



REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Année Académique :

2021-2022

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER BIORESSOURCES – AGRONOMIE

Option : Amélioration des Ressources Agricoles

Présenté par

BEUGRE Céleste Esther

Numéro d'ordre :

091/2022

Thème :

Effet de l'*Azolla filiculoides*, du NPK et de la bouse de vache sur les paramètres agro morphologiques du moringa (*Moringa oleifera*) à Daloa (Côte d'Ivoire)

Date : 30/09/2022

JURY

Mme TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, **Président du jury**

M. GROGA Noël, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, **Directeur scientifique**

Mme KOFFI Ahébé Marie Hélène, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, **Encadrante**

M. YAO Kouakou Abessika Georges, Maître-Assistant, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, **Examinateur**

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Mon père BEUGRE Bogui Aimé Richard et a tous ceux qui m'ont soutenu,

Merci pour le soutien moral et financier que vous m'avez porté tout au long de mes études.

Merci pour votre présence et vos précieux conseils. Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans la contribution de plusieurs personnes que nous voudrions remercier ici.

Nous remercions la gouvernance de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) incarnée par madame TIDOU Abiba Sanogo épouse KONÉ, Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, de nous avoir permis de faire notre formation dans l'institution qu'elle dirige.

Nos remerciements sont adressés à monsieur KONÉ Tidiani, Professeur Titulaire, Vice-président chargé de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé, à qui nous témoignons notre grande reconnaissance pour sa disponibilité au plan académique.

A monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire, Vice-président chargé de la planification et des relations extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous témoignons notre profonde gratitude pour son implication à la formation des étudiants.

A madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, Directrice de l'UFR Agroforesterie et Présidente du jury, nous adressons nos sincères remerciements, pour avoir autorisé notre inscription en Master de Bioressources-Agronomie et pour avoir accepté de présider notre soutenance.

A monsieur SOUMAHIN Éric Francis, Responsable du Parcours Bioressources-Agronomie, merci de nous avoir suivi tout au long de notre formation.

A monsieur GROGA Noël, Maître de Conférences et Directeur Scientifique, merci énormément d'avoir accepté de diriger ce travail en dépit de votre temps chargé. Vos observations, orientations et conseils nous ont permis de conduire ce stage à terme. Recevez ici, l'expression de notre profonde gratitude.

A madame KOFFI Ahébé Marie Hélène, Maître de Conférences, merci pour l'encadrement de ce travail. Nous lui exprimons toute notre gratitude pour sa disponibilité, ses critiques pertinentes, ses conseils, son aide morale et surtout pour l'expérience enrichissante que nous avons vécue à ses côtés. Qu'elle trouve ici, l'expression de notre profonde considération pour sa rigueur scientifique.

A monsieur YAO Kouakou Abessika Georges, Maître-Assistant et examinateur, merci pour le temps consacré à la correction de ce mémoire et pour toutes les remarques enrichissantes qui nous suivront jusqu'à la fin de notre vie. Obtenez ici, l'expression de notre profond respect.

Nous sommes également reconnaissants à nos devanciers et aînés. A l'ensemble des étudiants du Groupe de Recherche Interdisciplinaire d'Amélioration et de Valorisation Agricole (GRIAVA), en particulier TRAORE Messamé Moussa, KOUAKOU Atto Delphin, ADOU Kouamé, OGOU Sacha, OCREN Dominique, DODO Kouadio et COULIBALY Assita, pour leurs conseils avisés et leur aide dans la réalisation de ce travail.

A tous les amis étudiants qui constituent notre seconde famille à Daloa, nous adressons notre profonde gratitude. Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué de diverses manières à la réalisation de ce travail et qui n'ont pu être cités dans ce mémoire, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	3
1.1. Généralités sur <i>Moringa oleifera</i>	3
1.1.1. Origine et description botanique	3
1.1.2. Position systématique	4
1.1.3. Ecologie du <i>Moringa oleifera</i>	4
1.1.4. Maladies et ravageurs	4
1.1.5. Importance alimentaire	5
1.2. Généralités sur <i>Azolla filiculoides</i>	5
1.2.1. Origine et description botanique	5
1.2.2. Position systématique	6
1.2.3. Reproduction et cycle de vie	7
1.2.4. Ecologie et importance d' <i>Azolla filiculoides</i>	8
1.2.5. Importance de la symbiose <i>Anabaena azollae</i> - <i>Azolla filiculoides</i>	9
1.3. Bouse de vache	10
1.3.1. Caractéristique générale de la bouse de vache	10
1.3.2. Eléments chimiques contenus dans la bouse de vache	10
1.3.3. Effet de la bouse de vache sur le sol	10
1.4. Engrais NPK	11
1.4.1. Origine du NPK	11
1.4.2. Rôle des composants	11
1.4.3. Proportion du NPK	11
1.4.4. Limites du NPK	12
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	13
2.1. Matériel	13

2.1.1. Matériel végétal	13
2.1.2. Matériels techniques	13
2.1.3. Matériel fertilisant	14
2.2. Méthodes	14
2.2.1. Présentation de la zone d'étude	14
2.2.1.1. Situation géographique	14
2.2.1.2. Climat	15
2.2.1.3. Sol et végétation	16
2.2.1.4. Hydrographie	16
2.2.1.5. Géomorphologie	16
2.2.1.6. Population et ses activités	17
2.2.2. Dispositif expérimental	17
2.2.3. Itinéraire technique	18
2.2.3.1. Levée de dormance	18
2.2.3.2. Préparation du terrain	18
2.2.3.3. Fertilisation	19
2.2.3.4. Mise en place de la culture	19
2.2.3.5. Entretien et protection	19
2.2.3.6. Irrigation	19
2.2.4. Collecte des données	19
2.2.5. Observation et temps de mesures	20
2.2.6. Analyse des données	20
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	21
3.1. Résultats	21
3.1.1. Variation du diamètre au collet en fonction des traitements	21
3.1.2. Variation de la hauteur des feuilles en fonction des traitements	21
3.1.3. Variation de la longueur des feuilles en fonction des traitements	22
3.1.4. Variation de la largeur des feuilles en fonction des traitements	23
3.1.5. Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements	23
3.2. Discussion	25
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	27
REFERENCES	28

LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

%	:	Pourcentage
ANADER	:	Agence National d'appui au Développement Rural
ANOVA	:	Analyse de variance
AZ	:	Azolla
B	:	Bouse de vache
C	:	Celsius
Cm	:	Centimètre
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et de l'agriculture
g	:	Gramme
ha	:	Hectare
INS	:	Institut National du Patrimoine Naturel
Kg	:	Kilogramme
Km	:	Kilomètre
L	:	Litre
M	:	Mètre
M ²	:	Mètre carré
Mg	:	Milligramme
Mm	:	Millimètre
NPK	:	Azote Phosphore Potassium (engrais minéral)
P	:	Probabilité
T	:	Tonne
Te	:	Témoin
UJLoG	:	Université Jean Lorougnon Guédé

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Conditions environnementales de <i>Moringa oleifera</i> L.	4
Tableau II : Valeurs moyennes du diamètre au collet en fonction des traitements	21
Tableau III : Valeurs moyennes de la hauteur des feuilles en fonction des traitements	22
Tableau IV : Valeurs moyennes de la longueur des feuilles en fonction des traitements	22
Tableau V : Valeurs moyennes de la largeur des feuilles en fonction des traitements	23
Tableau VI : Valeurs moyennes du nombre de feuilles en fonction des traitements	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Plants d'azolla	6
Figure 2 : Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'azolla (Bikela, 2007)	8
Figure 3 : Graines de Moringa oleifera	13
Figure 4 : Quelques matériels utilisés	14
Figure 5 : Localisation du site d'étude	15
Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la localité de Daloa de 1991 à 2020	16
Figure 7 : Dispositif expérimental	18

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les végétaux supérieurs ont la capacité de synthétiser, par des voies métaboliques complexes des métabolites dits secondaires. Ces composés sont utilisés par les plantes pour diverses fonctions adaptatives notamment en réponse aux stress biotiques et abiotiques qu'elles peuvent subir. C'est ainsi que les plantes renfermant ces métabolites sont utilisées dans divers domaines thérapeutiques, pharmaceutiques, cosmétologiques et alimentaires (Thomas, 2011).

De par leur richesse en composés antioxydants naturels comme les flavonoïdes et les vitamines, les feuilles de *Moringa oleifera* L. sont utilisées en tant que plante médicinale et nutritionnelle (Vongsak *et al.*, 2013).

En effet, *Moringa oleifera* de son nom vernaculaire le « moringa » est une angiosperme originaire du Nord-Ouest de l'Himalaya en Inde qui aujourd'hui suscite un intérêt international grandissant. Ses propriétés et usages sont multiples. Il est appelé « arbre miracle » en Inde où on lui attribue de nombreuses vertus. La médecine traditionnelle indienne, l'Âyurveda, assure aussi que les feuilles de moringa peuvent prévenir 300 maladies (Olson & Carlquist, 2001).

La recherche scientifique s'intéresse de plus en plus à cette plante pendant que des organisations non gouvernementales nationales et internationales s'occupent minutieusement de sa diffusion et sa vulgarisation en milieu rural (Oumarou *et al.*, 2012).

En effet, il a été prouvé par Foidl *et al.* (2001) que pratiquement toutes les parties de *Moringa oleifera* sont utilisées en fonction de leur teneur en huile, en polypeptides et en facteurs de croissance. Le *Moringa oleifera* est déjà très connu dans de nombreux pays d'Afrique où les populations l'utilisent pour lutter contre la malnutrition infantile ou pour la purification biologique de l'eau.

Cette spéculation est cependant sujette à d'importantes contraintes parasitaires et l'attaque des ravageurs qui compromettent son développement (Yusuf & Yusif, 2014).

Vue ses aspects, il en ressort une question fondamentale qui est celle de savoir comment augmenter la production du moringa tout en améliorant la fertilité des sols agricoles ivoiriens.

Cette plante présente un intérêt certain pour ses producteurs au niveau nutritionnelle, industrielle et donc économique c'est la raison pour laquelle, elle fait l'objet de nombreuses recherches.

Afin de limiter les risques économiques, environnementaux et sociaux liée à l'utilisation d'engrais minéraux et chimiques, l'agriculteur doit viser les engrais organiques

qui pourront s'avérer moins coûteux et bénéfiques pour l'environnement. Ils sont une source importante d'éléments nutritifs et peuvent être utilisées pour élever la productivité des sols pauvres en nutriments majeurs (Groga *et al.*, 2018).

La piste de recherche est orientée vers les biofertilisants tels que le compost, la bouse de vache et les plantes fertilisantes comme azolla. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'effet de l'*Azolla filiculoides*, de la bouse de vache et du NPK sur la croissance de moringa (*Moringa oleifera*) afin de mieux orienter les agriculteurs dans leur choix. Il s'agit spécifiquement de :

- Connaitre l'effet des différents fertilisants sur la croissance de moringa ;
- Evaluer la période d'agissement de ces fertilisants pour la production à grande échelle de cette culture.

Ce présent travail comporte outre l'introduction, une première partie consacrée à la revue bibliographique, une seconde partie présentant le matériel et les méthodes utilisées pour réaliser ce travail, puis la troisième partie rend compte des résultats obtenus qui seront par la suite discutés. Cette dernière partie est suivie de la conclusion et des perspectives relatives aux recherches futures et des références qui met fin à ce manuscrit.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

1.1. Généralités sur *Moringa oleifera*

1.1.1. Origine et description botanique

Moringa oleifera Lam est une espèce originaire des régions d'Agra et d'Oudh, au Nord-Est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya, mais elle est cultivée aujourd'hui dans toutes les régions tropicales et subtropicales du monde. Son introduction en Afrique de l'Est a eu lieu au début du XXe siècle par le biais du commerce et des échanges maritimes. Cette espèce peut se rencontrer sur trois continents et dans plus de cinquante pays tropicaux et subtropicaux (Afrique, Arabie Saoudite, Sud-est asiatique, Iles du pacifique, Amérique du sud). Dans ces pays, elle est utilisée comme plante médicinale et alimentaire (Rajangam *et al.*, 2001).

Moringa oleifera est une plante qui a l'aspect d'un arbuste dont la hauteur peut atteindre 4 à 5m. Le diamètre du tronc varie entre 20 et 40 cm. Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il se ramifie lorsque la hauteur atteint 1,5 à 2 m. Les branches poussent de manière désorganisée et la canopée est en forme de parasol. Le bois moringa est mou, très tendre et souvent attaqué par les termites. Il donne un très mauvais charbon (Foidl *et al.*, 2001).

Les feuilles sont caduques, duveteuses, recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, et se développent principalement dans la partie terminale des branches, ont un long pétiole mesurant 20 à 70 cm de long, comptent 2 à 6 paires de pinnules comprenant chacune 2 à 5 paires de pinnules secondaires, divisées elles-mêmes en 1 à 2 paires de folioles opposées plus une foliole terminale à l'apex plus grande que les autres, de forme ronde ou ovale de 1 à 2 cm de long (Ijarotomi *et al.*, 2013).

L'inflorescence est en panicule axillaire et tombante de 10 à 25 cm, aux fleurs irrégulières mesurent 2,5 cm de large. Ces dernières sont de couleur blanche tirant sur le crème, avec des points jaunes à la base, délicatement parfumées, se composent de 5 sépales sont symétriques et lancéolés, 5 pétales inégaux, sont minces et spatulés, symétriques à l'exception du pétale inférieur qui, et entourent, 5 étamines et 5 staminodes. L'ovaire a une seule loge. (Hêdji *et al.*, 2014).

Les fruits forment des gousses allongées à trois lobes, déhiscentes et mesurant 20 à 60 cm de long et de 2 cm de diamètre, ses côtés forment un triangle, la capsule a une extrémité aiguë, une surface bosselée qui pendent des branches. Les gousses sont situées au sommet des branches. Les fruits (gousses) sont initialement vert clair, minces et tendres, devenant finalement marron et ferme. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties, en libérant 12 à 35 graines de forme ronde. Un arbre peut produire 15 000 à 25 000 graines par an. (Yusoff, 2016).

1.1.2. Position systématique

La systématique de *Moringa oleifera* selon Laleye *et al* (2015) est la suivante :

Règne	:	Plantae
Sous-règne	:	Tracheobiophyta
Division	:	Magnoliophyta
Classe	:	Mangoliopsida
Sous-classe	:	Dilleniidae
Ordre	:	Moringaceae
Famille	:	Capparales
Genre	:	<i>Moringa</i>
Espèce	:	<i>Moringa oleifera</i>

1.1.3. Ecologie du *Moringa oleifera*

Moringa oleifera L. est une plante qui s'adapte à des milieux différents. Cependant, certaines conditions du milieu favorisent son épanouissement (Tableau I).

Tableau I : Conditions environnementales de *Moringa oleifera* L. (De Saint Sauveur & Broin, 2010).

Paramètres	Valeur /Fourchette
Climat	Tropical ou subtropical
Altitude	0-2000 m
Température	25-35°C
Pluviométrie	250mm-2000mm
	Irrigation nécessaire pour la production des feuilles si pluviométrie < 500mm
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux
pH de sol	5 - 9

1.1.4. Maladies et ravageurs

Les sauterelles, criquets, chenilles et les termites constituent les principaux ravageurs. Ces insectes mordent et mangent des parties de la plante entraînant de ce fait la destruction des feuilles, bourgeons, fleurs, pousses, fruits ou graines ainsi que l'interruption du flux de sève. Ces attaques sont surtout fréquentes en début de saison sèche lorsque les organes verts et tendres sont rares. La meilleure solution est de couper les arbres pour ne laisser aucune partie verte. En plus de cette méthode, il existe des moyens de lutte biologique pour contrôler ces

insectes. La lutte biologique peut se faire par application de tourteaux de graines de *Azadirachta indica* (neem) dans le sol, de feuilles de *Ricinus cummunis* (ricin), d'écorces de *Khaya anotheca* (acajou), de feuilles de *Mefia azedarach* à la base du tronc, de tas de cendres à la base des plantes et par la fabrication de pièges à termites avec des canaris remplis de paille humide, de terre et autres déchets végétaux. Parmi les maladies, les mêmes auteurs soutiennent que les maladies fongiques sont de loin les plus sérieuses dans la culture du moringa. Des taches sombres peuvent apparaître sur les feuilles et finir par les couvrir entièrement, ce qui cause le jaunissement de la feuille et sa mort. Ceci est provoqué par les champignons *Cercospora* spp et *Septoria lycopersici*. L'alternariose serait également courante, elle se présente sous forme de taches angulaires brunes noires avec des cercles concentriques, soit par des lésions noires ou brunes sur les branches. L'agent pathogène est *Alternaria solani*, les produits efficaces contre cet agent sont à base de mancozèbe ou de manèbe. Tout comme les insectes nuisibles, les extraits de feuilles, de graines de neem ou dans tous les cas les préparations contenant de l'Azadirachtine peuvent également être utilisés pour contrôler les attaques fongiques (De Saint Sauveur & Broin, 2010).

1.1.5. Importance alimentaire

Les feuilles peuvent se consommer fraîches ou en poudre et même associées aux épices comme le piment. Elles peuvent également être préparées en soupe ou en salade. Les jeunes gousses vertes peuvent être consommées bouillies comme des haricots. Les graines sèches peuvent être réduites en poudre et utilisées pour assaisonner les sauces tandis que la poudre des racines de jeunes plants peut servir à relever l'assaisonnement. Les fleurs peuvent également être utilisées comme ingrédient d'une salade (Foidl *et al.*, 2001).

1.2. Généralités sur *Azolla filiculoïdes*

1.2.1. Origine et description botanique

Azolla filiculoïdes Lam. est une fougère aquatique native d'Amérique subtropicale et tempérée. Elle peut être observée dans les eaux tranquilles, les étangs, les fossés, les canaux et les rizières où elle cohabite avec d'autres espèces de plantes aquatiques. *A. filiculoïdes* est une hétérospore flottante non enracinée de 2,5 cm en moyenne (Hussner, 2010).

La tige est fine et fortement ramifiée ; elle porte des racines adventives se formant à intervalles réguliers sur celle-ci. La tige porte également des rameaux alternes.

Les racines adventives sont longues de 1 à 3 cm et couvertes de poils absorbants disposés en touffes.

Les rameaux portent des feuilles bilobées très étroitement imbriquées. Les feuilles sont en formes d'écailles de moins d'un demi-millimètre de long et bordées d'une large bande membraneuse ; elles sont disposées de façon alternée et se superposent en couvrant la tige. Chaque feuille est bilobée : un lobe dorsal chlorophyllien qui contient dans une cavité le microorganisme fixateur d'azote et un lobe ventral qui assure la flottaison de la fronde.

La fronde d'*A. filiculoides* est de couleur verte à rougeâtre selon les conditions du milieu. Elle présente un aspect triangulaire. Dans les conditions optimales, la plante se développe rapidement pour former un épais tapis sur la couche d'eau (Carrapiço *et al.*, 2000).



Figure 1: Plants d'azolla

1.2.2. Position systématique

Le genre azolla a été établi en 1783 par Lamarck (Carrapiço *et al.*, 2000). Il appartient à la division des Ptéridophytes, ordre des Salviniales, familles des Azollaceae. Le genre est subdivisé en deux sous-genres : *Euazolla* et *Rhizosperma*. Le sous-genre *Euazolla* est caractérisé par la présence de trois flotteurs dans le mégasporocarpe et des glochidies en forme de flèche ; et celui de *Rhizosperma* en a neuf et ne présente aucune glochidies. *Euazolla* comporte cinq espèces que sont : *A. caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*, *A. microphylla* et *A. rubra* (Raja *et al.*, 2012) ; tandis que *Rhizosperma* abrite trois espèces que sont : *A. pinnata*, *A. imbricata* et *A. nilotica* (Kannaiyan & Kumar, 2006).

La position systématique de l'*Azolla filiculoides* retenue dans ce travail est celle de Bikela (2007). Elle se présente comme suit.

Règne	: Végétal
Sous-règne	: Trachéobionte
Embranchement	: Ptéridophytes
Classe	: Filicophyte
Ordre	: Salviniales
Genre	: <i>Azolla</i>
Espèce	: <i>Azolla filiculoides</i>

1.2.3. Reproduction et cycle de vie

Il existe deux modes de reproduction d'azolla. Le premier est la reproduction sexuée qui se produit seulement lorsque les conditions environnementales sont défavorables pour la propagation végétative. Pendant la reproduction sexuée le sporocarpe mâle (microsporocarpe) et le sporocarpe femelle (mégasporocarpe) se forment sur la face inférieure des feuilles. Le microsporocarpe et le macrosporocarpe produisent respectivement des microspores et des macrospores après plusieurs divisions successives. Le deuxième est la reproduction végétative se produit généralement par fragmentation végétative des rameaux. Les ramifications les plus âgées se détachent lorsqu'azolla atteint environ 1 à 2 cm de diamètre et donnent naissance à des frondes isolées plus petites (Rahagarison, 2005).

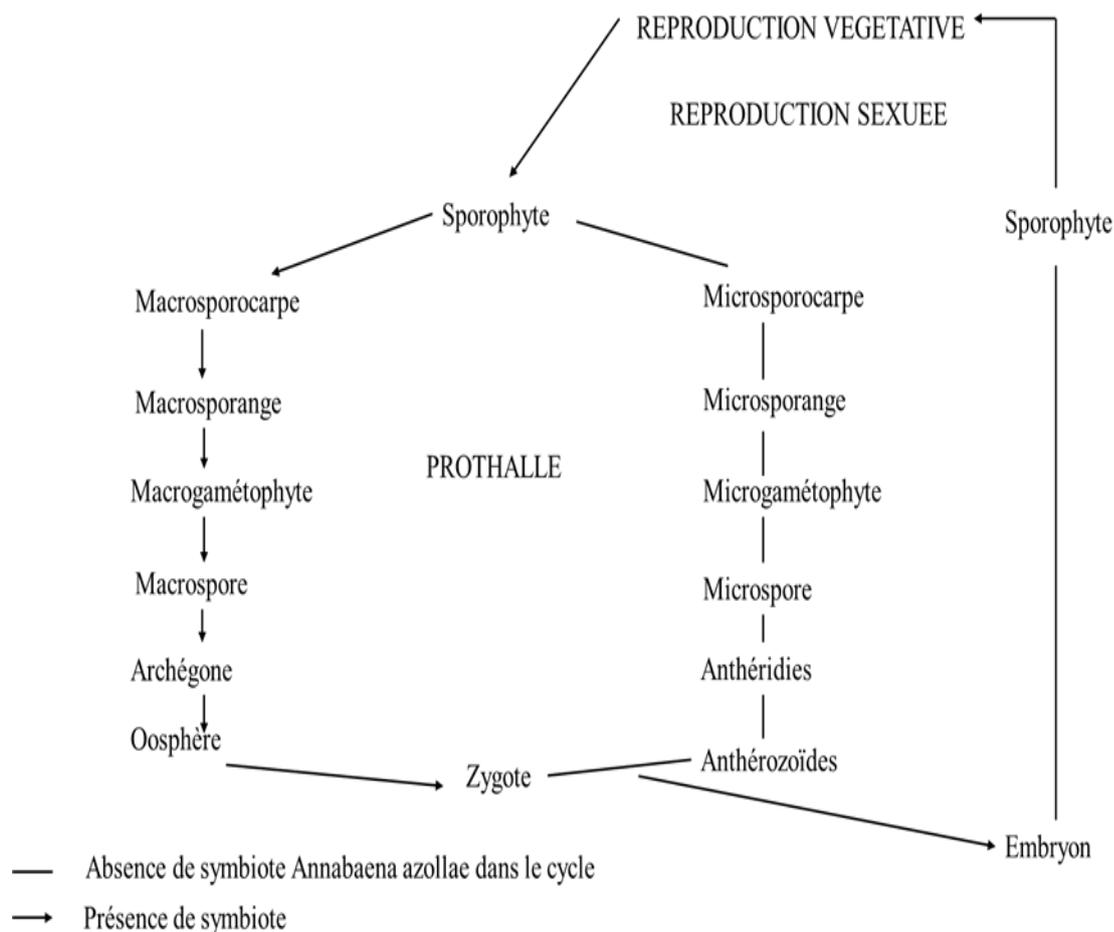


Figure 2 : Schéma de la reproduction sexuée et végétative d'azolla (Bikela, 2007)

1.2.4. Ecologie et importance d'*Azolla filiculoides*

Azolla est une plante d'eau douce fragile qui exige un certain nombre de facteurs pour vivre, pour se développer et pour croître. Parmi ces facteurs il faut citer : l'eau, la température et la lumière. *Azolla* est une plante aquatique qui ne résiste pas à un taux d'humidité inférieur à 60 %, elle est très sensible à la sécheresse et meurt en quelques heures si le sol s'assèche. La nutrition minérale d'*azolla* est favorisée par une couche d'eau n'excédant pas 5 à 10 cm, puisque les racines sont proches du sol. Elle ne supporte qu'un certain degré de salinité, allant de 0,05 à 0,1 %. Cette dernière s'adapte à des conditions climatiques extrêmement variées et elle peut survivre entre 15 et 40 °C. Pour l'intensité lumineuse en conditions thermiques optimales, la saturation est atteinte à environ 50 % de l'intensité maximale. La croissance reste cependant bonne même aux intensités lumineuses maximales. *Azolla* est particulièrement tolérant en ce qui concerne le pH du milieu. Il survit dans une gamme allant de pH 3,5 à 10 et sa croissance est pratiquement identique de pH 4,5 à 7. L'avantage d'*Azolla filiculoides* se situe à plusieurs niveaux (Costa *et al.*, 2009).

Au niveau environnemental et économique, azolla peut être utilisée pour décontaminer des plans d'eau car elle a la capacité d'absorber certains éléments polluants, dont des métaux lourds. Cette espèce a fait l'objet de travaux pour la production de biogaz. Elle peut être utilisée pour nourrir les animaux d'élevage dont les canards, les poules, les porcs et les poissons, entre autres, car elle contient 25 à 30 % de protéines. Etant fixatrice d'azote grâce à sa symbiose, *Azolla filiculoides* est utilisée comme engrais vert dans les rizières de nombreux pays tel que la Côte d'Ivoire, permettant aussi de contrôler la prolifération des adventices, de limiter les pertes d'eau par évaporation et d'améliorer la structure du sol (Ooreka, 2016).

Au niveau socio-culturel, patrimonial et environnemental, azolla est utilisée pour l'alimentation humaine. Elle est traditionnellement utilisée à Madagascar comme dépurative contre les hémorroïdes et pour faciliter l'expulsion du placenta lors de l'accouchement. *Azolla filiculoides* est utilisée dans certains pays pour contrôler les populations de moustiques, en entrant en compétition avec les larves de ces derniers (Rahagarison, 2005).

1.2.5. Importance de la symbiose *Anabaena azollae*-*Azolla filiculoides*

C'est une cyanobactérie qui se présente sous forme de filaments non ramifiés, constitués de deux types de cellules. La première forme des cellules végétatives plus nombreuses et plus petites, le deuxième constitué des hétérocystes. Ces dernières sont les sièges de la fixation de l'azote atmosphérique.

Le développement d'*Anabaena azollae* est synchrone avec celui d'azolla lors de la formation de la cavité de la feuille. Au départ, les filaments d'anabaena générateurs de la colonie dans le méristème apical de la fougère, sont formés uniquement de cellules végétatives. Lorsque le développement de la cavité foliaire commence, les hétérocystes commencent aussi à se différencier des cellules végétatives. Les deux types de cellules d'anabaena communiquent entre eux par l'intermédiaire d'un pore. La symbiose hôte-bactérie permet des échanges mutuels entre les deux partenaires. Ces échanges entre hôte et endophyte, se font grâce à aux poils pluricellulaires provenant des cellules épidermiques qui bordent la cavité foliaire d'azolla ou loge annabaena (Ooreka, 2016).

La position systématique d'*Anabaena azollae* selon Bikela (2007) est la suivante :

Règne	: Végétal
Embranchement	: Cyanophycophytes
Classe	: Cyanophyce
Ordre	: Nostocale
Genre	: <i>Anabaena</i>
Espèce	: <i>Anabaena azollae</i>

1.3. Bouse de vache

1.3.1. Caractéristique générale de la bouse de vache

La bouse est le résultat de la non digestion de certains composés fourragés. La vache en tant qu'herbivore donc consommateur primaire, ingère une certaine quantité de végétaux qui subissent, au niveau de sa panse une action microbienne intense et au niveau de sa caillette une action chimique importante. Cependant, certaines substances, résistent à ces attaques microbiennes, enzymatiques et chimiques tout au long de leur passage dans le tube digestif et sont libérées dans le milieu extérieur au moment de la défécation sous une forme hydratée nommée communément chez les ruminants bovidés « bouse ». La bouse représente donc une restitution au pâturage d'une partie du fourrage ingéré. De par le nombre journalier de défécation ainsi que la masse de bouse émise sans oublier la composition physico-chimique de ces restitutions, la bouse représente une non négligeable ressource organique et minérale pour le sol (Christophe, 2016).

1.3.2. Eléments chimiques contenus dans la bouse de vache

Les différents éléments excrétés à travers les fèces sont principalement les phosphates, le calcium et le magnésium sans oublier l'azote alors que les excréta liquides en revanche drainent, potasse, sodium ainsi qu'une forte proportion de l'azote restitué (Christophe, 2016).

1.3.3. Effet de la bouse de vache sur le sol

Sous l'action des fèces, le pH a tendance à augmenter permettant ainsi la libération d'éléments fixés à pH faible (notamment les phosphates). Par ailleurs, les fèces apportent un gain en azote total (essentiellement sous forme organique) estimé à 1,9 g pour 100 grammes de matière sèche dont une significative proportion est contenue dans les cellules microbiennes. Cet azote reste dans le sol beaucoup plus longtemps que l'azote urinaire ; présent sous forme organique, il est moins rapidement assimilable mais offre moins de prise au lessivage. Les bouses restituent près de 99 % du calcium total soit environ 3,9 g pour 100 grammes de matière sèche permettant un enrichissement en calcium échangeable de l'ordre de 10 % dans les premiers centimètres du sol. La rémanence de cet élément dans le sol serait voisine de 20 à

30 mois selon les auteurs. En ce qui concerne les propriétés physiques du sol, il faut noter une diminution de la densité du sol sous-jacent par la création de galeries et le mouvement de la faune attirée par l'excrément. Elle augmente le pouvoir de rétention de l'eau et la capacité de d'infiltration du sol. Ces différents apports au sol fournis par le dépôt des bouses, ont donc, de par leur importance tant qualitative que quantitative en bioéléments, des conséquences sur la productivité et le rendement des sols (Christophe, 2016).

1.4. Engrais NPK

1.4.1. Origine du NPK

Les engrais NPK représentent une formule classique de fertilisant qui correspond à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent, à savoir azote, phosphore, potassium. Wilhelm KNOP, chimiste agricole allemand, a déterminé, en 1861, les besoins nutritifs précis des plantes vertes nécessaires à leur croissance. Il s'agissait de 4 éléments correspondant aux lettres de son patronyme : K (potassium) ; N (azote) ; O (oxygène) ; P (phosphore). Hormis l'oxygène, les 3 autres composants sont devenus la base des engrais chimiques sous forme de sels solubles directement assimilables, permettant d'obtenir de gros rendements mais avec des risques importants de lessivage vers les nappes phréatiques et les cours d'eau (ANADER, 2015).

1.4.2. Rôle des composants

L'azote (N) favorise surtout la pousse des parties vertes de la plante (tiges et feuilles), et leur précocité et leur développement. Le phosphore (P) joue sur la formation des fleurs et des graines et sur le développement racinaire. Il renforce la résistance naturelle des plantes aux agressions. Le potassium (K) permet la floraison et le développement des fruits et de tous les organes de réserve tels que les racines et les tubercules. La coloration des fleurs et des fruits est améliorée ainsi que la résistance aux maladies (ANADER, 2015).

1.4.3. Proportion du NPK

Tous les engrais du commerce vendus pour le potager et le jardin d'agrément intègrent ces éléments, en proportions adaptées aux différentes espèces végétales. Selon le principe d'une codification internationale, les emballages des engrais vendus dans le commerce comportent la mention NPK suivie de trois chiffres (Exemple : NPK 15-5-10 indique un engrais contenant 15 % d'azote, 5 % de phosphore et 10 % de potassium). Un engrais est dit

équilibré lorsque les 3 chiffres NPK sont égaux, par exemple : NPK 5-5-5. Il contient alors autant d'azote que de phosphore et de potassium (Groga *et al.*, 2018).

1.4.4. Limites du NPK

Les engrais chimiques qui ne comprennent que les NPK sont incomplets. Il y manque les macroéléments (magnésium, soufre, calcium, etc.), dont la plante a besoin et les oligoéléments qui correspondent à de nombreux sels minéraux (zinc, bore, sélénium, etc.) (Ouattara, 2018).

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET METHODES

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est composé uniquement des plantes issues de semences de *Moringa oleifera* de variété PKM1 dont les graines ont été achetées au marché dans la ville de Daloa. Ces graines ont été choisies pour leurs feuilles grandes et sombres, leurs fruits longs et tendres, un port buissonnant et une régénération rapide après la taille.



Figure 3 : Graines de *Moringa oleifera*

2.1.2. Matériels techniques

Le matériel technique ayant permis la mise en place de cette expérience a été constituée de (Figure 6) :

- Dabas et des machettes pour nettoyer la parcelle ;
- Rubans mètres pour mesurer les plants ;
- Arrosoir pour arroser les plantes de tomates ;
- Bidons pour recueillir de l'eau ;
- Pied à coulisse pour mesurer le diamètre au collet des plants ;
- Téléphone portable pour prendre des photos ;
- Ordinateur portable pour analyser et traiter des données ;
- Morceaux de bidons de 5L pour la protection des jeunes plantes contre les insectes ravageurs.



Arrosoir

Pied à coulisse

Ruban mètre

Figure 4 : Quelques matériels utilisés

2.1.3. Matériel fertilisant

Le matériel fertilisant a été constitué de fertilisants chimiques et organiques. Le fertilisant organique est composé d'azolla et de bouse de vache. Quant au fertilisant minéral, il est à base de NPK 12-22-22 car c'est une formulation qui est à la disposition des paysans.

2.2. Méthodes

2.2.1. Présentation de la zone d'étude

2.2.1.1. Situation géographique

Située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire, à 383 km d'Abidjan, la ville de Daloa est le chef-lieu de la région du Haut-Sassandra. Elle est comprise entre $6^{\circ}30'$ et 8° de latitude Nord et entre le 5° et 8° de longitude Ouest (Koukougnon, 2020). Elle est limitée par les départements de Vavoua et de Zuénoula au Nord, ceux de Bangolo et de Duékoué à l'Ouest, ceux de Bouaflé et de Sinfra à l'Est et le département d'Issia au Sud.

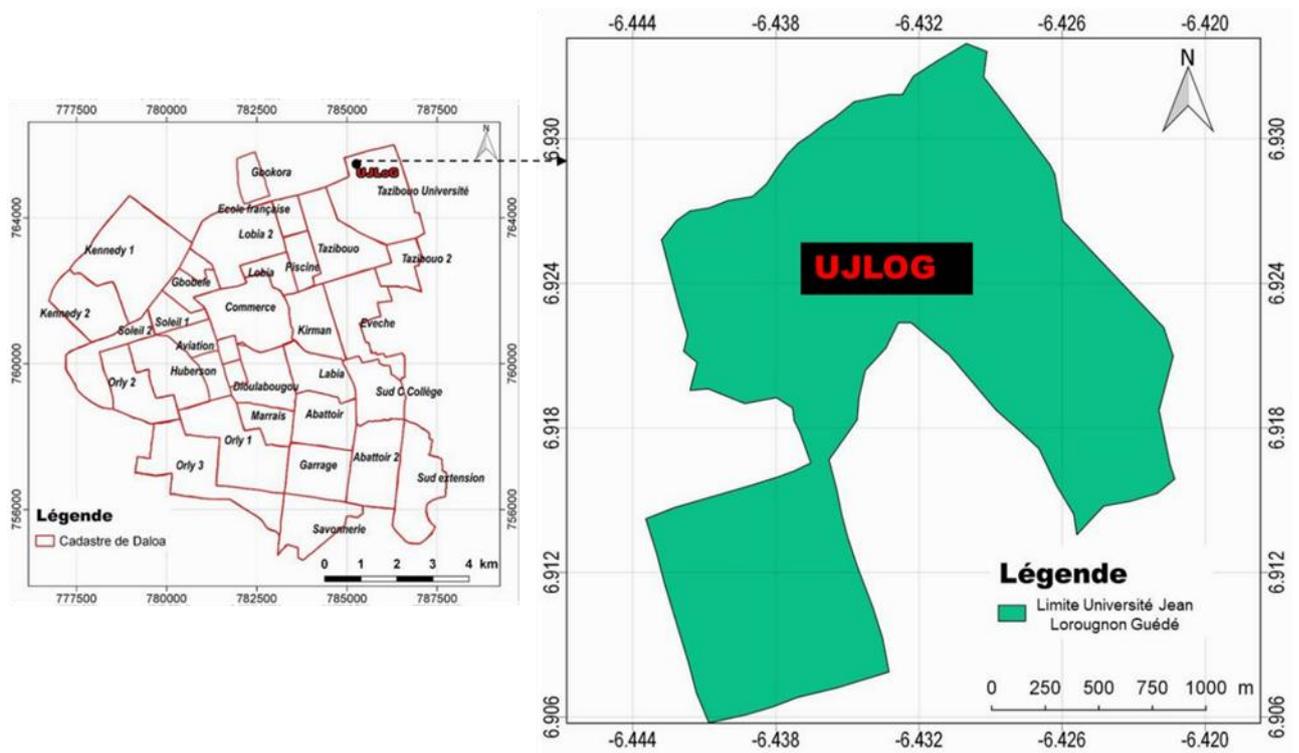


Figure 5 : Localisation du site d'étude

2.2.1.2. Climat

Le climat est de type équatorial avec quatre saisons. La grande saison des pluies part d'avril à mi-juillet, la petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre, la petite saison des pluies de mi-septembre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars. Les saisons sèches et humides alternent avec des températures variant de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne (N'Guessan *et al.*, 2014).

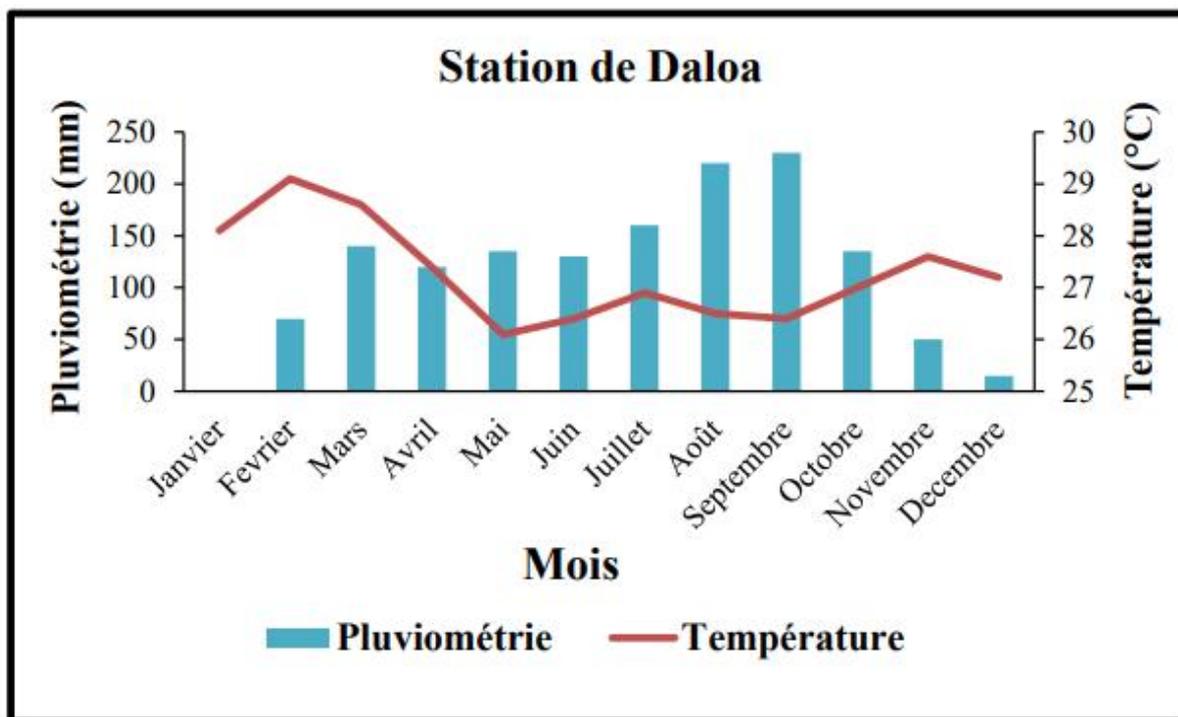


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la localité de Daloa de 1991 à 2020

2.2.1.3. Sol et végétation

La ville de Daloa possède des sols ferrallitiques présentant de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de cultures (Zro *et al.*, 2016). Le climat confère au département une végétation homogène originellement constituée de forêt dense et humide côté sud et de savane arborée côté nord (Adjiri *et al.*, 2018). La dégradation de cette forêt a été accélérée par l'intensification des cultures de rente (cacao, café, palmier à huile et hévéa). Les pratiques culturales extensives et itinérantes et l'exploitation non contrôlée des essences forestières ont notamment fait reculer cette forêt (Sangaré *et al.*, 2009).

2.2.1.4. Hydrographie

La rivière Lobo, principal cours d'eau qui draine le département de Daloa, est un affluent du fleuve Sassandra. Son bassin hydrographique est situé au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°2' et 7°55' de longitude Ouest et 6° et 6°55' de latitude Nord (Yao *et al.*, 2012).

2.2.1.5. Géomorphologie

Le relief est peu contrasté et peu varié ; il est dominé par des plateaux de 200 à 400 m d'altitude. Les formations géologiques qui couvrent le bassin sont celles du Précambrien

moyens dominés essentiellement par les granites, auxquels s'ajoutent quelques intrusions de schiste et de flysch (Touré, 2017).

2.2.1.6. Population et ses activités

La population de la ville de Daloa, estimée en 2012 à 319427 habitants, faisait de la ville la 3^{ème} plus peuplée de la Côte d'Ivoire après Abidjan et Bouaké et devant Yamoussoukro. Elle est composée de communautés autochtones (Bété, Niamboua et Niédéboua), d'allochtones (Baoulé, Gouro, Malinké) et d'allogènes (Burkinabés, Maliens, Nigériens, etc.). Les activités économiques exercées par cette population sont assez diversifiées. Cependant, l'agriculture reste la principale activité génératrice de revenus. Elle occupe la majorité des populations. La dynamique agricole dans les zones rurales est essentiellement basée sur les cultures de rente pérennes (café, cacao, hévéa, palmier à huile). A l'intérieur de la ville, ce sont les cultures vivrières, notamment les cultures maraîchères qui jouent un rôle prépondérant (INS, 2014).

2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif de cette expérience est un bloc de Fisher complètement randomisé à 3 répétitions de 4 traitements tels que l'azolla, la bouse de vache, le NPK et le témoin. L'expérimentation a été réalisée sur une parcelle de 180 m² constituée de 12 sous-blocs rectangulaires de 9 m de long et de 2,5 m de large séparés les uns des autres de 1,5 m regroupés en 3 blocs. L'expérience a été menée au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

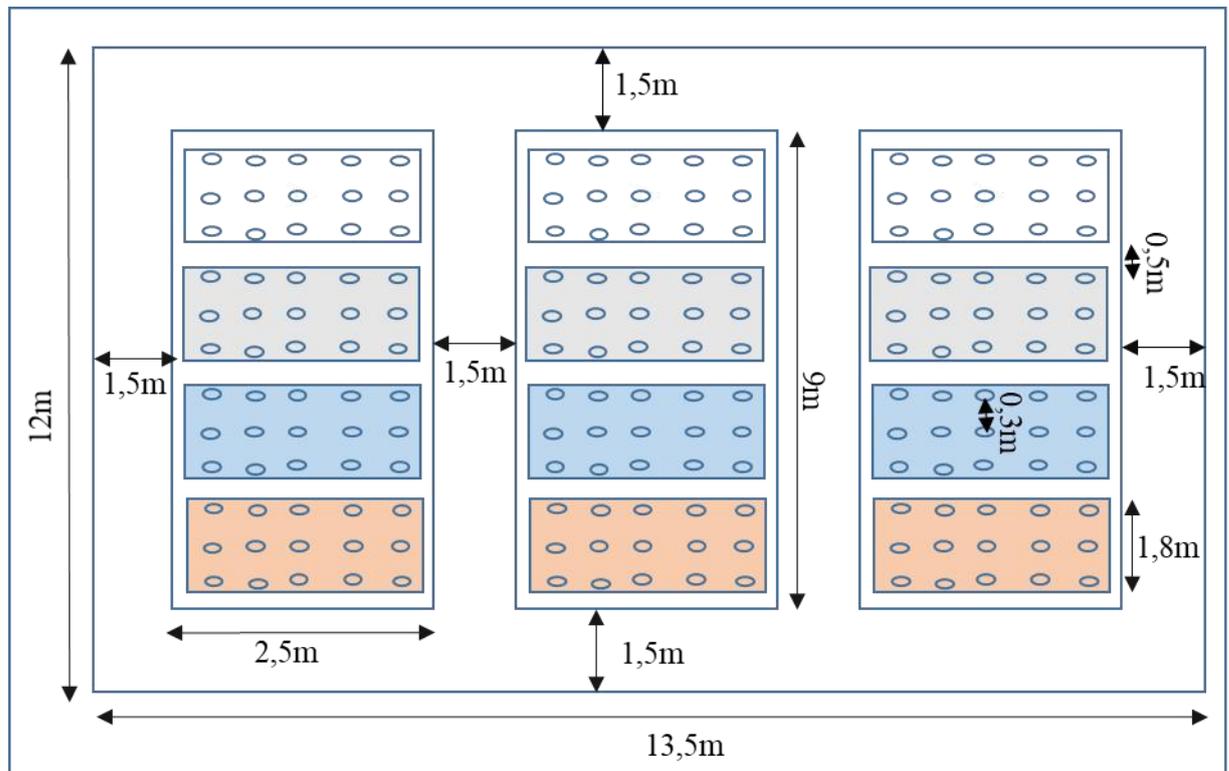


Figure 7 : Dispositif expérimental

2.2.3. Itinéraire technique

2.2.3.1. Levée de dormance

Pour faciliter la germination des graines de moringa, il est important dans un premier temps de procéder à la levée de la dormance. La dormance d'une graine est l'état d'hibernation de la graine. Elle correspond à la période où, dans le cycle de vie d'un organisme, la croissance, le développement et/ou l'activité physique sont temporairement arrêtés. Cela réduit l'activité métabolique et aide donc l'organisme à conserver de l'énergie. Pour lever cette dormance, les graines de moringa ont été immergées dans l'eau pendant plus de 24h et ont été semé directement dans les poquets.

2.2.3.2. Préparation du terrain

Dans le but de faciliter l'enracinement et favoriser le développement et la croissance de la plante, le défrichage et le nettoyage du terrain ont été nécessaires. Bien avant de commencer à planter les graines de moringa la parcelle fut désherbée et nettoyée à l'aide des houes et machette pour la rendre propre une semaine avant le semis. Et par la même occasion, les poquets nécessaires pour le semis direct ont été creusés.

2.2.3.3. Fertilisation

L'azolla frais, la bouse de vache et le NPK ont été appliqués directement dans les poquets une semaine avant le semis des graines en une seule dose. Ce qui a largement laissé du temps aux agents de dégradation du sol pour permettre l'intégration des différents éléments qui composent ces trois fertilisants de s'infiltrer dans le sol. L'apport d'azolla, de NPK et de bouse de vache a été fait respectivement à des quantités de 20 g frais, de 80 g et de 100 g.

2.2.3.4. Mise en place de la culture

Après la levée de dormance, les graines de moringa ont été aptes à être semées dans les poquets creusés à cet effet. Des billons de dimensions 1,5 m sur 1,5 m ont été réalisés dans le but de faciliter le semis et la disposition des différents traitements.

2.2.3.5. Entretien et protection

Les jeunes plantules sont très exposées à plusieurs animaux à cause de leur jus sucré. Afin de les protéger, des bidons d'eau de 5 L dépourvus du bas ont été utilisés pour leur servir de protection contre ces animaux. Aussi, un sarclage et désherbage manuel ont été faits pour éliminer les mauvaises herbes et empêcher leur prolifération.

2.2.3.6. Irrigation

L'irrigation est indispensable pour une production de feuilles continue en saison sèche. Cependant en saison pluvieuse, la culture de moringa ne nécessite pas d'irrigation. Les arrosages ont, donc, été effectués chaque matin si nécessaire durant 2 mois.

2.2.4. Collecte des données

Une semaine après le semis jusqu'à la floraison des plantes, les paramètres de croissance tels que : le diamètre au collet, la hauteur de la plante, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles et le nombre de feuilles ont été déterminés pour connaître l'évolution des plants de moringa.

En premier lieu, le diamètre au collet a été déterminé à l'aide d'un pied à coulisse de type mécanique de la marque VERNIER. Les mesures ont été prises à la base de la tige principale durant tout le développement des plants. Quant à la hauteur de la plante, les mesures ont été effectuées à l'aide d'un ruban mètre sur la tige à partir de la surface du sol jusqu'à l'apex de la plante. Par ailleurs, la longueur et la largeur des feuilles ont été mesurées, en partant du

bout de la foliole terminale au point de fixation du pétiole sur la tige pour la longueur et en partant du bout de la foliole droite jusqu'à l'extrémité de la foliole gauche de la feuille pour la largeur. Toutes ces mesures ont été faites en centimètre (cm). Enfin, s'agissant du nombre de feuilles, il a été obtenu par comptage. Toutes ces mesures ont été effectuées une fois par semaine durant cinq semaines.

2.2.5. Observation et temps de mesures

Pour cette étude, les observations et mesures ont été effectuées à 5 reprises pour les différents paramètres de croissance que sont :

- Temps 1 (T1) : le temps des premières observations et mesure, soit le 29^{ème} jour après semis.
- Temps 2 (T2) : le temps des deuxièmes observations et mesure, soit le 36^{7ème} jour après semis,
- Temps 3 (T3) : le temps des troisièmes observations et mesure, soit le 43^{ème} jour après semis,
- Temps 4 (T4) : le temps des quatrièmes observations et mesure, soit le 50^{ème} jour après semis,
- Temps 5 (T5) : le temps des cinquièmes observations et mesure, soit le 57^{ème} jour du cycle végétatif.

2.2.6. Analyse des données

Les données ont été encodées grâce au tableur Excel. Les différentes analyses ont été faites par l'intermédiaire du logiciel STATISTICA 7.1. Le traitement des données a été basé sur le test d'analyse de variance et de comparaison multiple des moyennes. Des tests de normalités ont été appliqués sur toutes les variances avant d'effectuer toutes analyses. Le test d'analyse de variance (ANOVA) a permis de voir la différence significative d'effet des traitements sur la croissance. Dans cette condition, le test LSD de FISHER a été utilisé pour la classification des moyennes deux à deux lorsqu'elles affichent une différence ($p \leq 5\%$) entre les traitements. Les différences sont significatives pour une valeur de la probabilité inférieure à 5 %.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSION

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Variation du diamètre au collet en fonction des traitements

La variation du diamètre au collet des plantes de moringa issues des traitements a été consignée dans le tableau II. A toutes les périodes, l'apport des biofertilisants azolla, bouse de vache et du NPK a eu un effet significatif sur le diamètre au collet des plants de moringa. Trois groupes de moyennes ont été obtenu aux temps T1 et T2 avec les diamètres au collet les plus élevés avec la fertilisation à l'azolla (0,326 cm) suivi de la bouse de vache (0,216 cm), le NPK (0,181 cm) et le témoin (0,128 cm) avec les faibles moyennes.

Tableau II : Valeurs moyennes du diamètre au collet en fonction des traitements

Temps de mesure	Traitement				p. value
	AZ	B	NPK	T	
T1	0,312±0,085 ^a	0,216±0,078 ^b	0,181±0,141 ^{bc}	0,128±0,035 ^c	0,001
T2	0,326±0,212 ^a	0,262±0,082 ^b	0,242±0,104 ^{bc}	0,156±0,047 ^c	0,001
T3	0,406±0,464 ^{bc}	0,504±0,071 ^b	0,660±0,148 ^a	0,313±0,093 ^c	0,001
T4	0,612±0,085 ^{ab}	0,580±0,049 ^b	0,674±0,271 ^a	0,460±0,198 ^c	0,016
T5	0,816±0,174 ^a	0,643±0,117 ^{bc}	0,771±0,236 ^b	0,566±0,250 ^c	0,043

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T1 : première période d'observation ; T2 : deuxième période d'observation ; T3 : troisième période d'observation ; T4 : quatrième période d'observation ; T5 : cinquième période d'observation ; p. value : probabilité ; AZ : Azolla ; B : bouse de vache ; NPK : azote, phosphore, potassium (minéral) ; T : témoin. Les valeurs dans le tableau sont exprimées en centimètre (cm).

3.1.2. Variation de la hauteur des feuilles en fonction des traitements

Le tableau III montre la croissance en hauteur des plantes de moringa selon les traitements. La hauteur du moringa a varié de 14,62 cm à 67,93 cm. La hauteur minimale de 14,62 cm a été enregistrée au niveau du témoin à T1 et la hauteur maximale de 67,93 cm, observée au niveau des plants ayant reçu le NPK à la période T5. Les traitements aux fertilisants à l'azolla et à la bouse de vache ont permis d'augmenter la hauteur des plantes de moringa par rapport au témoin. En revanche, la taille des plantes traitées avec le NPK est élevée que celle des plantes ayant reçu l'azolla et la bouse de vache. Les fertilisants apportés ont permis d'accroître significativement ($p < 0,05$) la croissance en hauteur de l'ensemble des plants de moringa à tous les temps de mesure par rapport au témoin sans amendement.

Tableau III : Valeurs moyennes de la hauteur des feuilles en fonction des traitements

Temps de mesure	Traitement				p. value
	AZ	B	NPK	T	
T1	17,473±7,439 ^b	19,593±4,115 ^b	23,786±7,125 ^a	14,620±3,220 ^c	0,007
T2	25,793±18,219 ^b	23,340±4,071 ^b	28,660±6,948 ^a	20,433±6,694 ^c	0,003
T3	49,633±38,501 ^{ab}	43,966±10,156 ^b	50,720±13,867 ^a	33,233±10,063 ^c	0,003
T4	60,346±49,258 ^b	53,933±9,706 ^c	63,433±15,897 ^a	53,600±16,011 ^c	0,003
T5	62,293±11,412 ^{ab}	61,766±10,559 ^{ab}	67,933±20,463 ^a	59,733±15,776 ^{bc}	0,001

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T1 : première période d'observation ; T2 : deuxième période d'observation ; T3 : troisième période d'observation ; T4 : quatrième période d'observation ; T5 : cinquième période d'observation ; p. value : probabilité ; AZ : Azolla ; B : bouse de vache ; NPK : azote, phosphore, potassium (minéral) ; T : témoin. Les valeurs dans le tableau sont exprimées en centimètre (cm).

3.1.3. Variation de la longueur des feuilles en fonction des traitements

L'effet des traitements sur la longueur de feuilles des plantes de moringa est présenté dans le tableau IV. Les plantes de parcelles ayant été enrichies avec les fertilisants ont eu une croissance significative sur la longueur de leurs feuilles par rapport au témoin. Dans l'ensemble, la longueur des feuilles oscille entre 5,81 cm avec le témoin à T1 et 30,94 cm avec la bouse de vache à T5. L'analyse statistique des données a montré que chaque fertilisant a permis d'élever significativement ($p < 0,05$) la croissance des feuilles des plantes de moringa aux différents temps d'observation.

Tableau IV : Valeurs moyennes de la longueur des feuilles en fonction des traitements

Temps de mesure	Traitement				p. value
	AZ	B	NPK	T	
T1	8,860±1,456 ^a	8,633±1,458 ^a	8,286±3,469 ^a	5,806±3,369 ^a	0,012
T2	13,306±6,518 ^a	11,033±1,388 ^{ab}	11,726±3,093 ^{ab}	8,546±1,424 ^{bc}	0,009
T3	26,006±11,966 ^a	26,686±3,156 ^a	27,820±7,464 ^a	16,166±4,988 ^b	0,001
T4	28,506±14,973 ^a	28,980±3,649 ^a	28,466±8,120 ^a	23,933±5,351 ^b	0,024
T5	30,333±6,305 ^a	61,766±3,419 ^a	29,580±7,360 ^{ab}	27,753±6,243 ^b	0,035

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T1 : première période d'observation ; T2 : deuxième période d'observation ; T3 : troisième période d'observation ; T4 : quatrième période d'observation ; T5 : cinquième période d'observation ; p. value : probabilité ; AZ : Azolla ; B : bouse de vache ; NPK : azote, phosphore, potassium (minéral) ; T : témoin. Les valeurs dans le tableau sont exprimées en centimètre (cm).

3.1.4. Variation de la largeur des feuilles en fonction des traitements

La variation de la largeur des feuilles des plantes de moringa en fonction des traitements a été présentée dans le tableau V. La largeur moyenne des feuilles varie de 3,65 cm avec la parcelle témoin à la période T1 à 22,68 cm sur les parcelles enrichies avec azolla à T5. Les fertilisants apportés ont permis d'accroître significativement ($p < 0,05$) la largeur des feuilles de moringa aux différentes périodes d'observation.

Tableau V : Valeurs moyennes de la largeur des feuilles en fonction des traitements

Temps de mesure	Traitement				p. value
	AZ	B	NPK	T	
T1	6,04±1,447 ^a	5,733±1,388 ^a	5,473±2,522 ^a	3,653±0,899 ^b	0,001
T2	9,913±4,138 ^a	7,793±1,261 ^a	7,933±2,020 ^a	5,746±0,992 ^b	0,001
T3	17,646±10,023 ^a	19,320±3,015 ^a	18,586±5,642 ^a	11,146±3,976 ^b	0,002
T4	21,440±12,295 ^a	22,600±3,641 ^a	22,666±5,293 ^a	15,133±5,911 ^b	0,001
T5	22,680±5,512 ^a	22,086±3,820 ^a	22,493±4,828 ^a	20,900±7,380 ^b	0,049

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T1 : première période d'observation ; T2 : deuxième période d'observation ; T3 : troisième période d'observation ; T4 : quatrième période d'observation ; T5 : cinquième période d'observation ; p. value : probabilité ; AZ : Azolla ; B : bouse de vache ; NPK : azote, phosphore, potassium (minéral) ; T : témoin. Les valeurs dans le tableau sont exprimées en centimètre (cm).

3.1.5. Variation du nombre de feuilles en fonction des traitements

Les valeurs du nombre de feuilles des plantes de moringa sont consignées dans le tableau VI. Le nombre de feuilles des plantes de moringa a été influencé par les traitements à toutes les périodes d'observations. Deux groupes homogènes ont été obtenus à T1 et T2. Aux périodes T1 et T2, les grandes valeurs ont été obtenues avec les parcelles enrichies respectivement avec l'azolla (15,40), la bouse de vache (15,13) et le NPK (15,26) et la plus faible valeur a été obtenue avec le témoin (4,53). Pour les troisièmes (T3), quatrièmes (T4) et cinquièmes (T5) périodes, il y a une faible croissance et/ou une constance des valeurs observées. Les valeurs ont oscillé entre 15,40 pour l'azolla, 15,13 pour la bouse de vache et 15,27 pour le NPK.

Tableau VI : Valeurs moyennes du nombre de feuilles en fonction des traitements

Temps de mesure	Traitement				p. value
	AZ	B	NPK	T	
T1	7,933±1,222 ^a	7,266±1,032 ^a	8,286±2,070 ^a	4,533±0,915 ^b	0,001
T2	10,600±2,772 ^a	9,400±0,632 ^a	9,400±1,298 ^a	8,266±0,798 ^b	0,002
T3	15,400±5,207 ^a	14,133±0,915 ^a	13,266±2,016 ^{ab}	11,733±1,334 ^c	0,009
T4	15,400±6,080 ^a	15,133±1,355 ^a	15,266±2,016 ^a	12,266±2,120 ^b	0,012
T5	15,400±2,531 ^a	15,133±1,579 ^a	15,266±7,360 ^a	13,733±2,463 ^b	0,061

Les moyennes suivies de la même lettre sur une même ligne sont significativement égales au seuil de 5 % ; T1 : première période d'observation ; T2 : deuxième période d'observation ; T3 : troisième période d'observation ; T4 : quatrième période d'observation ; T5 : cinquième période d'observation ; p. value : probabilité ; AZ : Azolla ; B : bouse de vache ; NPK : azote, phosphore, potassium (minéral) ; T : témoin. Les valeurs dans le tableau sont exprimées en centimètre (cm).

3.2. Discussion

L'effet des biofertilisants tels que : l'azolla, la bouse de vache, le NPK et le témoin sur la croissance des plantes de moringa en champ a été déterminé. Les résultats montrent que le diamètre au collet, la largeur et le nombre de feuilles ont été influencés par les traitements quel que soit le temps d'observation. *Azolla filiculoides* a donné les meilleurs diamètres au collet par rapport à la bouse de vache, au NPK et au témoin. Par ailleurs, les plus fortes valeurs de la longueur des feuilles ont été obtenues avec la parcelle fertilisée à la bouse de vache. En revanche, pour la hauteur des plantes, les valeurs élevées ont été enregistrées sur toutes les parcelles présentant des fertilisants. Ainsi, celle enrichie au NPK se démarque des autres par une valeur plus élevée.

L'utilisation d'azolla en milieu de culture a influencé positivement la croissance des plantes de moringa. En effet, cela pourrait être expliqué par le fait qu'azolla libère progressivement des minéraux disponibles pour la plante à long terme. L'effet positif d'azolla sur les paramètres de croissance et de développement a été démontré par les résultats obtenus dans cette étude. Ces résultats sont conformes à ceux de Soro (2018) qui a montré dans son étude « Evaluation de l'influence d'*Azolla filiculoides* sur la production du riz (*Oryza sativa* variété Wita 9) et du Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en rizipisciculture dans la zone de Bonoufla (Haut-Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) », une augmentation au niveau du nombre de floraison et la largeur des feuilles du riz.

Les résultats de l'analyse statistique ont montré que le traitement avec la bouse de vache a eu un effet significatif sur la longueur des feuilles de moringa. Ceci pourrait être dû au fait que la bouse de vache a eu le temps de se dégrader, les microorganismes présents dans la bouse ont amélioré la qualité, la fertilité et le pH du sol. Ces résultats sont similaires à ceux de Mulaji (2010) et Andriamananjara (2002), qui ont montré dans leurs études que la bouse de vache grâce à son pH alcalin a pu améliorer celui du sol.

Concernant les résultats de la parcelle fertilisée avec le NPK, cela pourrait aisément être attribué au fait que l'engrais minéral (NPK), libère rapidement les éléments fertilisants que sont l'azote, le phosphore et le potassium. L'engrais minéral est utilisé pour corriger les carences. Cependant, la minéralisation rapide de ce traitement peut entraîner l'infiltration de ces minéraux dans les horizons inférieurs du sol qui deviennent inaccessibles aux racines des plantes (Groga *et al.*, 2018) et donc ne peuvent pas maintenir à long terme la fertilité des sols selon Alvarez (2005) et Giller *et al.* (2002).

La faible influence du témoin sur les différents paramètres peut être due aux conditions physico-chimiques du sol. En effet, Mukalay *et al.* (2008) affirment que la faible

croissance des plantes peut être attribuée aux facteurs caractéristiques du sol, notamment le pH, la toxicité et les déficiences en nutriments (Ca, Mg, P, K, B et Zn).

Par ailleurs, de la période T3 à la période T5 en passant par la période T4, il y a une faible croissance du diamètre au collet, de la longueur des feuilles, de la largeur et du nombre de feuilles des plantes de moringa. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les plantes de moringa ont épuisé tous les nutriments présents dans le sol par l'apport des fertilisants avant le semis. L'effet des fertilisants sur la croissance et le développement des plantes de moringa serait donc fonction de la dose et de la fréquence à laquelle ces derniers ont été appliqués. Nos résultats corroborent ceux de Foidl *et al.* (2001) qui ont démontré que la productivité des plantes de moringa est fortement influencée par la fertilisation de la culture.

Enfin, azolla présente les meilleurs résultats sur tous les paramètres de croissance observée chez les plants de moringa. Cela semble être lié au fait que l'azote est l'un des principaux facteurs de la plante (FAO, 1980). Les éléments nutritifs suffisamment disponibles sont efficacement utilisés par les plantes cultivées au fil du temps (Ojetayo *et al.*, 2011). Azolla serait le meilleur biofertilisant, ce qui concorde avec les résultats de Bikela (2007) qui a montré la capacité d'*Azolla cristata* a restauré la fertilité des sols par sa richesse en nutriments capable d'augmenter l'épaisseur des feuilles de *Bassella alba var. abla*.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La faible productivité de la culture du moringa est un problème auquel sont confrontés les paysans de notre pays. Le manque de moyens suffisants pour l'achat des engrais chimiques et leur rareté sur le marché ainsi que la carence d'information sur d'autres moyens ou techniques moins onéreux pour augmenter la productivité de la culture sont à la base de cette situation. Pour pallier cette difficulté, une étude comparative de la qualité fertilisante de l'*Azolla filiculoides*, de la bouse de vache et du NPK sur la croissance du moringa dans la zone de Daloa a été menée afin de faire des propositions d'utilisation efficace et rationnelle de cet engrais auprès des utilisateurs. L'action des différents fertilisants particulièrement l'azolla sur la restauration de la fertilité du sol, capable de doter ce dernier en nutriments nécessaire à l'amélioration de la croissance de la culture du moringa a été démontré. A l'instar de la planche témoin, les traitements ont été comparés, et appréciés en tenant compte des paramètres agromorphologiques. Hormis les traitements à base d'engrais minéral qui avaient reçu une dose de 80 g pour le NPK, les différents traitements ont été fertilisés respectivement à la dose de 100 g pour la bouse de vache et 20 g pour l'azolla. A l'issue de l'expérimentation, suivant les paramètres considérés, seuls les traitements à base d'azolla ont augmenté le diamètre au collet, la hauteur des tiges, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles et le nombre de feuilles. L'azolla apporte au sol une certaine quantité d'éléments nutritifs à la plante et améliore les propriétés physiques du sol. Cette matière organique permet de conserver l'humidité du sol, mais stimule également le développement des racines, pour une bonne absorption des éléments nutritifs présents dans le sol. L'azolla a démontré ainsi sa capacité à restaurer la fertilité du sol par sa richesse en nutriment capable d'augmenter la croissance du moringa (*Moringa oleifera*).

Vu l'importance de ce travail, il serait nécessaire de :

- Connaître les propriétés physicochimiques et fonctionnelle de cette algue ;
- S'intéresser de plus près au biofertilisant qu'est la bouse de vache ;
- Etudier le rendement du moringa ;
- Rechercher des nouvelles méthodes qui seraient accessibles aux paysans afin de leur permettre d'améliorer la productivité des cultures et d'augmenter leur revenu.

REFERENCES

REFERENCES

- Adjiri O.A., Aka N., Soro T.D., Afessi A.C., Konaté D. & Soro N. (2018). Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa : impacts sur la santé et implications dans le développement régional. *Technique Sciences Méthodes*, 12 : 89-114.
- Alvarez R. (2005). A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*, 21 : 38-52.
- ANADER (2015). Document de formation des étudiants UJLOG sur itinéraire technique des maraichères. Agence National d'Appui au Développement Rural zone Daloa, 48p.
- Andriamananjara A. (2002). Système de culture à rotation Voandzou Riz pluvial (*Oryza sativa*) sur les hautes terres de Madagascar. Rôle du Voandzou (*Vigna subterranea*) sur la biodisponibilité du phosphore dans les ferralsols. Thèse Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Madagascar, 185 p.
- Bikela N.A. (2007). Essai comparatif de la qualité fertilisante d'*Azolla cristata* et d'autres fumures (fiente, lisier et urée). Licence en science, Institut supérieur pédagogique, Gombe, Kinshasa, 30p.
- Carrapiço F., Teixeira G. & Diniz M.A. (2000). *Azolla* as a biofertilizer in Africa, a challenge for the future. *Revista de Ciências Agrárias*, 23 (4) : 120-138.
- Christophe J.D. (2006). La bouse : historique, importance et écosystème. Thèse de doctorat, UFR des sciences vétérinaires, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Toulouse, France), 82 p.
- Costa M.L., Santos M.C.R., Carrapico F. & Pereirac A.L. (2009). *Azolla*-*Anabaena*'s behaviour in urban wastewater and artificial media-Influence of combined nitrogen. *Water Resource*, 43 : 3743- 3750.
- De Saint Sauveur A. & Broin M. (2010). Produire et transformer les feuilles de moringa. Imprimerie horizon à Gémenos, 69 p. Disponible sur <http://Www.Moringanews.Org>. Consulté Le 12/05/2022.
- FAO (1980). Les engrais et leur application. FAO, Rome, Italie, 51 p.
- Foidl N., Makkar H.P.S. & Becker K. (2001). Potentiel de *Moringa Oleifera* en agriculture et dans l'industrie, 39p. Disponible sur <http://Www.Moringanews.Org>. (Site consulté Le 12/10/2022).
- Giller K.E., Cadisch G. & Palm C. (2002). The North-South divide: organic wastes or resources of nutrient management. *Agronomy*, 22 : 703-709.

- Groga N., Diomande M., Beugre G.A.M., Ouattara Y. & Akaffou D.S. (2018). Étude comparative de la qualité de symbiose (*Anabaena azollena azolla caraliniana*) du compost et du NPK sur la croissance végétative et le rendement de la tomate (*Lycopersicon esculentum mill.* Solanacée) à Daloa (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Bioscience*, 129 : 13004-13014.
- Hêdji C.C., Kpoguè Gangbazo D.N.S, Houinato M.R. & Fiogbé E.D. (2014). Valorisation d'*Azolla Spp*, *Moringa oleifera*, son de riz et de coproduits de volaille et de poisson en alimentation animale. *Journal of Applied Biosciences*, 81 : 7277 – 7289.
- Hussner A. (2010). NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Azolla filiculoides*. From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS, www.nobanis.org. (Consulté le 27/06/2022).
- Ijarotimi O.S., Adeoti O.A. & Ariyo O. (2013). Comparative study on nutrient composition, Phytochemical and functional characteristics of raw, germinated, and fermented *Moringa oleifera* seed flour. *Food Science & Nutrition*, Volume 1(6), pp 452– 463.
- INS (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Rapport d'exécution et présentation des principaux résultats, Daloa (Côte d'Ivoire), 49 p.
- Kannaiyan S. & Kumar K. (2006). Biodiversity of *Azolla* and its algal symbiont, *Anabaena azollae*. NBA Scientific Bulletin Number 2, National Biodiversity Authority, Chennai, Tamil Nadu (Inde), 31 p.
- Koukougnon W.G. (2020). Résilience des établissements hôteliers de DALOA à l'inconstance de la desserte en eau potable (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, 33 : 289-309.
- Mukalay M.J., Shutcha M.N., Tshomba K.J., Mulowayi K., Kamb C.F. & Ngongo L.M. (2008). Causes d'une forte hétérogénéité des plants dans un champ de maïs dans les conditions pédoclimatiques de Lubumbashi. *Presses universitaires de Lubumbashi, Annales Faculté des Sciences Agronomiques*, 1 (2) : 4-11.
- Mulaji K.C. (2010). Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat en Agro-Biotechnologie, UFR Biotechnologie, Université de Liège-Gembloux, Belgique, 220 p.
- N'guessan A.H., N'guessan K.F., Kouassi K.P., Kouamé N.N. & N'guessan P.W. (2014). Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon*, Felder (Lépidoptère : *Cossidae*) dans la région du Haut-Sassandra en

- Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 1(84) : 9-11.
- Ojetayo A.E., Olaniyi J.O., Mougeot L. & Abdou F. (2011). Effect of fertilizers types on nutritional quality of two cabbage varieties before and after storage. *Journal of Applied Biosciences*, 48 : 3322 – 3330.
- Olson M.E. & Carlquist S. (2005). Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 135 (4) : 315–348.
- Ooreka (2016). Fiche plante: *Azolla*. Ooreka.fr (en ligne). Disponible à l'adresse : <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/628/azolla>. (Consulté le 23/05/2022).
- Ouattara Y. (2017). Etude comparative de la qualité fertilisante de deux biofertilisants (*Azolla caroliniana*, compost), et du NPK sur la croissance végétative et le rendement de la tomate (*Lycopersicum esculentum*) dans la zone de Daloa (Côte d'Ivoire). Mémoire de master en sécurité alimentaire, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 59 p.
- Oumarou P.M., Bourou S. & Woin N. (2012). Utilisations et importances socio-économiques du *Moringa Oleifera* Lam, en zone de savanes d'Afrique Centrale, cas de la ville de Maroua au Nord-Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 60 : 4421– 4432.
- Rahagarison (2005). Etude bibliographique de l'*Azolla* ou la 'ramilamina' plante fertilisatrice d'azote (N₂). Taloha.info, <http://www.taloha.info/document.php?id=117#tocto1>. (Consulté le 25/05/2022).
- Raja W., Rathaur P., John A.S. & Ramteke W.P. (2012). *Azolla*: an aquatic pteridophyte with great potential. *International Journal of Research in Biological Sciences*, 2(2) : 68-72.
- Rajangam J., Azahakia M.R.S., Thangaraj T., Vijayakumar A. & Muthukrishan N. (2001). Production et utilisation du *Moringa* en Inde : la Situation Actuelle, 9 p. Disponible Sur <Http://Www.Moringanews.Org>.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C.A. (2009). Etat des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national. Ministère de l'agriculture, République de (Côte d'Ivoire), 64 p.

- Soro D. (2018). Evaluation de l'influence d'*Azolla filiculoides* sur la production du riz (*Oryza sativa* variété Wita 9) et du Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en rizipisciculture dans la zone de Bonoufla (Haut-Sassandra, centre Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire de master en bioressources et agronomie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa (Côte d'Ivoire), 51 p.
- Thomas M. (2011). Nouvelles méthodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification : Application aux molécules bioactives de l'argousier (*Hippophaë rhamnoides*). Thèse de doctorat, UFR biotechnologie, Université Toulouse, France, 187 p.
- Touré A. (2017). Géomorphologie de la Côte d'Ivoire. Support de cours des étudiants de première année, UFR Sciences Humaines et Sociales, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 23 p.
- Vongsak B., Sithisarn P. & Gritsanapan W. (2013). Bioactive contents and free radical scavenging activity of *Moringa oleifera* leaf extract under different storage conditions. *Industrial Crops and Products*, 49 : 419– 421.
- Yusoff M.M. (2016). Aqueous enzymatic extraction of *Moringa oleifera* oil with high Pressure processing pre-treatment. Thèse de doctorat en Physiologie, Département Aliment et Sciences Alimentaires, Université de Reading, Angleterre, 214 p.
- Yusuf S. & Yusif I. (2014). Severe damage of *Moringa oleifera* Lam. Leaves by *Ulopeza Phaeothorapica* Hampson (Lepidoptera, Crambidae). In Ungogo Local Government Area, Kano State, Nigeria : A Short Communication Bayero. *Journal of pure and Applied Sciences*, 7(1) : 127-130.
- Yao A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kané A. & Sambou S. (2012). Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 19 : 136-157.
- Zro B.G.F., Guéi A.M., Nangah K.Y., Soro D. & Bakayoko S. (2016). Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire). *African Journal of Soil Science*, 4(4) : 328-338.

RESUME

Le présent document a pour objectif principal d'évaluer l'effet de l'*Azolla filiculoides*, de la bouse de vache et du NPK sur la croissance de moringa (*Moringa oleifera*) afin de mieux orienter les paysans dans leur choix, aussi de vérifier parmi les engrais lequel est le plus productif dans la région de Daloa. Pour atteindre les résultats escomptés, plusieurs expériences ont été réalisées au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé. Ces expériences ont permis d'identifier le meilleur des engrais entre l'azolla, la bouse de vache et le NPK. Le diamètre au collet a varié entre 0,128 pour le témoin et 0,816 pour la parcelle fertilisée à l'azolla. La hauteur des plantes quant à elle, obtient des valeurs comprises entre 14,620 pour le témoin et 67,933 pour la parcelle enrichie au NPK. Concernant la longueur des feuilles, les résultats ont varié entre 5,806 pour la parcelle sans amendement et 30,943 pour la parcelle enrichie à la bouse de vache. Pour la largeur des feuilles, elle est comprise entre 3,653 pour le témoin et 22,680 pour la parcelle fertilisée à l'azolla. Aussi, le nombre de feuilles obtient une valeur comprise entre 4,533 pour le témoin et 15,400 pour l'azolla. Au vu des résultats susmentionnés, tous les traitements ont eu un effet significatif sur les différents paramètres étudiés. Toutefois, leur vulgarisation permettrait de les rendre plus applicables en milieu paysan. Ces biofertilisants pourraient résoudre les problèmes de fertilité des sols et aussi constituer une alternative de choix face aux coûts des engrais chimiques utilisés dans la production à grande échelle.

Mots clés : *Azolla filiculoides*, fertilisants, paramètres agromorphologiques, *Moringa oleifera*.

ABSTRACT

The main objective of this document is to evaluate the effect of *Azolla filiculoides*, cow dung and NPK on the growth of moringa (*Moringa oleifera*) in order to better guide farmers in their choice, also to check which fertilizer is the most productive in the Daloa region. To achieve the expected results, several experiments were carried out within the Jean Lorougnon Guede University. These experiments made it possible to identify the best fertilizer between azolla, cow dung and NPK. The collar diameter varied between 0,128 for the control and 0,816 for the plot fertilized with azolla. The height of the leaves obtains values between 14,620 for the control and 67,933 for the plot enriched with NPK. Concerning the length of the leaves, the results varied between 5,806 for the plot without amendment and 30,943 for the plot enriched with cow dung. For leaf width, it is between 3,653 for the control and 22,680 for the plot fertilized with azolla. Also, the number of leaves obtains a value between 4,533 for the witness and 15,400 for the azolla. In view of the above results, all the treatments had a significative effect on the different parameters studied. It therefore appears that azolla stands out from the others. However, the performance of other fertilizers should not be called into question.

Key words: *Azolla filiculoides*, fertilizers, agromorphological parameters, *Moringa oleifera*.