles par rapport à la masse sèche sur les différents substrats. La teneur en eau des plantes dans les différents substrats a varié de 542,97 % pour le substrat en fibre de coco à 40 % pour les plants issus de gravier.

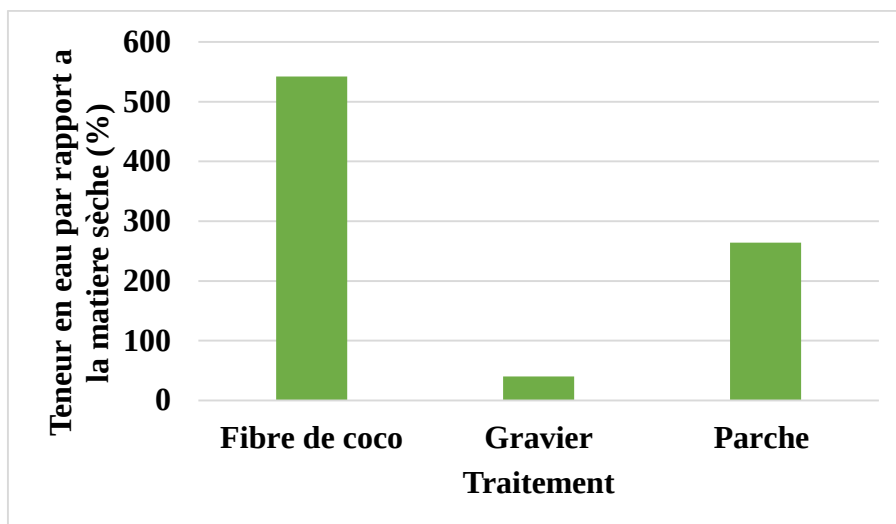


Figure 24: teneur en eau par rapport à la masse sèche (les barres représentent les écarts types)

1.3 Paramètre de production

Pour les paramètres de rendement, seul quatre substrats ont été considéré car pour le substrat parche de café, jusqu'à la 11^e semaine, aucune plante n'a donné des fruits.

1.3.1 Diamètre des fruits à maturité

La figure 25 présente le diamètre des fruits récoltés sur les différents substrats. L'analyse de la figure montre que ce diamètre a varié de 17,6 mm pour le substrat fibre de coco et à 20,23 mm pour le substrat gravier. Il n'existe aucune différence significative des diamètres de fruit à maturité quel que soit le substrat de culture.

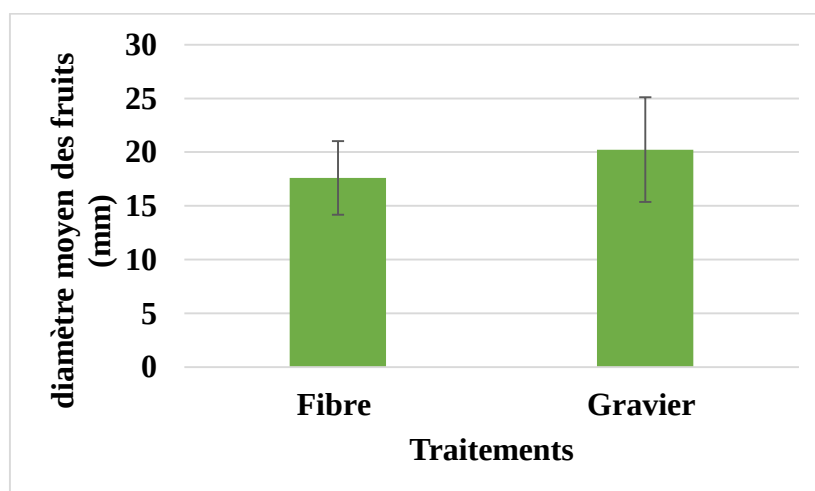


Figure 25: diamètre moyen des fruits à maturité (mm) (les barres représentent les écarts types)

1.3.2 Longueur des fruits à maturité

La figure 26 présente la longueur des fruits de gombo à maturité. L'analyse des résultats montre que la longueur des fruits de gombo a varié de 9,61 cm pour le substrat fibre de coco et de 10,54 cm sur le substrat gravier.

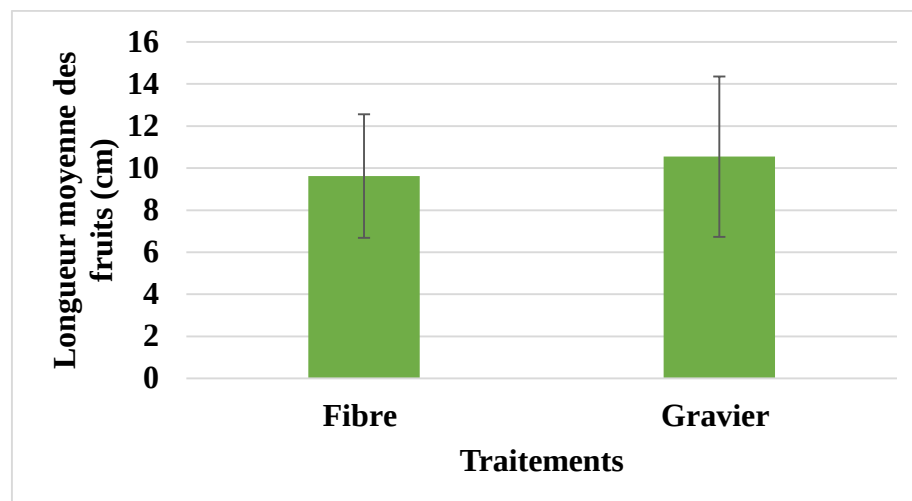


Figure 26: longueur moyenne des fruits à maturité (les barres représentent les écarts types)

1.3.3 Composante de rendement

Le tableau 4 présente le nombre total de fruits et leur poids selon les différents substrats utilisés. L'analyse des résultats obtenus, montre que le nombre de fruits récoltés sur le substrat fibre de coco et le gravier a varié respectivement 42 et 46 fruits pour une masse de 348 g et 577 g. La parche de café a enregistré le nombre de fruit le plus faible 4 pour des masses de 20 g. la production par plante a varié d'un substrat à l'autre avec 13,38 g/plant pour le substrat fibre de coco, de 23,08 g/plant sur le substrat gravier et à 2 g/plant sur le substrat parche de café.

Tableau 4: composante de rendement selon les substrats

Traitement	Nombre de fruits	Poids total de fruits (g)	Point moyen par plante (g)	Rendement pour un ha (T)
Fibre de coco	42	348	13,38	0,53
Gravier	46	577	23,08	0,92
Parche	4	20	2	0,08

2. Discussions

L'analyse des paramètres de croissance tels que le nombre de feuilles, la surface foliaire, le diamètre au collet et la hauteur des tiges a permis d'évaluer l'effet des substrats sur le développement du gombo en système hydroponique. Ces indicateurs morphologiques sont essentiels car ils permettent d'évaluer la performance du substrat. Tout au long de cet essai, il a été observé que les meilleures performances du gombo ont été obtenues avec les substrats fibre de coco et gravier. Les paramètres révèlent qu'il n'y pas de différences entre les paramètres évalués des plants présents sur la fibre de coco et le gravier. Cela pourrait être attribué à la propriété physique et chimique des différents substrats et à la méthode de fertilisation. La fibre de coco est principalement composée de lignine et de cellulose, ce qui lui confère une structure résistante à la dégradation et une bonne durabilité dans les systèmes de culture. Sa capacité de rétention d'eau est élevée (jusqu'à 8 à 10 fois son poids), tout en permettant un excellent drainage et une bonne aération des racines, ce qui favorise la croissance du végétale dans des environnements contrôlés (Kelly C. C. Carvalho *et al.*, 2010). Le gravier offre une excellente capacité de drainage grâce à sa porosité élevée et à la grande taille de ses particules, limitant ainsi les risques de saturation en eau et favorisant une oxygénation optimale des racines. Cette caractéristique est particulièrement bénéfique dans les systèmes hydroponiques où un excès d'humidité peut entraîner l'asphyxie racinaire (Howard M. Resh, 2012). Le résultat obtenu par Coulibaly *et al.* (2021), montre que Les plants cultivés sur le substrat fibres de coco ont eu une meilleure croissance en hauteur par rapport à ceux cultivés sur le compost de soja et les coques d'arachide rejoignant ainsi notre observation. Avec le substrat parche de café, les résultats ont été moins significatifs cela peut s'expliquer par plusieurs causes notamment la stérilisation du substrat et de degré de dégradation de la parche utilisés. En effet, les travaux réalisés par (Musau, J. M., *et al.*, 2020) ont démontré que les substrats riches en composés phénoliques comme la parche de café, peuvent provoquer des effets phytotoxiques, réduisant le potentiel germinatif et limitant l'émergence des plants. De plus, la capacité de rétention d'eau de la parche de café, bien que bénéfique, peut aussi entraîner une stagnation d'humidité si le substrat est mal drainé. L'étude menée par Nzengue *et al.* (2016) sur la parche de café à montrer des résultats contraires à ceux de notre essai. Cela peut s'expliquer par le fait que le traitement appliqué à la parche ont été différent. Dans leur essaie, la parche de café a été tamisée à 1cm. Après humidification, le substrat recueilli a été désinfecté par homogénéisation de 75 L de parche de café, suivant un gradient de désinfection au Metam Sodium (MS) à 380g.L-1. Le temps de fumigation était de 45 jours.

La période de floraison est l'une des étapes les plus importantes du développement du gombo et peut influencer le rendement final. De nombreux facteurs influencent ce paramètre, tels que les conditions environnementales, la composition et la nature du substrat, et les caractéristiques génétiques des variétés. Les résultats obtenus en ce qui concerne le délai de floraison indiquent que sur les substrats la fibre de coco et le gravier nous avons observé une floraison rapide, suivant le délai pour la variété Clemson qui est estimé à 58 Jours après le semis et qui s'est fait de manière progressive. Avec les substrats parche de café la floraison a été retardée et on révèle un faible taux de plants qui ont fleuri.

En ce qui concerne les paramètres morphométriques des fruits, il n'existe pas de différence entre les fruits récoltés quel que soit le substrat. Nos résultats rejoignent ceux de Serge Hamon et André Charrier (1995).

L'analyse des données révèle que la production des plantes nourries uniquement avec de l'eau de poisson, riche en azote (N), ont montré des productions par plante inférieure avec 0,53T/ha pour la fibre de coco, 0,92 T/ha pour le gravier, 0,08 T/ha pour la parche et 0,49 T/ha pour la terre. L'azote est vital pour la croissance végétative, stimulant la production de feuilles et de tiges (Fageria, N. K. & Baligar, V. C., 2008).

L'irrigation avec l'eau de poisson a montré des effets positifs sur la croissance des plantes, particulièrement en comparaison avec le témoin négatif (terre fertilisée avec l'eau de poisson uniquement). L'eau de poisson est une source riche en nutriments tels que les nitrates (NO_3^-), phosphates (PO_4^{3-}), et potassium (K^+), essentiels pour la croissance des plantes. Cependant, la concentration et la disponibilité de ces éléments peuvent varier en fonction du type de substrat utilisé (Resh, H. M, 2013). Les substrats comme la fibre de coco et le gravier, avec une meilleure capacité de rétention des nutriments, semblent avoir permis une utilisation plus efficace des éléments nutritifs présents dans l'eau de poisson.

L'eau issue de l'élevage de poisson chat est naturellement riche en nutriment. Cependant, la concentration et la disponibilité de ses nutriments peuvent ne pas répondre aux besoins spécifiques du gombo au cours de ses différentes phases de croissance. Notons en plus que La concentration en nitrates dans l'eau de poisson dépend de l'interaction entre les facteurs biologiques (excrétion, activité bactérienne), les pratiques d'aquaculture (nourrissage, gestion de l'eau), et les conditions environnementales (température, oxygène). Une gestion rigoureuse de ces paramètres est essentielle pour maintenir un équilibre entre la productivité aquacole et la qualité de l'eau (P. FOUCARD *et al.*, 2016).

Conclusion

L'étude mener sur la valorisation des eaux usées d'aquaculture pour la culture du gombo à montrer des performances variées selon les substrats teste. Les substrats à base de fibre de coco et de gravier irrigués à l'eau de poisson présentent des performances satisfaisantes en termes de croissance végétative et de rendement de fruits, grâce à leur structure qui permet une bonne aération et un drainage efficace, tout en retenant suffisamment d'humidité pour soutenir le développement des plantes. En revanche, le substrat à base de parche de café n'a pas donné de résultats satisfaisant, en raison d'une disponibilité limitée des nutriments ou d'une structure inadaptée à la croissance des racines.

Les analyse de l'eau d'aquaculture ont révélé des concentrations variables mais en quantité moyenne de NO_3 , PO_4 , K indiquant une richesse moyenne en éléments nutritifs de l'eau de poisson que nous avons utilisé. Néanmoins, elle a été essentielle à la croissance des plants.

En résumé, l'eau usée de poisson clarias peut constituer une source nutritive viable pour la production du gombo en culture hydroponique, notamment lorsqu'elle est combinée a des substrats comme la fibre de coco et le gravie. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour l'utilisation durable des ressources aquacoles dans l'agriculture réduisant ainsi l'impact environnemental des effluents et optimisant la production agricole.

Références bibliographiques

1. Al-Ghzawi, A.M, Zaitoun, S.T, Makadmeh, I.B.R.A.H.I.M, & Al-Tawaha, A. (2003). The impact of wild bee on the pollination of eight okra genotypes under semi- arid Mediterranean conditions. *Int. J. Agric. Biol*, 409-411.
2. ALMEIDA Arsène F. M, CHANGO Fakorédé, HOUENOU Hippolyte L. M, & IWA Léon. (2014). *Elevage de poisson-chat africain (Clarias gariepinus) en bacs hors sol*. Agence Japonaise de Coopération Internationale.
3. Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 105-121.
4. Banque mondiale. (2024). *Gabon- vue d'ensemble*.
5. Bottraud, J.C. (1980). *Relations entre la composition micromorphologique des tourbes et leurs comportements hydrique, mécanique et physicochimique* (p. 52).
6. Charrier, A. (1983). *Etude des ressources génétiques du genre Abelmoschus Med. (Gombo)*.
7. Chevalier, A. (1932). Les productions végétales du Sahara et de ses confins Nord et Sud. Passé-présent-avenir. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 669-924.
8. Chevalier, A. (1940). *L'origine, la culture et les usages de cinq Hibiscus de la section Abelmoschus*. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*.
9. Ekra, K. A. (2010). *Etude comparée de l'efficacité des extraits aqueux de graines de neem (Azadirachta indica Juss) et de feuilles d'eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis) dans la lutte contre les insectes du gombo (Abelmoschus esculentus L)*. (p. 52).
10. El Hociene, M. (2021). *Etude d'Oxycarenus hyalinipennis ravageur de Gombo (Systémique, Ecologie et méthodes de lutte)*. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/19074/1/Mansour_El_Hociene.pdf
11. Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2008). Enhancing nutrient use efficiency in crop plants. *CRC Press*.
12. FAO. (2019). *Cadre de programmation par pays : Gabon. Libreville*.

13. 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.*
14. Géoffroy, E. O., Cloud, H. L., & Bienvenu, G. A. (2019). Synthèse bibliographique sur des paramètres biologiques et zootechniques du poisson-chat Africain *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. *European Scientific Journal*, 15(27), 54-88.
15. Hamon, S. (1987). *Organisation évolutive du genre Abelmoschus (gombo) : Co-adaptation et évolution de deux espèces de gombo cultivées en Afrique de l'Ouest (A. esculentus et A.caillei).*
16. Hamon, S. (1988). *Organisation évolutive du genre Abelmoschus (gombo) : Co-adaptation et évolution de deux espèces de gombo cultivées en Afrique de l'Ouest (A. esculentus et A.caillei).*
17. Hamon, S, & Koechlin, J. (1991). *The reproductive biology of okra. 1. Study of the breeding system in four Abelmoschus species.* Euphytica.
18. Hanna instruments France. (2001). *CULTURES HYDROPONIQUE & HORTICOLES 4e Edition.*
19. Hort Americas Canada. (2018). *GUIDE DES SUBSTRATS ET DE ZONE RACINAIRE.* 6-7.
20. Howard M. Resh. (2012). *Hydroponic Food Production : A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower.*
21. Jiro, H, Sawadogo, M, & Millogo, J. (2011). Caractérisations agromorphologique et anatomique du gombo du Yatenga et leur lien avec la nomenclature locale des variétés. *Sciences & Nature*, 23-36.
22. Jorge C. (2013). *Culture en intérieur—La bible du jardinage indoor.* Mama Editions, 1 rue Pétion, 75011 Paris (France).
23. Kelly C. C. Carvalho, Daniella R. Mulinari, Herman J. C. Voorwald, & Maria O. H. Cioffi. (2010). *Chemical modification effect on the mechanical propertie of HIPS/ coconut fiber composites.*

24. Khedidja, D. A. H. L. I. (2019). *En vue de l'obtention du DOCTORAT EN SCIENCES BIOLOGIQUES* [Doctoral dissertation].
25. Kholkhal Kheira, & Boukli Hacene Imene Fatima Zohra. (2021). *Toxicité aiguë et subaiguë de la parche de café : Revue scientifique*.
26. Lemmens, L, Louppe, D, & Oteng-Amoako, A. A. (2012). *Ressources végétales de l'Afrique tropicale*. Fondation PROTA, Wageningen, The Netherlands.
27. Leterne P. (2003). Détermination de la matière sèche et de la composition chimique des plantes fourragères. *Revue de Zootechnie Tropical*, 21(3), 145-153.
28. Mehdaoui, N. (2022). *L'Agriculture Hydroponique pour La Sécurité Alimentaire Future*.
29. Messiaen, C. M, Blancard, D, & Rouxel, F. (1991). Les maladies des plantes maraîchères. *Editions Quae*.
30. Micha, J.C. (1973). *Etude des populations piscicoles de la region du moyen Niger (Mali) et d'une tentative d'amélioration de leur rendement par des repeuplements en poissons sarotherodons et clarias*. Annales de la faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa.
31. Moench, C. (1794). *Methodus plantarum hortibotanicarum Marburgensis : A stadium situ describendi*. Nova Libreria Academiae, Vol. 1.
32. Morard. (1995). *Les cultures végétales hors sol*. Lavoisier.
33. Morel, P, Rivière, LM, & Poncet, L. (2000). *Les supports de culture horticoles*. Éditions Quae.
34. Moyin-Jesu, E. I. (2007). Use of plant residues for improving soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L.). *Bioresource technology*, 2057-2064.
35. Musau, J. M., Nyamai, D. O., & Mwangi, F. W. (2020). *Effect of Organic Waste Substrates on Germination and Seedling Development in Horticultural Crops*. Journal of Sustainable Agriculture.
36. Naville, E, & H. R. Hall. (1913). *Le temple de la Xle dynastie à Deir el-Bahari*.

37. Ondo, J. A. (2011). *Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : Acidification et mobilité des éléments métalliques.*
38. P. FOUCARD, A. TOCQUEVILLE, M. GAUMÉ, C. LEJOLIVET, C. LEJOLIVET, B. DARFEUILLE, & JF. BAROILLER. (2016). *Premières expérimentations d'aquaponie associant aquaculture et horticulture.*
39. Peyronnet, C, & Quillien, L. (2009). *Qualité des semences : Principes et enjeux.*
40. Radford, P. J. (1967). Growth analysis formulae—Their use and abuse. *Crop Science*, 171-175.
41. Rafiee, G., Saad, C. R., Kamarudin, M. S., Ismail, M. R., & Sijam, K. (2020). Feed-nutrients uptake rates of different weight groups of red tilapia (*Oreochromis* sp.) in a recirculating aquaculture system. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(5), 337-343.
42. Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production : A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower.* CRC Press.
43. Şafak, Y. (2023). *Tunisie / Culture hydroponique : Repenser l'agriculture pour une production durable | Afrique* [Text]. Yeni Şafak; Yeni Şafak.
44. Savvas, D., & Gruda, N. (20018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293.
45. Sawadogo, M, Zombre, G, & Balma, D. (2006). *Expression de différents écotypes de gombo (Abelmoschus esculentus L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison.* BASE.
46. Sigg, J. (1991). *Les produits de terre cuite : Matières premières, fabrication, caractéristiques, applications.* Faïences et grès. Septima.
47. Texier, W. (2015). *L'Hydroponie pour tous—Les dix clés de l'horticulture.* Mini édition Broché.
48. Titouna, D. (2011). *Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux : Cas de la laine de roche floriculture et expert* [Doctoral dissertation].

49. Valérie. (2015). *Rrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée* (p. 67) [Mémoire Maîtres sciences (M. Sc.)].