



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

THESE DE DOCTORAT

ANNEE : 2023-2024

N° D'ORDRE :

093

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Agrophysiologie

**Mise au point d'un référentiel pour la
conduite technique de la culture de *Aloe
barbadensis* Miller (Liliaceae) en Côte
d'Ivoire : potentialités efficaces de
croissance**

CANDIDAT

Nom : N'GORAN

Prénoms : Koffi Désiré

Soutenue publiquement

le 23 mars 2024

JURY

Président : M. AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire, Université
Jean Lorougnon GUEDE

Directeur : Mme. TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon GUEDE

Rapporteur : M. KOUAME N'Guessan, Maître de Conférences, Université
Jean Lorougnon GUEDE

Examineur : M. BOYE Mambé Auguste-Denise, Professeur Titulaire,
Université Jean Lorougnon GUEDE

Examineur : M. BOUET Alphonse, Directeur de recherche au Centre
National de Recherche Agronomique (CNRA)

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	I
DEDICACE.....	VIII
REMERCIEMENTS	IX
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	XII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
LISTE DES FIGURES	XV
LISTE DES ANNEXES.....	XVII
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1.Généralités sur <i>Aloe vera</i>	4
1.1.1. Histoire et légende	4
1.1.1.1. Civilisation Chinoise.....	4
1.1.1.2. Civilisation Egyptienne.....	4
1.1.1.3. Civilisation Arabe	5
1.1.1.4. Civilisation Européenne	5
1.1.1.5. De la légende à aujourd’hui	6
1.1.2. Caractéristiques botaniques	7
1.1.2.1. Aspect général.....	7
1.1.2.2. Feuille de <i>Aloe vera</i>	7
1.1.2.3. Inflorescence	10
1.1.2.4. Racines et tige de <i>Aloe vera</i>	11
1.1.3. Ecologie.....	11
1.1.4. Position taxonomique	12
1.1.5. Répartition géographique.....	12

1.1.6. Quelques usages de <i>Aloe vera</i>	12
1.1.6.1. Dans l'alimentation	12
1.1.6.2. Dans la médecine	13
1.1.6.3. En cosmétique	13
1.1.7. Composition chimique de <i>Aloe vera</i>	13
1.1.7.1. Suc	13
1.1.7.2. Gel	14
1.1.8. Quelques propriétés de <i>Aloe vera</i>	17
1.1.8.1. Propriétés antifongiques	17
1.1.8.2. Propriétés antibactériennes	18
1.1.8.3. Propriétés antivirales	18
1.1.9. Maladies et ravageurs	19
1.1.10. Toxicité de <i>Aloe vera</i>	19
1.1.11. Culture de <i>Aloe vera</i> dans le monde	20
1.2. Quelques pistes de réflexion pour la culture de <i>Aloe vera</i> en Côte d'Ivoire	21
1.2.1. Généralités sur le bananier	21
1.2.1.1. Description du bananier	21
1.2.1.2. Importance économique, nutritionnelle et alimentaire	22
1.2.2. Généralités sur l'hévéa	23
1.2.2.1. Description de l'hévéa	23
1.2.2.2. Importance socio-économique	25
1.2.3. Notion d'association culturelle	25
1.2.4. Associations culturelles à base de <i>Aloe vera</i>	26
1.2.5. Associations culturelles à base du bananier	26
1.2.6. Associations culturelles à base de l'hévéa	26
1.3. Présentation de la zone d'étude (région du Haut-Sassandra)	26
1.3.1. Situation géographique du département de Daloa	26

1.3.2. Climat	27
1.3.3. Relief et sols	27
1.3.4. Hydrographie	28
1.3.5. Végétation	29
1.3.6. Milieu humain	29
1.3.7. Caractérisation de l'agriculture dans la région du Haut-Sassandra.....	30
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	32
2.1. Présentation du site d'étude.....	32
2.2. Matériel d'étude	34
2.2.1. Matériel végétal.....	34
2.2.2. Matériel technique	36
2.2.3. Matériel organique et minéral	37
2.3. Méthodes	38
2.3.1. Essai de multiplication de <i>Aloe vera</i> à partir de boutures de tige et de racine	38
2.3.1.1. Préparation du terrain et mise en place d'une ombrière.....	38
2.3.1.2. Mise en place du dispositif expérimental.....	38
2.3.1.3. Suivi et collecte des données	41
2.3.1.4. Traitement et analyse statistique des données.....	42
2.3.2. Détermination du substrat et/ou de l'amendement le plus approprié à la croissance de <i>Aloe vera</i>	42
2.3.2.1. En pépinière	42
2.3.2.2. Au champ	48
2.3.3. Recherche de la densité optimale de plantation de <i>Aloe vera</i> au champ.....	50
2.3.3.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif	50
2.3.3.2. Suivi des plants et collecte des données.....	51
2.3.3.3. Traitement et analyse statistique des données.....	52

2.3.4. Evaluation des associations culturales banane plantain + <i>Aloe vera</i> et hévéa + <i>Aloe vera</i>	52
2.3.4.1. Association bananier (<i>Musa Sp</i>) – <i>Aloe vera</i>	52
2.3.4.2. Association <i>Hevea brasiliensis</i> – <i>Aloe vera</i>	58
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	61
Chapitre 1 : Essai de multiplication de <i>Aloe vera</i> à partir de boutures de tige et de racine	61
1.1. Taux de levée des boutures en fonction de l’interaction type de boutures - mode de plantation des boutures	61
1.2. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps	62
1.2.1. Evolution du nombre de feuilles émises en fonction du mode de plantation des boutures	62
1.2.2. Evolution du nombre de feuilles émises en fonction du type de boutures	62
1.3. Nombre de feuilles produites en fonction de l’interaction type de boutures - mode de plantation des boutures	64
1.4. Longueur des feuilles produites en fonction de l’interaction type de boutures - mode de plantation des boutures	64
1.5. Largeur des feuilles produites en fonction de l’interaction type de boutures – mode de plantation	65
1.6. Discussion	67
Conclusion partielle	69
Chapitre 2 : Détermination du/des substrat (s) et/ou de (s) amendement (s) le (s) plus approprié (s) à la croissance de <i>Aloe vera</i>	70
2.1. Effet des substrats sur la croissance de <i>Aloe vera</i> en pépinière	70
2.1.1. pH des substrats étudiés	70
2.1.2. Evolution du nombre de feuille en fonction du temps	70
2.1.3. Nombre de feuilles apparues	71
2.1.4. Longueur des feuilles produites	73
2.1.5. Largeur des feuilles produites	73

2.2. Effet des amendements liquides sur la croissance de <i>Aloe vera</i> en pépinière.....	74
2.2.1. pH des substrats	74
2.2.2. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps	76
2.2.3. Nombre total de feuilles apparues	78
2.2.4. Longueur des nouvelles feuilles produites	80
2.2.5. Largeur des nouvelles feuilles produites	81
2.3. Evaluation du meilleur amendement liquide sur la croissance de <i>Aloe vera</i> au champ....	83
2.3.1. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps	83
2.3.2. Nombre total de feuilles produites.....	85
2.3.3. Longueur des feuilles produites	85
2.3.4. Largeur des feuilles produites	86
2.3.5. Délai de floraison des plantes de <i>Aloe vera</i>	87
2.4. Discussion	88
Conclusion partielle.....	92
Chapitre 3 : Recherche de la densité optimale pour la culture de <i>Aloe vera</i> au champ	93
3.1. Evolution du nombre de feuilles en fonction du temps.....	93
3.2. Nombre total de feuilles produites	94
3.3. Longueur des feuilles produites	94
3.4. Largeur des feuilles produites	95
3.5. Délai de maturité des plantes de <i>Aloe vera</i>	96
3.6. Discussion	98
Conclusion partielle.....	99
Chapitre 4 : Evaluation de deux cultures intégrant <i>Aloe vera</i>	100
4.1. Association bananier (<i>Musa</i> sp) – <i>Aloe vera</i>	100
4.1.1. Effet de l’association bananier (<i>Musa</i> sp) – aloès (<i>Aloe vera</i>) sur la croissance de <i>Aloe vera</i>	100
4.1.1.1. Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du temps	100

4.1.1.2. Nombre total de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites.....	101
4.1.1.3. Longueur des feuilles de <i>Aloe vera</i>	102
4.1.1.4. Largeur des feuilles de <i>Aloe vera</i>	102
4.1.2. Effet de l'association bananier (<i>Musa sp</i>) – aloès (<i>Aloe vera</i>) sur le rendement de <i>Aloe vera</i>	103
4.1.3. Effet de l'association bananier (<i>Musa sp</i>) – aloès (<i>Aloe vera</i>) sur le délai de floraison des plantes de <i>Aloe vera</i>	104
4.1.4. Effet de l'association bananier (<i>Musa sp</i>) – aloès (<i>Aloe vera</i>) sur la croissance du bananier	104
4.1.4.1. Evolution du nombre de feuilles de bananier produites en fonction du temps ..	104
4.1.4.2. Nombre de feuilles de bananier	104
4.1.4.3. Longueur des feuilles de bananier	105
4.1.4.4. Largeur des feuilles de bananier	106
4.1.4.5. Hauteur du pseudotrunc du bananier	107
4.1.4.6. Circonférence du pseudotrunc du bananier.....	108
4.1.5. Effet de l'association bananier (<i>Musa sp</i>) – aloès (<i>Aloe vera</i>) sur le rendement des bananiers	109
4.2. Association hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>) – <i>Aloe vera</i>	111
4.2.1. Effet de l'association hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>) – <i>Aloe vera</i> sur la croissance de <i>Aloe vera</i>	111
4.2.1.1. Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> en fonction du temps	111
4.2.1.2. Nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites.....	111
4.2.1.3. Longueur des feuilles de <i>Aloe vera</i>	112
4.2.1.4. Largeur des feuilles de <i>Aloe vera</i>	113
4.2.2. Effet de l'association hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>) – <i>Aloe vera</i> sur le rendement de <i>Aloe vera</i>	113
4.2.3. Effet de l'association hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i>) – <i>Aloe vera</i> sur la circonférence des arbres d'hévéa	114
4.3. Discussion	115

Conclusion partielle.....	117
CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	118
REFERENCES.....	123
ANNEXES.....	138

DEDICACE

A mon père N'GORAN OI N'GORAN,

A ma mère AHONDJON N'Dri Suzanne,

A mes sœurs N'GORAN Aliko Sabine, N'GORAN Adjo Léa, N'GORAN N'Guessan

Eugenie et N'GORAN Brou Jeanne,

A ma bien aimée ZOBO Sahoua Edwige et notre fille N'GORAN N'Dri Leslie Frina Ashlyn.

REMERCIEMENTS

Le présent travail n'aurait pu voir le jour sans la contribution d'un certain nombre de personnalités que nous voudrions remercier. Nous exprimons toute notre reconnaissance :

- au Professeur ADOHI Adjo Viviane Épse KROU, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour ses encouragements à la recherche scientifique ;
- au Professeur SORO Dogniméton, Vice-président chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour tout l'effort consenti à la planification de ma formation ;
- au Professeur KONÉ Issiaka, Vice-président chargé de la Planification et des Relations Extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour son implication au bien-être des étudiants ;
- au Dr. TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Agroforesterie et Directrice de ma Thèse pour avoir fait preuve d'une grande disponibilité et d'une immense patience pendant toute la durée de ce travail. Docteur, vos observations, vos orientations, et votre soutien moral et financier nous ont permis de conduire jusqu'à terme cette étude. Tout au long de cette thèse, nous avons pu admirer vos qualités humaines et scientifiques. Docteur, une fois de plus, un très grand merci à vous, tout en espérant avoir été à la hauteur de vos attentes et de vos espérances ;
- au Dr. KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences, Vice-directeur de l'UFR Agroforesterie pour ses nombreux conseils qui nous ont été utiles durant ce travail ;
- au Professeur AYOLIE Koutoua, responsable du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, pour son accompagnement et ses conseils avisés dans la réalisation de cette thèse. Nous sommes très marqués par l'accueil toujours chaleureux et l'honneur que vous nous avez fait en nous acceptant dans votre laboratoire ;
- au Président du jury, Monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire, Génétique et amélioration des plantes, Enseignant-Chercheur, Université Jean Lorougnon Guédé, aux membres du jury : Monsieur KOUAME N'Guessan, Maître de Conférences, Physiologie Végétale, Enseignant-Chercheur, Université Jean Lorougnon Guédé, Monsieur BOYE Mambé Auguste-Denise, Professeur Titulaire, Physiologie Végétale, Enseignant-Chercheur, Université Jean Lorougnon Guédé et Monsieur BOUET Alphonse, Directeur de recherche au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), pour avoir accepté d'évaluer la qualité de ce travail. Chers

professeurs, recevez à travers ces lignes mes remerciements et mes salutations les plus émouvantes pour l'attention que vous avez porté à cette thèse

- aux Docteurs DRO Bernadin, Maître de Conférences en Biologie et Ecologie Végétale (option Phytochimie) et VOKO-BI Rosin Don Rodrigue, Maître de Conférences en Microbiologie des sols, pour leurs implications et leurs critiques constructives ;
- à l'ensemble du corps enseignant de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour leur contribution, leurs conseils et leur assistance qui nous ont permis de mener à bien nos travaux ;
- à toutes les personnes dont les noms n'ont pu être mentionnés pour avoir contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de nos travaux.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

A :	Amendement
AIA-3 :	Acide-indole3acétique
ANOVA :	Analyse of Variance
C :	Symbole du Carbone
Ca ²⁺ :	Ion calcium
CEC :	Capacité d'Echange Cationique
CNRA :	Centre National de Recherche Agronomique
CoV:	CoronaVirus
COVID-19 :	Coronavirus Disease 2019
FMI :	Fonds Monétaire International
GA3 :	Gibbérelline
H1N1 :	Hémagglutinine de type 1 et Neuraminidase de type 1
HT :	Hors Taxe
K ⁺ :	Ion potassium
Kcal :	Kilocalorie
M1:	Une fois par mois
M2:	Une fois tous les deux mois
Mg ²⁺ :	Ion magnésium
Na ⁺ :	Ion sodium
NPK :	Azote, Phosphore et Potassium
TN :	Azote total
P :	Probabilité
P.assi :	Phosphate assimilable
pH :	Potentiel Hydrogène
T	Tige
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RP1 :	Racine zone subérifiée
RP2 :	Racine zone lisse
S :	Substrat
F1 :	Une fois toutes les deux semaines
F2 :	Une fois toutes les trois semaines
F3	Une fois par mois

F4	Une fois tous les deux mois
JAP	Jour Après Plantation
JAA	Jour Après Association
MAA	Mois Après Association
D	Densité
SB :	Saturation en Base échangeables
SRAS :	Syndrome Respiratoire Aigu Sévère
T :	Témoin
TSB :	Taux de Saturation en Base échangeables
UJLoG :	Université Jean Lorougnon GUEDE
BPE	Boutures partiellement enfouies
BTE	Boutures totalement enfouies

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Quelques cultures vivrières cultivées dans la région du Haut-Sassandra	30
Tableau II: Taux de levée des boutures en fonction du type de boutures partiellement et totalement enfouies	61
Tableau III: Nombre de feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures	64
Tableau IV: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures	65
Tableau V: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures	66
Tableau VI : pH des substrats étudiés	72
Tableau VII : Nombre de feuilles produites en fonction du substrat	72
Tableau VIII: Longueur des feuilles produites en fonction du substrat	73
Tableau IX : Largeur des feuilles produites en fonction du substrat.....	74
Tableau X: pH du substrat en fonction de l'interaction amendement-fréquence d'apport de l'amendement	75
Tableau XI: pH du substrat en fonction de l'amendement.....	75
Tableau XII: pH du substrat en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement.....	76
Tableau XIII: Nombre total de feuilles produites en fonction de l'interaction amendement-fréquence d'apport des amendements	78
Tableau XIV: Nombre de feuilles produites en fonction des amendements	79
Tableau XV: Nombre de feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport des amendements	79
Tableau XVI: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements	80
Tableau XVII: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendements liquide – fréquence d'apport des amendements	82
Tableau XVIII : Largeur des feuilles produites en fonction de l'amendement liquide.....	82
Tableau XIX : Largeur des feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport des amendements liquides	83
Tableau XX: Nombre de feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement - fréquence d'apport de l'amendement.....	85

Tableau XXI: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement – fréquence d'apport de l'amendement	86
Tableau XXII: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement – fréquence d'apport de l'amendement	86
Tableau XXIII: Nombre total de feuilles produites en fonction de la densité de plantation....	94
Tableau XXIV: Longueur des feuilles produites en fonction de la densité de plantation.....	95
Tableau XXV: Largeur des feuilles produites en fonction des interlignes	96
Tableau XXVI: Délai de floraison des plantes de <i>Aloe vera</i> en fonction de la densité de plantation.....	97
Tableau XXVII : Nombre de nouvelles feuilles de <i>Aloe vera</i> produites.....	101
Tableau XXVIII : Longueur des feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du traitement .	102
Tableau XXIX : Largeur des feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du traitement.....	103
Tableau XXX : Masses fraîches et sèches des feuilles de <i>Aloe vera</i>	103
Tableau XXXI: Nombre de feuilles produites par les bananiers.....	105
Tableau XXXII : Rendement et paramètres de rendement des bananiers plantains	110
Tableau XXXIII: Nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du traitement	112
Tableau XXXIV: Longueur des feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du traitement ..	112
Tableau XXXV: Largeur des feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du traitement	113
Tableau XXXVI: Masses fraîches et sèches des feuilles de <i>Aloe vera</i>	114

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Champ de <i>Aloe vera</i> en floraison sous système d'irrigation artificiel.....	7
Figure 2: Coupe transversale d'un stomate présent sur les feuille de <i>Aloe vera</i>	8
Figure 3: Coupe transversale d'un limbe de <i>Aloe vera</i> (Gharib & Ben, 2021)	9
Figure 4: Coupe transversale de la feuille de <i>Aloe vera</i> (Rahoui, 2019).....	10
Figure 5: Fleurs de <i>Aloe vera</i> entourées de bractées jaune-rougeâtres (Gharib & Ben, 2021)	10
Figure 6: Racines et tige de <i>Aloe vera</i> (Bettaieb, 2013).....	11
Figure 7: Structure chimique de l'acemannan (Michayewicz, 2013)	15
Figure 8: Photo d'un champ de plants de <i>Aloe vera</i> aux iles Canaries (Soriano, 2016)	20
Figure 9: Représentation photographie d'un bananier plantain, Corne 1 (Daloa).....	22
Figure 10: Plantation d'hévéa en phase de production à Anguédedou (Côte d'Ivoire)	24
Figure 11: Capsules tricoques (A) et graines d'hévéa (B)	24
Figure 12: Diagramme ombrothermique de la région du Haut-Sassandra de 1991 à 2021	27
Figure 13: Carte du réseau hydrographique de la région du Haut-Sassandra	29
Figure 14: Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique de la zone et du site d'étude.....	33
Figure 15: Tige et racines de <i>Aloe vera</i>	35
Figure 16: Rejets de <i>Aloe vera</i>	35
Figure 17: Pépinière de <i>Aloe vera</i> réalisée sur la parcelle expérimentale de l'université.....	36
Figure 18: Quelques éléments du matériel technique utilisé.....	37
Figure 19: Boutures de <i>Aloe vera</i> utilisées pour la multiplication végétative.....	39
Figure 20: Dispositif expérimental utilisé pour l'essai de multiplication végétative de <i>Aloe vera</i> avec des boutures partiellement (A) et totalement (B) enfouies	40
Figure 21: Trou fait dans une banane plantain	43
Figure 22: Dispositif expérimental de l'essai de détermination du substrat approprié à la croissance de <i>Aloe vera</i>	44
Figure 23: Dispositif expérimental des amendements liquides.....	46
Figure 24: Dispositif expérimental utilisé	49
Figure 25: Dispositif expérimental utilisé pour la recherche de la densité optimale	51
Figure 26: Marquage des feuilles de <i>Aloe vera</i> à l'aide d'un marqueur indélébile.....	52
Figure 27: Dispositif expérimental adopté	54

Figure 28: Plantation des rejets de bananier.....	54
Figure 29: Dispositif expérimental pour l'association hévéa – aloès.....	59
Figure 30: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du mode de plantation des boutures	62
Figure 31: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du type de boutures partiellement et totalement enfouies	63
Figure 32: Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du temps et selon les substrats étudiés	71
Figure 33: Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction de l'amendement	77
Figure 34: Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement.....	77
Figure 35: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction de la quantité d'amendement	84
Figure 36: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement.....	84
Figure 37: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps et selon les interlignes	93
Figure 38: Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du temps ...	101
Figure 39: Evolution du nombre de feuilles de bananier produites en fonction du temps.....	104
Figure 40: Evolution de la longueur des feuilles de bananiers en fonction du temps.....	106
Figure 41: Evolution de la largeur des feuilles de bananiers en fonction du temps.....	107
Figure 42: Evolution de la hauteur du pseudotrunc des bananiers en fonction du temps	108
Figure 43: Evolution de la circonférence du pseudotrunc des bananiers en fonction du temps	109
Figure 44 : Evolution du nombre de feuilles de <i>Aloe vera</i> produites en fonction du temps et selon les traitements	111
Figure 45: Evolution de la circonférence des arbres d'hévéa en fonction du temps.....	114

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Quelques étapes de la réalisation de la pépinière de <i>Aloe vera</i>	138
Annexe 2: Mesure des feuilles de <i>Aloe vera</i>	139
Annexe 3: Lecture du pH des substrats	140
Annexe 4: Pots contenant les amendements liquides préparés	141
Annexe 5: Plante de <i>Aloe vera</i> plantée à la densité 10000 plants / ha cinq mois après plantation	142
Annexe 6: Photo de l'expérience de l'association bananier- <i>Aloe vera</i>	143
Annexe 7: Photos de l'expérience de l'association hevea- <i>Aloe vera</i>	144
Annexe 8: Culture pure de <i>Aloe vera</i> mise en place suivant la fiche technique élaborée	145

INTRODUCTION

Depuis son indépendance, la Côte d'Ivoire a basé son économie sur l'agriculture. Celle-ci est dominée par les cultures de rente telles que le café, le cacao et l'hévéa (Sangaré *et al.*, 2009). A côté de ces cultures de rente, existent des cultures vivrières dont la banane qui occupe en volume le 3^{ème} rang des cultures vivrières après l'igname (5,5 millions de t/an) et le manioc (2,3 millions de t / an) (Vawa *et al.*, 2021). Mais aujourd'hui, le développement du secteur agricole subit d'énormes contraintes.

En effet, le développement de l'économie de plantation en Côte d'Ivoire a notamment impulsé d'importantes dynamiques de peuplement en direction de la zone forestière. La forêt qui occupait toute la moitié sud du pays, a souffert d'une dégradation accélérée à partir des années 1970. À ce jour, la couverture forestière ivoirienne est estimée à seulement 2,7 millions d'hectares avec un taux de déforestation annuel estimé à 4,32 % entre 1990 et 2005 (Dro *et al.*, 2020). Le résultat se lit dans la perte en superficie forestière donc des terres arables (Kouakou *et al.* 2018). Aussi, cette déforestation a engendré une dégradation et un appauvrissement des sols. Par ailleurs, elle est l'une des causes majeures du changement climatique constaté.

Le changement climatique se manifeste aujourd'hui par l'insuffisance et une irrégularité des pluies d'où une sécheresse prolongée. La croissance des plantes ainsi que leur productivité se retrouvent donc limitées (Zerrad *et al.*, 2008). Par conséquent, les paysans font face à une baisse de leur revenu. Ainsi, la recherche et la promotion de cultures d'intérêts capables de s'adapter au manque d'eau s'avère nécessaire. *Aloe barbadensis* Miller, communément appelé *Aloe vera*, se présente comme une alternative intéressante.

En effet, *Aloe vera* est une plante succulente qui peut se développer avec une faible disponibilité ou une irrégularité en eau (Svjetlana *et al.*, 2020). Elle supporte de grands écarts de températures saisonnières et journalières et est considérée comme la plante la plus résistante au monde (Azib & Hammache, 2019). De plus, la présence en son sein d'antraquinones amères et d'autres composants polyphénoliques rend la plante peu attrayante aux ravageurs et agents pathogènes (Gharib, 2021). Elle est cultivée principalement pour ses feuilles d'où sont extraites du suc et du gel, qui donnent lieu à la réalisation de produits aux usages diversifiés. *Aloe vera* possède diverses propriétés notamment fongicides, antibactériennes et antivirales (Michayewicz, 2013). De ce fait, cette plante intervient dans la fabrication de plusieurs produits en médecine pour lutter, entre autres, contre l'ulcère gastrique, les problèmes de foie, les troubles de l'intestin, les infections du pancréas et les maladies dermatologiques (Morin, 2008). *Aloe vera* est aussi utilisé dans les industries agroalimentaires. C'est un ingrédient dans divers produits alimentaires comme les produits laitiers, la crème glacée, la confiserie (Ramachandra & Rao, 2008). En cosmétiques, *Aloe vera* intervient dans la fabrication des hydratants,

nettoyants, lotions solaires, dentifrices, bain de bouche, crèmes à raser, déodorants et shampoings (Christaki & Florou-Paneri, 2010). Aussi, les feuilles de *Aloe vera* sont utilisées comme fertilisant organique et insecticide pour une bonne et saine croissance des plantes. Elles servent à confectionner des hormones racinaires facilitant la fixation des plantes (Anonyme 1, 2021). *Aloe vera* a également été utilisée en santé végétale à travers la conservation à longue durée des fruits et légumes dans plusieurs pays, notamment à Cuba et au Nigéria (Garcia, 2014 ; Gboyinde, 2019). Tout récemment, des études faites en Côte d'Ivoire, au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa ont montré également que le gel de *Aloe vera*, en application sur les fruits et légumes, permet leur conservation sur une longue durée (Kouadio, 2021). De même, le gel de *Aloe vera* a permis d'obtenir des plants de riz plus vigoureux (Bamba, 2021). *Aloe vera* pourrait donc constituer une alternative intéressante à l'utilisation des produits chimiques.

Les principaux pays producteurs sont le Mexique, le Venezuela et la République Dominicaine (Michayewicz, 2013). Dans ces pays, *Aloe vera* est cultivée pour répondre à la demande internationale, en constante augmentation. En France, les feuilles de *Aloe vera* sont vendues au prix de 5 € HT soit environ 3250 F CFA / kg (Anonyme 2, 2023) ou 19,99 € HT soit environ 12900 F CFA pour 700 g (Anonyme 3, 2023). En Afrique de l'Ouest, le Nigéria est le premier pays producteur de *Aloe vera* avec une production destinée au marché local (Michayewicz, 2013). D'après les estimations du FMI, le marché de *Aloe vera* pourrait rapporter plus de 3,3 milliards de dollars d'ici 2026 (Azib & Hammache, 2019). L'adoption de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire pourrait constituer une ressource additionnelle majeure pour les paysans.

En Côte d'Ivoire, *Aloe vera* est une plante peu connue qui est cultivée comme plante ornementale. Par conséquent, toute tentative qui vise à promouvoir et à vulgariser cette plante doit être accompagnée d'un itinéraire technique spécifique. L'itinéraire technique se définit comme une combinaison logique et ordonnée des techniques culturales, appliquées à une culture en vue d'atteindre un objectif donné de rendement (Havard, 2013). A ce jour, peu d'informations existent en ce qui concerne les méthodes de culture à grande échelle de *Aloe vera*. En Afrique, les programmes de recherche exécutés sur *Aloe vera* ont essentiellement porté sur ses propriétés à l'exemple de celles de Benzaza & Sattal (2018) et de Gharib & Ben (2021). Très peu d'études scientifiques ont été menées au niveau agronomique, notamment sur le développement de techniques culturales appropriées. Cette étude a donc été initiée pour répondre à cette préoccupation.

Cependant, la promotion de cette culture ne doit pas faire l'objet d'acquisition de nouvelles terres car la Côte d'Ivoire fait face aujourd'hui à un déficit de terres cultivables. Une situation qui s'explique par la conjonction de plusieurs facteurs dont la dynamique de l'agriculture extensive, l'exploitation minière, la pression démographique et l'urbanisation (Oura, 2012). Partant de ces faits, la culture de *Aloe vera* pourrait être envisagée dans les grands interlignes souvent inexploités des plantations de nombreuses plantes. Ceci permettra aux planteurs de diversifier les cultures, c'est à dire d'augmenter le nombre d'espèces cultivées sur une même parcelle en vue de multiplier leur source de revenus.

Ainsi, l'objectif principal de ce travail est de déterminer et de vulgariser un ensemble de techniques culturales qui permettent une bonne productivité de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire. Il s'agit spécifiquement de :

- évaluer la capacité de multiplication de *Aloe vera* à partir de la tige et de la racine ;
- déterminer le (s) substrat (s) et/ou le (s) amendement (s) le (s) plus approprié (s) à la croissance de *Aloe vera* en pépinière et au champ ;
- rechercher la densité de plantation optimale pour une croissance efficiente des plants de *Aloe vera* au champ ;
- évaluer deux systèmes de cultures intégrant *Aloe vera*, bananier-*Aloe vera* et hévéa-*Aloe vera*.

Le présent document s'articule autour de trois grandes parties. Après cette introduction générale, la première partie abordera les acquis bibliographiques sur *Aloe vera*, quelques pistes de réflexion pour sa culture en Côte d'Ivoire et la présentation de notre zone d'étude. La deuxième partie présentera le matériel et la méthodologie utilisés pour la conduite des essais, la collecte, le traitement et l'analyse des données. Enfin, la troisième partie exposera les résultats des expérimentations menées suivis de leur discussion. Une conclusion générale suivie de recommandations, de perspectives et des références terminent ce document.

**PREMIERE PARTIE : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

1.1. Généralités sur *Aloe vera*

1.1.1. Histoire et légende

Aloe vera est une plante qui s'est révélée par ses vertus à plusieurs civilisations notamment Chinoise, Egyptienne, Arabe et Européenne.

1.1.1.1. Civilisation Chinoise

Dans le *Pen T'sao*, le plus ancien traité de pharmacopée chinoise, remontant à l'empereur Shen Nong (2700 ans avant J-C), *Aloe vera* est classé parmi les plantes aux vertus thérapeutiques majeures (Michayewicz, 2013). Les médecins chinois l'avaient même surnommé le « remède d'harmonie » et la considéraient comme la plante spécifique du traitement des brûlures et des affections de la peau. Plus tard, vers 700-800 ans après J-C, les Chinois l'utilisèrent pour traiter les sinusites, la fièvre et les convulsions chez les enfants. Le poète Liu Yu Xi (au 8^{ème} siècle) raconta comment enfant, il fut guéri d'un eczéma tenace dont aucune médecine ne venait à bout. Un marchand d'herbes ambulancier élaborait une préparation de deux tiers d'aloès et d'un tiers de réglisse qui le soulagea instantanément (Michayewicz, 2013).

Jadis, avant le combat, les samouraïs enduisaient leur corps de pulpe d'aloès pour chasser les démons et se rendre immortels. La pharmacopée chinoise de Li Shih-Shen (1518-1593) tient *Aloe vera* parmi les plantes aux vertus thérapeutiques majeures et le nomme le « remède d'harmonie ». La médecine chinoise actuelle utilise sa pulpe pour le traitement de l'artériosclérose (Michayewicz, 2013).

1.1.1.2. Civilisation Egyptienne

L'un des plus anciens documents de la médecine égyptienne, le fameux papyrus d'Ebers (nom de celui qui l'a déchiffré après sa découverte dans les ruines de Louksor), écrit à Thèbes et datant de 1550 avant J-C, reproduit en signes hiéroglyphes de nombreuses formulations à base de *Aloe vera* et détaille pour la première fois les vertus médicinales attribuées à la plante (Benzie & Wachtel-Galor, 2011). Cet ouvrage qui a pour titre « Livre de préparation de médicaments pour toutes les parties du corps humain », est conservé à l'Université de Leipzig, en Allemagne.

Planté autour des temples, des pyramides et le long des routes menant à la Vallée des Rois, *Aloe vera* servait à accompagner le pharaon dans son passage vers l'au-delà, afin de le soigner et de le nourrir tout au long de son voyage. Quand il fleurissait, cela signifiait que le défunt avait bien atteint l'« autre rive ». Les prêtres associaient la « plante de l'immortalité » à leurs rites funéraires, l'incorporant à la composition de la formule de l'embaumement. Les

anciens Égyptiens, inventeurs du clystère, l'employaient en lavements purgatifs (Schweizer, 2012). D'après la légende égyptienne, les yeux de Cléopâtre devaient beaucoup de leur légendaire éclat à un collyre à base d'aloès, et le secret de la beauté de la peau et du teint de Néfertiti résidait dans ses bains quotidiens de lait d'ânesse et de pulpe d'aloès. Aujourd'hui, en Egypte, la plante signifie toujours bonheur et protection, surtout si elle est placée à l'intérieur des maisons (Michayewicz, 2013).

1.1.1.3. Civilisation Arabe

Les Arabes connaissent depuis la plus haute antiquité les vertus de l'aloès qu'ils appellent « Lys du désert ». 600 ans avant J-C, la civilisation Arabe fut l'une des premières à décrire deux suc différents et à développer un processus de séparation du gel et de la sève. A l'aide de leurs pieds nus, les Arabes écrasaient les feuilles de *Aloe vera* et plaçaient la pâte ainsi obtenue dans des sacs en peau de chèvre (Michayewicz, 2013). Ensuite, ces sacs étaient placés en plein soleil pour que le contenu soit complètement desséché puis il était réduit en poudre. Ces extraits résineux, qui servaient surtout de laxatif, mais aussi à bien d'autres usages internes et externes, ont largement contribué à la diffusion de l'aloès dans de nombreux pays du Moyen Orient et d'Asie (Michayewicz, 2013).

1.1.1.4. Civilisation Européenne

Aloe vera est introduit en Europe vers 1000-1300 après J-C. Pendant les croisades, l'« Elixir de Jérusalem » composé d'un mélange de vin de palme, de pulpe d'aloès et de chanvre, était une boisson très prisée des Templiers, qui lui attribuaient leur secret de longévité (Michayewicz, 2013).

Au Moyen Age et pendant la renaissance, les usages de l'aloès médicinal se répandent dans le monde et dans les régions les plus froides de l'Europe. Du fait que la plante pousse sous des climats chauds, les Européens du nord ne s'intéressèrent pas à la plante, alors qu'en Espagne, au Portugal et en Italie où elle était abondante, la population lui accordait beaucoup de considération (Michayewicz, 2013).

Vers 1400-1500 ans après J-C, les conquérants espagnols et les missionnaires divulguent la culture et l'utilisation de *Aloe vera* dans le monde. Grâce à la plante, les marins espagnols de la Santa Maria décimés par la malnutrition et la maladie sont sauvés. Christophe Colomb en parle alors dans ses journaux de bord et l'appelle le « docteur en pot ». Il dit : « Quatre végétaux sont indispensables à la vie de l'Homme : le blé, la vigne, l'olivier et l'aloès. Le premier te nourrit, le second te réjouit, le troisième t'harmonise et le quatrième te guérit ».

La teinture de *Aloe vera*, amère, était également utilisée pour badigeonner les doigts des enfants afin d'éviter qu'ils les portent à la bouche (Michayewicz, 2013).

1.1.1.5. De la légende à aujourd'hui

Entre le 15^{ème} et le 17^{ème} siècle après J-C, *Aloe vera* tombe en désuétude. Elle est seulement utilisée en Europe et en Amérique du Nord sous forme de poudre avec pour seule indication le traitement de la constipation car le gel s'oxyde très vite une fois extrait (Michayewicz, 2013). Au 17^{ème} siècle, la plante se propage à travers le monde grâce aux colons hollandais qui la cultivent sur le continent africain et l'exportent. Du fait de la réputation ancienne de la plante, les scientifiques commencent à s'intéresser à la composition chimique de *Aloe vera* et ses propriétés thérapeutiques. C'est ainsi qu'en 1851, Smith et Stenhouse identifient l'un des principes actifs de *Aloe vera* qu'ils appellent aloïne. Les extraits d'aloïne et de Aloe-émodyne sont cités pour une des premières fois, dans le Codex britannique de 1907 (Michayewicz, 2013).

En 1912, Johnston découvre l'effet de la pulpe sur les brûlures, et il faudra attendre les années 1930 pour que la plante se voit attribuée une autre indication thérapeutique : le traitement des radiodermites. En effet, à cette période, Collins publie les premiers travaux scientifiques sur la plante et démontre ainsi l'effet curatif de celle-ci sur les brûlures dues aux rayons X (Michayewicz, 2013). Cela va être confirmé des années plus tard par l'utilisation qu'en ont fait les Japonais après les attaques nucléaires de Nagasaki et Hiroshima. En effet, la peau des victimes cicatrisait très rapidement et le nombre de cancers était significativement réduit après application de la pulpe de *Aloe vera*. L'engouement de la communauté scientifique et industrielle commence alors réellement à ce moment (Michayewicz, 2013).

En 1942, Rodney Stockton, ingénieur chimiste, s'enduit de pulpe gélatineuse de *Aloe vera* après un coup de soleil et guérit rapidement. Il se met donc à s'intéresser à la plante, travaille sur la stabilisation du gel et met au point un onguent qui soulage les brûlures. Ce n'est qu'à la fin des années 1950 que Bill Coats, pharmacien texan, réussit réellement, après des années de recherche, à stabiliser la pulpe fraîche par un procédé naturel (Michayewicz, 2013). Commencent alors la commercialisation de *Aloe vera* à l'échelle internationale, et les nombreux travaux cliniques et analytiques. De nombreuses autres propriétés sont ainsi connues et la composition chimique de la plante est peu à peu élaborée. Aujourd'hui, nous pouvons affirmer que la composition chimique est presque en totalité connue (Michayewicz, 2013).

1.1.2. Caractéristiques botaniques

1.1.2.1. Aspect général

Aloe vera (Figure 1) provient des zones à climat chaud et sec essentiellement en Afrique (Svjetlana *et al.*, 2020). Néanmoins, la plante est dotée d'une grande aptitude d'adaptation climatique lui permettant de pousser sur tous les continents. Sa forme ressemble à celle d'un cactus. Elle est caractérisée par une grande capacité de stockage d'eau dans les tissus (Svjetlana *et al.*, 2020). *Aloe vera* est une plante vivace succulente, arborescente pouvant atteindre à l'âge adulte une hauteur de 60 à 90 cm. Sa partie souterraine est constituée de racines peu profondes charnues et fibreuses, disposées en faisceaux (Gharib & Ben, 2021).



Figure 1: Champ de *Aloe vera* en floraison sous système d'irrigation artificiel (Gharib & Ben, 2021)

1.1.2.2. Feuille de *Aloe vera*

Description macroscopique

Aloe vera possède des feuilles charnues recouvertes d'une cuticule ou d'une croûte épaisse, sous laquelle se trouve une mince couche vasculaire recouvrant une pulpe interne claire. Les feuilles, disposées en rosette, sont fragiles et pourvues d'épines. Les plus jeunes poussent au centre de la plante et les plus âgées se retrouvent à l'extérieur (Ouarak, 2019).

Les feuilles peuvent atteindre 30 - 50 cm de longueur et 10 cm de largeur à la base (Svjetlana *et al.*, 2020). Les feuilles sont composées de trois couches : un gel interne, une sève

jaune et la couche externe épaisse de 15 à 20 cellules appelées croûte. En raison des crêtes épineuses qui protègent la feuille souple, *Aloe vera* est souvent pris pour un cactus. Cette plante herbacée vivace et succulente présente une tige triangulaire et sessile, un système racinaire peu profond, des feuilles épaisses, effilées, vertes, en forme de lance, juteuses, basales, pointues et dentelées (Rahoui, 2019).

Description microscopique

Les grandes feuilles de *Aloe vera* sont constituées d'un épiderme à cuticule épaisse munie de nombreuses stomates (Figure 2) qui ont la capacité de se refermer, et ainsi de garder l'eau prisonnière des tissus végétaux. Sous cet épiderme se trouve un parenchyme palissadique puis un parenchyme chlorophyllien et amylofère, constitué de quelques assises cellulaires. Puis la région centrale constituée de cellules mucilagineuses apparaît clairement délimitée (Ouarrak, 2019).

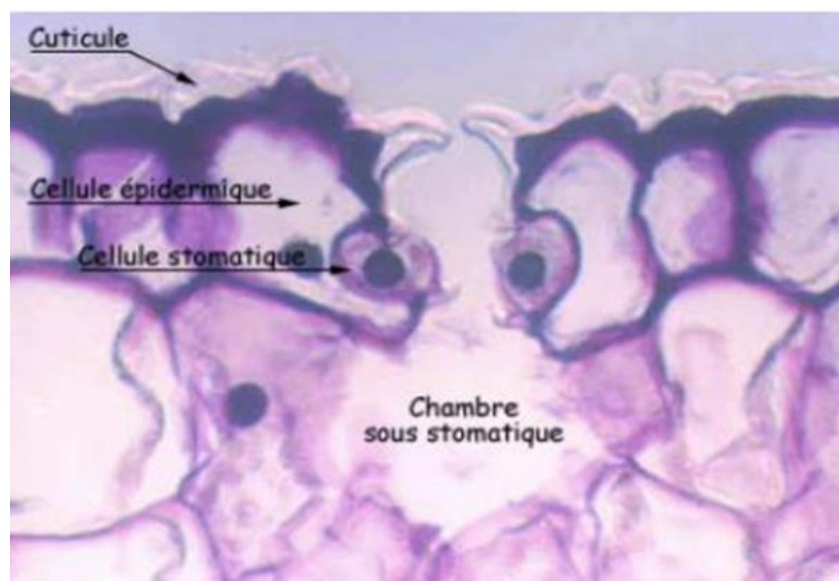


Figure 2: Coupe transversale d'un stomate présent sur les feuille de *Aloe vera* (Ouarrak, 2019)

Le parenchyme aquifère occupe la quasi-totalité de la feuille (Figure 3). Le gel d'aloès s'accumule dans ces structures. Les cellules qui le composent sont très grandes, polyédriques et ne présentent que peu d'organites vitaux. Il semblerait qu'elles ne soient pas vivantes et qu'elles serviraient d'éléments de stockage. Entre le parenchyme assimilateur et le parenchyme aquifère, se trouvent des faisceaux cribro-vasculaires isolés à péricycle et endoderme marquées. Le suc d'aloès sera extrait des vaisseaux (Ouarrak, 2019).

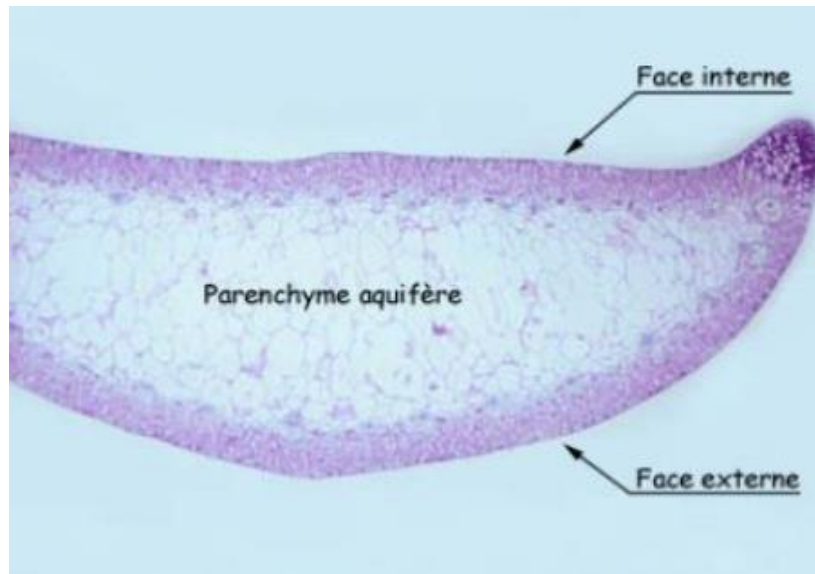


Figure 3: Coupe transversale d'un limbe de *Aloe vera* (Gharib & Ben, 2021)

La coupe transversale de la feuille permet de distinguer successivement, en allant de l'extérieur vers l'intérieur (Figure 4) (Rahoui, 2019) :

- la cuticule, une couche épidermique chlorophyllienne de 15-20 cellules qui a une fonction protectrice, synthétise en plus, des glucides et des protéines. À l'intérieur de la croûte se trouvent des faisceaux vasculaires responsables du transport de substances telles que l'eau (xylème) et l'amidon (phloème) ;
- un derme cellulosique dans lequel circule une sève (ou suc) rouge brunâtre, substance très amère appelé le latex qui contient des anthraquinones et des glycosides ;
- la pulpe proprement dite, parenchyme mucilagineux incolore très épais, qui contient le fameux gel, c'est la partie la plus riche et la plus active de la plante contenant 99 % d'eau et de nombreuses substances thérapeutiques (vitamines, acides aminés, minéraux, oligo- éléments, sucres, enzymes, composés organiques...).

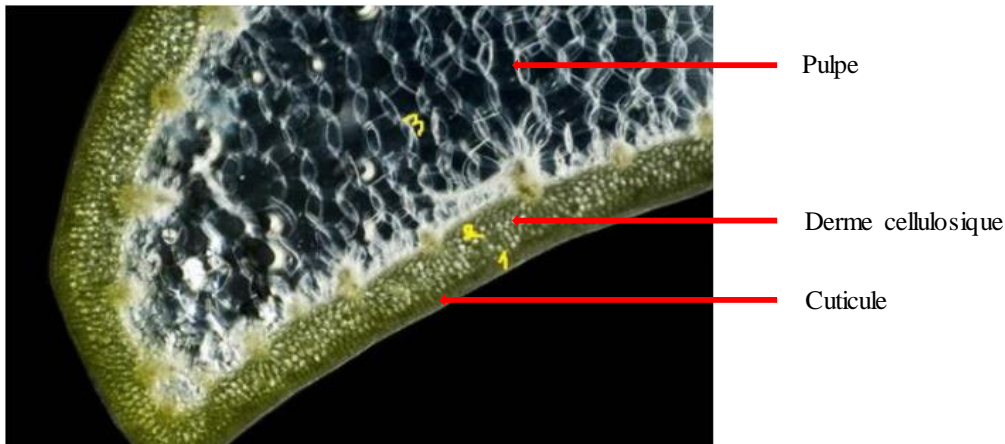


Figure 4: Coupe transversale de la feuille de *Aloe vera* (Rahoui, 2019)

1.1.2.3. Inflorescence

L'inflorescence de *Aloe vera* est une grappe dressée qui peut atteindre un mètre de long et comporte de nombreuses fleurs entourées de bractées jaune-rougeâtres (Figure 5). Le périanthe charnu, d'un jaune orangé, comporte six pièces de 2,5 cm de long, soudées en tube à la base. Il y a six étamines, un peu plus longues que le périanthe, entourant l'ovaire libre à trois loges qui donne une capsule loculicide (se dit de l'ouverture d'une capsule par la rupture longitudinale de la nervure médiane des carpelles), renfermant de nombreuses graines à albumen charnu. Les graines, d'environ 7 mm, sont brunes foncées, ailées (Gharib & Ben, 2021).



Figure 5: Fleurs de *Aloe vera* entourées de bractées jaune-rougeâtres (Gharib & Ben, 2021)

1.1.2.4. Racines et tige de *Aloe vera*

La plante de *Aloe vera* porte des racines fasciculées, courtes et peu profonde (Figure 6). La tige très courte et semi-ligneuse porte des feuilles disposées en rosette, longues et dentelées sur les bords, épaisses mais souples puisqu'elles sont très charnues (Michayewicz, 2013).



Figure 6: Racines et tige de *Aloe vera* (Bettaieb, 2013)

1.1.3. Ecologie

Aloe vera pousse généralement dans les régions semi-arides et n'apprécie pas les conditions extrêmes telles qu'une humidité excessive ou des températures trop élevées. Il préfère des sols sableux ou limoneux, bien drainés, et peut pousser dans des sols pauvres en éléments nutritifs, mais il prospère sur les sols riches. Il peut très bien survivre à la sécheresse, mais n'est pas très résistant au gel. Les jeunes plantes apprécient la mi-ombre alors que les plantes plus âgées préfèrent une exposition complète au soleil. Durant les mois d'hiver en régions subtropicales, la plante entre en dormance et utilise très peu d'eau (Michayewicz, 2013).

1.1.4. Position taxonomique

La position systématique attribuée à *Aloe vera* dans cette étude est de Cronquist (1981). Elle se présente comme suit :

Règne	: Végétal
Sous-Règne	: Trachéophytes
Embranchement	: Spermaphytes
Sous-Embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Sous-classe	: Liliidae
Ordre	: Liliales
Famille	: Liliaceae
Genre	: <i>Aloe</i>
Espèce	: <i>Aloe vera</i>

1.1.5. Répartition géographique

Aloe vera se retrouve à l'état naturel en Turquie, sur les îles de Canari, en Inde, au Sri Lanka et en Chine méridionale. Cette plante se rencontre également dans le Caucase, à Madère, en Australie, en Polynésie, dans les Caraïbes, en Amérique du Sud, en Amérique Centrale, dans le sud des Etats-Unis (Californie, Texas, Arizona et Floride). Elle pousse en Afrique du Nord, en Afrique orientale (surtout Ouganda), Afrique du Sud et sur les îles de Cap Vert (Rahoui, 2019).

1.1.6. Quelques usages de *Aloe vera*

Les recherches effectuées par les laboratoires européens ont permis d'isoler plus de 250 composants de la plante. Ce végétal figure parmi les rares espèces au monde à renfermer l'ensemble des éléments indispensables au traitement et à la survie de l'organisme, à savoir les sels minéraux, les polysaccharides les acides aminés essentiels et les vitamines A, C, E et les oligoéléments (Benzaza & Sattal, 2018).

1.1.6.1. Dans l'alimentation

Aloe vera est une plante riche en différents nutriments de haute valeur nutritionnelle, telle que : les vitamines, les minéraux, les sucres et les protéines (Bassetti & Sala, 2005). Le gel de *Aloe vera* aloès est utilisé comme une source nutritionnelle (complément alimentaire) dans

l'industrie agroalimentaire, surtout pour la préparation des boissons de santé sans effets. Il est aussi utilisé comme ingrédients dans divers produits alimentaires par exemple, les produits laitiers, la crème glacée, la confiserie (Ramachandra & Rao, 2008). Par ailleurs, *Aloe vera* peut être consommée comme légume (au Japon) et être transformé en nourriture ou boissons (Chang *et al.*, 2011).

1.1.6.2. Dans la médecine

Les praticiens traditionnels prescrivent généralement la pulpe de l'aloès, mélangée avec du miel contre les pathologies du système digestif que sont ulcère gastrique, problèmes de foie, les troubles de l'intestin et les infections du pancréas. De même que les maladies dermatologiques telles que les plaies, les brûlures, les éruptions cutanées, les maladies respiratoires et l'asthme (Morin, 2008).

Les médecins locaux de certains pays d'Afrique tel que le Madagascar, ont montré que *Aloe vera* accélère la circulation du sang, dégage et rétablit l'appareil circulatoire en entier, revitalise les capillaires, alimente les cellules, et dégage les toxines et les déchets des humains. Les produits de santé à base d'aloès peuvent être employés extérieurement ou intérieurement (Chabrier, 2018). Aujourd'hui, il y a des capsules et des comprimés d'aloès sur le marché (Li, 2009). En Afrique du sud, une composition médicinale obtenue en bouillant des feuilles est administrée aux femmes pour faciliter leur accouchement. En Italie des jus de feuilles de *Aloe vera* sont commercialisés comme des boissons curatives (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008).

1.1.6.3. En cosmétique

L'utilisation de *Aloe vera* dans les cosmétiques n'est pas nouvelle. *Aloe vera* est utilisée à des concentrations variant de 1 à 98 %. Il est bien connu que le gel de *Aloe vera* permet de conserver l'humidité pour des périodes extrêmement longues et a des effets apaisants. Ainsi, *Aloe vera* a trouvé une application étendue dans les industries cosmétiques et de toilette, tels que les hydratants, nettoyeurs, lotions solaires, dentifrices, rince-bouche, crèmes à raser, déodorants et shampooings (Christaki & Florou-Paneri, 2010).

1.1.7. Composition chimique de *Aloe vera*

Le suc et le gel qui sont contenus dans la feuille de *Aloe vera* ont un aspect et des compositions chimiques différentes.

1.1.7.1. Suc

Le suc, aussi appelé latex ou sève, est contenu dans l'épiderme supérieur et inférieur (cellules péricycliques) de la feuille de *Aloe vera*. Cette sève jaune et amère renferme 20 à 40%

de dérivés anthracéniques également appelés anthraquinones, et aussi des chromones. Absorbées en grande quantité, les anthraquinones ont un effet laxatif, mais en faible concentration elles sont des puissants antimicrobiens et faciliteraient l'absorption intestinale. Elles sont également fortement analgésiques. Les dérivés anthraquinoniques ont souvent été détectés et identifiés. Ils sont présents en grand nombre et leurs propriétés thérapeutiques diffèrent entre elles (Michayewicz, 2013) :

- Aloïne (glucoside de *Aloe-émodyne*) qui représente 15-40 % du suc, et qui en s'hydrolysant dans le tube digestif, libère *Aloe-émodyne*. Il s'agit des aloïnes A et B, connues sous le nom de barbaloinés, composants majeurs de la sève qui possèdent des propriétés analgésiques, antibactériennes, antivirales. L'aloïne a été identifié comme le composant actif aux propriétés laxatives.
- *Aloe-émodyne* : stimulant irritant du tube digestif, qui est également antifongique, antibactérien, hépatoprotecteur, antiviral et antitumoral. Cette dernière propriété thérapeutique serait liée à l'inhibition de la sécrétion d'urokinase et la formation de tubules dans les cellules endothéliales (deux mécanismes clés dans l'angiogénèse).
- *Aloe-émodyne-9-anthrone* : métabolite de l'isobarbaloiné, puissant agent laxatif.
- Acide aloétique : ses propriétés sont encore peu connues, mais il aurait un effet antibiotique naturel, en particulier quand il est associé aux autres anthraquinones présentes dans le suc.
- Acide chrysophanique : stimule la sécrétion de bile, fongicide (champignons cutanés).
- *Aloe-ulcine* : inhibition des sécrétions gastriques.
- Anthracène et anthranol : formes réduites des anthraquinones.
- Ester d'acide cinnamique : aurait un rôle dans le processus inflammatoire, en agissant en tant qu'analgésique et anesthésique.
- Huile étheriale : analgésique.
- Resestanol : bactéricide et anti-inflammatoire, son action serait équivalente à celle d'un corticoïde naturel. A doses élevées, ces molécules peuvent être toxiques pour les cellules. Des anthraquinones similaires ont été trouvées dans la rhubarbe, le cascara, et le séné, qui sont connus pour leurs vertus laxatives et digestives.

1.1.7.2. Gel

La pulpe de *Aloe vera* est composée d'environ 98,5 % d'eau alors que le gel seul comporte 99,5 % d'eau. La différence, soit 0,5-1%, représente la matière solide. Il s'agit d'un ensemble de composés qui sont des vitamines, minéraux, enzymes, polysaccharides, composés

phénoliques et acides organiques (Boudreau & Beland, 2006). On dénombre ainsi environ 75 molécules actives. Par ailleurs, les propriétés thérapeutiques du gel seraient liées au fait que les composants agissent en synergie, plutôt que chacun agissant séparément.

Mono et polysaccharides

Les monosaccharides trouvés dans le gel sont le glucose, qui représente près de 95 % des monosaccharides totaux, et le mannose. On trouve aussi des polysaccharides, qui confèrent au gel de nombreuses propriétés tels que l'effet cicatrisant, hypoglycémiant, immunomodulateur, antifongique et antiinflammatoire. Ces polysaccharides sont la cellulose, l'aldopentose, le L-rhamnose, mais aussi un polysaccharide particulier, l'acemannan (Michayewicz, 2013).

L'acemannan, mannose acétylé de chaîne moléculaire longue (Figure 7), est très intéressant du fait de ses nombreuses propriétés :

- activité antitumorale ;
- stimulation du système immunitaire avec stimulation de la production de macrophages et augmentation de la capacité des lymphocytes T ;
- effet antiviral.

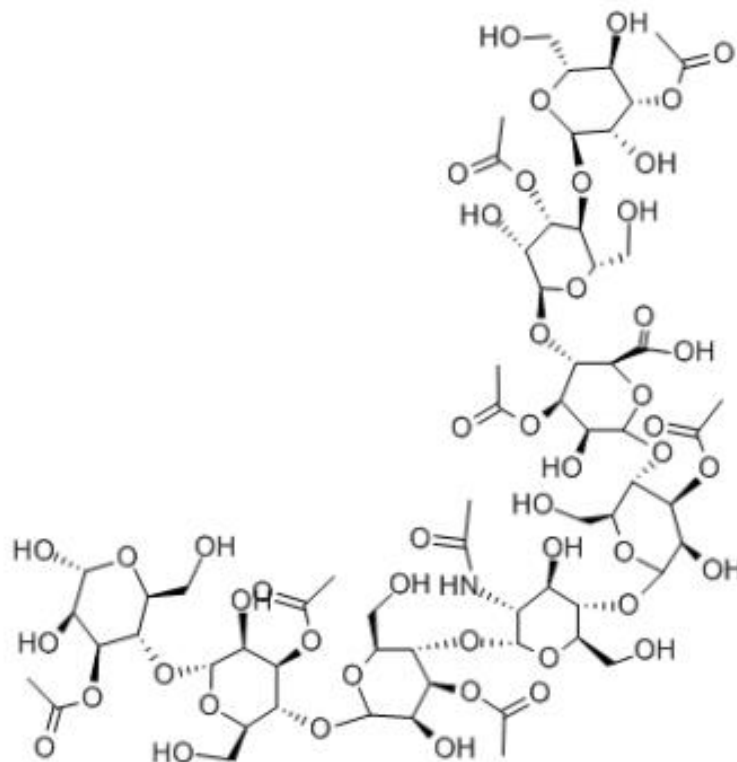


Figure 7: Structure chimique de l'acemannan (Michayewicz, 2013)

Acides aminés

Les acides aminés sont nécessaires à la synthèse des protéines. Ils ont un rôle métabolique et peuvent jouer le rôle de neuromédiateurs. Le gel en contient 18, dont le plus abondant retrouvé est l'arginine puis l'acide glutamique (Michayewicz, 2013).

Les acides aminés essentiels ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme et doivent donc être impérativement apportés par l'alimentation. Le gel de *Aloe vera* contient 7 des 8 acides aminés dits essentiels. Il s'agit de l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine et la valine (seul le tryptophane n'est pas retrouvé dans la composition du gel).

Les acides aminés secondaires ou non essentiels sont retrouvés au nombre de 11 (sur les 14 existants). Ils peuvent être synthétisés dans l'organisme à partir des lipides ou glucides. On y trouve l'acide aspartique, l'acide glutamique, l'alanine, l'arginine (il s'agit en réalité d'un acide aminé semi-essentiel car apporté par le lait maternel et indispensable au nourrisson), la cystine, la glycine ou glycofolle, l'histidine, la proline, l'hydroxyproline, la sérine, et la tyrosine.

Cette richesse en acides aminés confère à *Aloe vera* un excellent intérêt diététique (Michayewicz, 2013).

Minéraux et oligo-éléments

Selon les études, les proportions des minéraux et oligo-éléments varient selon l'âge et la partie de la feuille utilisée. En effet, le gel de *Aloe vera* contient du calcium, du chlore, du cuivre, du chrome, du fer, du lithium, du magnésium, du manganèse, du phosphore, du potassium, du sodium, et du zinc. Les plus abondants étant le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium. La présence de calcium présente un intérêt puisqu'il joue un rôle dans la fermeté des tissus (Michayewicz, 2013). En outre, de nombreuses vitamines ont été identifiées dans le gel de *Aloe vera*. Il s'agit de :

- la vitamine A ou rétinol : essentielle pour la vision, la multiplication cellulaire et les trophicités épithéliale et tissulaire ;
- la vitamine B1 ou thiamine : elle joue un rôle métabolique essentiel, nécessaire au fonctionnement cellulaire et à la transmission de l'influx nerveux ;
- la vitamine B2 ou riboflavine : importante pour la santé de la peau et des tissus ;
- la vitamine B3 ou vitamine PP ou nicotamide : aide à réguler le métabolisme ;
- la vitamine B6 ou pyridoxine : intervient comme coenzyme dans de nombreuses réactions, notamment celles qui impliquent les acides aminés ;
- la vitamine B9 ou acide folique : indispensable à la maturation des érythrocytes ;

- la vitamine B12 : essentielle pour le maintien de l'intégrité du système nerveux et pour l'hématopoïèse. Rappelons que la vitamine B12 existe rarement dans les plantes. Il semblerait que *Aloe vera* n'en contienne que des traces infimes et cela même reste controversé ;
- la vitamine C ou acide ascorbique : stimule le système immunitaire et possède des propriétés anti-oxydantes ;
- la vitamine E ou tocophérol : agit comme agent antioxydant et au niveau de la synthèse de l'hème (Michayewicz, 2013).

Enzymes

Le gel contient certaines enzymes dont la phosphatase alcaline, l'amylase, la bradykinase, la carboxypeptidase, la catalase, la cellulase, la lipase et la peroxydase.

La bradykinase contribue à réduire l'inflammation excessive lorsqu'elle est appliquée sur la peau par voie topique, tandis que les autres aident à la dégradation des sucres et des graisses (Amar *et al.*, 2008).

Stérols

On trouve dans le gel la présence de β -sitostérol, de lupéol (alcool triterpénique qui possède des propriétés antalgiques et antimicrobiennes), de campestérol. De par leur structure similaire, ces phytostérols lorsqu'ils sont en présence de cholestérol, empêchent mutuellement leur solubilité respective. Une augmentation importante de la quantité de phytostérols entraîne donc une diminution de la solubilité du cholestérol et provoque une augmentation de sa précipitation et de son élimination fécale. Par conséquent, ils peuvent lutter contre l'excès de cholestérol. Ils ont également des propriétés analgésiques, antiinflammatoires et antiseptiques (Michayewicz, 2013).

1.1.8. Quelques propriétés de *Aloe vera*

1.1.8.1. Propriétés antifongiques

Un extrait glycolique de feuilles fraîches de *Aloe vera* a inhibé in vitro la croissance de *Candida albicans* et a diminué la formation des tubes germinatifs, caractéristiques de l'espèce et nécessaires à sa virulence (Bernardes *et al.*, 2012). De même, l'administration orale de gel a significativement réduit la croissance de *Candida albicans* dans la rate et les reins après l'injection intraveineuse de ce dernier chez des souris (Im *et al.*, 2010).

1.1.8.2. Propriétés antibactériennes

Des études ont été réalisées pour évaluer l'activité antimicrobienne de *Aloe vera* et de ses principaux constituants. La plupart de ces études sont in vitro et sont focalisées sur l'activité antibactérienne. Les bactéries les plus étudiées sont *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Un extrait aqueux de *Aloe vera* réduit la croissance et la formation de biofilm contre la résistance du *Staphylococcus aureus* à la méthicilline. Cette bactérie a également été inhibée par le gel de *Aloe vera* (concentrations de 50 % et de 100 %), ainsi que par d'autres agents pathogènes oraux obtenus de patients atteints d'abcès péri apical et parodontal, y compris *Actino bacillus*, *Actinomycete mcomitans*, *Clostridium bacilli*, et *Streptococcus mutans* utilisant des méthodes de dilution discale, de micro dilution et de dilution sur gélose. Le gel de *Aloe vera* a également inhibé d'autres bactéries Gram négatif (*Helicobacter pylori* et *Escherichia coli*) ainsi que le champignon *Candida albicans* (Ignacio *et al.*, 2020).

1.1.8.3. Propriétés antivirales

L'activité antivirale de *Aloe vera* a fait l'objet de plusieurs recherches sur des virus mortels.

Le virus *Herpès simplex*

L'extrait du gel de *Aloe vera* (concentrations de 0,2 % à 5 %) a montré une activité antivirale contre le virus *Herpès simplex* de type 1 en inhibant sa croissance.

Le virus de la grippe H1N1

Des études in vitro ont démontré que les polysaccharides d'aloès ont réduit la réplication du virus de la grippe de sous-type H1N1 et la période d'adsorption virale en interagissant avec les particules du virus de la grippe (Ignacio *et al.*, 2020).

Le virus de la grippe COVID-19

L'extrait du gel de *Aloe vera* a montré une activité antivirale contre de nombreux virus mortels à savoir coronavirus du SARS (SRAS-CoV 1). Le coronavirus du SARS (COVID-19) est un virus appartenant à la famille des *Corona viridae*, responsables d'infections digestives et respiratoires chez l'Homme et l'animal. Le virus de la COVID-19 est un nouveau virus de la même famille que d'autres virus tels que le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS) et certains types de rhumes courants. Le virus tire son nom du fait de son apparence : il est entouré d'une capsule de protéines en forme de couronne (Mpiana *et al.*, 2020). La plupart des personnes infectées par le virus responsable de la COVID-19 présentent une maladie respiratoire d'intensité légère à modérée. Les personnes âgées et celles qui ont d'autres

problèmes de santé, tels qu'une maladie cardiovasculaire, un diabète, une maladie respiratoire chronique ou un cancer, ont plus de risques de présenter une forme grave (Seguen & Brimess, 2014). Dans les cas plus graves, l'infection peut provoquer une pneumonie, un syndrome respiratoire aigu sévère, une insuffisance rénale et même la mort (Boudjouref, 2011). En cas d'épidémie, *Aloe vera* aide à renforcer le système immunitaire face au coronavirus (COVID-19). Ainsi l'ensemble des composants de *Aloe vera* contribue à :

- stimuler les défenses immunitaires naturelles ;
- favoriser l'équilibre général en renforçant le métabolisme ;
- prévenir les agressions dues à l'environnement et au stress ;
- lutter contre les états de fatigue psychique et physique.

L'acemannan est le principe actif le plus exploité de *Aloe vera* en raison de ses multiples bienfaits sur le corps (Mpiana *et al.*, 2020) à savoir :

- aider les cellules à être plus résistantes aux virus et aux bactéries pathogènes ;
- améliorer le métabolisme cellulaire et son fonctionnement ;
- favoriser la réduction des inflammations ;
- permettre une meilleure absorption de l'eau, des nutriments, vitamines et minéraux au niveau des intestins.

1.1.9. Maladies et ravageurs

Aloe vera a peu de ravageurs du fait que son épiderme coriace lui confère une excellente résistance. De plus, les anthraquinones amères contenues dans la couche extérieure des feuilles rendraient la plante peu attrayante. En Afrique, aucune maladie importante ne menace *Aloe vera*. En Inde, *Alternaria alternata* et *Fusarium Solani*, qui sont des champignons, provoquent des taches foliaires. Dans l'île d'Aruba (située dans la mer des Antilles), on peut observer une anthracnose, maladie cryptogamique provoquée par *Erwinia chrysanthemi* (Michayewicz, 2013).

1.1.10. Toxicité de *Aloe vera*

Aucun effet secondaire n'a été relaté. Cependant l'utilisation de l'aloès comme laxatif dans la constipation chronique nécessite une surveillance médicale. En cas de constipation aiguë, la dose purgative nécessaire peut être si élevée qu'elle peut aller jusqu'à provoquer une congestion du petit bassin. Elle entraînerait alors une augmentation du volume des règles et aurait un effet abortif. L'aloès est donc contre-indiqué en cas de grossesse, d'allaitement, ainsi que pendant les cycles menstruels, en cas de varices, d'hémorroïdes, et dans les affections rénales. Comme tout laxatif, il entraîne en cas d'usage prolongé, une hypokaliémie. Des

interactions médicamenteuses existent. Ainsi sont déconseillées les associations avec les antiarythmiques entraînant des torsades de pointe, et sont à utiliser avec précaution les digitaliques, les hypokaliémiants et les antis vitaminiques K (Mpiana *et al.*, 2020).

1.1.11. Culture de *Aloe vera* dans le monde

Les principaux producteurs de *Aloe vera* au monde possèdent des milliers d'hectares où la plante est cultivée et traitée, depuis les pépinières jusqu'aux produits prêts à l'emploi. Les pays comme le Mexique, l'Amérique du Nord ou encore le Vietnam pratiquent la culture extensive basée sur une faible productivité du sol, sans intrants chimiques, ni drainage et arrosage. Elle se pratique sur de vastes étendues et les rendements à l'hectare sont faibles. En ce qui concerne les Etats-Unis, la culture en serre est préférée. D'autres entreprises sous-traitent la culture de *Aloe vera* avec des opérateurs agricoles indépendants (Figure 8) (Ouarrak, 2019).

Dans la plupart de ces pays, *Aloe vera* est cultivée pour répondre à la demande internationale, en constante augmentation (Rahoui, 2019). Les aloès sont des plantes succulentes vivaces et peuvent s'adapter aux habitats dont la disponibilité en eau est faible ou irrégulière (Svjetlana *et al.*, 2020). Les plantes succulentes sont des xérophytes, qui sont adaptées à la vie dans les zones de faible disponibilité en eau et sont caractérisées par la présence d'un grand tissu de stockage d'eau (Rahoui, 2019).



Figure 8: Photo d'un champ de plants de *Aloe vera* aux îles Canaries (Soriano, 2016)

1.2. Quelques pistes de réflexion pour la culture de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire

L'exploitation forestière et l'agriculture constituent depuis toujours les principales activités qui ont fondé pour une bonne part, l'économie du pays. Ces activités favorisées par un code foncier peu précis, puis aggravées par un flux d'immigration très élevé et non maîtrisé ont porté un gros préjudice au milieu naturel notamment à la forêt dense. Plusieurs surfaces de forêts ont été détruites et transformées soit en exploitations agricoles (plantations vivrières, commerciales ou plantations agro-industrielles), soit en jachères (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). Parmi ces exploitations agricoles figurent les plantations d'hévéa et de bananier qui disposent de grandes interlignes. Ces plantations se font idéalement aux écartements de 7 m x 2,8 m pour l'hévéa (Obouayeba, 2005) et de 3 m x 2 m pour le bananier (CNRA, 2005). Elles ont par ailleurs contribué à la réduction des terres cultivables. Ainsi, l'adoption de *Aloe vera* peut passer par la valorisation de ces grandes interlignes surtout que *Aloe vera*, le bananier et l'hévéa sont souvent cultivés en association avec certaines cultures.

1.2.1. Généralités sur le bananier

1.2.1.1. Description du bananier

Le bananier est une herbe géante monocotylédone de grande taille sans tige végétative aérienne. Le terme bananier plantain désigne une multitude de clones parthénocarpiques de *Musa sp.* et plusieurs espèces sauvages pourvues de graines (Kouamé, 2014).

La tige souterraine est le centre vital du bananier, lieu de formation des racines, des feuilles et de l'inflorescence. Sa taille ne dépasse guère le niveau du sol avant la floraison de la plante. C'est à ce niveau que naissent les rejets assurant la pérennité de l'espèce. L'émission de racines se fait pendant toute la phase végétative de croissance. L'émission des feuilles se fait grâce au méristème apical situé au ras du sol. Les premières feuilles émises, à limbes étroits sont des « feuilles lancéolées » et les secondes, à limbes plus larges sont des « feuilles adultes ou fonctionnelles ». Les parties basales des feuilles s'élargissent en gaines foliaires dont l'imbrication constitue le « pseudotrunc » ou « faux tronc » du bananier.

Le système foliaire est très développé et sa structure présente des particularités liées aux contraintes de l'alimentation hydrique. L'inflorescence se forme au niveau de la tige souterraine et parcourt tout le faux tronc avant son apparition à l'extérieur de la plante. L'inflorescence du bananier comprend deux types de fleurs (Figure 9) :

- les fleurs femelles, disposées par groupe de deux rangées imbriquées et pressées entre la bractée qui recouvre l'inflorescence et le bourgeon sous-jacent. Ce groupe de fleurs femelles s'appelle « mains » et par analogie les fruits sont appelés « doigts » ;
- les fleurs mâles, apparaissent le long de l'axe inflorescentiel après les fleurs femelles selon la même disposition.

A maturité l'ensemble des fruits constitue le régime de bananes (Kouamé, 2014).

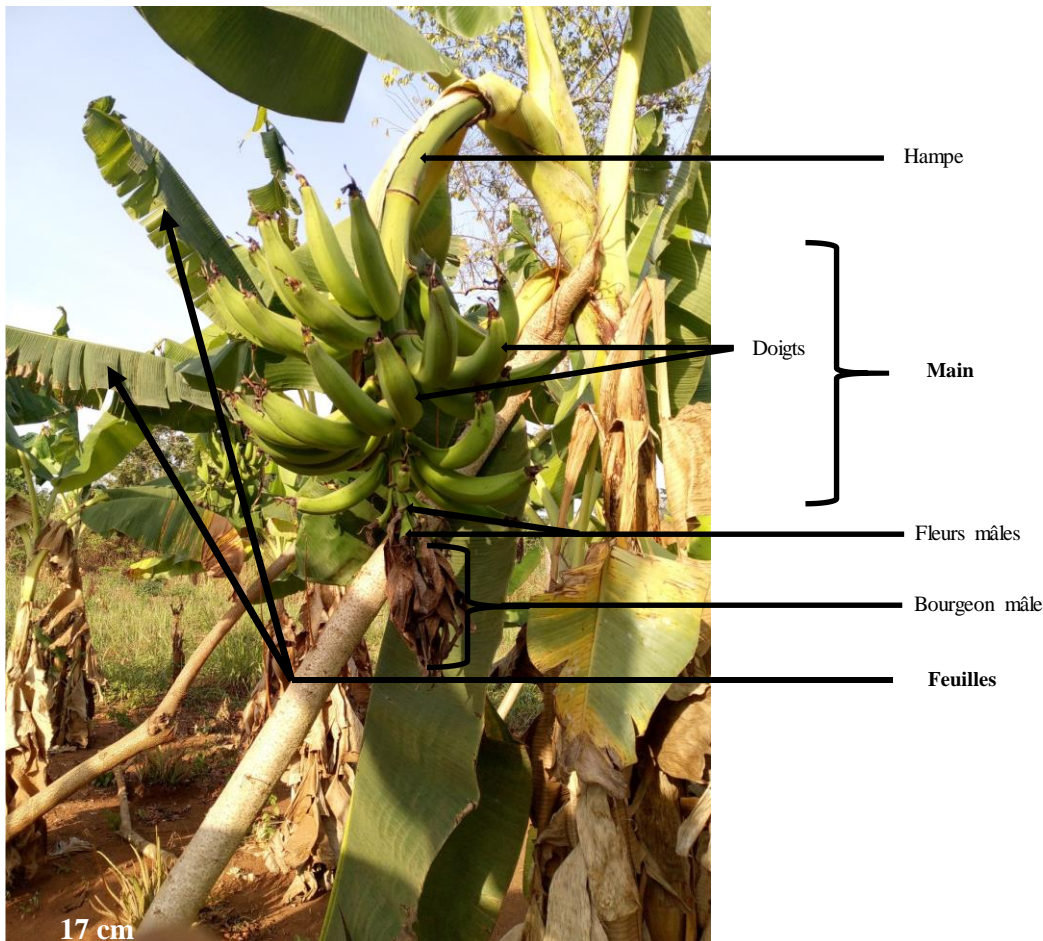


Figure 9: Représentation photographique d'un bananier plantain, Corne 1 (Daloa)

1.2.1.2. Importance économique, nutritionnelle et alimentaire

Selon FAOSTAT (2013) la culture de la banane couvrait une superficie d'environ 10 millions d'hectares et la production mondiale était en moyenne de 92 millions de tonnes par an. En 2001, elle a été estimée à 99 millions de tonnes. Dans plusieurs pays en développement, la production de la banane est essentiellement destinée à l'autoconsommation et/ou à la vente locale et joue aussi un rôle crucial dans la sécurité alimentaire. L'Amérique et l'Afrique sont les plus grands producteurs des bananes plantains. En Afrique, la production globale de

plantains est estimée à 29,1 millions de tonnes en moyenne. Cette production est dans 51 pays sur une superficie d'environ 4,7 millions d'hectares.

La banane plantain est un vivrier, riche en antioxydant et préviendrait l'apparition de nombreuses maladies selon certains auteurs. De plus, les sucres qu'elle contient contribuent au maintien d'une santé gastro-intestinale. Particulièrement, la banane plantain constitue une source d'énergie essentielle dans les rations alimentaires de certaines populations, grâce à sa teneur en glucides élevées et son apport énergétique qui est de l'ordre d'environ 120 Kcal pour 100 g de banane cuite (Sharrock & Lusty, 2000). Les bananes et plantains sont des aliments d'une grande importance nutritionnelle et jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire (Lassoudière, 2012).

La banane est surtout cultivée par les paysans pour une autoconsommation et un marché local. En effet, les bananes plantain sont préparées ou consommées de plusieurs manières. Les plantains non mûrs ou à moitié mûrs sont consommés bouillis ou pilés en une pâte très appréciée. Chez certaines populations, cette pâte est constituée exclusivement de plantain. Elle peut comprendre le mélange du manioc bouilli et pilé en proportion variable suivant le goût ou la disponibilité de l'un ou l'autre composant. La pâte de plantain est plus souvent consommée avec de la viande, du poisson ou de légume (Dhed'a *et al.*, 2019). A ce titre, elles interviennent dans la confection de plats locaux tels que le fougou, le foutou, le cracro, l'alloko etc (Kouame, 2014). En Côte d'Ivoire, la banane connaît une importante consommation locale avec une production estimée à 1 500 000 tonnes, ce qui fait de cette denrée la troisième culture alimentaire de base (FAO, 2013).

1.2.2. Généralités sur l'hévéa

1.2.2.1. Description de l'hévéa

Compagnon (1986) décrit l'hévéa comme un grand arbre de forêt avec une circonférence à hauteur d'homme pouvant atteindre 5 m sur les sols bien drainés, dans son milieu naturel en Amazonie. Dans la majorité des cas, les hévéas de plantations (Figure 10) sont des arbres greffés, qui n'atteignent pas un développement aussi important que ceux de la forêt amazonienne. Ils ont un tronc droit et cylindrique, une hauteur de près de 25 m et une circonférence de l'ordre de 1 m vers la fin de leur vie économique qui dure environ 35 ans (Atsin, 2017).

La croissance du système aérien de l'hévéa est caractérisée par sa nature rythmique. Les feuilles se forment par étage à la partie supérieure de chaque unité de croissance.



Figure 10: Plantation d'hévéa en phase de production à Anguédédou (Côte d'Ivoire) (Source : Atsin, 2017)

Les feuilles de l'hévéa sont composées de trois folioles ovales de même dimension et insérées au même point à l'extrémité d'un long pétiole. Les fleurs sont petites, jaune-claire et rassemblées en grappes. Les fruits sont généralement constitués d'une capsule à trois loges (Figure 11) contenant chacune une graine oléagineuse (Elabo, 2009). L'enracinement de l'hévéa est à la fois pivotant et traçant. L'écorce a une couleur vert grisâtre ; son bois est homogène, tendre et casse facilement (Compagnon, 1986).

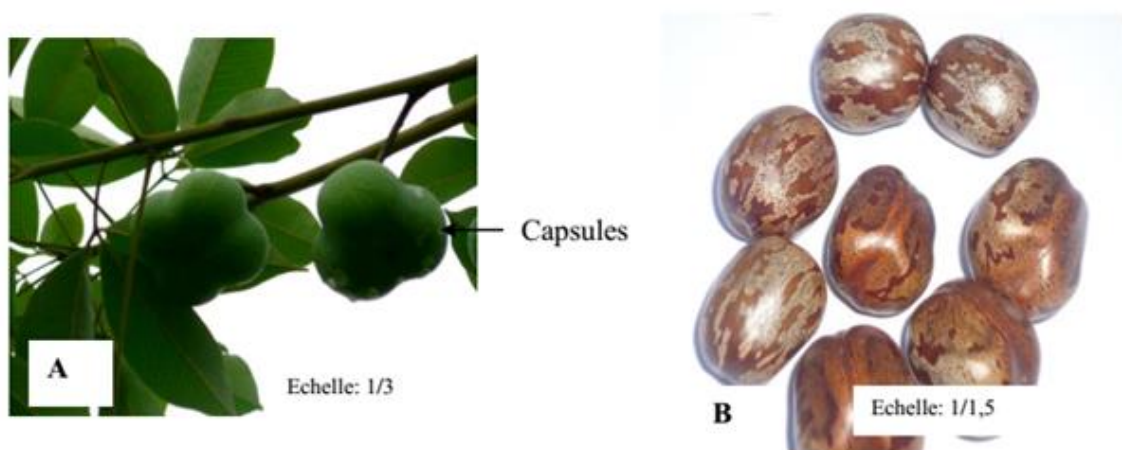


Figure 11: Capsules tricoques (A) et graines d'hévéa (B) (Source : Ballo, 2019)

1.2.2.2. Importance socio-économique

La production mondiale de caoutchouc est passée de 8 millions de tonnes en 2002 à 13,7 millions de tonnes en 2018 (APROMAC, 2019). La production ivoirienne a atteint 620 000 tonnes de caoutchouc naturel dépassant ainsi les prévisions qui étaient de l'ordre de 600 000 tonnes à l'horizon 2020 confortant ainsi sa place de 1^{er} pays producteur africain de caoutchouc naturel et de 6^{ème} au niveau mondial (Koulibaly *et al.*, 2016). Selon De padirac (1986), le caoutchouc naturel est utilisé pour la fabrication des pneus pour véhicules lourds ou très rapides, des pneus d'avions, celles des joints et de supports antisismiques, de cathéters, des gants à usage biomédical, de préservatifs, etc. En dehors du caoutchouc produit, l'hévéa peut, en fin de cycle de récolte de latex, fournir du bois d'œuvre et de chauffe pour les ménages (Ahoba, 2011). En outre, le tourteau des graines d'hévéas peut servir à l'alimentation des animaux. L'huile de l'amande peut être source de nombreuses utilisations notamment, en cosmétique, dans la fabrication de vernis, de peinture et de savon (Kannika *et al.*, 1981).

1.2.3. Notion d'association culturale

L'association culturale est une technique qui consiste à faire pousser simultanément au moins deux cultures sur une même parcelle (Scholl, 2000). Elle est opposée à la culture pure qui est la présence d'une seule culture sur la parcelle. Les associations céréales-légumineuses favorisent une diminution de la pression des mauvaises herbes et améliorent la productivité globale du système d'association par rapport à la culture pure de céréale (Segda *et al.*, 2000). Selon Baudron *et al.* (2009), ces associations peuvent améliorer la disponibilité en azote et la composition nutritionnelle de la biomasse produite. Ces auteurs soulignent également que l'association des cultures principales avec des cultures secondaires à enracinement profond permet d'éviter les pertes des éléments minéraux par lessivage, permettant ainsi un recyclage des éléments minéraux.

Les cultures associées présentent un intérêt pour les agriculteurs engagés dans l'intensification agricole car elles offrent l'opportunité de produire plus de biomasse par unité de surface, avec une qualité meilleure qu'en système de culture pure (Coulibaly *et al.*, 2012). Elles peuvent être arrangées de façons diverses dans l'espace (Dao, 2014) :

- de manière intercalée, les différentes espèces sont organisées en lignes ou en bandes alternées, parfois dans le but de protéger les plantes contre le vent ou le sol contre le ruissellement et l'érosion hydrique ;
- en mélange, il n'y a pas d'arrangement géométrique nettement observable.

Pour Scholl (2000), les cultures associées permettent :

- une augmentation de la production en comparaison avec la monoculture grâce à une meilleure couverture du sol, une croissance des racines plus efficace et un supplément d'azote si des fixateurs d'azote sont utilisés ;
- une répartition des risques des mauvaises récoltes sur plusieurs plantes grâce à la multiplication des cultures et l'effet limité des maladies.

1.2.4. Associations culturales à base de *Aloe vera*

Les systèmes culturaux de *Aloe vera* sont la monoculture et les cultures mixtes. Dans les cultures mixtes, *Aloe vera* pousse à l'ombre des manguiers en Amérique Centrale ou encore des citronniers ou papayers (Gharib & Ben, 2021). L'intérêt de telles cultures est d'abord de limiter l'apport de la lumière directe qui est nocive pour les plants d'aloès ; ensuite de créer une diversité botanique permettant au sol de ne pas s'épuiser et de favoriser le développement d'autres organismes.

1.2.5. Associations culturales à base du bananier

Le bananier est cultivé en association avec le caféier et le cacaoyer (Van Asten *et al.*, 2011 ; Tano, 2012). Et dans ces systèmes d'association, les bananiers servent d'ombrage aux jeunes plants (Tano, 2012). Kpangui *et al.* (2015) l'ont même affirmé dans leurs travaux sur le bananier (*Musa sp.*). Il est également remarqué que le bananier est utilisé pour faire de l'ombrage dans les cultures d'igname.

1.2.6. Associations culturales à base de l'hévéa

Dans les sols où l'hévéa est cultivé, il est généralement associé au jeune âge, au cacaoyer tout comme au café et au poivre (IRRDB, 1996 ; Saint Pierre, 1989 ; Jobbe-Duval, 1988). A l'instar du cacaoyer, du café et du poivre, le thé est aussi cultivé en association avec l'hévéa (Penot & Ollivier, 2009). Aussi, pendant la période improductive, il est possible d'associer des cultures vivrières aux jeunes hévéas sans dommage pour les arbres. Ces cultures ont un effet bénéfique sur la croissance des hévéas et procurent des revenus aux hévéaculteurs. Il s'agit entre autres de l'igname, de la banane plantain, de l'arachide et du maïs (Kéli *et al.* 2006).

1.3. Présentation de la zone d'étude (région du Haut-Sassandra)

1.3.1. Situation géographique du département de Daloa

Daloa est une ville du Centre Ouest de la Côte d'Ivoire localisée en Afrique de l'Ouest. La ville est le Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra, distante de 141 km de Yamoussoukro, la capitale politique et de 383 km d'Abidjan la capitale économique de la Côte d'Ivoire. Elle est limitée au Nord par le département de Vavoua, au Sud par le département d'Issia, à l'Est par

le département de Bouaflé et à l'Ouest par le département de Duékoué (Kouman 2018). Selon le RGPH-2021, la population recensée dans le département de Daloa est de 705 378 habitants dont 366 165 hommes et 339 212 femmes.

1.3.2. Climat

La région du Haut-Sassandra est marquée par un climat de type subéquatorial à deux saisons dont une saison sèche et une saison des pluies (Zean *et al.*, 2018). La Figure 12 montre le diagramme ombrothermique de la région du Haut-Sassandra qui a été réalisé à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles sur une période de 30 ans (1991 à 2021). Le diagramme permet de constater que la saison sèche s'étend de Novembre à Février et la saison des pluies de Mars à Octobre. Le pic des précipitations est atteint en septembre avec 185,2 mm de pluie. Les températures moyennes mensuelles de la zone sont comprises entre 24,3 °C et 27,64 °C.

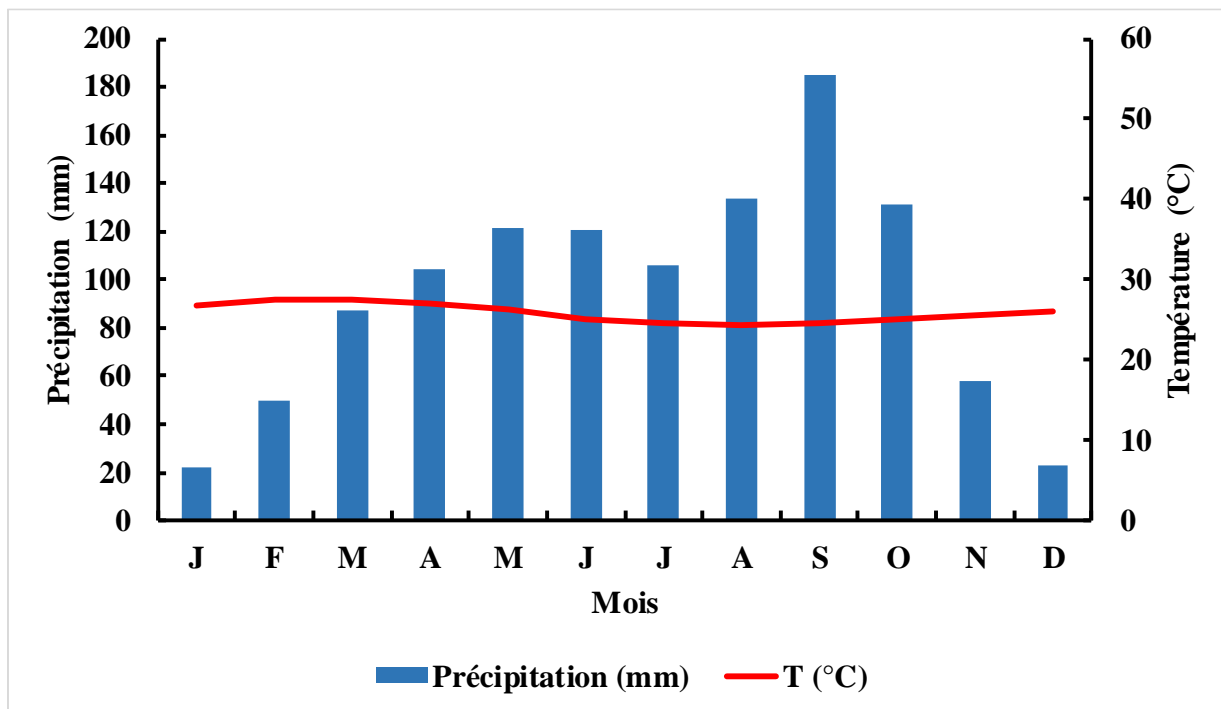


Figure 12: Diagramme ombrothermique de la région du Haut-Sassandra de 1991 à 2021

(Source : fr.climate-data.org)

1.3.3. Relief et sols

Le relief de la région du Haut-Sassandra est monotone et le paysage est constitué de pénélaines qui sont de vastes surfaces faiblement ondulées. Il semble que les formes actuelles sont le résultat du stade ultime de la dégradation d'anciens glacis (Onétié *et al.*, 2016). Ces

pénéplaines sont constituées d'interfluves dont les modelés élémentaires varient entre deux grands pôles ; les interfluves à sommet convexe. De cette surface, émergent de temps en temps des reliefs résiduels constitués d'inselbergs isolés (Giscard *et al.*, 2016). En somme, le relief est constitué en grande partie de plateaux comportant de nombreuses vallées.

Le sol de la région du Haut-Sassandra est issu de l'altération du vieux socle précambrien. La faiblesse de l'érosion du sol justifie la présence continue du couvert végétal et rend le sol très profond en général avec le dépôt actif de l'humus organique. Il s'agit des sols ferrallitiques d'origine granitique moyennement à faiblement dénaturés (Koffié-Bikpo & Kra, 2013). A côté des sols ferrallitiques, les classes de sols les plus représentées sont les sols peu évolués (d'apport alluvial, et/ou colluvial) et les sols hydromorphes. Les sols de composition ferrallitique présentent de bonnes aptitudes agricoles et se prêtent à tous les types de cultures (Koffié-Bikpo & Kra, 2013).

1.3.4. Hydrographie

La Figure 13 présente le réseau hydrographique de la région du Haut-Sassandra. Celle-ci est structurée et parcourue en partie par le fleuve Sassandra (dont elle porte le nom) et ses affluents le Lobo et le Davo (Tchan Lou, 2016). En outre, de nombreux cours d'eaux à écoulement saisonnier tels que le Dé, le Bahoré, le Boty et la Goré irriguent la région, donnant lieu à de nombreux bas-fonds cultivables. Ces conditions naturelles favorables ont eu pour conséquence une forte implantation humaine et une grande exploitation de la biodiversité aussi bien végétale que faunique (Koffié-Bikpo & Kra, 2013).

Senoufo, Lobi, etc.) et d'allogènes (Burkinabé, Maliens, Guinéen, etc.). Cette potentialité humaine concoure au développement de l'agriculture dans cette région.

1.3.7. Caractérisation de l'agriculture dans la région du Haut-Sassandra

Les conditions naturelles favorables pour un bon développement agricole font de la région du Haut-Sassandra une zone propice aussi bien pour les cultures vivrières que pour les cultures de rentes (MPEER, 2019). En effet, la presque totalité des produits vivriers cultivés en Côte d'Ivoire se retrouvent dans la région. L'on trouve sur place les féculents (igname, banane, manioc), les céréales (riz, maïs, mil, ...), les fruits et légumes. Au niveau des cinq produits de grande consommation à savoir le maïs, l'igname, le riz, le manioc et la banane plantain, ils se retrouvent à divers niveaux sur l'espace régional. Le Tableau I présente quelques cultures vivrières cultivées dans la région du Haut-Sassandra.

Tableau I: Quelques cultures vivrières cultivées dans la région du Haut-Sassandra (Koffié-Bikpo & Kra, 2013)

	Production nationale en tonnes	Production du Haut Sassandra en tonnes	Pourcentage (%)	Rang au niveau national
Igname précoce	1 677 571	17 985	1,07	13
Igname tardive	2 902 152	343 418	11,83	3
Riz pluvial	508 065	31 889	6,28	6
Riz irrigué	126 163	2 457	1,95	6
Maïs	584 538	54 167	9,7	2
Manioc	2 086 903	125 685	6,02	7
Banane plantain	1 581 909	365 653	23,11	2

Comme constaté dans le Tableau I, la région du Haut-Sassandra occupe au niveau national des rangs honorables pour plusieurs productions vivrières. Elle occupe le 2^{ème} rang national pour la production du maïs et de la banane plantain. En effet, la région du Haut-Sassandra contribue à 9,7 % et 23,11 % à la production nationale du maïs et du plantain, respectivement. Il n'y a que l'igname précoce qui est très faiblement produit par la région. Toute cette production sert d'une part à l'autoconsommation et d'autre part à la commercialisation.

Concernant les cultures de rente, la région du Haut-Sassandra est présentée comme le deuxième front pionnier de production du binôme café-cacao en Côte d'Ivoire (Adou, 2012). Ces cultures d'exportation ont été introduites dans la région du Haut-Sassandra par

l'Administrateur Dupouy. C'est d'abord le cacao en 1921 et ensuite le café en 1922 (Alla, 1991). L'expansion de ces cultures, surtout à partir des années 1950 avec l'arrivée massive des allogènes Baoulé, Senoufo et Dioula, a eu des retombées positives sur la région, tant au niveau du développement des activités commerciales et artisanales qu'à celui des investissements publics et privés. Cela a accéléré son peuplement et par conséquent son urbanisation. Il existe également des plantations d'hévéa et d'anacarde (Dally, 2016).

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation du site d'étude

L'étude s'est déroulée sur le site expérimental à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG). L'UJLoG est bâtie sur une superficie de 400 ha dans la partie nord de la ville de Daloa, plus précisément au quartier Tazibouo (Zean *et al.*, 2018). L'étude s'est déroulée sur trois différentes parcelles (Figure 14) en jachère avec pour coordonnées géographiques :

- parcelle 1 : -6.437488 (longitude) et 6.909425 (latitude),
- parcelle 2 : -6.436657 (longitude) et 6.911107 (latitude),
- parcelle 3 : -6.438756 (longitude) et 6.920021 (latitude).

Les sols de la ville de Daloa sont en général ferrallitiques moyennement lessivés sur terres fermes et hydromorphes sableux dans les bas-fonds (Zro *et al.*, 2018). La ville de Daloa est située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 6°27' Ouest et les latitudes 6°53' Nord (Bamba, 2021). Le climat est de type subéquatorial marqué par deux saisons dont une saison sèche (novembre à février) et une saison des pluies (mars à octobre) (Zean *et al.*, 2018). La température varie de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne, avec de faibles amplitudes annuelles de l'ordre de 5 °C. La pluviométrie moyenne de ces dix dernières années est de 1302,23 mm de pluie par an. Cela favorise une croissance soutenue des végétaux tout au long de l'année (Kouadio, 2021). Quant à la végétation, elle est de type forestier au Sud et de type savanicole arboré au Nord (Zean *et al.*, 2018). Les sols de la ville de Daloa sont en général ferrallitiques moyennement lessivés sur terres fermes et hydromorphes sableux dans les bas-fonds (Zro *et al.*, 2018).

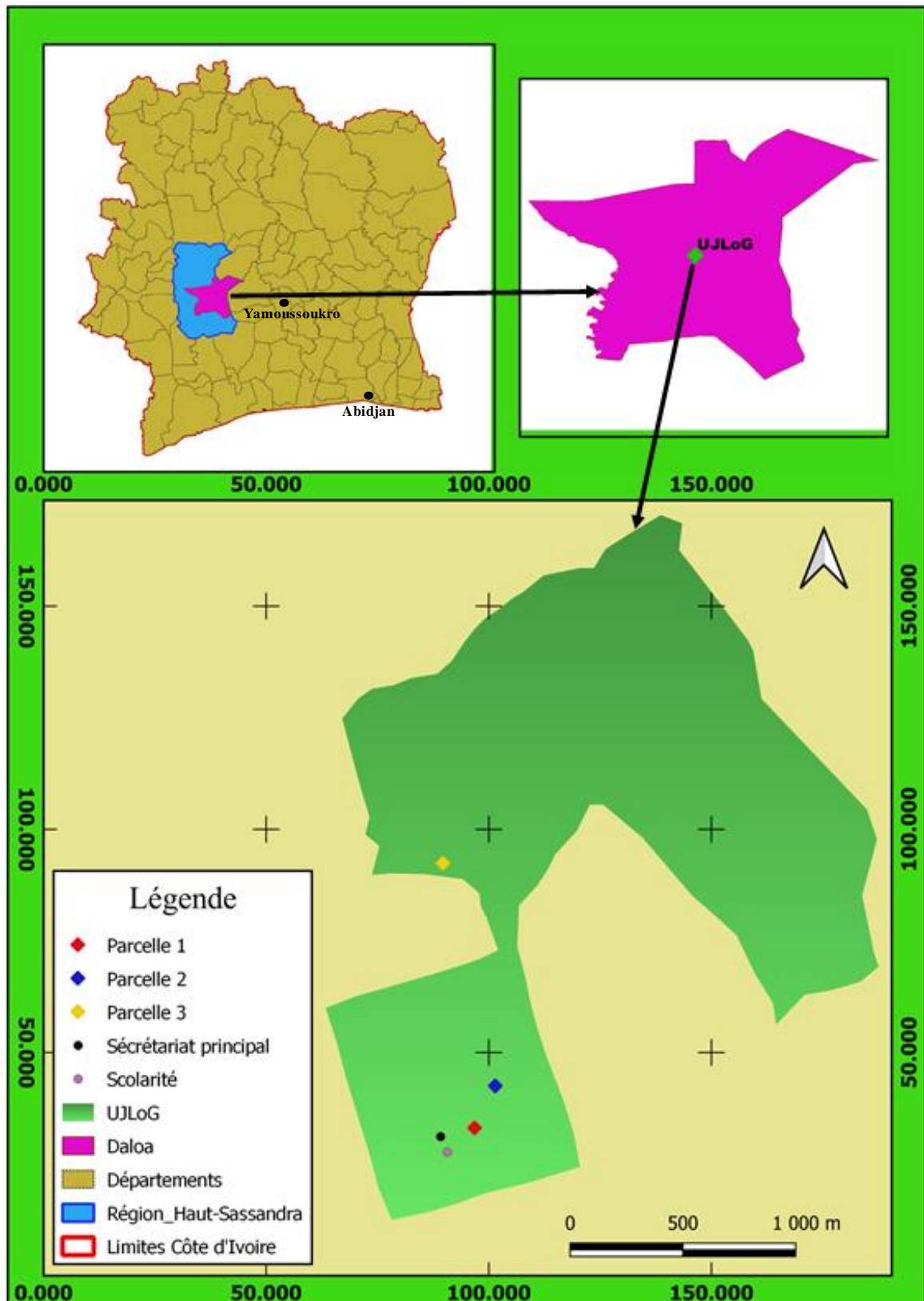


Figure 14: Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique de la zone et du site d'étude

2.2. Matériel d'étude

2.2.1. Matériel végétal

Dans le cadre de cette étude, une diversité de matériel végétal a été utilisée. D'abord, la tige et la racine de *Aloe vera* (Figure 15) ont été utilisées pour évaluer la capacité de multiplication végétative de la plante. Ainsi, en ce qui concerne la racine, deux types de boutures ont été utilisées (Belkhodja & Ghlamallah, 2015) à savoir :

- la bouture de la zone subérifiée où se développent les racines secondaires ;
- la bouture de la zone lisse, responsable de la multiplication cellulaire.

Les tiges et les racines ont été prélevées sur des plantes matures de *Aloe vera*. Ces dernières ont été récoltées dans différents quartiers de Daloa, aux abords des maisons. Au total, 24 boutures de tiges, 24 boutures de la zone subérifiée et 24 boutures de la zone lisse de la racine ont été utilisées.

Ensuite, 435 rejets (Figure 16) comportant six feuilles et en moyenne 17 cm de longueur ont été prélevés sur les plantes matures de *Aloe vera* (Michayewicz, 2013). Ces rejets ont été utilisés pour la mise en place d'une pépinière (Figure 17) de 5000 plants sur la parcelle expérimentale de l'UJLoG. Cette pépinière a fourni tous les rejets de *Aloe vera* nécessaires pour la suite des expérimentations.

Enfin, pour l'évaluation de systèmes de culture intégrant *Aloe vera*, deux plantes largement cultivées dans la région du Haut-Sassandra ont fait l'objet d'étude. Il s'agit du bananier (*Musa* sp.) et de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*). Pour ce faire, des rejets de bananiers plantain de la variété corne 1 ont servi pour mettre en place une bananeraie afin d'y associer *Aloe vera*. Les rejets de bananiers ont été prélevés dans un champ paysan situé à 20 km de Daloa dans la ville de Gonaté. Quant à l'association hévéa-*Aloe vera*, une plantation villageoise d'hévéa mature composée de clones tout venant d'hévéa a servi également de matériel végétal.

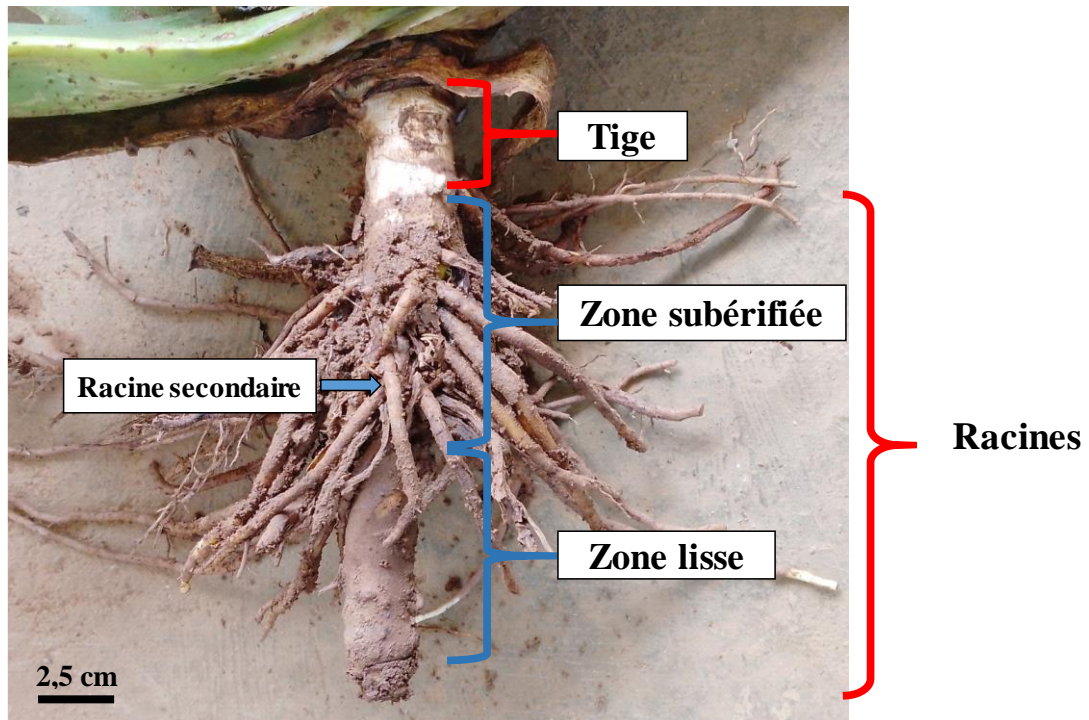


Figure 15: Tige et racines de *Aloe vera*



Figure 16: Rejets de *Aloe vera*



Figure 17: Pépinière de *Aloe vera* réalisée sur la parcelle expérimentale de l'université

2.2.2. Matériel technique

Le matériel technique utilisé dans le cadre de cette étude est composé :

- de feuilles de palmier pour couvrir l'ombrière de la pépinière ;
- de pots de 1,5 l et de 5 l pour contenir le substrat de culture et préparer les amendements liquides ;
- de sol pris sur le site de l'université qui a servi à fabriquer le substrat de culture ;
- d'un récipient pour mélanger le substrat de culture ;
- d'un couteau pour préparer les pots de culture, découper le matériel végétal et le matériel fertilisant ;
- d'un pH mètre pour la mesure du pH des substrats de culture ;
- d'une étuve qui a servi au séchage des feuilles de *Aloe vera* récoltées ;
- d'un ruban mètre pour marquer l'emplacement des pots et des rejets ainsi que pour mesurer la hauteur et la circonférence du pseudotrunc du bananier, la largeur et la longueur des feuilles de bananier et la circonférence des arbres d'hévéa ;
- d'une machette et d'une daba qui ont servi au défrichage des parcelles, à la coupure de bois et de feuilles de palmier et au nettoyage régulier des mauvaises herbes ;
- d'une pioche pour creuser les poquets ;
- d'un mortier et d'un pilon pour rendre les coquilles d'œuf en poudre ;

- d'un arrosoir pour l'arrosage des plants ;
- d'une règle graduée de 30 cm pour mesurer la longueur et la largeur des feuilles de *Aloe vera* ;
- de marqueurs permanents pour étiqueter les pots et marquer les feuilles ;
- d'une balance de précision à 0,01 g pour peser la quantité de bouse de vache à utiliser, les composants des amendements liquides, les masses fraîche et sèche des feuilles de *Aloe vera* récoltées.

La Figure 18 présente quelques éléments du matériel technique utilisé.

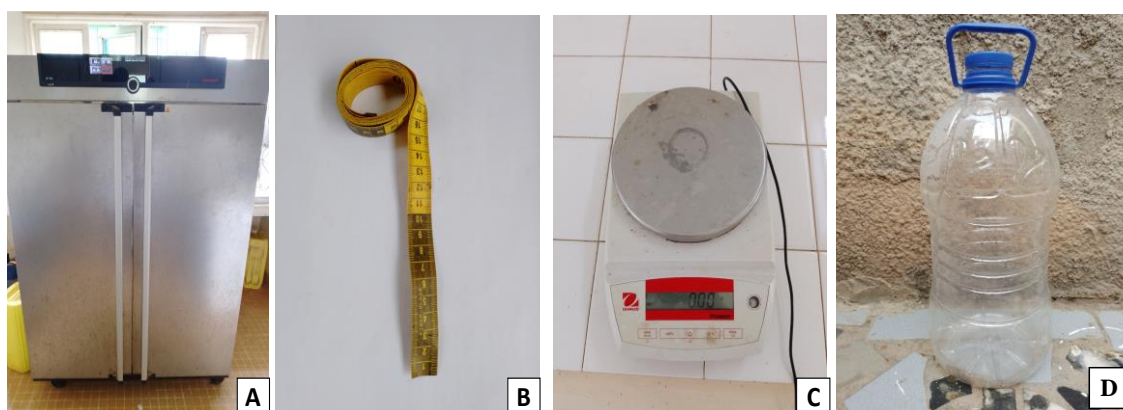


Figure 18: Quelques éléments du matériel technique utilisé

A : Etuve ; B : Ruban mètre ; C : Balance de précision ; D : Pot de 5 l

2.2.3. Matériel organique et minéral

Le matériel organique utilisé dans cette étude a été composé pour la plupart de déchets agricoles provenant de la zone d'étude. Ces déchets sont facilement accessibles. Il s'agit :

- de la bouse de vache provenant d'une ferme bovine située au quartier Kennedy 1 dans la ville de Daloa utilisée comme amendement ;
- de la fiente de poulet provenant d'un poulailler situé au quartier Tazibouo (Daloa) utilisée comme amendement ;
- de la poudre de charbon de bois provenant d'un site de production de charbon de bois au quartier Kennedy 1 (Daloa) utilisée comme amendement ;
- de stipes découpés de bananier provenant d'une bananeraie située à 20 km de la ville de Daloa (Gonaté) utilisées comme amendement ;
- de bananes plantain mûres achetées au grand marché de Daloa utilisées entièrement comme amendement ;

- de bananes desserts mûres achetées au grand marché de Daloa utilisées entièrement comme amendement ;
- d'épluchures de bananes plantain mûres récoltées dans les ménages et utilisées pour la préparation de fertilisant ;
- d'épluchures de bananes desserts mûres provenant des bananes desserts achetées aux grand marché de Daloa, utilisées pour la préparation de fertilisant ;
- de coquilles d'œuf colorés récoltées dans les ménages et les kiosques de la ville de Daloa, utilisées pour la préparation de fertilisant ;
- de tonte de gazon récoltée sur l'espace de l'Université Jean Lorougnon GUEDE, utilisée pour la préparation de fertilisant ;
- d'épluchures de pommes de terre et de patates douces récoltées dans les restaurants de la ville de Daloa, utilisées pour la préparation de fertilisant.

Concernant le matériel minéral, l'engrais NPK (15, 15, 15) a été utilisé. Il a été acheté au grand marché de Daloa dans un magasin de vente de produits phytosanitaires.

2.3. Méthodes

2.3.1. Essai de multiplication de *Aloe vera* à partir de boutures de tige et de racine

2.3.1.1. Préparation du terrain et mise en place d'une ombrière

Pour la mise en place de l'ombrière, la parcelle expérimentale a d'abord été délimitée et défrichée à l'aide d'une machette. Puis, une daba a été utilisée pour débarrasser le sol de toute herbe. Des trous ont été faits à l'aide d'une pioche. Des bois, coupés à l'aide d'une machette sur le site de l'université, ont été plantés dans ces trous pour construire l'ombrière. Enfin, à l'aide de la machette, des feuilles de palmier ont été coupées et transportées sur la parcelle expérimentale. Ces feuilles ont servi à couvrir l'ombrière pour éviter l'exposition des plants à l'ensoleillement direct.

2.3.1.2. Mise en place du dispositif expérimental

Les plantes matures récoltées ont été transportées sur la parcelle expérimentale. Ensuite, à l'aide du couteau, les feuilles des plantes mères ont été ôtées pour faire place aux tiges et aux racines. Les tiges mesuraient en moyenne 11 cm et les racines 24 cm. Les tiges, les racines des zones subérimées et lisses ont été découpées pour constituer des boutures de 5 cm de longueur.

La Figure 19 présente les boutures utilisées pour l'essai de multiplication végétative de *Aloe vera*.



Figure 19: Boutures de *Aloe vera* utilisées pour la multiplication végétative

A : Boutures de tige ; B : Boutures de la zone subérifiée de la racine ; C : Boutures de la zone lisse de la racine

Dans le cadre de cette expérience, les boutures de tige et de racine ont été mises dans des pots de 1,5 l. Les pots ont été coupés en deux à l'aide du couteau. Le bas des pots a été percé pour faciliter l'écoulement de l'eau après l'arrosage. Chaque demi pot avait une hauteur de 15 cm. Deux tiers de la hauteur de chaque demi pot ont été remplis avec 1 kg de sol non stérilisé recueilli directement sur la parcelle et 1/3 avec 500 g de bouse de vache sèche. Le contenu a été déversé dans un récipient afin de faire un mélange homogène. Le mélange homogène a ensuite été renversé de nouveau dans les demi pots. Au total, 72 demi pots ont été utilisés. Après étiquetage des demi pots à l'aide du marqueur, ils ont été disposés suivant un dispositif en factoriel blocs (Figure 20) avec deux facteurs (type de bouture et mode de plantation) et 12 répétitions. Le facteur type de bouture présentait trois niveaux (bouture de tige, bouture de la zone subérifiée et bouture de la zone lisse). Quant au mode de plantation, deux ont été testés à savoir partiellement et totalement enfouie. Ainsi, 2/3 des boutures ont été enfouies concernant le premier mode de plantation.

Matériel et méthodes

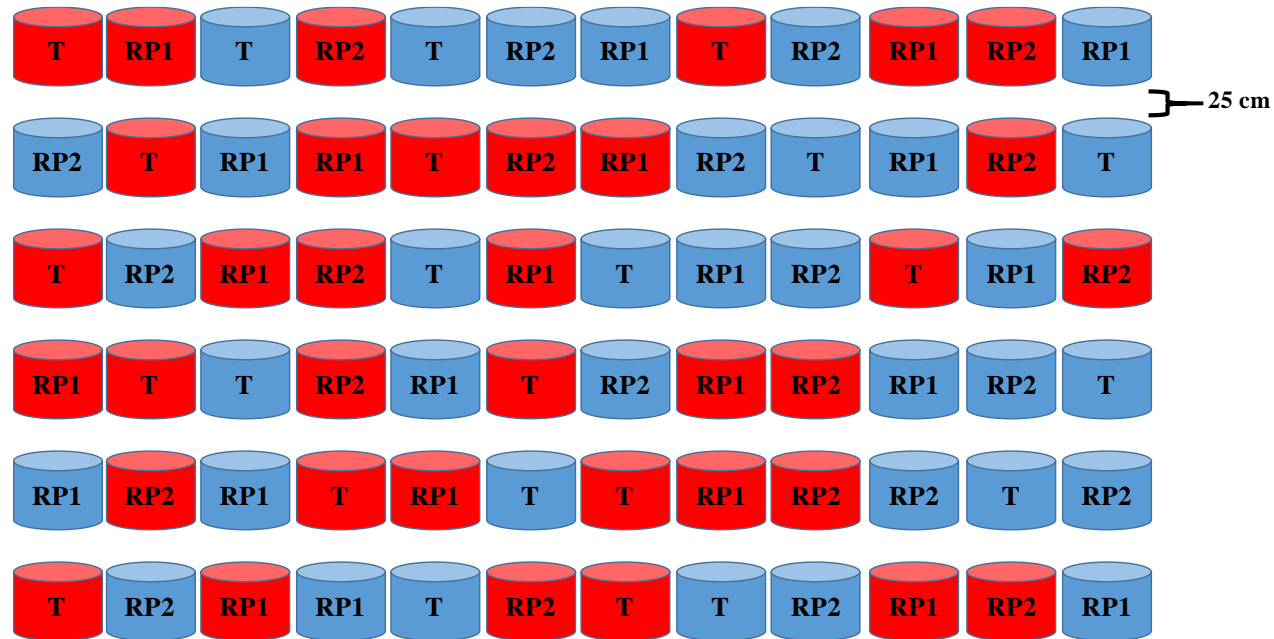


Figure 20: Dispositif expérimental utilisé pour l'essai de multiplication végétative de *Aloe vera* avec des boutures partiellement (A) et totalement (B) enfouies

T : Tige ; **RP1** : Racine zone subérifiée ; **RP2** : Racine zone lisse

■ : Bouture partiellement enfouie

■ : Bouture totalement enfouie

2.3.1.3. Suivi et collecte des données

L'expérience a été menée durant quatre mois. Le suivi s'est fait d'une part, en arrosant les boutures avec 500 ml d'eau de robinet lorsque la surface du substrat est sèche et d'autre part, en désherbant régulièrement les adventices à l'intérieur et aux alentours des pots.

Les paramètres mesurés concernent le taux de levée, l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles.

2.3.1.3.1. Taux de levée

La collecte des données a débuté 15 jours après planting avec l'apparition des premières feuilles. Le taux de levée a été déterminé selon la formule suivante (Dedi & Allou, 2015) :

$$\text{Taux de levée} = \frac{\text{Nombre de boutures levées} \times 100}{\text{Nombre total de boutures plantées}}$$

2.3.1.3.2. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps

La collecte des données relative à l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps a été faite 20 jours après enfouissement et a concerné les feuilles d'au moins 4 cm de longueur. Cette taille a été choisie pour éviter la cassure des feuilles, à cause de leur fragilité, lors de leur marquage avec le marqueur indélébile (Yosser, 2012). Les feuilles sont marquées afin de reconnaître les prochaines nouvelles feuilles qui apparaîtront.

L'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps a été déterminée en dénombrant le nombre de nouvelles feuilles apparues tous les 20 jours. La fréquence d'observation a été de 20 jours car les premières feuilles ont atteint 4 cm de longueur 20 jours après planting.

2.3.1.3.3. Nombre total de feuilles produites

Le nombre total de feuilles produites a été déterminé à la fin de l'expérience en comptant le nombre de feuilles émises par chaque bouture. Puis, la moyenne a été déterminée en utilisant la formule ci-dessous :

$$\text{Nombre total moyen de feuilles émises} = \frac{\text{Nombre total de feuilles émises par bouture}}{\text{Nombre total de boutures}}$$

2.3.1.3.4. Longueur et largeur des feuilles

Après le marquage des feuilles d'au moins 4 cm de longueur, au même moment, à l'aide d'une règle graduée, leurs longueur et largeur ont été mesurées. La longueur a été mesurée de la base où est insérée la feuille jusqu'à l'extrémité de celle-ci. La largeur a été mesurée après

avoir divisé la longueur mesurée par deux. Cette largeur correspond donc à la largeur au centre de la feuille. Les moyennes de la longueur des feuilles ainsi que de la largeur des feuilles des boutures de *Aloe vera*, à chaque observation, ont été calculées successivement avec ces formules ci-dessous :

$$\text{Longueur moyenne des feuilles} = \frac{\sum \text{longueurs des feuilles}}{\text{Nombre total de feuilles}}$$

$$\text{Largeur moyenne des feuilles} = \frac{\sum \text{largeurs des feuilles}}{\text{Nombre total de feuilles}}$$

La longueur et la largeur des feuilles sont exprimées en cm.

2.3.1.4. Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une Analyse de Variance à deux facteurs ou ANOVA 2. Ces deux facteurs sont le type de boutures et le mode de plantation des boutures. L'ANOVA 2 a été appliquée au taux de levée des boutures, au nombre total de feuilles produite, à la longueur des feuilles et à largeur des feuilles en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures. L'Analyse de Variance a été complétée par le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes. Ce test a permis de classer les moyennes en groupes homogènes en fonction des valeurs moyennes des paramètres analysés. Cependant, en cas de différence non significative entre les moyennes au niveau des interactions, une analyse par facteur a été faite pour rechercher le facteur responsable de l'évènement observé. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 10.0.

2.3.2. Détermination du substrat et/ou de l'amendement le plus approprié à la croissance de *Aloe vera*

Cette expérimentation s'est déroulée en pépinière et au champ.

2.3.2.1. En pépinière

2.3.2.1.1. Détermination du substrat le plus approprié à la croissance de *Aloe vera*

2.3.2.1.1.1. Formulation des substrats

Les substrats ont été formulés à l'aide de :

- terre (témoin) (1) ;
- terre + bouse de vache (2) ;
- terre + fiente de poulet (3) ;

- terre + poudre de charbon de bois (4) ;
- terre + stipes découpés de bananier (5) ;
- terre + banane plantain mûre (6) ;
- terre + banane dessert mûre (7).

Elle a débuté par la coupure des pots de 5 l en deux à l'aide de couteau. Le bas des demi pots a, par la suite, été percé à l'aide de couteau pour faciliter l'écoulement de l'eau après l'arrosage. Chaque demi pot avait une taille de 15 cm. Deux tiers de chaque demi pot ont été remplis avec la terre recueillie directement sur le site et 1/3 avec les éléments cités plus haut à savoir la bouse de vache, la fiente de poulet et les autres composantes sauf les pots destinés à recevoir les bananes. Puis, le contenu a été déversé dans un récipient afin de faire un mélange homogène. Le mélange homogène a été renversé de nouveau dans le demi pot.

Au niveau des demi pots destinés à recevoir les bananes entières, ils ont été entièrement remplis avec le sol puis, des trous (Figure 21) ont été faits dans chaque banane qui, par la suite, ont été enfouies dans le sol à raison d'une banane par demi pot. Le témoin a été constitué de demi pot rempli entièrement de terre.



Figure 21: Trou fait dans une banane plantain

2.3.2.1.1.2. Mise en place du dispositif et planting des rejets

Après la formulation des substrats, les demi pots ont été étiquetés et disposés selon un dispositif en blocs de Fisher avec trois répétitions (Figure 22). Les emplacements des demi pots ont été matérialisés à l'aide du ruban mètre. Les blocs du dispositif étaient séparés de 25 cm. Dans chaque bloc, tous les traitements ont été représentés et disposés de manière aléatoire.

Pour la plantation, les rejets ont été enfouis de sorte que, seules les racines soient recouvertes du substrat. Au niveau des bananes desserts et plantain, les racines des rejets ont été mises dans les trous faits à l'intérieur d'elles, puis elles ont été recouvertes de substrat. Après la plantation des rejets, toutes les feuilles ont été marquées avec le marqueur indélébile afin de reconnaître les nouvelles feuilles qui apparaîtront.

Substrat 1	Substrat 2	Substrat 5
Substrat 5	Substrat 4	Substrat 3
Substrat 3	Substrat 7	Substrat 2
Substrat 6	Substrat 1	Substrat 4
Substrat 2	Substrat 6	Substrat 7
Substrat 7	Substrat 3	Substrat 1
Substrat 4	Substrat 5	Substrat 6
BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3

Figure 22: Dispositif expérimental de l'essai de détermination du substrat approprié à la croissance de *Aloe vera*

Substrat 1 : Témoin ; **Substrat 2** : Terre + bouse de vache ; **Substrat 3** : Terre + fiente de poulet ; **Substrat 4** : Terre + charbon de bois ; **Substrat 5** : Terre + stipes de bananier ; **Substrat 6** : Terre + banane plantain mûre ; **Substrat 7** : Terre + banane dessert mûre

2.3.2.1.2. Détermination de l'amendement le plus approprié à la croissance de *Aloe vera*

L'évaluation des amendements liquides sur la croissance de *Aloe vera* s'est faite en testant six amendements liquides organiques et un fertilisant chimique (NPK 15, 15, 15). Ainsi, les amendements testés sont :

- Terre (Témoin) ;
- NPK (15, 15, 15) ;

- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes desserts + épluchures des pommes de terre (Amendement 1) ;
- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes plantain + épluchures des pommes de terre (Amendement 2) ;
- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes desserts + épluchures de patates douces (Amendement 3) ;
- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes plantain + épluchures de patates douces (Amendement 4) ;
- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes desserts + tonte de gazon (Amendement 5) ;
- coquilles d’œuf de poulet + épluchures de bananes plantain + tonte de gazon (Amendement 6).

2.3.2.1.2.1. Préparation des amendements liquides

La préparation des amendements liquides s’est faite sur la base de l’amendement de référence qui était composé de quatre coquilles d’œuf, quatre épluchures de bananes desserts et d’épluchures d’une pomme de terre pour 1,5 l d’eau (Anonyme 4, 2019). Quatre lots, de chacun de ces composantes, ont été constitués puis pesés séparément à l’aide d’une balance de précision (0,01 g). Ainsi, les masses utilisées pour la préparation de 1,5 l d’amendement liquide sont :

- ✓ 24,57 g de coquilles d’œuf coloré,
- ✓ 139,69 g d’épluchures de bananes desserts,
- ✓ 44,07 g d’épluchures de pommes de terre.

Par ailleurs, la masse des épluchures de bananes plantain correspondait à celle des épluchures de bananes desserts tandis que celles des épluchures de patates douces et de la tonte de gazon correspondaient à celle des épluchures de pommes de terre. En outre pour 1,5 l d’amendement liquide, 139,69 g d’épluchures de bananes plantain, 44,07 g d’épluchures de patates douces et 44,07 g de tonte de gazon ont également été utilisés.

Les préparations se sont faites dans des pots de 5 l. Dans chaque pot, 3 l d’amendement liquide ont été préparés. Les coquilles d’œuf pesées, ont été broyées dans un mortier à l’aide d’un pilon jusqu’à obtenir une poudre. Les épluchures de bananes desserts et plantains ont été découpées avec un couteau puis pesées avec la balance de précision. Pour chaque préparation, toutes les composantes ont d’abord été placées dans le pot, sans un ordre précis, avant d’y ajouter l’eau. Les pots ont été fermés et laissés pendant deux semaines avant d’être utilisés.

L'apparition de mousse due à la fermentation des épluchures de banane et le changement de couleur de la tonte de gazon marque la fin de la macération.

2.3.2.1.2.2. Mise en place du dispositif et planting des rejets

La mise en place du dispositif a débuté par la coupure transversale des pots de 5 l en deux demi pots à l'aide du couteau. Chaque demi pot mesurait 15 cm de hauteur avec une superficie de 0,0176 m². Chaque demi pots a été perforé à la base afin de faciliter l'écoulement de l'eau d'arrosage. Les demi pots ont été remplis de terre recueillie directement sur le site, étiquetés et disposés selon un dispositif en factoriel blocs à trois répétitions (Figure 23). Le ruban mètre a été utilisé pour matérialiser la position des pots. Ce dispositif était composé de trois blocs et chacun des blocs constituait une répétition. Les blocs étaient séparés de 25 cm. Dans chaque bloc, tous les substrats, en fonction des amendements et fréquences d'apport associés, ont été répartis de manière aléatoire. Quatre fréquences d'apport ont été testées dont une fois toutes les deux semaines, une fois toutes les trois semaines, une fois chaque mois et une fois tous les deux mois. Des trous ont été faits dans chaque pot, puis les rejets de *Aloe vera* ont été plantés de sorte que, seules les racines soient recouvertes du substrat. Après la plantation, toutes les feuilles ont été également marquées avec le marqueur indélébile afin de reconnaître les nouvelles feuilles qui apparaîtront.

A4 F4	A3 F3	A6 F3	A2 F2	A3 F4	A2 F1	A5 F1	A6 F1	A6 F2	A1 F3	A2 F3	T	A5 F4	A4 F1	A5 F2	A3 F2	A3 F1	A1 F1	A1 F2	A4 F2	A7 F1	A5 F3	A7 F3	A6 F4	A7 F4	A7 F2	A2 F4	A1 F4	A4 F3
T	A7 F3	A1 F4	A4 F3	A3 F3	A4 F1	A7 F1	A4 F2	A5 F4	A1 F3	A3 F1	A1 F2	A4 F4	A3 F4	A6 F2	A2 F4	A5 F1	A2 F3	A2 F2	A6 F4	A6 F1	A3 F2	A2 F1	A1 F1	A5 F3	A5 F2	A7 F2	A6 F3	A7 F4
A6 F4	A2 F4	A3 F4	A3 F1	A1 F1	A6 F3	A6 F2	A7 F1	A1 F2	A2 F3	A7 F2	A4 F1	A3 F3	A4 F3	A3 F3	A5 F2	A4 F4	A1 F3	T	A2 F2	A5 F3	A4 F2	A5 F1	A5 F4	A6 F1	A1 F4	A7 F4	A7 F3	A2 F1

Figure 23: Dispositif expérimental des amendements liquides

T : Témoin ; **A1** : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **F1** : Une fois toutes les deux semaines ; **F2** : Une fois toutes les trois semaines ; **F3** : Une fois par mois ; **F4** : Une fois tous les deux mois

2.3.2.1.3. Suivi des plants et collecte des données

L'essai a été conduit sur quatre mois. En effet, au-delà de quatre mois, il était quasi impossible de prendre les mesures sans casser une feuille. Une touffe de feuilles s'était, en effet, formée dans les demi pots. Le suivi des plants a consisté à un arrosage de chaque plant avec 500 ml d'eau de robinet, lorsque la surface du substrat est sèche, et à l'apport des amendements liquides. La quantité d'amendement liquide apportée était de 500 ml à chaque fréquence d'apport. Pour l'engrais chimique (NPK 15,15,15), la quantité apportée était fonction de la surface des pots. Sachant qu'il faut 30 g d'engrais par m² (Begreen, 2023), chaque plant a reçu

0,5 g d'engrais à chaque apport. Les grains de NPK ont été enfouis aux alentours des plants sans contact direct avec les racines. Aussi, un sarclage régulier a été effectué afin d'éviter toute compétition avec les adventices.

Les paramètres mesurés concernent le pH des substrats, l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles.

La première collecte des données a été faite 40 jours après la plantation des rejets avec l'apparition des feuilles d'au moins 4 cm de longueur. Ensuite, la fréquence de collecte des données a été de 20 jours.

Les pH des substrats ont été déterminés par la méthode électrométrique au pH-mètre de Alla *et al.* (2018). La sonde du pH-mètre a été enfoncée, après nettoyage à l'aide d'un chiffon, dans le substrat à environ 10 cm suivi de la lecture une minute plus tard. Cette opération a été répétée trois fois à différents endroits du substrat contenu dans chaque demi pot afin de calculer la moyenne des pH.

La moyenne du pH de chaque substrat a été calculée à chaque observation en utilisant la formule ci-dessous :

$$\text{pH} = \frac{\sum \text{trois mesures du pH effectuées à différents endroits du substrat}}{3}$$

Quant à la collecte des données en rapport avec l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles, elle a été faite selon la formule décrite aux titres n° 2.3.1.3.2. et 2.3.1.3.3.

2.3.2.1.4. Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une Analyse de Variance à un facteur ou ANOVA 1 pour la détermination du substrat et à deux facteurs ou ANOVA 2 pour la détermination de l'amendement les plus appropriés à la croissance de *Aloe vera* en pépinière.

Concernant l'ANOVA 1, elle a été appliquée au pH des substrats, au nombre total de feuilles, à la longueur des feuilles et à la largeur des feuilles. Elle a été complétée par le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes. Ce test a permis de classer les moyennes en groupes homogènes en fonction des valeurs moyennes des paramètres analysés.

En ce qui concerne l'ANOVA 2, elle a été appliquée au pH des substrats, au nombre total de feuilles, à la longueur des feuilles et à la largeur des feuilles en fonction de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements. L'Analyse de Variance a été complétée

par le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes. Ce test a permis de classer les moyennes en groupes homogènes en fonction des valeurs moyennes des paramètres analysés. Cependant, en cas de différence non significative entre les moyennes au niveau des interactions, une analyse par facteur a été faite pour rechercher le facteur responsable de l'évènement observé. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 10.0.

2.3.2.2. Au champ

Cette expérience a été réalisée en vue d'étudier le comportement des rejets de *Aloe vera* au champ selon différentes quantités et fréquences d'apport du meilleur amendement liquide déterminé en pépinière.

2.3.2.2.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif

La parcelle expérimentale a d'abord été défrichée à l'aide d'une machette puis d'une daba pour débarrasser le sol de toute herbe. Le ruban mètre a été utilisé pour matérialiser la position des rejets avec des piquets. Ensuite, des buttes ont été faites à chaque emplacement des piquets. L'écartement utilisé entre les buttes était de 1 m x 1 m. Dans chaque butte, un poquet a été creusé. Les rejets ont été plantés de sorte à ce que les racines soient les seules couvertes de sable. Les rejets ont été plantés sur des buttes pour donner une meilleure fixation racinaire des plantes. En outre, un dispositif expérimental en factoriel bloc (Figure 24) à trois répétitions a été utilisé. Trois quantités (0,25 l, 0,5 l et 0,75 l) et deux fréquences d'apport (un mois et deux mois) ont été testées. Les quantités associées aux fréquences ont été disposées de manière aléatoire dans chaque bloc. Après la plantation, toutes les feuilles ont été également marquées avec le marqueur indélébile afin de reconnaître les nouvelles feuilles qui apparaîtront.

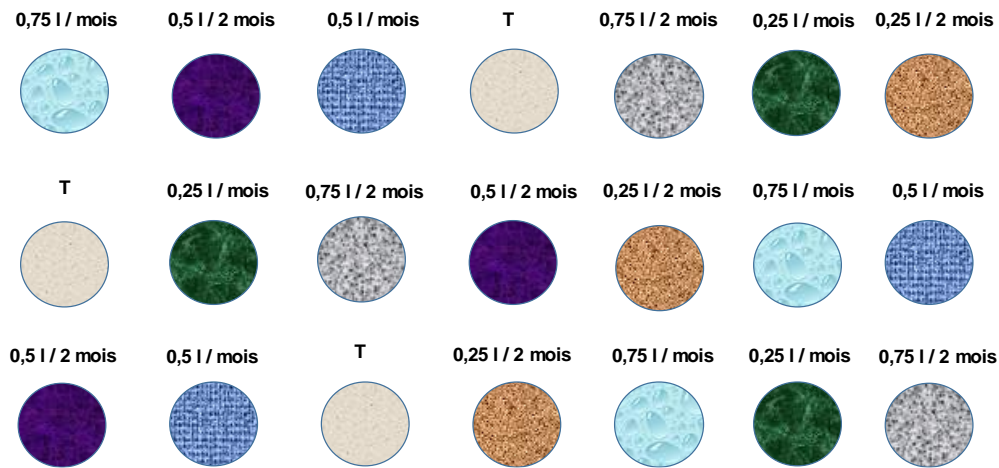


Figure 24: Dispositif expérimental utilisé

2.3.2.2.2. Suivi des plants et collecte des données

Le suivi des plants a consisté à un arrosage de chaque plant au besoin. Aussi, un sarclage régulier (chaque semaine) a été effectué à l'aide d'une daba ou d'une machette afin d'éviter toute compétition avec les adventices. En outre, l'amendement a été apporté selon les volumes et fréquences déclinés au point 2.3.2.2.1.

Les paramètres mesurés concernent l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles ainsi que la date de maturité des plantes de *Aloe vera*.

La collecte des données a commencé, 25 jours après la plantation, quand les feuilles sont longues d'au moins 4 cm. La collecte s'est poursuivie ensuite tous les 25 jours selon la méthode utilisée dans l'essai de multiplication de *Aloe vera* à partir de boutures de tige et de racines.

Concernant le délai de floraison des plantes de *Aloe vera*, la collecte des données a consisté à noter la date d'apparition des premières fleurs de *Aloe vera*. Ainsi, le délai de floraison des plantes de *Aloe vera* a été déterminé en comptant le nombre de jours séparant la date de plantation et la date d'émission des premières fleurs.

Par ailleurs, la collecte des données a duré cinq mois bien que les amendements aient été apportés sur sept mois à l'instar de l'ananas (Ouattara, 2015).

2.3.2.2.3. Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une Analyse de Variance à deux facteurs ou ANOVA 2. L'ANOVA 2 a été appliquée au nombre de feuilles, à la longueur des feuilles et à la largeur des feuilles. L'Analyse de Variance a été complétée par le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes.

Ce test a permis de classer les moyennes en groupes homogènes en fonction des valeurs moyennes des paramètres analysés. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 10.0.

2.3.3. Recherche de la densité optimale de plantation de *Aloe vera* au champ

Pour cette expérience, le dispositif expérimental adopté est un bloc de Fisher à trois répétitions avec un facteur étudié, la densité de plantation. Ce facteur comporte six (06) modalités qui se sont déclinées comme suit :

- 10000 plants / ha (témoin), où les plants sont disposés selon les écartements de 1 m sur la ligne et 1 m entre les lignes (Michayewicz, 2013) ;
- 40000 plants / ha, où les plants sont disposés selon les écartements de 0,5 m sur la ligne et 0,5 m entre les lignes ;
- 26666,66 plants / ha, où les plants sont disposés selon les écartements de 0,5 m sur la ligne et 0,75 m entre les lignes ;
- 20000 plants / ha, où les plants sont disposés selon les écartements de 0,5 m sur la ligne et 1 m entre les lignes ;
- 17777,77 plants / ha, où les plants sont disposés selon les écartements de 0,75 m sur la ligne et 0,75 m entre les lignes ;
- 13333,33 plants / ha, où les plants sont disposés selon les écartements de 0,75 m sur la ligne et 1 m entre les lignes.

2.3.3.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif

Une parcelle expérimentale de 220 m² a d'abord été défrichée à l'aide d'une machette puis d'une daba pour débarrasser le sol de toute herbe. Le ruban mètre a été utilisé pour matérialiser la position des rejets avec des piquets selon les interlignes testées et du dispositif. Ensuite, des buttes de 20 à 25 cm de hauteur ont été faites à chaque emplacement des piquets. Dans chaque butte, un poquet de 10 cm de profondeur et 15 cm de largeur a été creusé avant d'y mettre 500 g de bouse de vache. Enfin, les rejets de *Aloe vera* ont été plantés dans les poquets de sorte à ce que les racines soient les seules à être couvertes de sable.

Le dispositif expérimental est présenté par la Figure 25.

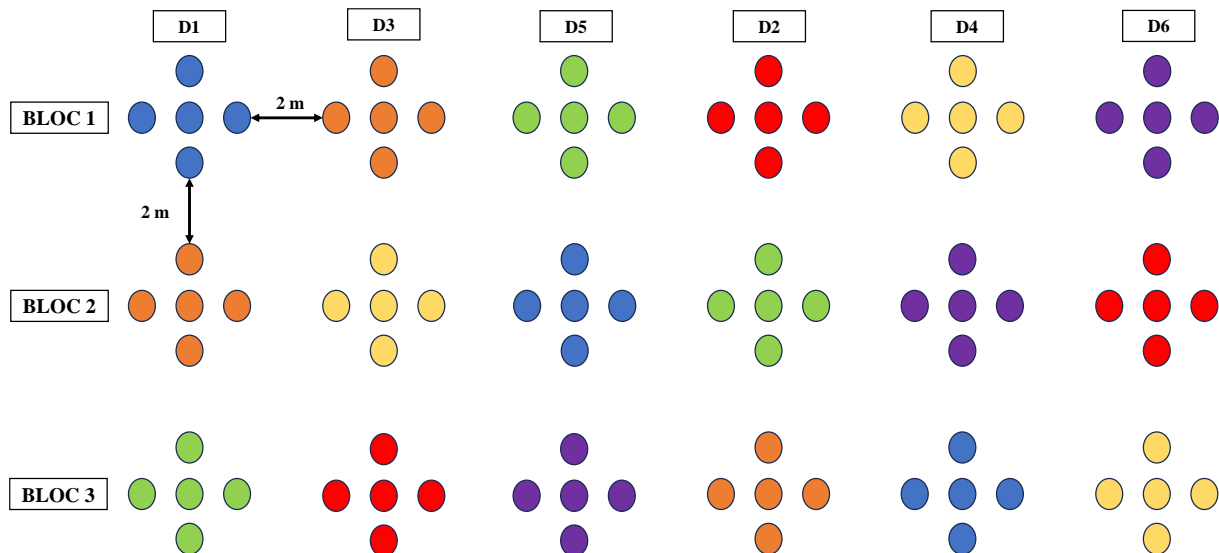


Figure 25: Dispositif expérimental utilisé pour la recherche de la densité optimale

D1 : 10000 plants / ha ; D2 : 40000 plants / ha ; D3 : 26666,66 plants / ha ; D4 : 20000 plants / ha ; D5 : 17777,77 plants / ha ; D6 : 13333,33 plants / ha

2.3.3.2. Suivi des plants et collecte des données

L'expérience a duré cinq mois car au-delà, il était quasi impossible de marquer (Figure 26) et de mesurer les feuilles sans les casser à cause de la touffe formée. Le suivi des plants a consisté à arroser chaque plant au besoin et à sarcler chaque semaine, à l'aide d'une daba ou d'une machette, les adventices afin d'éviter toute compétition avec les plants de *Aloe vera*.

Les paramètres mesurés sont l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles. Les données ont été collectées tous les 20 jours après plantation suivant la méthode déjà décrite précédemment.

Concernant le délai de floraison des plantes de *Aloe vera*, la collecte des données a consisté à noter la date de plantation et la date d'apparition des premières fleurs de *Aloe vera*. Ainsi, le délai de floraison des plantes de *Aloe vera* a été déterminé en comptant le nombre de jours séparant la date de plantation et la date d'émission des premières fleurs.



Figure 26: Marquage des feuilles de *Aloe vera* à l'aide d'un marqueur indélébile

2.3.3.3. Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été soumises à une Analyse de Variance. L'ANOVA a été appliquée au nombre de feuilles, à la longueur des feuilles et à la largeur des feuilles. L'Analyse de Variance a été complétée par le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes. Ce test a permis de classer les moyennes en groupes homogènes selon les valeurs moyennes des paramètres analysés. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 10.0.

2.3.4. Evaluation des associations culturales banane plantain + *Aloe vera* et hévéa + *Aloe vera*

2.3.4.1. Association bananier (*Musa Sp*) – *Aloe vera*

2.3.4.1.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif

Une parcelle expérimentale de 400 m² a d'abord été défrichée à l'aide d'une machette puis d'une houe pour débarrasser le sol de toute herbe. Le ruban mètre a été utilisé pour

matérialiser la position des rejets avec des piquets. L'écartement utilisé pour le planting des rejets de bananier dans les poquets de 40 cm de profondeur est de 3 m x 2 m (CNRA, 2005) soit 1666 pieds/ha. En ce qui concerne les rejets de *Aloe vera*, l'écartement entre les pieds utilisé est de 1 m x 1 m (Michayewicz, 2013).

Le dispositif expérimental (Figure 27) utilisé pour la mise en place de l'essai est un dispositif en blocs de Fisher comportant quatre traitements et trois répétitions. Les traitements étaient :

- bananier pur
- *Aloe vera* pure
- un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananiers
- deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananiers

Pour l'association bananier-*Aloe vera*, les diagonales formées par les quatre pieds de bananier ont été tracées à l'aide du ruban mètre. Puis, le point d'intersection des diagonales a été marqué. Une butte de 20 à 25 cm de hauteur a été faite en ce point pour la disposition d'un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananiers. Ensuite, deux buttes séparées d'un mètre et situées de part et d'autre, à égale distance (50 cm), du point d'intersection des diagonales ont été faites pour la disposition de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananiers. Des poquets de 10 cm de profondeur et 15 cm de largeur ont été creusés dans chaque butte.

Après la préparation du terrain, la mise en place de l'essai a été faite suivant le dispositif expérimental. Ainsi, les rejets de bananiers et de *Aloe vera* ont été plantés (Figure 28) à l'intérieur des poquets amendés de 500 g de bouse de vache / poquet. La plantation des rejets de *Aloe vera* a été effectuée un mois après la mise en place des bananiers. Ce temps correspondait au temps nécessaire pour une bonne reprise des bananiers. Les rejets d'aloès ont été plantés sur des buttes pour permettre une meilleure fixation racinaire des plants.

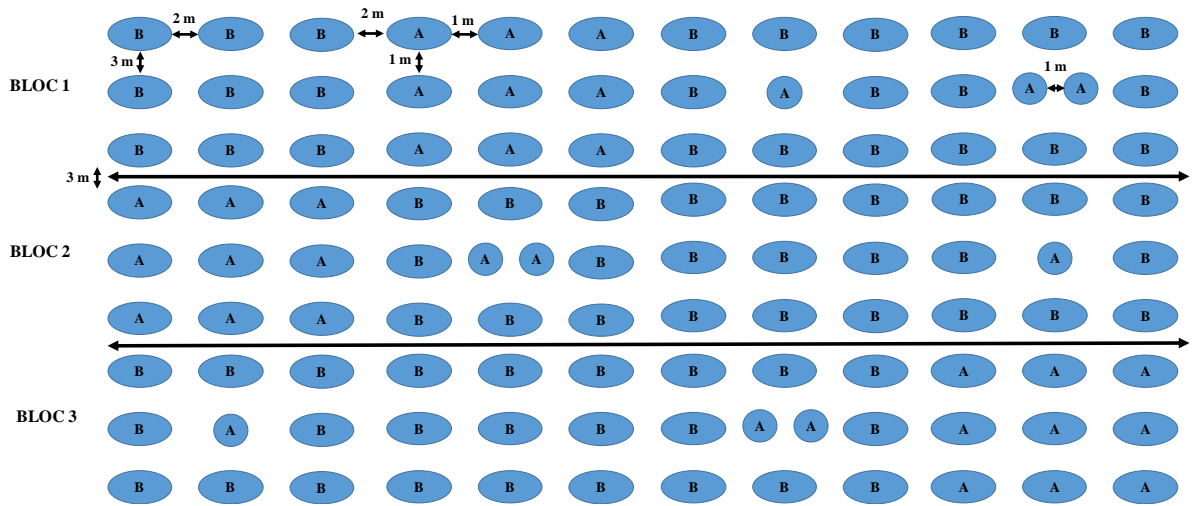


Figure 27: Dispositif expérimental adopté



Figure 28: Plantation des rejets de bananier

2.3.4.1.2. Suivi de l'expérience

Le suivi a consisté à arroser les plantes ainsi qu'à sarcler les mauvaises herbes afin d'éviter toute compétition avec les adventices. L'arrosage à l'eau des bananiers s'est fait chaque jour. Quant aux rejets de *Aloe vera*, ils ont été arrosés au besoin, c'est-à-dire lorsque la surface était sèche.

2.3.4.1.3. Collecte des données

2.3.4.1.3.1. Collecte des données de *Aloe vera*

Les paramètres mesurés en ce qui concerne *Aloe vera* sont l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles, les biomasses fraîches et sèches des feuilles ainsi que le délai de floraison des plantes.

La première collecte des données en rapport avec l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles de *Aloe vera* a été faite 20 jours après la plantation des rejets. La fréquence de collecte de ces données a donc été de 20 jours. Elles ont été collectées pendant cinq mois suivant la méthode décrite précédemment.

La détermination des biomasses fraîche et sèche des feuilles a été faite après cinq mois de plantation des rejets. Une récolte des feuilles a été faite en choisissant les trois feuilles les plus larges et longues au niveau de chaque traitement. Les feuilles coupées ont été pesées avec une balance de précision (0,01 g) avant et après séchage à 50° C dans une étuve (Jin *et al.*, 2007) pendant 72 h. Les moyennes des biomasses fraîches et sèches ont été calculées avec la formule ci-après :

$$\text{Biomasse des feuilles de } *Aloe vera* = \frac{\sum \text{masses des trois feuilles récoltées}}{3}$$

Concernant le délai de floraison des plantes de *Aloe vera*, la collecte des données a consisté à noter la date de plantation et la date d'apparition des premières fleurs de *Aloe vera*. Ainsi, le délai de floraison des plantes de *Aloe vera* a été déterminé en comptant le nombre de jours séparant la date de plantation et la date d'émission des premières fleurs.

2.3.4.1.3.2. Collecte des données du bananier

Les paramètres mesurés sont liés à la croissance et au rendement du bananier. Il s'agit :

- de l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps,
- du nombre total de feuilles produites,

- de la longueur des feuilles,
- de la largeur des feuilles,
- de la hauteur du pseudotrunc,
- de la circonférence du pseudotrunc,
- de la masse des régimes de bananier,
- du nombre de mains des régimes,
- du nombre de doigts des régimes,
- de la masse des doigts,
- de la longueur des doigts.

2.3.4.1.3.2.1. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps

La collecte des données relative à l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps a été faite 20 jours après association. L'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps a été déterminée en dénombrant le nombre de nouvelles feuilles apparues tous les 20 jours. Les feuilles ont été marquées afin de reconnaître les nouvelles feuilles émises.

2.3.4.1.3.2.2. Nombre total de feuilles produites

Le nombre total de feuilles produites a été déterminé à la fin de l'expérience en comptant le nombre de feuilles émises par chaque bananier. Puis, la moyenne a été déterminée en utilisant la formule ci-dessous :

$$\text{Nombre total moyen de feuilles émises} = \frac{\text{Nombre total de feuilles émises par bananier}}{\text{Nombre total de bananiers}}$$

2.3.4.1.3.2.3. Longueur et largeur des feuilles de bananiers produites

Après le marquage des feuilles de bananiers, leurs longueurs et largeurs (exprimées en cm) ont été aussitôt mesurées. La longueur de la feuille a été mesurée de la base du limbe jusqu'à l'extrémité de celle-ci. La largeur a été mesurée après avoir divisé la longueur mesurée par deux. Cette largeur correspond donc à la largeur au centre de la feuille. Les moyennes de la longueur des feuilles ainsi que de la largeur des feuilles, à chaque observation, ont été calculées à l'aide des formules présentées à la page 42.

2.3.4.1.3.2.4. Hauteur et circonférence du pseudotrunc des bananiers

La hauteur du pseudotrunc a été mesurée à l'aide du ruban mètre à partir du collet jusqu'au sommet de la plante, au niveau du "V" qui forme les deux dernières feuilles fonctionnelles.

Quant à la circonférence du pseudotrunc, elle a été évaluée à 10 cm au-dessus du sol grâce au ruban mètre (Sidibé *et al.*, 2020). Les mesures ont été faites le même jour que celles des longueurs et largeurs des feuilles. Les moyennes de la hauteur et de la circonférence des bananiers (en cm), à chaque observation, ont été calculées successivement avec les formules ci-après :

$$\text{Hauteur des bananiers (cm)} = \frac{\sum \text{hauteurs des bananiers}}{\text{Nombre total de bananiers mesurés}}$$

$$\text{Circonférence des bananiers (cm)} = \frac{\sum \text{Circonférences des bananiers}}{\text{Nombre total de bananiers mesurés}}$$

2.3.4.1.3.2.5. Paramètres de rendement

La collecte des données en rapport avec le rendement a consisté à peser les régimes et les doigts des régimes à l'aide d'une balance pour déterminer les masses en kg. Cette collecte de données a aussi consisté à compter le nombre de mains et de doigts des régimes et à mesurer la longueur des doigts à l'aide du ruban mètre. La longueur a été exprimée en cm. Le calcul du rendement en régimes des bananiers a été fait à l'aide des formules ci-dessous :

$$\text{Rendement en régimes (t/ha)} = \text{masse des régimes} \times \text{densité de plantation}$$

2.3.4.1.4. Traitement et analyse statistiques des données

Les données collectées ont été soumises à des tests statistiques à l'aide du logiciel Statistica 10.0. Une analyse de variance a permis d'évaluer l'effet de l'association sur la croissance et le rendement de *Aloe vera* et du bananier. Elle a été appliquée au nombre de feuilles, à la longueur des feuilles, à la largeur des feuilles, à la biomasse des feuilles de *Aloe vera*, à la hauteur du pseudotrunc, à la circonférence du pseudotrunc, à la masse des régimes de bananier, au nombre de mains des régimes, au nombre de doigts des régimes, à la masse des doigts et à la longueur des doigts. L'hypothèse d'égalité des moyennes a été évaluée au risque de $\alpha = 5\%$. En cas de rejet de cette dernière hypothèse, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5\%$) a permis de classer les moyennes en groupes homogènes.

2.3.4.2. Association *Hevea brasiliensis* – *Aloe vera*

2.3.4.2.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif

La parcelle expérimentale est une plantation d'hévéa de plus de 10 ans dont la densité est de 666 arbres/ha (5m x 3m). Pour l'association, trois endroits différents, de 480 m² chacun, ont été choisis pour la mise en place de trois dispositifs. Le dispositif expérimental (Figure 29) était le même à chaque endroit. Ce dispositif expérimental utilisé pour la mise en place de l'essai était un dispositif en blocs de Fisher comportant quatre traitements et trois répétitions. Les traitements étaient :

- hévéa pur
- *Aloe vera* pure
- un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa
- deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa

Pour ce faire, la parcelle a d'abord été défrichée à l'aide d'une machette puis d'une daba pour débarrasser le sol de toute herbe. Ensuite, les diagonales formées par les quatre pieds d'hévéa ont été tracées à l'aide d'un ruban mètre. Puis, le point de d'intersection des diagonales a été marqué avec un piquet. Une butte de 20 à 25 cm de hauteur a été faite en ce point pour la disposition d'un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa. Ensuite, deux buttes séparées d'un mètre et situées de part et d'autre, à égale distance (50 cm), du point d'intersection des diagonales ont été faites pour la disposition de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa.

Après la préparation du terrain, les rejets de *Aloe vera* ont été plantés à l'intérieur des poquets faits dans chaque butte. Ils ont été plantés sur des buttes pour permettre une meilleure fixation racinaire des plantes.

Les parcelles témoins de *Aloe vera* ont été mises en place à 4 mètres de la plantation d'hévéa à la densité 1 m x 1 m.

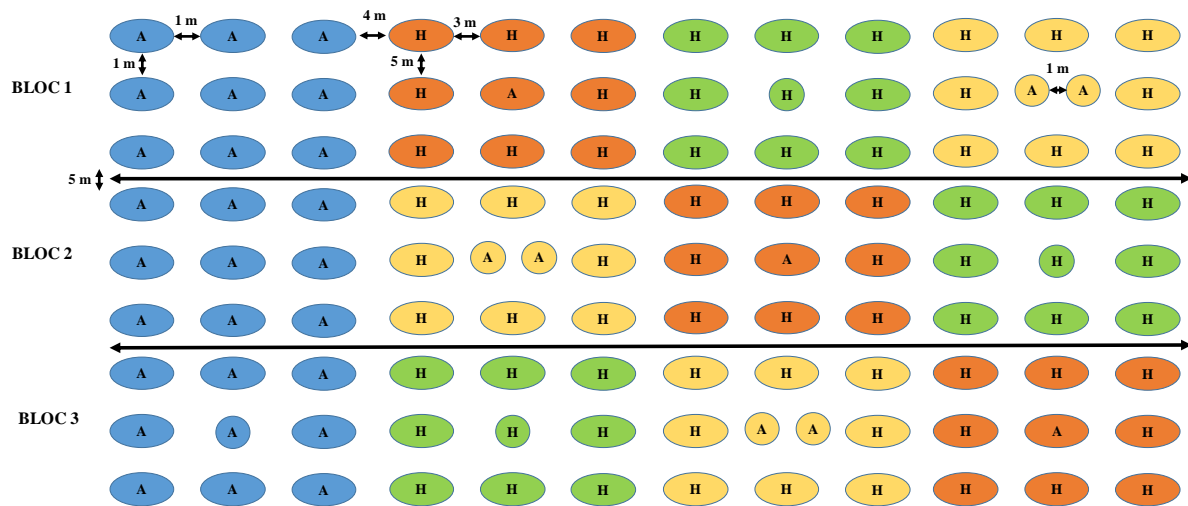


Figure 29: Dispositif expérimental pour l’association hévéa – aloès

2.3.4.2.2. Suivi de l’essai

Le suivi a consisté à arroser les plants de *Aloe vera* au besoin avec l’eau de robinet. Aussi un sarclage régulier (une fois par semaine) des mauvaises herbes a été fait afin d’éviter toute compétition avec les adventices.

2.3.4.2.3. Collecte des données

2.3.4.2.3.1. Collecte des données de *Aloe vera*

Les paramètres mesurés en ce qui concerne *Aloe vera* sont l’évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles, les biomasses fraîches et sèches des feuilles. Les données en lien avec les paramètres de croissance ont été collectées tous les 28 jours suivant la méthode déjà décrite précédemment pendant cinq mois.

Quant à la détermination des biomasses fraîches et sèches des feuilles, elle a été faite après cinq mois de plantation des rejets. Une récolte des feuilles a été faite en choisissant les trois feuilles les plus larges et longues au niveau du témoin et de chaque traitement. Les feuilles coupées ont été pesées avec une balance de précision avant et après séchage à 50° C dans une étuve (Jin *et al.*, 2007) pendant 72 h. Les moyennes des biomasses fraîches et sèches ont été calculées selon la formule ci-après :

$$\text{Biomasse des feuilles de } \textit{Aloe vera} = \frac{\sum \text{masses des trois feuilles récoltées}}{3}$$

2.3.4.2.3.2. Collecte des données de l'hévéa

Pour les arbres d'hévéa, seule leurs circonférences ont été mesurées chaque mois à l'aide du ruban mètre à 1,70 m du sol (Coulibaly *et al.*, 2014).

La moyenne de la circonférence des arbres d'hévéa a été calculée avec la formule ci-après :

$$\text{Circonférence moyenne} = \frac{\sum \text{circonférences des arbres d'hévéa}}{\text{Nombre total d'hévéa}}$$

2.3.4.2.4. Traitement et analyse statistiques des données

Les données collectées ont été soumises à des tests statistiques à l'aide du logiciel Statistica 10.0. Une analyse de variance a permis d'évaluer l'effet de l'association sur la croissance de *Aloe vera* et de l'hévéa ainsi que sur le rendement de *Aloe vera*. Elle a été appliquée au nombre de feuilles, à la longueur des feuilles, à la largeur des feuilles, à la biomasse des feuilles de *Aloe vera* et à la circonférence des arbres d'hévéa. L'hypothèse d'égalité des moyennes a été évaluée au risque de $\alpha = 5 \%$. En cas de rejet de cette dernière hypothèse, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls (au seuil de $\alpha = 5 \%$) a permis de classer les moyennes en groupes homogènes.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1 : Essai de multiplication de *Aloe vera* à partir de boutures de tige et de racine

En agriculture, l'accès au matériel végétal est un problème crucial auquel font face les paysans et encore plus pour une plante comme *Aloe vera* non cultivée en Côte d'Ivoire. La recherche d'un matériel végétal autre que les rejets qui sont beaucoup utilisés est donc importante pour une vulgarisation rapide de cette culture. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'essayer de multiplier *Aloe vera* à partir de boutures de tige et de racine.

1.1. Taux de levée des boutures en fonction de l'interaction type de boutures - mode de plantation des boutures

L'analyse statistique effectuée sur le taux de levée a montré une différence significative entre les traitements (Tableau II). Le plus fort taux de levée a été obtenu avec les boutures de tige partiellement enfouies. Ces boutures ont enregistré un taux de levée de 75 % (neuf boutures ont produit des feuilles sur les 12 boutures de tige). Ce taux de levée est suivi de celui obtenu avec boutures de la zone subérifiée qui ont été partiellement enfouies dans le substrat de croissance. Ces boutures ont obtenu un taux de levée de 58,33 % (7/12 boutures ont produit des feuilles). La troisième place est occupée par les boutures de tige totalement enfouies avec un taux de levée de 41,66 % (5 boutures ont produit des feuilles sur les 12). Ces taux de levée sont suivis respectivement par ceux des boutures de la zone subérifiée de la racine, totalement enfouies, (33,33 %) et de la zone lisse de la racine, partiellement enfouies (25 %). Le plus faible taux de levée a été enregistré avec les boutures de la zone lisse de la racine qui ont été totalement enfouies dans le substrat avec 16,66 %.

Tableau II: Taux de levée des boutures en fonction du type de boutures partiellement et totalement enfouies

Type de boutures	Mode de plantation	BPE	BTE
T		75 ^a	41,66 ^c
RP1		58,33 ^b	33,33 ^d
RP2		25 ^e	16,66 ^f
P		0,00	
Effet		S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

BPE : Boutures partiellement enfouies ; **BTE** : Boutures totalement enfouies ; **T** : Tige ; **RP 1** : Zone subérifiée ; **RP 2** : Zone lisse ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif.

1.2. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps

1.2.1. Evolution du nombre de feuilles émises en fonction du mode de plantation des boutures

La Figure 30 montre que le nombre de feuilles augmente en fonction du temps quel que soit le mode de plantation. Du 20^{ème} au 140^{ème} jours après plantation, le nombre de feuilles issues des boutures partiellement enfouies est supérieur à celui des boutures totalement enfouies avec l'apparition d'une feuille, en moyenne, tous les 20 jours. Les boutures totalement enfouies ont donc mis plus de 20 jours pour produire en moyenne une feuille.

1.2.2. Evolution du nombre de feuilles émises en fonction du type de boutures

L'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du type de boutures est représentée par la Figure 31. La courbe d'évolution du nombre de feuilles émises par les boutures de tiges est dessus des autres courbes du 20^{ème} au 140^{ème} jours après plantation. L'apparition des feuilles est donc plus rapide au niveau de ces boutures. Les boutures de la zone lisse de la racine, quant à elles, ont suscité une apparition moins rapide des feuilles de *Aloe vera* du 20^{ème} au 140^{ème} jours après plantation. Ces dernières ont mis plus de 20 jours pour produire en moyenne une feuille.

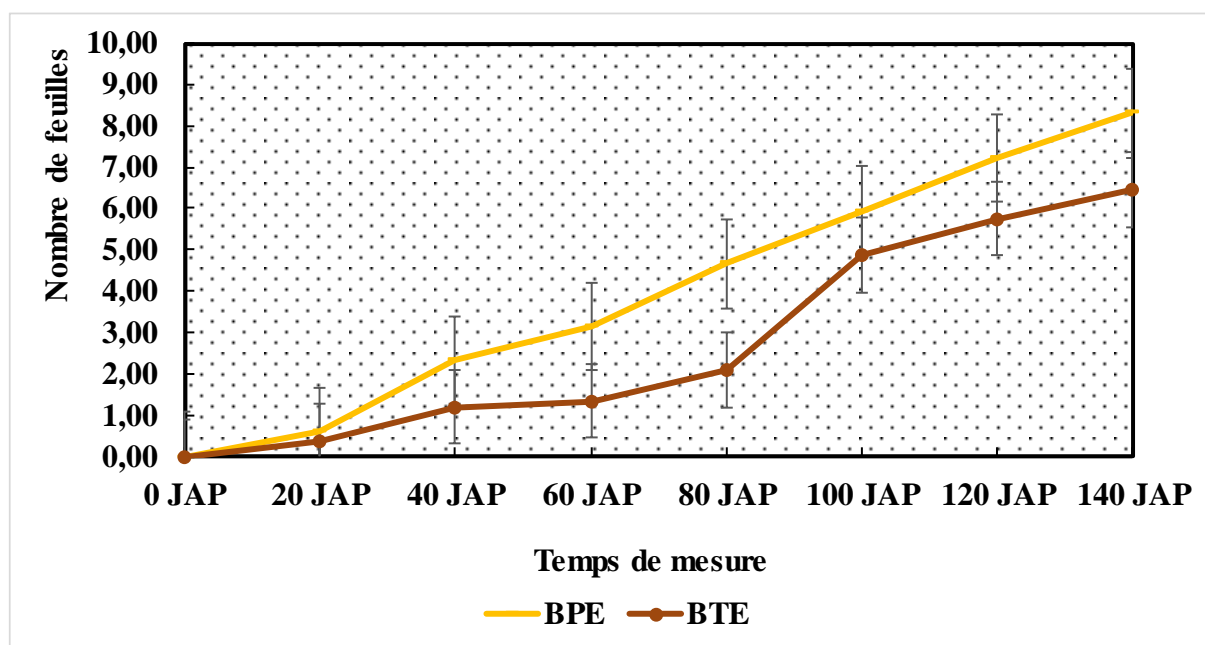


Figure 30: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du mode de plantation des boutures

JAP : Jour après plantation ; BPE : Boutures partiellement enfouies ; BTE : Boutures totalement enfouies

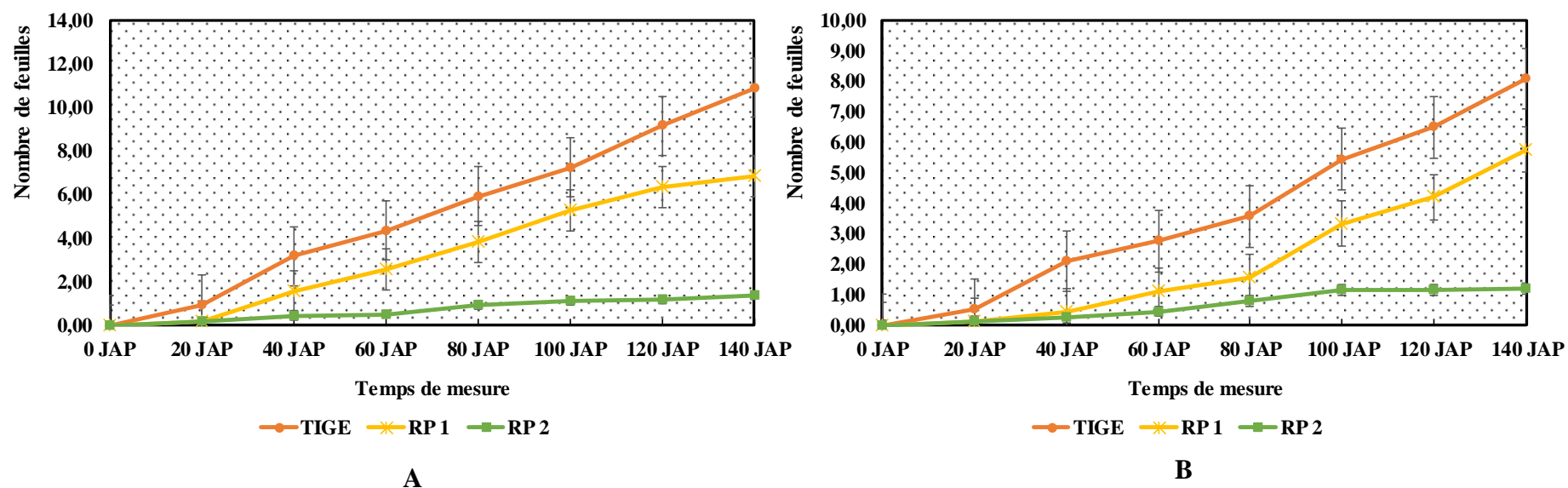


Figure 31: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du type de boutures partiellement et totalement enfouies

JAP : Jour après plantation ; **RP 1** : Zone subérfiée ; **RP 2** : Zone lisse

A : Boutures partiellement enfouies ; **B** : Boutures totalement enfouies

1.3. Nombre de feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures - mode de plantation des boutures

Le Tableau III présente le nombre de feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures. L'analyse de variance du nombre total de feuilles produites a mis en évidence une différence significative entre les traitements. Le nombre de feuilles émises varie de 1 à 10. Les boutures de tige partiellement enfouies ont occasionné le plus grand nombre en produisant en moyenne $10,92 \pm 4,70$ feuilles après 140 jours de plantation. Ce nombre est suivi de celui des boutures de tige qui ont été totalement enfouies dans le substrat avec $8,10 \pm 3,46$ feuilles 140 jours après plantation. Le nombre de feuilles émises par les boutures de la zone subérifiée de la racine, partiellement enfouies, occupe la troisième place avec $6,83 \pm 5,18$ feuilles. Quant aux boutures de la zone subérifiée de la racine, totalement enfouies, elles ont produit en moyenne $5,77 \pm 3,20$ feuilles. Le plus faible nombre de feuilles émises a été enregistré au niveau des boutures de la zone lisse de la racine qui ont été partiellement et totalement enfouies avec en moyenne une feuille.

Tableau III: Nombre de feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures

Type de boutures \ Mode de plantation	BPE	BTE
T	$10,92 \pm 4,70^a$	$8,10 \pm 3,46^b$
RP1	$6,83 \pm 5,18^c$	$5,77 \pm 3,20^d$
RP2	$1,33 \pm 3,14^e$	$1,20 \pm 1,00^e$
P	0,00	
Effet	S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

RP 1 : Zone subérifiée ; RP 2 : Zone lisse ; P : Probabilité, S : Significatif.

1.4. Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures - mode de plantation des boutures

Les longueurs des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures sont mentionnées dans le Tableau IV. Les résultats de l'analyse statistique montrent une différence significative entre les longueurs des feuilles produites en fonction des traitements. Les boutures de tiges qui ont été partiellement enfouies dans le substrat

ont induit les plus longues feuilles avec $13,10 \pm 3,59$ cm 140 jours après plantation. Cette longueur est suivie de celles des boutures de tiges totalement enfouies ($11,33 \pm 2,27$ cm) et des boutures de la zone subérifiée de la racine partiellement enfouies ($11,16 \pm 2,67$ cm). Par ailleurs, les plus courtes feuilles ont été émises par les boutures de la zone lisse de la racine.

Tableau IV: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures

Type de boutures	Mode de plantation	BPE	BTE
T		$13,10 \pm 3,59^a$	$11,33 \pm 2,27^b$
RP1		$11,16 \pm 2,67^b$	$9,00 \pm 2,35^c$
RP2		$2,60 \pm 4,66^d$	$2,25 \pm 3,33^d$
P			0,00
Effet			S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

RP 1 : Zone subérifiée ; **RP 2** : Zone lisse ; **P** : Probabilité, **S** : Significatif.

1.5. Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation

L'analyse de variance des largeurs des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures révèle une différence significative entre les traitements (Tableau V). La largeur des feuilles produites varie de 0,23 à 0,96 cm. Les boutures de tiges qui ont été partiellement enfouies dans le substrat ont induit les plus larges feuilles avec $0,96 \pm 0,33$ cm 140 jours après plantation. Cette largeur est suivie de celles des boutures de tiges totalement enfouies ($0,88 \pm 0,63$ cm) et des boutures de la zone subérifiée de la racine partiellement enfouies ($0,84 \pm 0,26$ cm). Aussi, les feuilles moins larges ont été produites par les boutures de la zone lisse de la racine.

Tableau V: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction type de boutures – mode de plantation des boutures

Type de boutures	Mode de plantation	BPE	BTE
T		0,96 ± 0,33 ^a	0,88 ± 0,63 ^b
RP1		0,84 ± 0,26 ^b	0,61 ± 0,24 ^c
RP2		0,23 ± 0,41 ^d	0,29 ± 0,30 ^d
P			0,00
Effet			S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

RP 1 : Zone subérifiée ; **RP 2** : Zone lisse ; **P** : Probabilité, **S** : Significatif.

1.6. Discussion

Cette étude a été réalisée en guise d'essai de multiplication de *Aloe vera* à partir de boutures de tige et de racine. Les résultats montrent un faible taux de levée des boutures dans l'ensemble. Ceci pourrait s'expliquer par la quantité d'eau contenue dans ces boutures. En effet, l'eau circule des racines vers les feuilles selon un potentiel hydrique décroissant (Henrion, 2021). La quantité d'eau contenue dans les racines serait donc plus élevée que celle contenue dans la tige de *Aloe vera*. Cette forte quantité d'eau présente dans certaines boutures, plus particulièrement racinaires, aurait occasionnée leur pourriture. L'effet néfaste de l'excès d'eau sur *Aloe vera* est confirmé par Gharib & Ben (2021). Ces derniers affirment qu'une quantité importante d'eau entraîne le pourrissement des racines de *Aloe vera*. Toutefois, les boutures partiellement enfouies de *Aloe vera* ont un meilleur taux de levée contrairement aux boutures totalement enfouies. Les boutures totalement enfouies ont été donc plus impactées négativement par la forte quantité d'eau qu'elles contiennent car toute leur surface a pourri au même moment. A contrario, celles enfouies partiellement ont pu émettre des feuilles avant que le pourrissement ne soit total pour certaines d'entre elles. Il semble donc que l'enfouissement partiel ait ralenti le pourrissement des boutures.

Aussi, l'important taux de levée des boutures de tige serait lié à leur plus gros diamètre. Le diamètre des boutures varie en fonction du type. Il est plus important au niveau de la tige et diminue progressivement de la zone subérifiée vers la coiffe. Selon Dembélé (2012), les boutures de petit diamètre se dessèchent plus vite que les plus grosses. Il semblerait donc, par ricochet, que les boutures de petit diamètre pourrissent également plus vite que les plus grosses. Ainsi, les boutures de gros diamètre ont pu s'enraciner et débourrer contrairement aux boutures de petit diamètre qui ont complètement pourri avant le temps nécessaire à la formation des racines et au débourrement des bourgeons de *Aloe vera*. De plus, du fait qu'elles soient semi-ligneuse, les boutures de tiges sont plus rigides. Ce qui aurait augmenté leur capacité de résistance.

Par ailleurs, ce résultat serait également lié à l'inégale répartition des réserves nutritive dans la plante. Les boutures de tige contiendraient plus de réserves nutritives que les boutures racinaires. En effet, pour Ambassa *et al.*, (2021), le taux de réserves nutritives influence la viabilité des bourgeons en voie de débourrement. Les bourgeons situés sur les boutures de tige ont donc utilisé ces réserves pour se maintenir en vie avant le développement des racines permettant de puiser davantage d'éléments minéraux dans le substrat. Quant aux boutures racinaires et en particulier celles de la zone lisse, la majorité des bourgeons est morte car la quantité de nutriments dont ils disposaient a probablement été insuffisante pour les maintenir

en vie avant la formation des racines. Nos résultats corroborent ceux de Bationo (1994) qui souligne que les réserves nutritives interviennent dans la survie des boutures. Ce dernier qui a effectué les travaux sur les boutures caulinaires de *Guiera senegalensis* a noté que celles-ci restent vivantes à cause des provisions nutritives amassées. Ces résultats sont également en accord avec les travaux de Traoré (2000) qui a rapporté que l'échec du bouturage des jeunes rameaux de *Piliostigma reticulatum* était dû au fait qu'ils ne contiennent pas assez de réserves nutritives nécessaires pour permettre une éventuelle levée. De plus, il semblerait aussi que les boutures de tige disposent de plus de phytohormones responsables de la levée des boutures. En effet, selon Nanema *et al.*, (2016), la teneur en phytohormones, en particulier l'acide-indole3acétique (AIA-3), la gibbérelline (GA3) et la kinétine, varie en fonction des organes des plantes. Cela a été également observé chez le bananier (Mazinga *et al.*, 2012).

Les résultats montrent également que les boutures partiellement enfouies ont une vitesse d'apparition de feuilles, un nombre de feuilles, une longueur et une largeur de feuilles plus élevés que ceux des boutures enfouies totalement. Le mode de plantation aurait influencé le développement du système racinaire. Les boutures partiellement enfouies ont dû développer un système racinaire meilleur que celui des boutures totalement enfouies. Ce système racinaire a facilité une absorption d'une quantité plus importante d'éléments minéraux dans le substrat. Ce qui a conduit à une apparition et une croissance plus rapide des feuilles au niveau de ces boutures partiellement enfouies. L'importance du système racinaire dans la croissance de la partie aérienne des plantes est mentionnée par Diop *et al.* (2012). En effet, ces auteurs affirment que les racines sont déterminantes dans la mise en place des organes aériens des boutures. Leur apex est, comme les graines, le siège de la synthèse de cytokinines, substances de croissance motrice de la morphogénèse. Nos résultats sont en phase avec ceux de Mahungu *et al.*, (2015) qui ont constaté des différences dans l'enracinement suivant le mode de plantation des boutures de manioc. Par ailleurs, la bonne croissance des plants issus des boutures de tige, à l'inverse des boutures racinaires et plus particulièrement de la zone lisse, s'expliquerait par l'importante réserve de nutriments et de phytohormones que contiendraient ces boutures de tige. En effet, Ambassa *et al.*, (2021) témoignent que le taux de réserves nutritives influence également la formation et le développement des racines et des pousses. Les boutures de tige ont donc développé un système racinaire plus important que celui des boutures racinaires. Ce qui a favorisé leur nutrition minérale pour une croissance harmonieuse des feuilles.

Conclusion partielle

Les essais montrent que la multiplication de *Aloe vera* à partir de la tige et de la racine est possible. Toutefois, l'enfouissement partiel des boutures et plus particulièrement des boutures de tige favorise un taux de levée plus important et une meilleure croissance des feuilles de *Aloe vera*. Ainsi, la culture de *Aloe vera* par bouturage pourrait être recommandée aux paysans afin de pallier le déficit de matériel végétal dont le plus utilisé à ce jour reste le rejet à cause de sa croissance plus rapide comparée à celle de la graine. Toutefois, l'utilisation des hormones rhizogènes afin de favoriser d'une part, le débourrement des bourgeons et d'autre part, accélérer la croissance des feuilles émises est une perspective.

Chapitre 2 : Détermination du/des substrat (s) et/ou de (s) amendement (s) le (s) plus approprié (s) à la croissance de *Aloe vera*

La production de plants vigoureux en pépinière est déterminante pour la réussite d'une plantation à grande échelle. Cette production dépend en partie de l'amendement utilisé pour booster la croissance des plants. L'objectif de cette étude est donc de déterminer le substrat et/ou l'amendement favorisant la croissance harmonieuse de *Aloe vera* en pépinière et au champ.

2.1. Effet des substrats sur la croissance de *Aloe vera* en pépinière

2.1.1. pH des substrats étudiés

Les pH mesurés ont varié de 6,67 à 7,87 et sont représentés dans le Tableau VI. Comparativement au pH du témoin qui était de 7,87, les valeurs de pH ont montré une différence significative ($P < 0,05$) au niveau des substrats.

L'apport des amendements à la terre a entraîné une baisse des pH des substrats. Une baisse très significative a été obtenue avec les amendements fiente de poulet ($7,59 \pm 0,31$), banane plantain mure ($7,49 \pm 0,29$), bouse de vache ($7,36 \pm 0,32$) et charbon de bois ($6,67 \pm 0,99$). Toutefois, ces pH sont restés basiques à l'exception du substrat amendé avec la poudre de charbon de bois qui a été acide (6,67).

2.1.2. Evolution du nombre de feuille en fonction du temps

La Figure 32 montre que le nombre de feuilles produites augmente en fonction du temps quel que soit le type de substrat. Cependant, à partir du 80^{ème} jour après plantation, une apparition plus rapide des feuilles des rejets plantés sur le substrat à base de bouse de vache avec en moyenne deux feuilles tous les 20 jours est constatée. Le substrat à base de fiente de poulet se démarque également à partir du 100^{ème} jour après plantation avec en moyenne une feuille tous les 20 jours. Quant aux vitesses d'apparition des feuilles sur les autres substrats, elles sont quasi identiques (moins d'une feuille tous les 20 jours) du 40^{ème} jour au 120^{ème} jour après plantation.

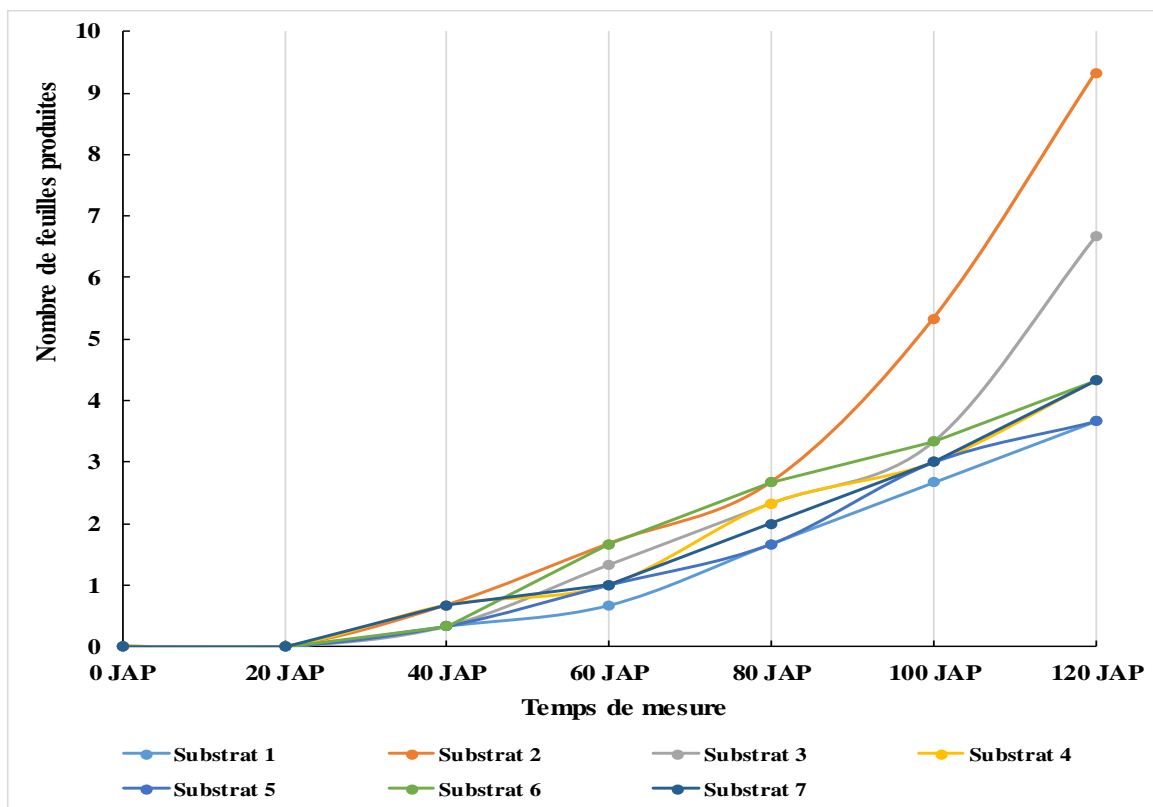


Figure 32: Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du temps et selon les substrats étudiés

Substrat 1 : Témoin ; **Substrat 2** : Terre + bouse de vache ; **Substrat 3** : Terre + fiente de poulet ; **Substrat 4** : Terre + charbon de bois ; **Substrat 5** : Terre + stipes de bananier ; **Substrat 6** : Terre + banane plantain mûre ; **Substrat 7** : Terre + banane dessert mûre ; **JAP** : Jour après plantation.

2.1.3. Nombre de feuilles apparues

Le Tableau VII montre le nombre de nouvelles feuilles de *Aloe vera* produites durant l'expérimentation. L'analyse statistique du nombre de feuilles émises n'a pas révélé de différence significative entre les traitements. Les substrats à base de bouse de vache, de fiente de poulet, de charbon de bois, de stipe de bananier, de banane plantain mûre et de banane dessert mûre ont eu le même effet sur l'émission des feuilles de *Aloe vera* comparés au témoin.

Tableau VI : pH des substrats étudiés

Substrats	pH moyens
S 1	7,87 ± 0,07 ^a
S 2	7,36 ± 0,32 ^b
S 3	7,59 ± 0,31 ^{ab}
S 4	6,67 ± 0,99 ^c
S 5	7,69 ± 0,31 ^{ab}
S 6	7,49 ± 0,29 ^b
S 7	7,73 ± 0,23 ^{ab}
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

S 1 : Terre (témoin) ; **S 2** : Terre + bouse de vache ; **S 3** : Terre + fiente de poulet ; **S 4** : Terre + charbon de bois ; **S 5** : Terre + stipes de bananier ; **S 6** : Terre + banane plantain mûre ; **S 7** : Terre + banane dessert mûre ;

P : Probabilité ; **S** : Significatif

Tableau VII : Nombre de feuilles produites en fonction du substrat

Substrats	Nombre de feuilles émises 120 JAP
S 1	3,67 ± 0,58 ^a
S 2	9,33 ± 6,11 ^a
S 3	6,67 ± 2,52 ^a
S 4	4,33 ± 0,58 ^a
S 5	3,67 ± 1,15 ^a
S 6	4,33 ± 0,58 ^a
S 7	4,33 ± 2,31 ^a
P	0,17
Effet	NS

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

JAP : Jour après plantation ; **S 1** : Terre (témoin) ; **S 2** : Terre + bouse de vache ; **S 3** : Terre + fiente de poulet ; **S 4** : Terre + charbon de bois ; **S 5** : Terre + stipes de bananier ; **S 6** : Terre + banane plantain mûre ; **S 7** : Terre + banane dessert mûre ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif.

2.1.4. Longueur des feuilles produites

Le Tableau VIII présente la longueur des feuilles produites sur les substrats testés. L'analyse statistique des longueurs de feuilles émises a mis en évidence un effet significatif ($P < 0,05$) entre les substrats testés. Les substrat 2, 3 et 4 respectivement à base de bouse de vache ($22,89 \pm 5,35$ cm), de fiente de poulet ($21,71 \pm 5,70$ cm) et de charbon de bois ($20,24 \pm 6,44$ cm) ont produit les plus longues feuilles. Ils sont suivis du substrat à base de banane plantain mûre avec $17,12 \pm 4,98$ cm de longueur moyenne de feuille. Les feuilles produites sur ces substrats amendés sont plus longues que celles produites sur le témoin. Quant aux substrats à base de stipes de bananier ($14,00 \pm 6,68$ cm) et de banane dessert mûre ($12,43 \pm 4,61$ cm), ils ont eu la même influence sur la longueur des feuilles émises que le témoin ($11,49 \pm 5,77$ cm).

2.1.5. Largeur des feuilles produites

Le Tableau IX présente la largeur des feuilles produites sur les substrats testés. L'analyse statistique des largeurs de feuilles émises a mis en évidence un effet significatif ($P < 0,05$) entre les substrats testés. Les substrat 2 et 3, respectivement à base de bouse de vache ($1,65 \pm 0,40$ cm) et de fiente de poulet ($1,61 \pm 0,41$ cm) ont produit les plus larges feuilles. Les feuilles produites sur ces substrats amendés sont plus larges que celles produites sur le témoin. Par contre, les autres substrats testés ont eu le même effet sur la largeur des feuilles produites que le témoin.

Tableau VIII: Longueur des feuilles produites en fonction du substrat

Substrats	Longueur des feuilles émises 120 JAP
S 1	$11,49 \pm 5,77^b$
S 2	$22,89 \pm 5,35^a$
S 3	$21,71 \pm 5,70^a$
S 4	$20,24 \pm 6,44^a$
S 5	$14,00 \pm 6,68^b$
S 6	$17,12 \pm 4,98^{ab}$
S 7	$12,43 \pm 4,61^b$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

JAP : Jour après plantation ; S 1 : Témoin ; S 2 : Terre + bouse de vache ; S 3 : Terre + fiente de poulet ; S 4 : Terre + charbon de bois ; S 5 : Terre + stipes de bananier ; S 6 : Terre + banane plantain mûre ; S 7 : Terre + banane dessert mûre ; P : Probabilité ; S : Significatif.

Tableau IX : Largeur des feuilles produites en fonction du substrat

Substrats	Largeur des feuilles émises 120 JAP
S 1	$0,97 \pm 0,37^b$
S 2	$1,65 \pm 0,40^a$
S 3	$1,61 \pm 0,41^a$
S 4	$1,19 \pm 0,29^b$
S 5	$0,97 \pm 0,42^b$
S 6	$1,27 \pm 0,38^b$
S 7	$1,06 \pm 0,32^b$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

JAP : Jour après plantation ; **S 1** : Témoin ; **S 2** : Terre + bouse de vache ; **S 3** : Terre + fiente de poulet ; **S 4** : Terre + charbon de bois ; **S 5** : Terre + stipes de bananier ; **S 6** : Terre + banane plantain mûre ; **S 7** : Terre + banane dessert mûre ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif.

2.2. Effet des amendements liquides sur la croissance de *Aloe vera* en pépinière

2.2.1. pH des substrats

Le Tableau X montre les pH de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements. L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre le pH témoin et ceux des substrats amendés.

Les pH en fonction des amendements sont illustrés dans le Tableau XI. L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les pH du substrat témoin et ceux des substrats amendés. Ces pH sont tous basiques.

Le Tableau XII montre les fréquences d'apport des amendements. L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les pH du substrat témoin et ceux des substrats amendés. Ces pH sont aussi tous basiques.

Tableau X: pH du substrat en fonction de l'interaction amendement-fréquence d'apport de l'amendement

Fréquences Amendements	Fréquences			
	F1	F2	F3	F4
T	7,81 ± 0,00 ^a	7,81 ± 0,00 ^a	7,81 ± 0,00 ^a	7,81 ± 0,00 ^a
A1	7,9 ± 0,10 ^a	7,91 ± 0,10 ^a	7,86 ± 0,13 ^a	7,84 ± 0,10 ^a
A2	7,85 ± 0,09 ^a	7,81 ± 0,11 ^a	7,88 ± 0,13 ^a	7,82 ± 0,17 ^a
A3	7,89 ± 0,10 ^a	7,83 ± 0,19 ^a	7,9 ± 0,1 ^a	7,86 ± 0,12 ^a
A4	7,82 ± 0,11 ^a	7,79 ± 0,17 ^a	7,85 ± 0,11 ^a	7,78 ± 0,23 ^a
A5	7,83 ± 0,11 ^a	7,79 ± 0,14 ^a	7,84 ± 0,13 ^a	7,91 ± 0,13 ^a
A6	7,82 ± 0,2 ^a	7,85 ± 0,12 ^a	7,81 ± 0,07 ^a	7,85 ± 0,07 ^a
A7	7,88 ± 0,08 ^a	7,81 ± 0,12 ^a	7,91 ± 0,08 ^a	7,89 ± 0,09 ^a
P		0,34		
Effet		NS		

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; A1 : Amendement 1 ; A2 : Amendement 2 ; A3 : Amendement 3 ; A4 : Amendement 4 ; A5 : Amendement 5 ; A6 : Amendement 6 ; A7 : Amendement 7 ; F1 : Une fois toutes les deux semaines ; F2 : Une fois toutes les trois semaines ; F3 : Une fois par mois ; F4 : Une fois tous les deux mois ; P : Probabilité ; NS : Non significatif.

Tableau XI: pH du substrat en fonction de l'amendement

Amendements	pH
T	7,81 ± 0,00 ^a
A1	7,88 ± 0,12 ^a
A2	7,84 ± 0,18 ^a
A3	7,87 ± 0,13 ^a
A4	7,81 ± 0,16 ^a
A5	7,84 ± 0,13 ^a
A6	7,83 ± 0,12 ^a
A7	7,87 ± 0,1 ^a
P	0,3
Effet	NS

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; **A1** : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif.

Tableau XII: pH du substrat en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement

Fréquences	pH
T	7,81 ± 0,00 ^a
F1	7,85 ± 0,12 ^a
F2	7,83 ± 0,14 ^a
F3	7,86 ± 0,11 ^a
F4	7,85 ± 0,14 ^a
P	0,34
Effet	NS

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

F1 : Une fois toutes les deux semaines ; **F2** : Une fois toutes les trois semaines ; **F3** : Une fois par mois ; **F4** : Une fois tous les deux mois ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif.

2.2.2. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps

La Figure 33 montre les courbes d'évolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* émises en fonction du temps et selon les amendements. Toutes ces courbes ont la même allure. Toutefois, celle de l'engrais NPK (15, 15, 15) est au-dessus de toutes les autres entre le 50^{ème} et le 100^{ème} jour après plantation. La plus grande vitesse d'apparition des feuilles a été obtenue sur le substrat amendé avec cet engrais dont une feuille de *Aloe vera* apparait tous les 20 jours. Cependant, du 100^{ème} au 120^{ème} jour après plantation, les courbes de l'engrais NPK et des amendements (A7 et A6) sont confondues. Le témoin ainsi que les amendements A3, A4 et A5 ont induit la plus faible vitesse d'apparition de feuilles avec des courbes au-dessous des autres.

En ce qui concerne les fréquences d'apport des amendements, la Figure 34 montre que les courbes suivent la même tendance du 40^{ème} au 120^{ème} jour après plantation. Toutefois, celle de la fréquence F4 est au-dessus des autres du 40^{ème} au 100^{ème} jour après plantation. Au-delà, les courbes des fréquences F4 et F2 sont quasi confondues avec en moyenne une feuille tous les 20 jours.

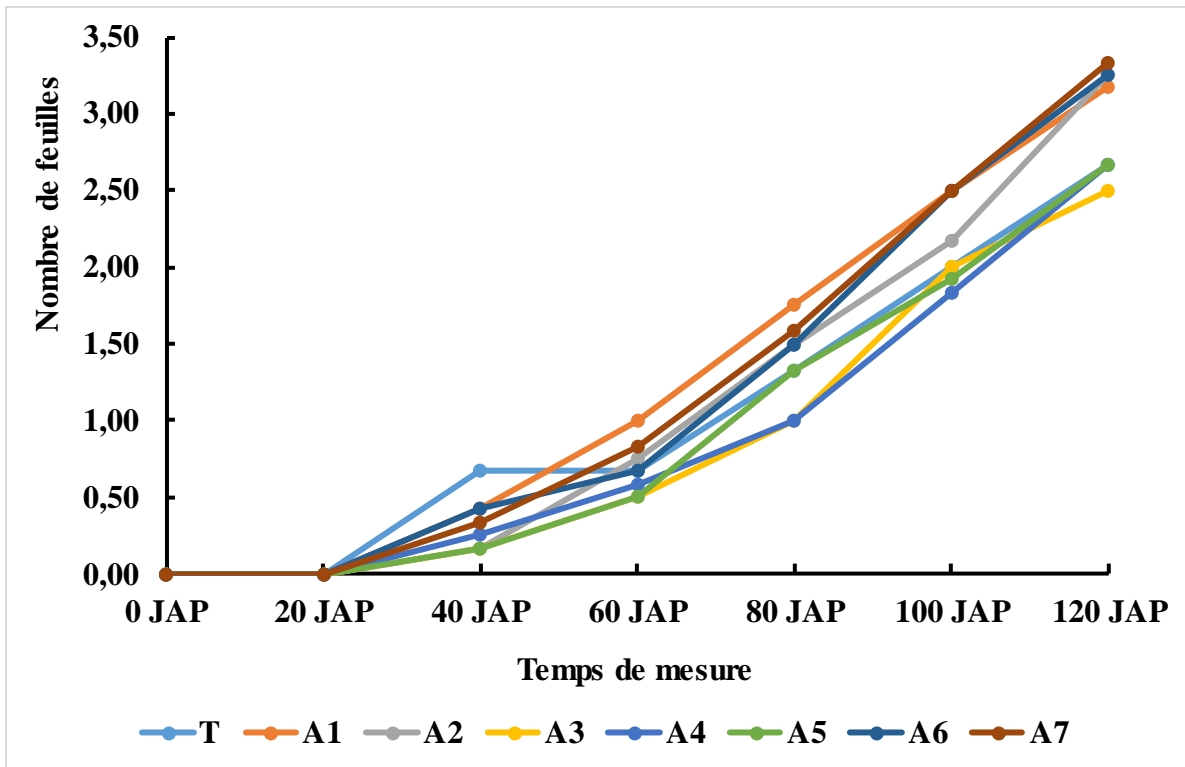


Figure 33: Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction de l'amendement

T : Témoin ; A1 : Amendement 1 ; A2 : Amendement 2 ; A3 : Amendement 3 ; A4 : Amendement 4 ; A5 : Amendement 5 ; A6 : Amendement 6 ; A7 : Amendement 7 ; JAP : Jour après plantation.

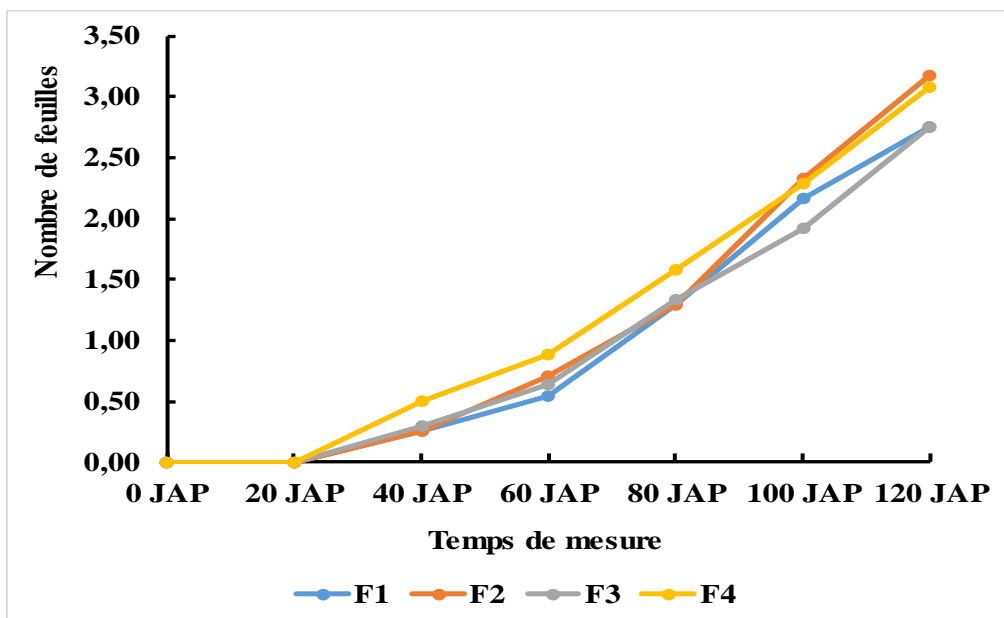


Figure 34: Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement

F1 : Une fois toutes les deux semaines ; F2 : Une fois toutes les trois semaines ; F3 : Une fois par mois ; F4 : Une fois tous les deux mois ; JAP : Jour après plantation.

2.2.3. Nombre total de feuilles apparues

Le Tableau XIII illustre les nombres de feuilles produites en fonction de l'interaction amendement-fréquence d'apport. A ce titre, aucune différence significative n'apparaît entre les nombres de feuilles produites après plantation. Les interactions ont eu la même influence sur le nombre total de feuilles de *Aloe vera* émises que le témoin.

Le Tableau XIV présente le nombre total de feuilles produites en fonction des amendements. L'analyse de variance du nombre total de feuilles émises met en évidence une différence significative entre les amendements testés. L'apport des amendements a induit l'apparition d'un nombre plus conséquent de feuilles. Les plus grands nombres de feuilles émises comparés au témoin, après 120 jours de plantation, ont été obtenus successivement sur les substrats amendés avec A7 ($3,33 \pm 0,78$ feuilles), A6 ($3,25 \pm 0,62$ feuilles), A2 ($3,25 \pm 0,62$ feuilles) et A1 ($3,17 \pm 0,58$ feuilles). Quant aux nombres de feuilles produites par les amendements A3 ($2,50 \pm 0,67$ feuilles), A4 ($2,67 \pm 1,15$ feuilles) et A5 ($2,67 \pm 0,65$ feuilles), ils sont statistiquement identiques à celui du témoin ($2,67 \pm 0,65$ feuilles).

Le Tableau XV montre qu'aucune différence significative n'est apparue entre les nombres de feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport des amendements. L'apport des amendements à toutes les fréquences ont produit statistiquement le même nombre de feuilles.

Tableau XIII: Nombre total de feuilles produites en fonction de l'interaction amendement-fréquence d'apport des amendements

Fréquences Amendements	F1	F2	F3	F4
T	$2,67 \pm 0,58^a$	$2,67 \pm 0,58^a$	$2,67 \pm 0,58^a$	$2,67 \pm 0,58^a$
A1	$3,00 \pm 1,00^a$	$3,00 \pm 0,00^a$	$3,67 \pm 0,58^a$	$3,00 \pm 0,00^a$
A2	$3,33 \pm 0,58^a$	$4,00 \pm 0,00^a$	$2,67 \pm 0,58^a$	$3,00 \pm 0,00^a$
A3	$2,00 \pm 0,00^a$	$3,00 \pm 0,00^a$	$2,00 \pm 0,00^a$	$3,00 \pm 1,00^a$
A4	$2,00 \pm 1,00^a$	$2,67 \pm 0,58^a$	$2,00 \pm 1,00^a$	$4,00 \pm 1,00^a$
A5	$2,33 \pm 0,58^a$	$3,33 \pm 0,58^a$	$2,33 \pm 0,58^a$	$2,67 \pm 0,58^a$
A6	$3,33 \pm 0,58^a$	$3,33 \pm 1,15^a$	$3,33 \pm 0,58^a$	$3,00 \pm 0,00^a$
A7	$3,33 \pm 1,53^a$	$3,33 \pm 0,58^a$	$3,33 \pm 0,58^a$	$3,33 \pm 0,58^a$
P		0,17		
Effet		NS		

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; **A1** : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **F1** : Une fois toutes les deux semaines ; **F2** : Une fois toutes les trois semaines ; **F3** : Une fois par mois ; **F4** : Une fois tous les deux mois ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif.

Tableau XIV: Nombre de feuilles produites en fonction des amendements

Amendements	Nombre de feuilles émises 120 JAP
T	2,67 ± 0,65 ^b
A1	3,17 ± 0,58 ^a
A2	3,25 ± 0,62 ^a
A3	2,50 ± 0,67 ^b
A4	2,67 ± 1,15 ^b
A5	2,67 ± 0,65 ^b
A6	3,25 ± 0,62 ^a
A7	3,33 ± 0,78 ^a
P	0,01
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; **A1** : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **JAP** : Jour après plantation ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif.

Tableau XV: Nombre de feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport des amendements

Fréquences	Nombre de feuilles émises 120 JAP
F1	2,75 ± 0,90 ^a
F2	3,17 ± 0,64 ^a
F3	2,75 ± 0,85 ^a
F4	3,08 ± 0,65 ^a
P	0,08
Effet	NS

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

F1 : Une fois toutes les deux semaines ; **F2** : Une fois toutes les trois semaines ; **F3** : Une fois par mois ; **F4** : Une fois tous les deux mois ; **JAP** : Jour après plantation ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif.

2.2.4. Longueur des nouvelles feuilles produites

Le Tableau XVI présente la longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements. Il ressort qu'une différence significative entre les longueurs des feuilles produites est apparue après analyse. La croissance en longueur des feuilles de *Aloe vera* a été favorisée par les amendements liquides et l'engrais chimique apportés. L'amendement chimique apporté chaque mois a favorisé les plus longues feuilles par rapport au témoin avec une longueur de $19,64 \pm 5,24$ cm en moyenne. L'apport de l'amendement (A7) à base de coquille d'œuf de poulet, d'épluchures de banane plantain et de tonte de gazon, une fois toutes les trois semaines, vient en deuxième position avec $18,98 \pm 6,47$ cm comme longueur de feuilles produites. Ces amendements sont suivis respectivement de A6F3 ($17,20 \pm 5,37$ cm), A2F2 ($16,83 \pm 5,30$ cm), A6F2 ($16,74 \pm 5,88$ cm), A4F4 ($16,16 \pm 4,78$ cm) et A5F2 ($15,60 \pm 5,40$ cm). Les plus courtes feuilles, par rapport au témoin, ont été produites sur les substrats amendés avec A5F1. La longueur des feuilles produites sur les substrats amendés avec l'amendement A5F1 est de $8,64 \pm 2,49$ cm.

Tableau XVI: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements

Amendements	Fréquences			
	F1	F2	F3	F4
T	$10,23 \pm 4,08^{bc}$	$10,23 \pm 4,08^{bc}$	$10,23 \pm 4,08^{bc}$	$10,23 \pm 4,08^{bc}$
A1	$15,45 \pm 5,11^{abc}$	$14,59 \pm 5,79^{abc}$	$19,64 \pm 5,24^a$	$15,01 \pm 5,92^{abc}$
A2	$14,95 \pm 5,46^{abc}$	$16,83 \pm 5,30^{abc}$	$13,99 \pm 5,55^{abc}$	$14,75 \pm 6,57^{abc}$
A3	$9,56 \pm 2,27^c$	$12,90 \pm 4,11^{abc}$	$7,78 \pm 3,36^c$	$14,19 \pm 7,00^{abc}$
A4	$8,99 \pm 3,21^c$	$11,88 \pm 3,99^{abc}$	$9,23 \pm 5,93^c$	$16,16 \pm 4,78^{abc}$
A5	$8,64 \pm 2,49^c$	$15,60 \pm 5,40^{abc}$	$9,15 \pm 4,60^c$	$14,76 \pm 5,67^{abc}$
A6	$14,36 \pm 4,77^{abc}$	$16,74 \pm 5,88^{abc}$	$17,20 \pm 5,37^{abc}$	$12,93 \pm 6,16^{abc}$
A7	$13,51 \pm 3,65^{abc}$	$18,98 \pm 6,47^{ab}$	$13,45 \pm 6,81^{abc}$	$14,60 \pm 5,34^{abc}$
P			0,04	
Effet			S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; A1 : Amendement 1 ; A2 : Amendement 2 ; A3 : Amendement 3 ; A4 : Amendement 4 ; A5 : Amendement 5 ; A6 : Amendement 6 ; A7 : Amendement 7 ; F1 : Une fois toutes les deux semaines ; F2 : Une fois toutes les trois semaines ; F3 : Une fois par mois ; F4 : Une fois tous les deux mois ; P : Probabilité ; S : Significatif.

2.2.5. Largeur des nouvelles feuilles produites

Le Tableau XVII présente la largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendement – fréquence d'apport des amendements. A ce titre, aucune différence significative n'apparaît entre les largeurs de feuilles produites après plantation. Les amendements apportés aux différentes fréquences testées ont eu la même influence sur la croissance en largeur des feuilles de *Aloe vera* que le témoin.

Quant au Tableau XVIII, il indique une différence significative entre les largeurs des feuilles produites en fonction des amendements. Les amendements liquides et l'engrais chimique apportés ont favorisé une bonne croissance en largeur des feuilles de *Aloe vera*. Cent-vingt jours après la plantation des rejets, l'amendement (A6) à base de coquilles d'œuf de poulet, d'épluchures de bananes desserts et de tonte de gazon, a induit les plus larges feuilles, comparé au témoin, avec en moyenne $1,34 \pm 0,34$ cm de largeur. Il est suivi de l'amendement A7 avec $1,31 \pm 0,34$ cm. Avec en moyenne $1,19 \pm 0,36$ cm et $1,15 \pm 0,36$ cm de largeurs de feuilles produites, les amendements A1 et A2 occupent successivement la troisième et la quatrième place.

Aussi, les résultats figurant dans le Tableau XIX montrent que l'apport des amendements toutes les trois semaines favorise une croissance plus large des feuilles de *Aloe vera*. L'analyse statistique a révélé une différence significative au niveau de la largeur des feuilles émises entre les fréquences testées. L'apport des amendements une fois toutes les trois semaines a induit des feuilles plus larges avec $1,16 \pm 0,37$ cm en moyenne. Les feuilles moins larges ont été produites avec l'apport des amendements une fois toutes les deux semaines ($1,00 \pm 0,33$ cm).

Tableau XVII: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction amendements liquide – fréquence d'apport des amendements

Amendements \ Fréquences	F1	F2	F3	F4
T	0,69 ± 0,20 ^a	0,69 ± 0,20 ^a	0,69 ± 0,20 ^a	0,69 ± 0,20 ^a
A1	1,11 ± 0,35 ^a	1,14 ± 0,35 ^a	1,33 ± 0,37 ^a	1,19 ± 0,41 ^a
A2	1,15 ± 0,34 ^a	1,21 ± 0,25 ^a	1,18 ± 0,47 ^a	1,05 ± 0,40 ^a
A3	0,81 ± 0,24 ^a	1,13 ± 0,33 ^a	0,84 ± 0,26 ^a	1,09 ± 0,29 ^a
A4	0,86 ± 0,28 ^a	1,04 ± 0,30 ^a	0,89 ± 0,44 ^a	1,13 ± 0,28 ^a
A5	0,93 ± 0,25 ^a	1,18 ± 0,32 ^a	0,84 ± 0,29 ^a	1,16 ± 0,41 ^a
A6	1,34 ± 0,33 ^a	1,40 ± 0,35 ^a	1,46 ± 0,27 ^a	1,18 ± 0,40 ^a
A7	1,15 ± 0,18 ^a	1,54 ± 0,33 ^a	1,13 ± 0,31 ^a	1,44 ± 0,35 ^a
P			0,31	
Effet			NS	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

T : Témoin ; **A1** : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **F1** : Une fois toutes les deux semaines ; **F2** : Une fois toutes les trois semaines ; **F3** : Une fois par mois ; **F4** : Une fois tous les deux mois ; **P** : Probabilité ; **NS** : Non significatif

Tableau XVIII : Largeur des feuilles produites en fonction de l'amendement liquide

Amendements	Largeur des feuilles émises 120 JAP
Témoin	0,69 ± 0,19 ^d
A1	1,19 ± 0,36 ^{ab}
A2	1,15 ± 0,36 ^c
A3	0,97 ± 0,30 ^{abc}
A4	0,98 ± 0,33 ^c
A5	1,03 ± 0,34 ^{bc}
A6	1,34 ± 0,34 ^a
A7	1,31 ± 0,34 ^a
P	0
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

A1 : Amendement 1 ; **A2** : Amendement 2 ; **A3** : Amendement 3 ; **A4** : Amendement 4 ; **A5** : Amendement 5 ; **A6** : Amendement 6 ; **A7** : Amendement 7 ; **JAP** : Jour après plantation ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif.

Tableau XIX : Largeur des feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport des amendements liquides

Fréquences	Largeur des feuilles émises 120 JAP
F1	1,00 ± 0,33 ^b
F2	1,16 ± 0,37 ^a
F3	1,04 ± 0,41 ^{ab}
F4	1,11 ± 0,38 ^{ab}
P	0,02
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

F1 : Une fois toutes les deux semaines ; F2 : Une fois toutes les trois semaines ; F3 : Une fois par mois ; F4 : Une fois tous les deux mois ; JAP : Jour après plantation ; P : Probabilité ; S : Significatif.

2.3. Evaluation du meilleur amendement liquide sur la croissance de *Aloe vera* au champ

La réalisation d'une étude préalable en pépinière a permis de déterminer l'amendement liquide favorisant une meilleure croissance des plants de *Aloe vera*. Cet amendement est composé de tonte de gazon, de coquilles d'œuf et de peaux de bananes plantains. L'objectif de cette nouvelle étude est de déterminer la quantité et la fréquence d'apport de cet amendement favorisant une bonne croissance de *Aloe vera* au champ.

2.3.1. Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps

La Figure 35 montre l'évolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* émises en fonction de la quantité d'amendement. Ces courbes ont toutes une allure ascendante. Cependant, le nombre de feuilles issues des rejets qui ont reçu 0,75 l est supérieur aux autres du 25^{ème} au 150^{ème} jour après plantation avec en moyenne 6 feuilles tous les 25 jours. Le nombre de feuilles issues des rejets qui ont reçu 0,5 l occupe la deuxième place du 25^{ème} au 150^{ème} jour après plantation avec 5 feuilles tous les 25 jours. L'apparition des feuilles est moins rapide sur le substrat témoin.

Pour l'évolution du nombre de feuilles en fonction de la fréquence d'apport, la Figure 36 montre que les courbes sont quasi confondues du 25^{ème} au 100^{ème} jour après plantation. Au-delà, le nombre de feuilles issues des rejets qui ont reçus l'amendement une fois tous les mois

est légèrement au-dessus de celui des rejets qui ont reçus l'amendement une fois tous les deux mois avec environ 5 feuilles tous les 25 jours.

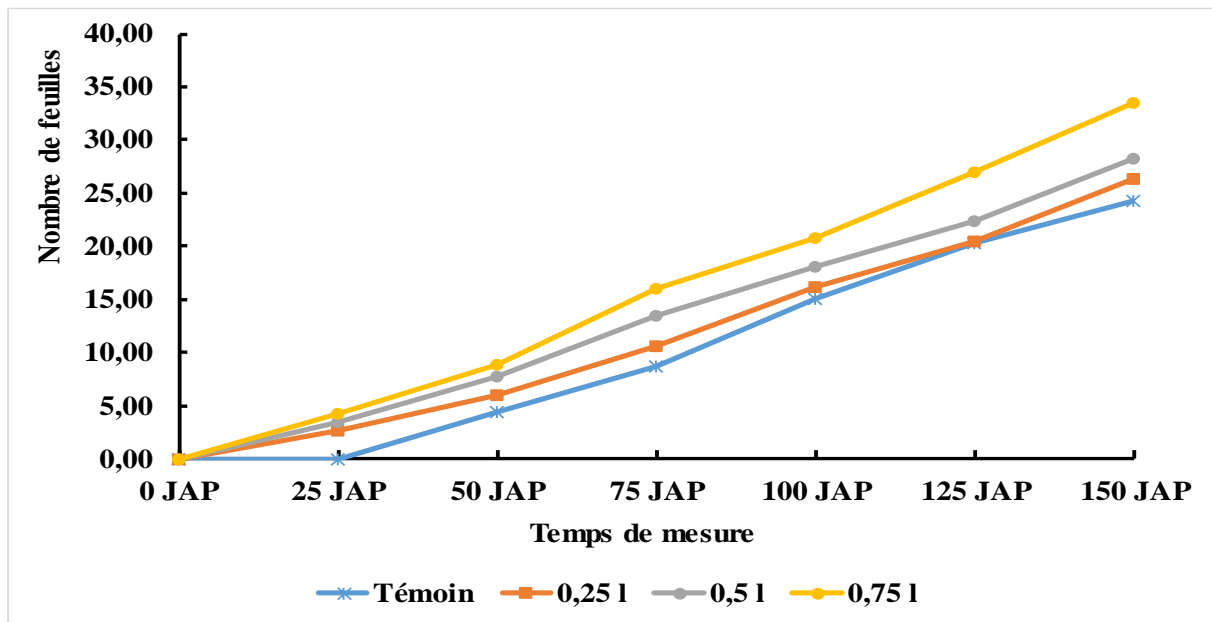


Figure 35: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction de la quantité d'amendement
JAP : Jour après plantation

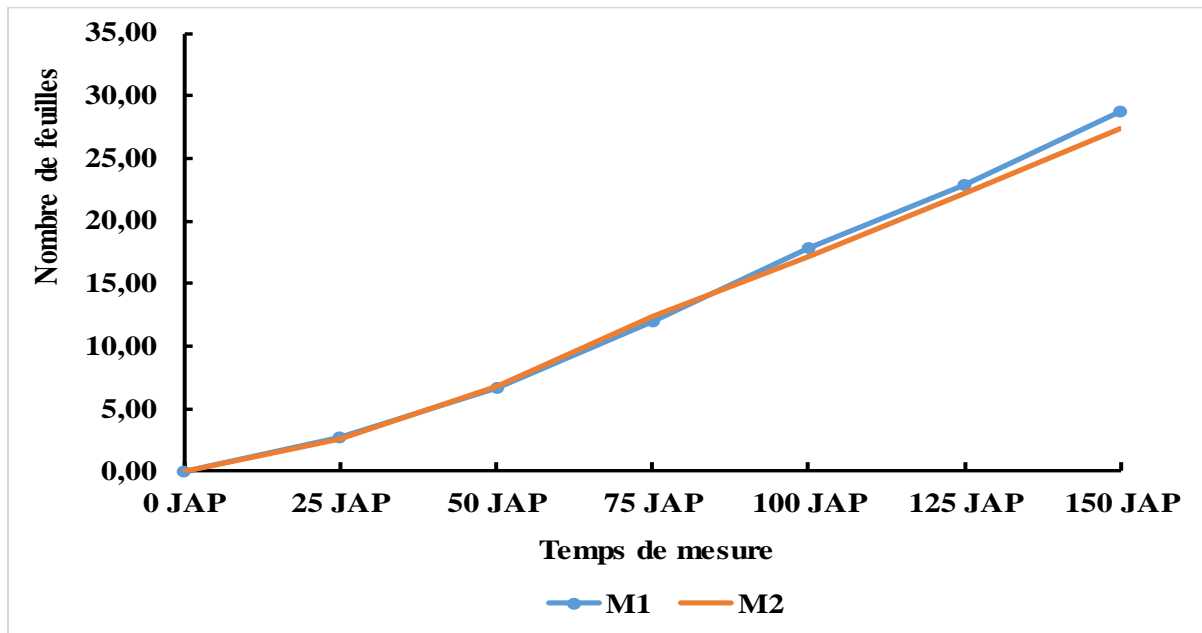


Figure 36: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction de la fréquence d'apport de l'amendement

M1 : une fois par mois ; **M2** : une fois tous les deux mois ; **JAP** : Jour après plantation

2.3.2. Nombre total de feuilles produites

Le Tableau XX présente le nombre de feuilles produites en fonction de l’interaction quantité d’amendement – fréquence d’apport de l’amendement. Les nombres de feuilles produites sont significativement différents. Cent-cinquante jour après plantation, l’apport de 0,75 l de l’amendement une fois par mois (35 feuilles) a favorisé un plus grand nombre de feuilles par rapport au témoin avec 35 feuilles en moyenne. Il est suivi des nombres de feuilles obtenues en apportant 0,75 l une fois tous les deux mois (31 feuilles), 0,5 l chaque mois (environ 29 feuilles), 0,5 l une fois tous les deux mois (environ 28 feuilles), 0,25 l chaque mois (environ 27 feuilles) et 0,25 l une fois tous les deux mois (environ 26 feuilles).

Tableau XX: Nombre de feuilles produites en fonction de l’interaction quantité d’amendement - fréquence d’apport de l’amendement

Fréquences Quantités	M1	M2
Témoin	24,33 ± 0,57 ^e	24,33 ± 0,57 ^e
0,25 l	26,67 ± 1,52 ^d	26 ± 1,00 ^d
0,5 l	28,67 ± 1,52 ^c	27,67 ± 0,57 ^c
0,75 l	35,33 ± 3,51 ^a	31,67 ± 2,08 ^b
P	0,00	
Effet	S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

M1 : une fois mois ; M2 : une fois tous les deux mois ; P : probabilité ; S : Significatif.

2.3.3. Longueur des feuilles produites

Le Tableau XXI montre une différence significative entre les longueurs des feuilles produites en fonction de l’interaction quantité d’amendement – fréquence d’apport de l’amendement. Cent-cinquante jours après plantation, la longueur moyenne de feuilles obtenue par l’apport de 0,75 l une fois par mois (21,84 ± 1,33 cm) est la plus élevée comparée à celle du témoin (9,71 ± 0,87 cm). Elle est suivie de celle obtenue en apportant l’amendement une fois tous les deux mois (20,5 ± 0,89 cm). Après ces longueurs viennent celles des feuilles obtenues en apportant 0,5 l chaque mois (17,62 ± 1,52 cm), 0,5 l une fois tous les deux mois (15,76 ± 0,98 cm), 0,25 l chaque mois (12,7 ± 1,1 cm) et 0,25 l une fois tous les deux mois (12,14 ± 1,1 cm).

Tableau XXI: Longueur des feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement – fréquence d'apport de l'amendement

Quantités \ Fréquences	M1	M2
Témoin	9,71 ± 0,87 ^e	9,71 ± 0,87 ^e
0,25 l	12,7 ± 1,1 ^d	12,14 ± 1,1 ^d
0,5 l	17,62 ± 1,52 ^b	15,76 ± 0,98 ^c
0,75 l	21,84 ± 1,33 ^a	20,5 ± 0,89 ^{ab}
P	0,00	
Effet	S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

M1 : une fois mois ; M2 : une fois tous les deux mois ; P : probabilité ; S : Significatif.

2.3.4. Largeur des feuilles produites

Le Tableau XXII montre une différence significative entre les largeurs des feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement – fréquence d'apport de l'amendement. Cent-cinquante jours après plantation, la largeur de feuilles obtenue par l'apport de 0,75 l une fois par mois (2,22 ± 0,4 cm) est la plus élevée comparée à celle du témoin (0,93 ± 0,25 cm). Elle est suivie de celle obtenue en apportant l'amendement une fois tous les deux mois (1,83 ± 0,42 cm). Après ces largeurs viennent celles des feuilles obtenues en apportant 0,5 l chaque mois (1,5 ± 0,4 cm), 0,5 l une fois tous les deux mois (1,15 ± 0,31 cm), 0,25 l chaque mois (1,06 ± 0,31 cm) et 0,25 l une fois tous les deux mois (0,99 ± 0,23 cm).

Tableau XXII: Largeur des feuilles produites en fonction de l'interaction quantité d'amendement – fréquence d'apport de l'amendement

Quantités \ Fréquences	M1	M2
Témoin	0,93 ± 0,25 ^d	0,93 ± 0,25 ^d
0,25 l	1,06 ± 0,31 ^c	0,99 ± 0,23 ^d
0,5 l	1,5 ± 0,4 ^b	1,15 ± 0,31 ^c
0,75 l	2,22 ± 0,4 ^a	1,83 ± 0,42 ^{ab}
P	0,00	
Effet	S	

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

M1 : une fois mois ; M2 : une fois tous les deux mois ; P : probabilité ; S : Significatif.

2.3.5. Délai de floraison des plantes de *Aloe vera*

Les premières fleurs de *Aloe vera* sont apparues neuf (09) mois après la plantation des rejets. Les plantes qui ont reçu 0,75 l de l'amendement type une fois chaque mois ont été les premières à fleurir donc à atteindre le stade de maturité. Toutefois, toutes les autres plantes ont également fleuri neuf (09) mois après plantation suivant des jours différents sauf celles recevant 0,5 l une fois tous les deux mois, 0,25 l une fois par mois et 0,25 l une fois tous les deux mois. Ces dernières n'ont pas fleuri avant 12 mois de plantation.

2.4. Discussion

L'étude a été réalisée d'une part pour déterminer le substrat et l'amendement favorisant la croissance harmonieuse de *Aloe vera* en pépinière et d'autre part pour déterminer la quantité et la fréquence d'apport du meilleur amendement liquide pour une croissance efficiente de *Aloe vera* au champ. Le pH des substrats de croissance de *Aloe vera* a différemment évolué en fonction des types d'amendement allant de 7,87 à 6,67 en ce qui concerne les substrats et de 7,81 à 7,88 pour les amendements liquides. Les pH ont également évolué en fonction des fréquences d'apport des amendements liquides de 7,81 à 7,86. Ainsi, les substrats et les amendements liquides apportés tout comme les fréquences d'apport des amendements liquides n'ont donc pas eu la même influence sur la modification du pH du substrat de croissance. La variabilité du pH tient donc compte de la nature des amendements organiques comme l'a souligné Koulibaly (2011) et aussi de la fréquence à laquelle ces amendements sont apportés. L'apport du charbon de bois a entraîné un pH acide tandis que les autres apports ont maintenu les substrats de croissance à un pH basique. Ce résultat est en contradiction avec les résultats qui tendent à montrer que le charbon de bois de par ses propriétés adsorbants tend à augmenter le pH des sols (Bio, 2016). On pourrait expliquer nos résultats par la qualité de charbon utilisé ou la conduite de la culture. Par exemple, une irrigation mal maîtrisée peut entraîner un drainage trop important, la perte de bases et de Ca^{2+} en profondeur, d'où une acidification de la surface (Koulibaly, 2011). Cependant la variation des pH n'a pas été un obstacle à la culture en pépinière de aloès. Ces résultats sont en accord avec ceux de certains auteurs qui ont montré que *Aloe vera* est généralement cultivée sur des sols dont le pH varie entre 6,0 et 7,20 et peut même tolérer des pH élevés (Anonyme 5, 2022 ; Gharib & Ben, 2021). Le nombre de feuilles totales produites bien qu'amélioré par l'apport des fertilisants organiques n'a pas été statistiquement différent d'un substrat à un autre en ce qui concerne les substrats formulés. Pour les amendements liquides, une différence significative n'est apparue qu'à partir du 80^{ème} jour après plantation avec une dominance de l'engrais NPK et des amendements liquides (A6 et A7). Aussi, les fréquences d'apport, en général, n'ont pas impacté significativement le nombre de feuilles produites. L'examen des rythmes comparés d'émergence des feuilles de *Aloe vera* semble donc être d'abord d'ordre génétique. De ce fait, il fournit des indications à la fois sur l'effectif du système foliaire et sur le nombre des feuilles jusqu'au stade adultes de la plante (Vincourt, 1984). Cependant, ces caractéristiques génétiques peuvent être influencés par l'environnement de culture. En effet, à 80 et 100 jours après plantation, il a été constaté l'intensification de l'émergence des feuilles respectivement sur les substrats formulés à base de bouse de vache et de fiente de poulet. En effet, ces constituants organiques ont entre-temps été

minéralisés pour être mis à la disposition de la plante dans son développement (Segnou *et al.*, 2012). Des travaux réalisés sur le maïs montrent que le fumier de bovin a une décomposition lente ; ce qui assure d'ailleurs une bonne disponibilité des éléments nutritifs dans le sol (Bakayoko *et al.*, 2019). Par ailleurs, les études de Kpéra *et al.* (2017) sur la culture de l'ananas en conditions irriguées donnent plus de précision sur le fait que les éléments nutritifs de la bouse de bovin sont disponibles à partir du deuxième mois après son application. De plus, il dispose d'un potentiel fertilisant dans le temps grâce à l'effet résiduel des minéraux qui sont disponibles (Weil & Duval, 2009). Par ailleurs, concernant l'engrais chimique (NPK) et les amendements liquides A6 et A7 qui se sont démarqués qu'après 80 jours, cela pourrait se justifier par une carence préalable des substrats utilisés en éléments fertilisant. La quantité d'éléments minéraux, même avec les apports d'engrais, n'était donc pas encore suffisamment abondante pour être efficacement utilisée par les rejets de *Aloe vera*. Les amendements apportés dans cette étude ont amélioré la croissance en longueur et en largeur des feuilles de *Aloe vera* notamment la bouse de vache et la fiente de poulet pour les substrats formulés, l'engrais chimique (NPK) puis les amendements A6 et A7 (liquides). Ces résultats découleraient d'un enrichissement des substrats de croissance en éléments minéraux disponibles pour les plants de *Aloe vera* par ces amendements. En effet, la décomposition de la bouse de vache et de la fiente de poulet a relevé les niveaux des nutriments du sol (Djéké *et al.*, 2011 ; Useni *et al.*, 2013). Ces amendements ont enrichi le substrat en azote et en humus (Dembélé, 2014). De plus, la fiente de poulet de par sa décomposition a aussi apporté du phosphore au substrat de croissance (Ouédraogo *et al.*, 2014). Tout comme la bouse de vache et la fiente de poulet, la tonte de gazon a enrichi le substrat de croissance en azote (Gerbeaud, 2022). Quant à l'engrais chimique NPK, il a apporté de l'azote, du phosphore et du potassium au substrat. Aussi, les peaux de bananes et les coquilles d'œuf ont respectivement libéré du potassium (Ratsiaharovala, 2011) et du calcium. L'azote joue un rôle important dans l'augmentation de l'indice et la production foliaire ainsi que l'activité photosynthétique (Eleiwa *et al.*, 2012). De plus, ce dernier est l'élément nutritif le plus important pour une bonne croissance de *Aloe vera* (Michayewicz, 2013). Le phosphore joue aussi un rôle primordial dans la croissance et le développement, tout comme dans le métabolisme des plantes et le transport de l'énergie (Ouédraogo *et al.*, 2014). Par ailleurs, l'assimilation de l'azote par les plantes est favorisée par la présence du phosphore comme le pensent Leikam *et al.*, (1983). Selon ces derniers, une nutrition adéquate en phosphore peut augmenter la réponse de croissance de la culture à l'azote. Le potassium (K) est utile à la circulation de la sève et à l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Il améliore leur résistance aux ravageurs et maladies. Quant au calcium, il améliore la structure du sol (Jardiner

Autrement, 2022). Ainsi, ces éléments minéraux libérés par ces amendements ont été efficacement utilisés par les plantes de *Aloe vera* pour croître.

Pour les fréquences d'apport des amendements liquides, l'influence négative, sur la croissance des rejets de *Aloe vera*, exercée par l'apport des amendements toutes les deux semaines, serait liée à une consommation de luxe puis à un excès d'éléments minéraux. En effet, il semblerait que les plantes de *Aloe vera* mettent plus de deux semaines à utiliser totalement les éléments minéraux apportés par les amendements. Ainsi, l'apport toutes les deux semaines a favorisé une accumulation d'éléments minéraux dans le substrat au point où la plante de *Aloe vera* les utilisait sans qu'ils ne soient bénéfiques à sa croissance. Au final, cette accumulation d'éléments minéraux dans le substrat aurait inhibé la croissance des plantes de *Aloe vera*. Selon Garden-landscape (2023) l'excès en potassium inhibe la croissance des plantes en diminuant l'absorption du calcium et du magnésium.

Quant à l'étude relative à la détermination de la quantité et la fréquence d'apport du meilleur amendement liquide pour une croissance efficiente de *Aloe vera* au champ, 0,75 l de l'amendement liquide type a permis d'obtenir les meilleures valeurs de vitesse d'apparition de feuilles, du nombre total de feuilles produites ainsi que de longueur et de largeur de feuilles produites. Ce résultat serait dû à l'abondance des éléments minéraux apportés par cette quantité. Elle a donc la meilleure valeur fertilisante conditionnant la croissance des plantes de *Aloe vera* cultivées. En effet, une quantité importante d'amendement apporte plus d'éléments minéraux, indispensables à une bonne croissance des plantes (Christophe, 2004). Les plantes profitent des éléments minéraux apportés par les amendements pour se développer (Tognetti *et al.*, 2008 ; Saidou *et al.*, 2012). Ainsi, l'azote, le potassium et le calcium contenus respectivement dans la tonte de gazon (Gerbeaud, 2022), l'épluchure de banane plantain (Ratsiaharovala, 2011) et la coquille d'œuf sont rendus suffisamment disponibles dans le sol par l'apport d'une quantité importante d'amendement. Ces éléments nutritifs seraient donc efficacement utilisés par les plantes de *Aloe vera* pour croître. Ce résultat confirme ainsi les propos de Michayewicz (2013) selon lesquels, *Aloe vera* préfère des sols sableux ou limoneux, bien drainés, et peut pousser dans des sols pauvres en éléments nutritifs, mais il prospère sur les sols riches. De plus, l'assimilation de l'azote, élément nutritif le plus important pour une bonne croissance de *Aloe vera* (Michayewicz, 2013), contenu dans la tonte de gazon, est favorisée par la forte présence du potassium et du phosphore dans la pelure de banane, comme le pensent Leikam *et al.* (1983). Ces auteurs rapportent qu'une nutrition adéquate en phosphore et en potassium peut augmenter la réponse de croissance de la culture à l'azote. Aussi, Eleiwa *et al.* (2012) affirment que la croissance végétative des plantes est positivement corrélée à l'absorption des nutriments, en

particulier l'azote qui joue un rôle important dans l'augmentation de l'indice et la production foliaires ainsi que l'activité photosynthétique. Par ailleurs, le phosphore est un élément clé pour induire un bon système racinaire à la plante et permet concomitamment une bonne croissance aérienne (Betrand & Gigou, 2002). Ainsi, la déficience en phosphore entraînerait un dysfonctionnement dans la formation du système racinaire adéquat et donc une mauvaise croissance des plantes. Il se pourrait que ce soit le cas des rejets de *Aloe vera* qui ont reçu une quantité d'amendement inférieure à 0,75 l. En effet, les racines sont le siège de l'absorption d'eau et d'éléments minéraux (Boulkhiout & Chouieb, 2009). Il faut également souligner que la présence du calcium en grande quantité dans le sol, avec l'apport de 0,75 l d'amendement, améliore encore plus la structure du sol (Jardiner Autrement, 2022). Le Calcium a un rôle sur la structure en favorisant la floculation des argiles. Il a également un rôle sur la fertilité des sols en permettant la formation du complexe argilo-humique qui constitue une réserve de nutriments pour la plante (Eurofertil, 2001). Les rejets de *Aloe vera* recevant 0,75 l de l'amendement type ont ainsi pu croître sans une carence en éléments minéraux contrairement aux rejets qui ont reçu une quantité d'amendement moindre. Les éléments minéraux apportés avec les faibles doses d'amendement seraient insuffisants pour satisfaire les besoins des plantes de *Aloe vera*. Nos résultats sont analogues à ceux trouvés par Tougma (2006). En effet, au cours des travaux de cet auteur, la dose de 15 kg/ha de NPK n'a pas été suffisante pour induire des effets significatifs de ces éléments minéraux sur la production en biomasse de *Cymbopogon citratus*. Ces résultats sont aussi similaires à ceux de Ayidego (2019) qui a étudié l'efficacité des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï pour améliorer la production de la laitue et de l'amarante au Sud du Bénin. Il en est ressorti que les bokashis ont favorisé une meilleure croissance des plants car du point de vue chimique, leurs teneurs en éléments fertilisants (N, P et K) étaient supérieures à celles du compost.

Cependant, l'apport de l'amendement une fois tous les mois a induit une meilleure croissance des rejets contrairement à l'apport tous les deux mois. Cette fréquence assurerait une disponibilité suffisante, sans excès, en éléments minéraux dans le sol pour satisfaire les besoins en temps réel des rejets de *Aloe vera*. La réduction du délai de maturité des plantes de *Aloe vera* par l'apport de l'amendement liquide serait liée au phosphore contenu dans l'épluchure de banane (Alla *et al.*, 2021) dont se sont nourries ces plantes. En effet, Christian *et al.* (2005) ont montré que le phosphore stimule la précocité de la floraison. Aussi, Garane *et al.* (2019) affirment que l'apport du phosphore sous une forme assimilable favorise la formation des fleurs et des fruits et augmente la précocité.

Conclusion partielle

Les résultats montrent que les substrats formulés et les amendements liquides ont permis d'améliorer la croissance de *Aloe vera* en pépinière. Les substrats, les amendements liquides et les fréquences d'apport des amendements liquides ont influencé le pH des substrats amendés soit en le rendant acide, soit en le rendant légèrement plus basique. Ce qui confirme que *Aloe vera* peut croître sur une large gamme de pH. La bouse de vache, la fiente de poulet, les amendements liquides à base de coquilles d'œuf de poulet + épluchures de banane dessert + tonte de gazon (A6) et de coquilles d'œuf de poulet + épluchures de banane plantain + tonte de gazon (A7) ont plus intensifié la vitesse d'apparition des feuilles de *Aloe vera* ainsi que leur croissance en longueur et en largeur. Par ailleurs, l'apport des amendements liquides, toutes les trois semaines, favorise mieux la croissance de *Aloe vera*. Ainsi, pour la mise en place d'une pépinière de *Aloe vera*, ces substrats et amendements liquides pourraient-êtré recommandés pour une meilleure croissance des rejets et une réduction du temps en pépinière.

Aussi, cette étude a montré que l'apport de 0,75 l de l'amendement liquide type favorise une croissance harmonieuse des plantes de *Aloe vera* au champ. Cette quantité stimule l'apparition plus rapide des feuilles, un nombre conséquent de feuilles ainsi que de longues et larges feuilles. Toutefois, cette quantité doit-êtré apportée une fois tous les mois pour une utilisation plus efficace des éléments minéraux par les plantes. Ainsi, pour amender les plantes de *Aloe vera* au champ, l'apport de 0,75 l de l'amendement à base de tonte de gazon, d'épluchures de banane plantain et de coquilles d'œuf apporté une fois tous les mois, durant 7 mois, pourrait êtré recommandé afin de favoriser une bonne croissance de *Aloe vera*.

Chapitre 3 : Recherche de la densité optimale pour la culture de *Aloe vera* au champ

La densité de plantation est un facteur essentiel dans l'amélioration de la productivité agricole. En général, elle impacte la croissance et le rendement des cultures. Ainsi, la détermination de la densité de plantation favorisant une bonne croissance des plants de *Aloe vera* est nécessaire pour la mise en place d'un itinéraire technique de production.

3.1. Evolution du nombre de feuilles en fonction du temps

La Figure 37 présente l'évolution du nombre de feuilles en fonction du temps et selon les densités testées. Toutes ces courbes ont la même allure du 20^{ème} au 60^{ème} jour après plantation. Cependant, du 60^{ème} au 160^{ème} jour après plantation, les interlignes témoin (1 m x 1 m soit 10000 plants / ha), 0,75 m x 1 m (13333,33 plants / ha) et 0,75 m x 0,75 m (17777,77 plants / ha) ont favorisé une apparition plus rapide des feuilles avec environ sept feuilles tous les 20 jours. Ces interlignes ont donc occasionné les plus grandes vitesses d'apparition de feuilles. Ensuite viennent les interlignes 0,5 m x 1 m (20000 plants / ha) et 0,5 m x 0,75 m (26666,66 plants / ha) avec respectivement cinq et quatre feuilles tous les 20 jours. La forte densité de plantation avec l'interligne 0,5 m x 0,5 m (40000 plants / ha) a occasionné une apparition moins rapide des feuilles de *Aloe vera* avec trois feuilles tous les 20 jours.

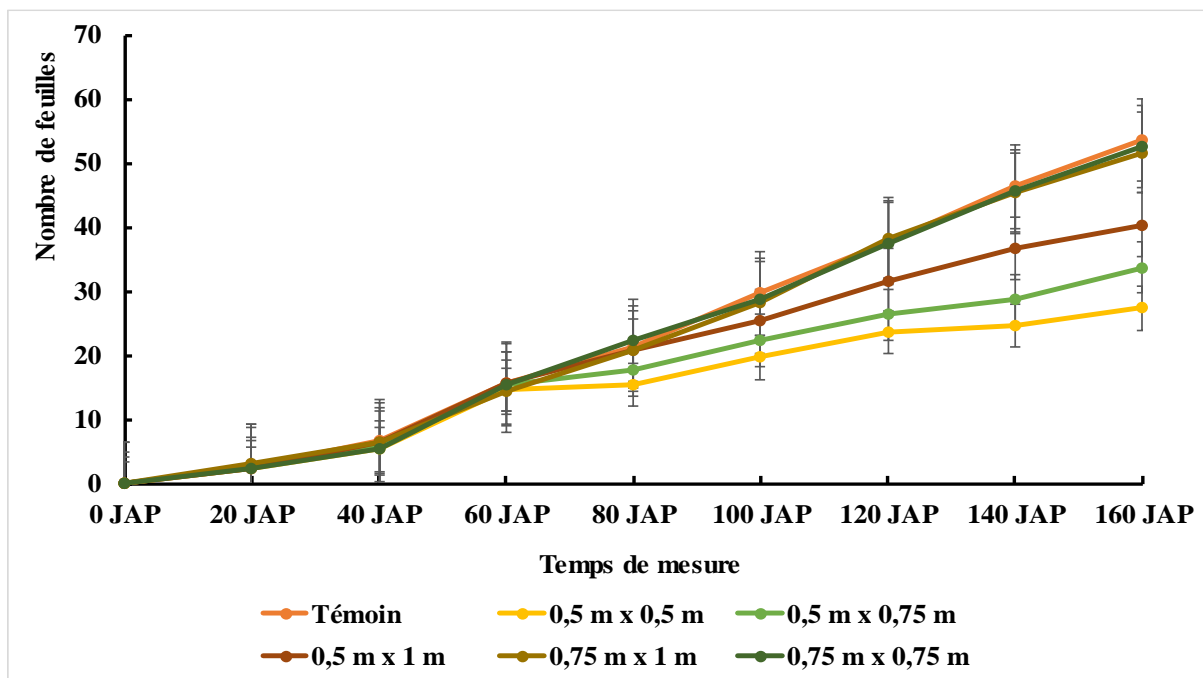


Figure 37: Evolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps et selon les interlignes

JAP : Jour après plantation

3.2. Nombre total de feuilles produites

Le Tableau XXIII met en évidence le nombre total de feuilles produites en fonction des interlignes. Il ressort que les densités testées ont influencé significativement le nombre total de feuilles de *Aloe vera* produites. Les densités 13333,33 plants / ha (51 feuilles) et 17777, 77 plants / ha (52 feuilles) correspondant respectivement aux interlignes 0,75 m x 1 m et 0,75 m x 0,75 m ont induit un plus grand nombre de feuilles. Ces densités se sont comportées de manière identique à la densité témoin (10000 plants / ha) qui a occasionné l'émission de 53 feuilles. Les autres densités testées à savoir 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m), 26666,66 plants / ha (0,5 m x 0,75 m) et 20000 plants / ha (0,5 m x 1 m) ont occasionné l'émission d'un nombre moins important de feuilles comparés à la densité témoin.

Tableau XXIII: Nombre total de feuilles produites en fonction de la densité de plantation

Interlignes	Nombre de feuilles émises 160 JAP
1 m x 1 m (témoin)	53,67 ± 6,78 ^a
0,5 m x 0,5 m	27,33 ± 5,10 ^d
0,5 m x 0,75 m	33,67 ± 5,50 ^c
0,5 m x 1 m	40,33 ± 6,33 ^b
0,75 m x 1 m	51,67 ± 6,50 ^a
0,75 m x 0,75 m	52,67 ± 6,33 ^a
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

JAP : Jour après plantation ; P : probabilité ; S : Significatif

3.3. Longueur des feuilles produites

Les longueurs des feuilles produites en fonction des différentes densités testées sont mentionnées dans le Tableau XXIV. Les résultats de l'analyse statistique montrent une différence significative entre les longueurs des feuilles produites en fonction des densités.

Les densités 13333,33 plants / ha (39,89 ± 6,10 cm) et 17777, 77 plants / ha (40,38 ± 6,25 cm) correspondant respectivement aux interlignes 0,75 m x 1 m et 0,75 m x 0,75 m ont induit les plus longues feuilles. Ces densités se sont comportées de manière identique à la densité témoin (10000 plants / ha) qui a occasionné des feuilles de 41,75 ± 6,89 cm de longueur

moyenne. Quant aux autres densités, elles ont induit des feuilles moins longues par rapport à la densité témoin. Cent-soixante jour après plantation, les feuilles produites par la densité 20000 plants / ha ont eu en moyenne $28,24 \pm 4,89$ cm comme longueur de feuilles. Quant à celles de la densité 26666,66 plants / ha, elles mesuraient en moyenne $27,30 \pm 6,12$ cm. La densité 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m) a occasionné l'apparition des feuilles les moins longues avec $23,15 \pm 4,88$ cm en moyenne.

Tableau XXIV: Longueur des feuilles produites en fonction de la densité de plantation

Interlignes	Longueur des feuilles émises 160 JAP
1 m x 1 m (témoin)	$41,75 \pm 6,89^a$
0,5 m x 0,5 m	$23,15 \pm 4,88^c$
0,5 m x 0,75 m	$27,30 \pm 6,12^b$
0,5 m x 1 m	$28,24 \pm 4,89^b$
0,75 m x 1 m	$39,89 \pm 6,10^a$
0,75 m x 0,75 m	$40,38 \pm 6,25^a$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

JAP : Jour après plantation ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

3.4. Largeur des feuilles produites

Les largeurs des feuilles produites en fonction des différentes densités testées sont mentionnées dans le Tableau XXV. Les résultats de l'analyse statistique montrent une différence significative entre les largeurs des feuilles produites en fonction des densités. Les densités 13333,33 plants / ha ($4,88 \pm 0,76$ cm) et 17777, 77 plants / ha ($4,67 \pm 0,69$ cm) correspondant respectivement aux interlignes 0,75 m x 1 m et 0,75 m x 0,75 m ont induit les plus larges feuilles. Ces densités se sont comportées de manière identique à la densité témoin (10000 plants / ha) qui a occasionné des feuilles de $5,06 \pm 0,91$ cm de largeur moyenne. Quant aux autres densités, elles ont induit des feuilles moins larges par rapport à la densité témoin. Après 160 jours de plantation, les largeurs des feuilles produites sont en moyenne de $3,12 \pm 0,77$ cm pour la densité 20000 plants / ha et $2,94 \pm 0,80$ cm pour la densité 26666,66 plants / ha. Quant à la densité 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m), elle a provoqué l'apparition des feuilles

moins larges. La largeur de ces feuilles après 160 jours de plantation est de $2,23 \pm 0,47$ cm en moyenne.

Tableau XXV: Largeur des feuilles produites en fonction des interlignes

Interlignes	Largeur des feuilles émises 160 JAP
1 m x 1 m (témoin)	$5,06 \pm 0,91^a$
0,5 m x 0,5 m	$2,23 \pm 0,47^c$
0,5 m x 0,75 m	$2,94 \pm 0,80^b$
0,5 m x 1 m	$3,12 \pm 0,77^b$
0,75 m x 1 m	$4,88 \pm 0,76^a$
0,75 m x 0,75 m	$4,67 \pm 0,69^a$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

JAP : Jour après plantation ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

3.5. Délai de maturité des plantes de *Aloe vera*

Le Tableau XXVI illustre le délai de maturité des plantes de *Aloe vera* en fonction des interlignes. Les rejets de *Aloe vera* plantés suivant les interlignes 0,75 m x 1 m (13333,33 plants / ha) et 0,75 m x 0,75 m (17777, 77 plants / ha) ont été les premiers à atteindre le stade de maturité tout comme la densité témoin (1 m x 1 m soit 10000 plants / ha). Toutes les plantes au niveau de ces trois densités de plantation ont fleuri huit mois après la plantation des rejets. Quant à la densité 20000 plants / ha (0,5 m x 1 m), les premières plantes de *Aloe vera* ont fleuri neuf mois après la plantation. Elles ont toutes atteint le stade de maturité qu'après dix mois de plantation. Les autres densités de plantation à savoir 26666,66 plants / ha (0,5 m x 0,75 m) et 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m) n'ont pas favorisé la floraison des plantes de *Aloe vera* avant 12 mois.

Tableau XXVI: Délai de floraison des plantes de *Aloe vera* en fonction de la densité de plantation

Interlignes	Délai de floraison des plantes en mois
1 m x 1 m (témoin)	8
0,5 m x 0,5 m	> 12
0,5 m x 0,75 m	> 12
0,5 m x 1 m	9
0,75 m x 1 m	8
0,75 m x 0,75 m	8

3.6. Discussion

La détermination de la densité optimale pour une bonne croissance de *Aloe vera* au champ a été l'objet de recherche dans cette étude. Les fortes densités de plantation dont 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m), 26666,66 plants / ha (0,5 m x 0,75 m) et 20000 plants / ha (0,5 m x 1 m) ont induit une mauvaise croissance des rejets de *Aloe vera*. Ce résultat serait en rapport avec la forte compétition pour l'acquisition des ressources essentielles de *Aloe vera* telles que la lumière et les éléments nutritifs que crée ces densités.

En effet, la croissance dépend d'une interaction entre facteurs internes et externes, dans un système hautement ordonné et organisé (Amaglo *et al.*, 2006). Lorsque la population de plantes augmente par unité de surface, on atteint un point où les plantes entrent en compétition pour les facteurs essentiels de croissance comme les nutriments, la lumière et l'eau. L'effet de la compétition est similaire à une réduction de la concentration en facteurs de croissance (Amaglo *et al.*, 2006). Une augmentation de la densité de plantation n'affecte pas la performance individuelle des plantes tant que la densité reste au-dessous du niveau où la compétition apparaît entre plantes. Les densités témoin 10000 plants / ha (1 m x 1 m), 13333,33 plants / ha (0,75 m x 1 m) et 17777,77 plants / ha (0,75 m x 0,75 m) sont donc au-dessous du seuil d'apparition de la compétition entre les plantes de *Aloe vera* d'où la forte croissance des rejets constatée. Les paramètres végétatifs seraient donc impactés négativement par un écartement plus réduit entre les plantes de *Aloe vera*. Les rejets de *Aloe vera* créent de l'ombre au fur et à mesure de leur développement. Ils privent ainsi de lumière les feuilles situées en position basale sur le végétal. Leur trop grande proximité accentue encore plus cet effet d'ombrage. Dès lors, le nombre de sites de photorécepteurs impliqués dans la photosynthèse, chez ces derniers, est réduit et la quantité d'assimilats élaborés par la plante diminue. Une réduction de la quantité d'assimilats élaborés par la plante réduit également son potentiel d'initiation de nouvelles feuilles (Taffouo *et al.*, 2008). Ce qui justifie le faible nombre de feuilles produites par les rejets plantés à de fortes densités. Remisson (1980) attribue également cette réduction de néoformation foliaire à une diminution des produits de la photosynthèse, conséquence de la compétition pour la lumière.

De plus, la compétition entre les plantes de *Aloe vera* pour le contrôle des nutriments s'accroît selon la densité de plantation. Plus, le nombre de plantes augmente sur un espace donné et plus la quantité de nutriments disponibles pour chaque plante diminue (Yao *et al.*, 2020). Ce qui a eu un impact négatif sur le développement végétatif telle que l'évolution du nombre de feuilles en fonction du temps, le nombre de feuilles produites, la croissance en

longueur et en largeur des feuilles des rejets plantés aux densités 40000 plants / ha (0,5 m x 0,5 m), 26666,66 plants / ha (0,5 m x 0,75 m) et 20000 plants / ha (0,5 m x 1 m).

Aussi, selon Ouattara (2015), la forte densité crée un effet d'encombrement. Cet effet d'encombrement est plus accentué chez *Aloe vera* à cause de son mode de propagation. En effet, *Aloe vera* se développe avec des feuilles disposées en rosette et en faisant apparaître des rejets autour de la plante mère (Soriano, 2016). L'encombrement provoque une gêne limitant la formation et la croissance des feuilles. Nos résultats sont similaires à ceux de Yao *et al.* (2020). Ces chercheurs ont démontré que la forte densité réduit le nombre de feuilles de l'ananas. Nos résultats sont encore en conformité avec ceux de Kouassi *et al.*, (2017) qui ont montré que les paramètres morphologiques et de rendement du niébé diminuent avec l'augmentation de la densité de semis. Ils corroborent également les conclusions de Essy *et al.* (2022) qui ont observé que l'accroissement de la densité de semis (de 33.333 à 66.666 plants/ha) ralentit la croissance et le rendement des plants de maïs. N'guessan *et al.* (2010) ont aussi montré que l'augmentation de la densité de plantation de *Lippia multiflora* baisse significativement le nombre de feuilles produites ainsi que la biomasse foliaire sèche par plant.

Par ailleurs, les fortes densités de plantation n'ont pas favorisé la floraison précoce des plantes de *Aloe vera*. Cela serait dû à l'impact négatif de ces densités sur la croissance des plantes de *Aloe vera*. Une bonne croissance de *Aloe vera* conditionnerait donc la précocité de sa floraison.

Conclusion partielle

Les résultats de l'expérience montrent que les faibles densités de plantation à savoir 10000 plants / ha (1 m x 1 m), 13333,33 plants / ha (0,75 m x 1 m) et 17777,77 plants / ha (0,75 m x 0,75 m) favorisent une meilleure croissance des plantes de *Aloe vera*. Ainsi, les fortes densités de plantation impactent négativement l'évolution du nombre de feuilles produites en fonction du temps, le nombre total de feuilles produites, la longueur et la largeur des feuilles de *Aloe vera*. De plus, les faibles densités de plantation couplées à un amendement à base de bouse de vache réduit le délai de maturité à huit mois. Dès lors, pour la mise en place d'une plantation de *Aloe vera*, nous suggérons ces densités pour une croissance optimale des plantes.

Chapitre 4 : Evaluation de deux cultures intégrant *Aloe vera*

L'exploitation agricole et sylvicole des forêts ivoiriennes a causé une réduction significative du massif forestier avec pour corollaire la désertification et l'amplification des effets du changement climatique. Ainsi, des politiques sont initiées en vue de préserver durablement le couvert forestier actuel. Dans un tel contexte, la culture à grande échelle de *Aloe vera* dont les vertus médicinales et nutritionnelles sont reconnues dans le monde apparaît à priori hypothétique. Mais des opportunités culturelles de *Aloe vera* existent avec la présence de grands couloirs d'espace cultural inexploités dans les champs des cultures d'exportation. Cette étude vise donc à évaluer la performance agronomique de *Aloe vera* dans les interlignes des dits cultures.

4.1. Association bananier (*Musa sp*) – *Aloe vera*

4.1.1. Effet de l'association bananier (*Musa sp*) – aloès (*Aloe vera*) sur la croissance de *Aloe vera*

4.1.1.1. Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du temps

La Figure 38 montre que le nombre de feuilles augmente en fonction du temps quel que soit le traitement. Du 20^{ème} au 60^{ème} jour après association, ces nombres de feuilles sont quasi-identiques. A partir du 60^{ème} jour après plantation, le nombre de feuilles de *Aloe vera* issues de la disposition de deux rejets de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier est nettement au-dessus des deux autres avec une moyenne de 5 feuilles tous les 20 jours. Cependant, les nombres de feuilles de *Aloe vera* issues du traitement 1 et des rejets témoins restent quasi-identiques jusqu'au 160^{ème} jours après association avec une apparition de 4 feuilles tous les 20 jours.

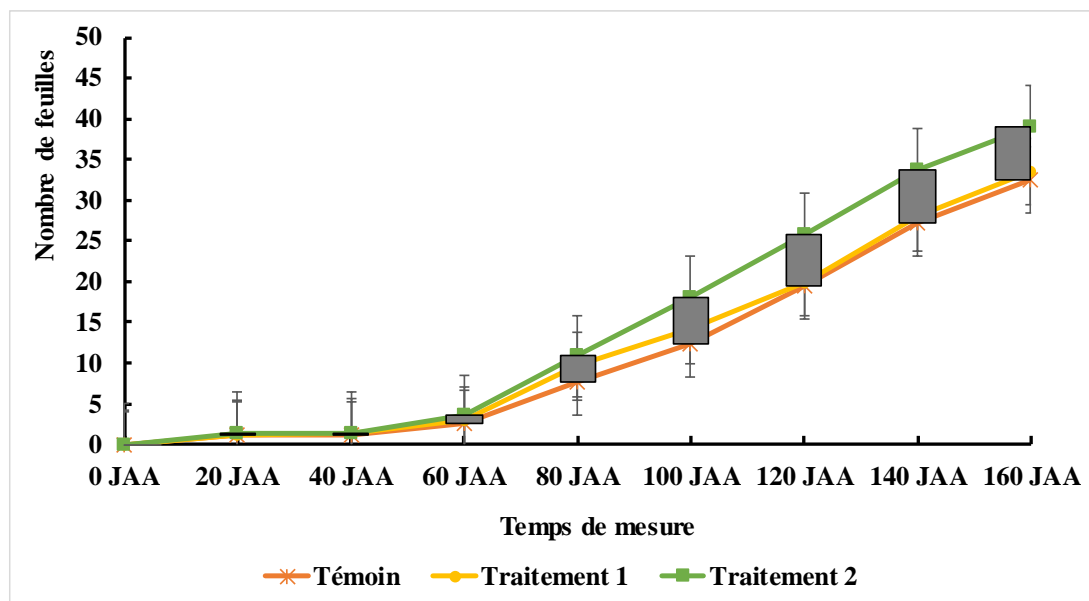


Figure 38: Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du temps
Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **JAA** : Jour après association.

4.1.1.2. Nombre total de feuilles de *Aloe vera* produites

Le Tableau XXVII montre le nombre de nouvelles feuilles de *Aloe vera* produites. L'analyse statistique montre une différence significative entre les nombres de feuilles produites en fonction du traitement. Le nombre de feuilles émises varie de 32 à 39 feuilles. La disposition de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier (traitement 2) a induit un plus grand nombre de feuilles comparé au témoin. Trente-neuf feuilles en moyenne ont été produites 160 jours après association au niveau du traitement 2 contre 32 pour le témoin. Quant à la disposition d'un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier (traitement 1), elle a eu la même influence sur la production de feuilles que le témoin avec en moyenne 33 feuilles.

Tableau XXVII : Nombre de nouvelles feuilles de *Aloe vera* produites

Traitements	Nombre de feuilles émises 160 JAA
Témoin	32,50 ± 4,14 ^b
Traitement 1	33,50 ± 5,83 ^b
Traitement 2	39,00 ± 5,50 ^a
P	0,03
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **JAA** : Jour après association ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

4.1.1.3. Longueur des feuilles de *Aloe vera*

La longueur des feuilles produites après association est illustrée par le Tableau XXVIII. Elle varie de 15 à 20 cm en moyenne. Statistiquement, une différence significative ($p < 0,05$) entre les longueurs des feuilles du témoin et des traitements 1 et 2 est apparue après les analyses. Les longueurs des feuilles produites avec les traitements 2 et 1 se sont montrées respectivement les plus élevées comparées à celle du témoin. La disposition de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier (traitement 2) a induit des feuilles de $20,06 \pm 7,66$ cm de longueur en moyenne. Quant à la disposition d'un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier (traitement 1), elle a occasionné des feuilles longues de $17,55 \pm 7,89$ cm.

Tableau XXVIII : Longueur des feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du traitement

Traitements	Longueur des feuilles émises 160 JAA
Témoin	$15,69 \pm 7,25^c$
Traitement 1	$17,55 \pm 7,89^b$
Traitement 2	$20,06 \pm 7,66^a$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **JAA** : Jour après association ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

4.1.1.4. Largeur des feuilles de *Aloe vera*

La largeur des feuilles produites après association est illustrée par le Tableau XXIX. Elle part de 2,26 à 2,78 cm en moyenne. Statistiquement, une différence significative ($p < 0,05$) entre les largeurs des feuilles du témoin et des traitements 1 et 2 est apparue après l'analyse de variance. La largeur des feuilles produites avec le traitement 2 (deux pieds de *Aloe vera* associés entre quatre pieds de bananier) est la plus élevée comparée au témoin. Elle est en moyenne de $2,78 \pm 0,61$ cm. Celle du traitement 1 (un pied de *Aloe vera* associé entre quatre pieds de bananier) vient en deuxième position avec $2,43 \pm 0,81$ cm. Les feuilles les moins larges sont celles produites au niveau du témoin ($2,26 \pm 0,76$ cm).

Tableau XXIX : Largeur des feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du traitement

Traitements	Largeur des feuilles émises 160 JAA
Témoin	2,26 ± 0,76 ^c
Traitement 1	2,43 ± 0,81 ^b
Traitement 2	2,78 ± 0,61 ^a
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **JAA** : Jour après association ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

4.1.2. Effet de l'association bananier (*Musa sp*) – aloès (*Aloe vera*) sur le rendement de *Aloe vera*

Le rendement (Tableau XXX) de *Aloe vera* est exprimé en quantité de matières fraîche et sèche des feuilles. L'analyse statistique montre une différence significative entre les biomasses des feuilles en fonction du traitement. La masse en matières fraîches des feuilles produites au niveau du traitement 2 (125,42 ± 3,12 g) est supérieure à celles des feuilles produites au niveau du traitement 1 (103,48 ± 12,11 g) et du témoin (88,59 ± 7,02 g). La biomasse sèche des feuilles produites au niveau du traitement 2 (64,27 ± 5,93 g) est aussi plus élevée que celles des feuilles produites au niveau du traitement 1 (42,70 ± 13,62 g) et du témoin (27,80 ± 7,31 g). Il n'existe aucune différence significative entre les biomasses fraîche et sèche des feuilles issues du traitement 1 et du témoin.

Tableau XXX : Masses fraîches et sèches des feuilles de *Aloe vera*

Traitements	Masse fraîche des feuilles	Masse sèche des feuilles
Témoin	88,59 ± 7,02 ^b	27,80 ± 7,31 ^b
Traitement 1	103,48 ± 12,11 ^b	42,70 ± 13,62 ^b
Traitement 2	125,42 ± 3,12 ^a	64,27 ± 5,93 ^a
P	0,00	0,00
Effet	S	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

4.1.3. Effet de l'association bananier (*Musa sp*) – aloès (*Aloe vera*) sur le délai de floraison des plantes de *Aloe vera*

Les plantes de *Aloe vera* associées aux bananiers ont toutes fleuri après 7 mois de plantation. Par contre, les premières plantes témoins fleuri après 8 mois de plantation. Elles ont toutes fleuri qu'après 9 mois de plantation.

4.1.4. Effet de l'association bananier (*Musa sp*) – aloès (*Aloe vera*) sur la croissance du bananier

4.1.4.1. Evolution du nombre de feuilles de bananier produites en fonction du temps

Les courbes d'évolution du nombre de feuilles de bananiers produites en fonction du temps et selon les traitements sont illustrées par la Figure 39. Celles-ci sont confondues du 20^{ème} au 40^{ème} jour après association. Cependant, à partir du 40^{ème} jour après association, une apparition plus rapide des feuilles issues des bananiers associés est constatée avec en moyenne 3 feuilles tous les 20 jours.

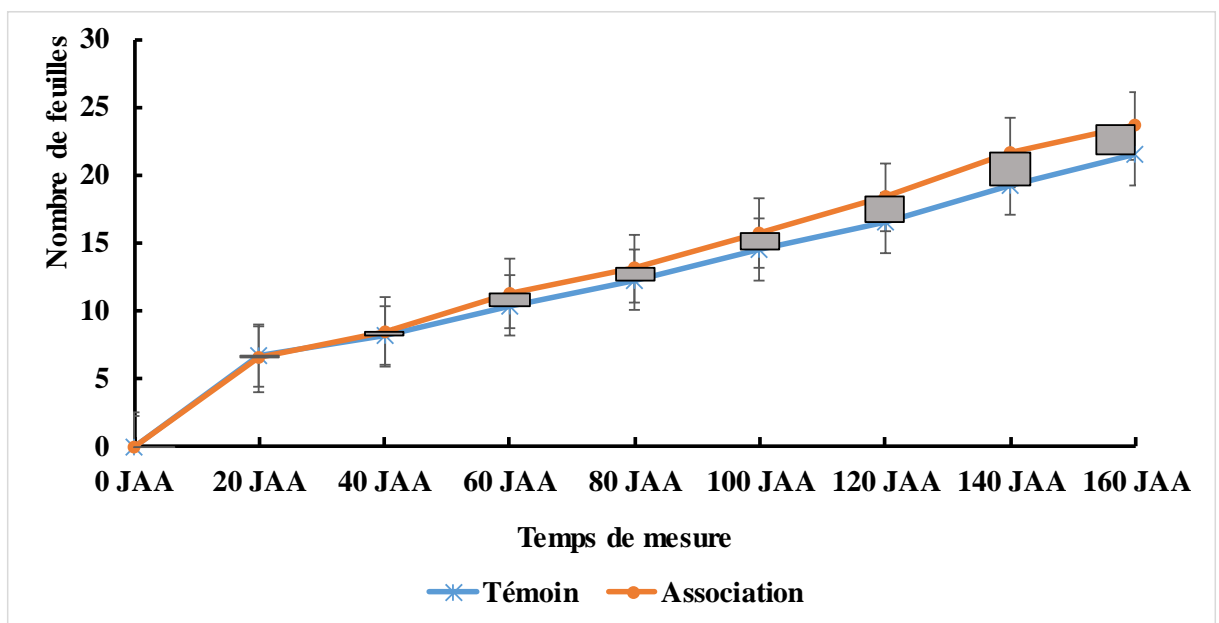


Figure 39: Evolution du nombre de feuilles de bananier produites en fonction du temps

JAA : Jour après association.

4.1.4.2. Nombre de feuilles de bananier

Le Tableau XXXI montre le nombre de feuilles produites par les bananiers durant l'expérimentation. L'analyse de variance du nombre total de feuilles émises a mis en évidence un effet significatif entre les traitements. Le nombre total de feuilles produites au niveau des bananiers associés à *Aloe vera* est supérieur à celui du témoin. Vingt-trois feuilles en moyenne

ont été produites 160 jours après association au niveau des bananiers associés contre 21 pour le témoin.

Tableau XXXI: Nombre de feuilles produites par les bananiers

Traitements	Nombre de feuilles émises 160 JAA
Témoin	21,50 ± 1,41 ^b
Association	23,63 ± 0,74 ^a
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

JAA : Jour après association ; **P** : probabilité ; **S** : Significatif

4.1.4.3. Longueur des feuilles de bananier

L'évolution de la longueur des feuilles de bananier produites en fonction du temps est représentée par la Figure 40. Les longueurs des feuilles de bananiers associés sont statistiquement différentes de celles des bananiers témoins dès le 20^{ème} jour après association. Les résultats montrent que la longueur des feuilles produites chez les bananiers associés a été plus élevée que celle des bananiers témoins du 20^{ème} jour jusqu'au 160^{ème} jour après plantation. Celle-ci varie de 48,60 ± 8,90 cm à 113,53 ± 30,85 cm pour les bananiers associés et de 38,73 ± 7,09 cm à 85,61 ± 32,37 cm pour les bananiers témoins respectivement du 20^{ème} au 160^{ème} jour après association.

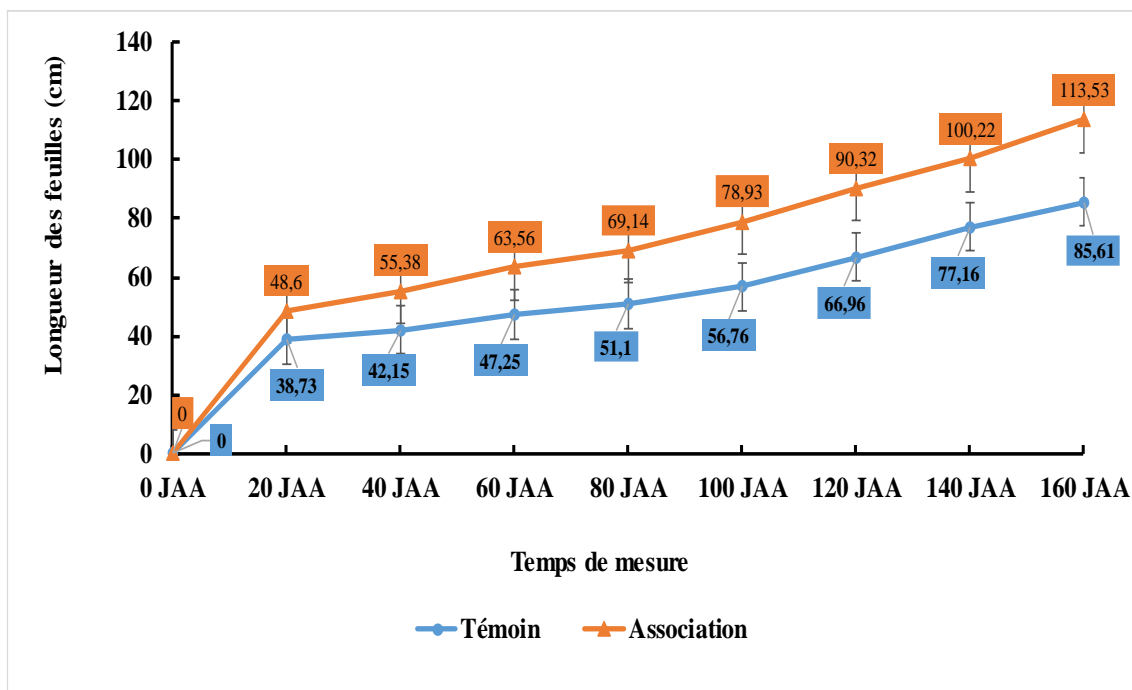


Figure 40: Evolution de la longueur des feuilles de bananiers en fonction du temps

Les moyennes comportant des lettres différentes au même temps de mesure sont significativement différentes.

JAA : Jour après association.

4.1.4.4. Largeur des feuilles de bananier

La Figure 50 présente l'évolution de la largeur des feuilles de bananiers en fonction du temps. Les largeurs des feuilles de bananiers associés sont statistiquement différentes de celles des bananiers témoins dès le 20^{ème} jour après association. L'association favorise une meilleure croissance en largeur des feuilles de bananier. La largeur des feuilles de bananiers associés à *Aloe vera* varie de $26,84 \pm 5,38$ cm (20 jours après association) à $58,70 \pm 13,38$ cm (160 jours après association). Quant à celle des bananiers témoins, elle part de $21,14 \pm 3,62$ cm (20 jours après association) à $44,18 \pm 13,80$ cm (160 jours après association).

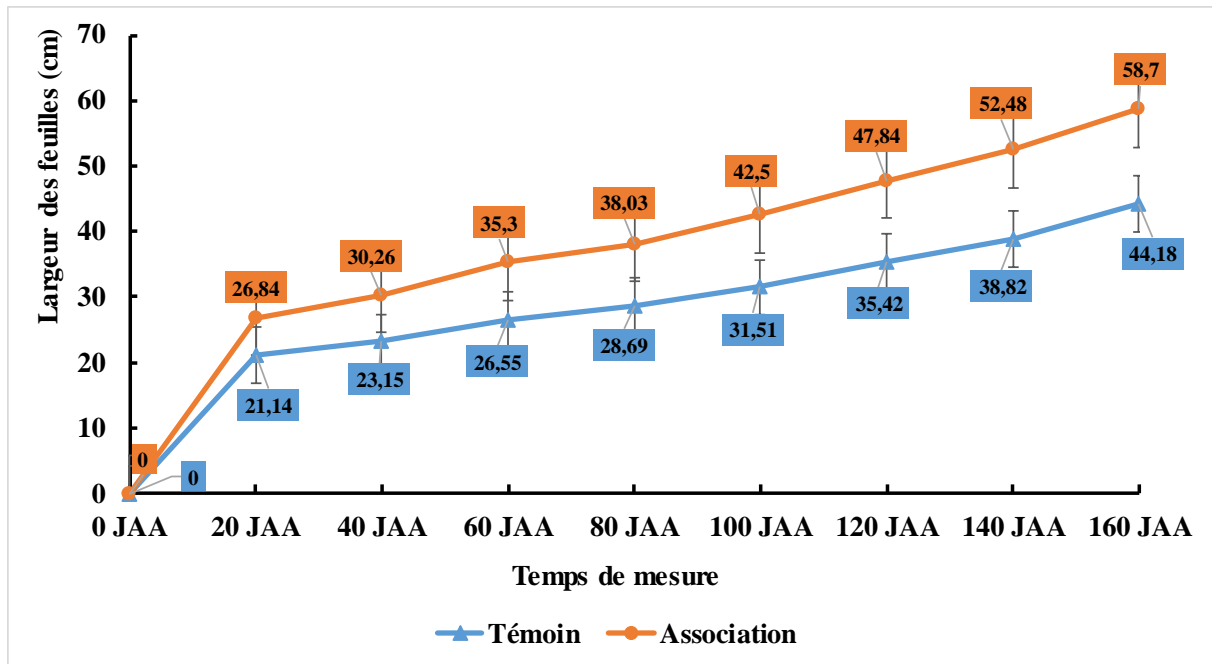


Figure 41: Evolution de la largeur des feuilles de bananiers en fonction du temps

Les moyennes comportant des lettres différentes au même temps de mesure sont significativement différentes.

JAA : Jour après association.

4.1.4.5. Hauteur du pseudotrunc du bananier

Les courbes d'évolution de la hauteur du pseudotrunc des bananiers associés et témoins, en fonction du temps, sont illustrées par la Figure 42. L'analyse statistique montre une différence significative entre les hauteurs du pseudotrunc des bananiers associés et témoins à partir du 20^{ème} jour après association. Après association, une croissance exponentielle en hauteur des bananiers a été observée au niveau de l'association du 20^{ème} au 160^{ème} jour. Par contre, la hauteur des bananiers est moins appréciée au niveau du témoin. La hauteur du pseudotrunc des bananiers associés à *Aloe vera* varie de $48,25 \pm 10,33$ cm (20^{ème} jour après association) à $181,25 \pm 34,84$ cm (160^{ème} jour après association) tandis que celle des bananiers témoins a varié de $35,56 \pm 7,24$ cm (20^{ème} jour après association) à $113,00 \pm 29,77$ cm (160^{ème} jour après association).

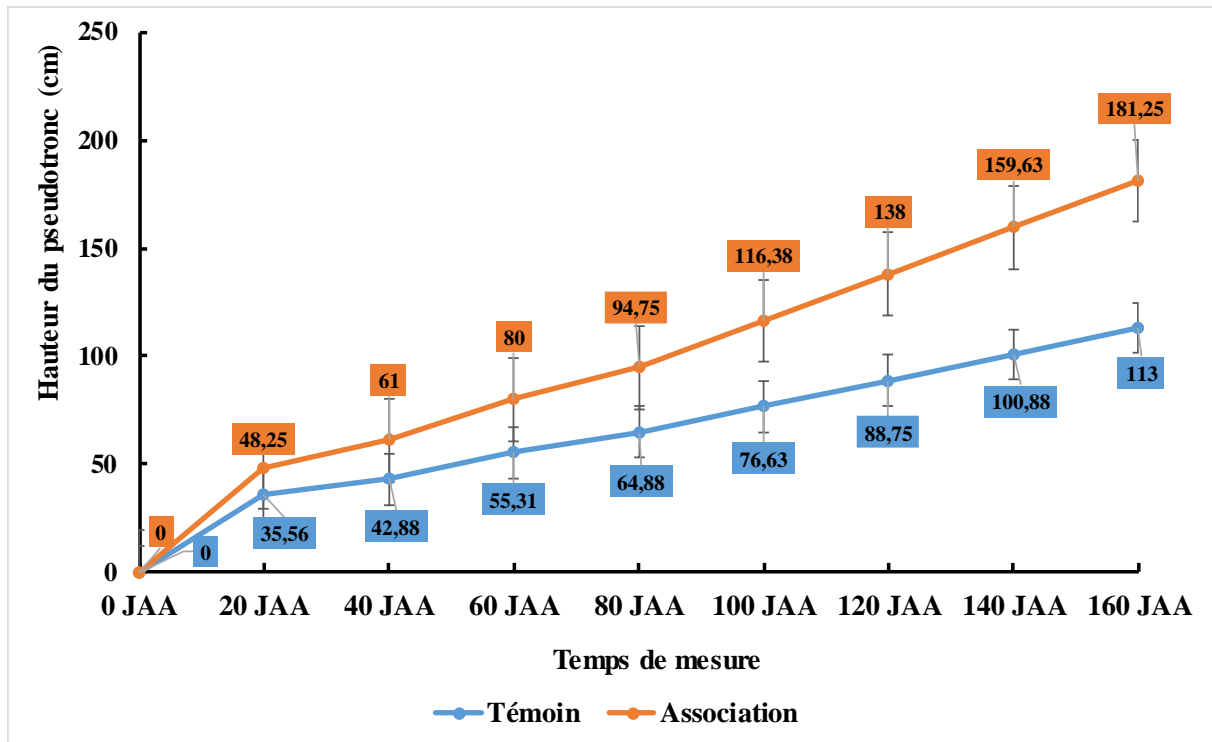


Figure 42: Evolution de la hauteur du pseudotrunc des bananiers en fonction du temps

Les moyennes comportant des lettres différentes au même temps de mesure sont significativement différentes.

JAA : Jour après association.

4.1.4.6. Circonférence du pseudotrunc du bananier

Les courbes d'évolution de la circonférence du pseudotrunc des bananiers associés et témoins, en fonction du temps, sont illustrées par la Figure 43. L'analyse statistique montre une différence significative entre les circonférences du pseudotrunc des bananiers associés et témoins à partir du 20^{ème} jour après association. La circonférence du pseudotrunc des bananiers associés est supérieure à celle des bananiers témoins. Elle varie de $17,25 \pm 3,53$ cm (20^{ème} jour après plantation) à $53,04 \pm 10,61$ cm (160^{ème} jour après plantation) au niveau de l'association et de $13,63 \pm 1,79$ cm (20^{ème} jour après plantation) à $35,44 \pm 8,12$ cm (160^{ème} jour après plantation) au niveau du témoin.

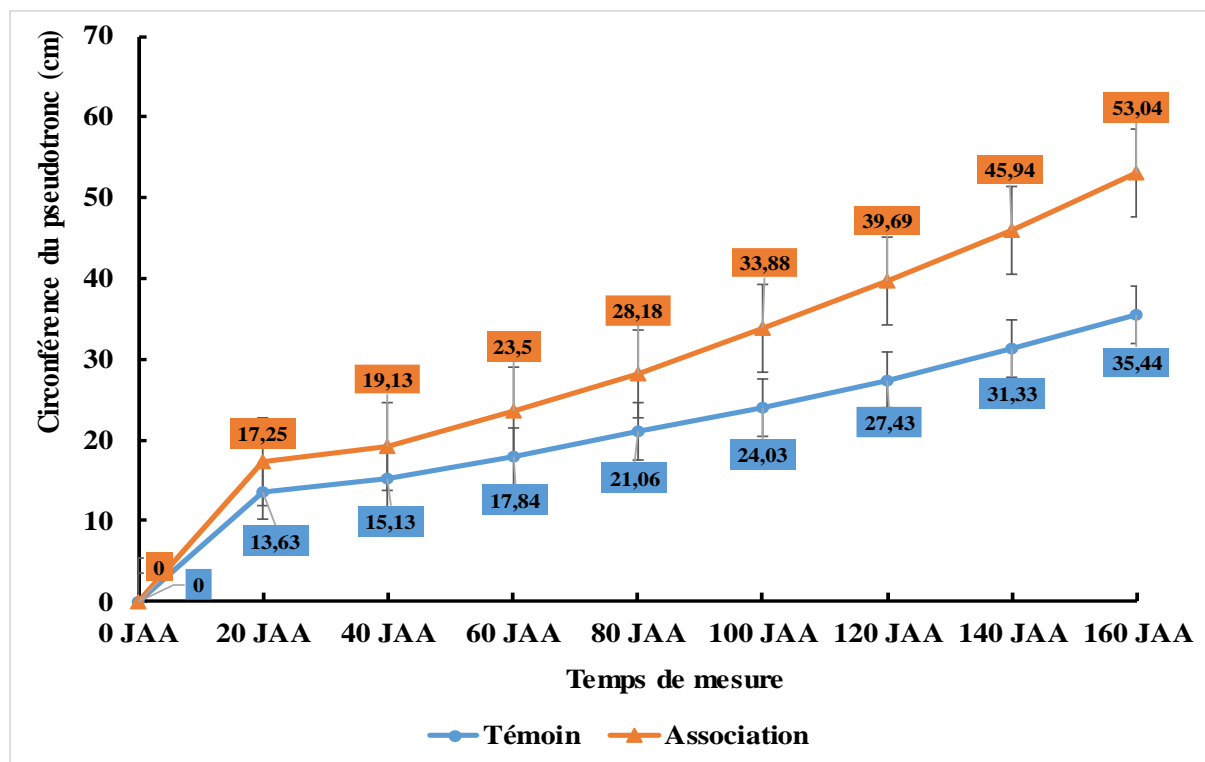


Figure 43: Evolution de la circonférence du pseudotronc des bananiers en fonction du temps

Les moyennes comportant des lettres différentes au même temps de mesure sont significativement différentes.

JAA : Jour après association.

4.1.5. Effet de l'association bananier (*Musa sp*) – aloès (*Aloe vera*) sur le rendement des bananiers

Les résultats des paramètres de rendement et du rendement en régimes des bananiers plantain sont présentés dans le Tableau XXXII. Les paramètres de rendement ont été les nombres de mains et de doigts, la longueur des doigts, la masse des doigts par régime et la masse des régimes. Les résultats montrent que les nombres de mains, de doigts ainsi que la longueur des doigts n'ont pas été significativement différents selon que les bananiers plantain soient associés à *Aloe vera* ou non. Cependant, une différence statistique (au seuil de 5 %) a été observée au niveau de la masse des doigts ($0,24 \pm 0,01$ kg pour les régimes témoins et $0,46 \pm 0,01$ kg pour les régimes associés), des régimes ($4,70 \pm 0,53$ kg pour les régimes témoins et $9,23 \pm 0,18$ kg pour les régimes associés) et du rendement en régimes ($7,83 \pm 0,25$ t.ha⁻¹ pour les régimes témoins et $15,39 \pm 1,21$ t.ha⁻¹ pour les régimes associés).

Tableau XXXII : Rendement et paramètres de rendement des bananiers plantains

	Paramètres de rendement					Rendement en régimes (t.ha-1)
	Nombre de mains	Nombre de doigts	Longueur des doigts (cm)	Masse des doigts (kg)	Masse des régimes (kg)	
Régimes témoins	6,80 ± 0,22 ^a	31,33 ± 0,87 ^a	34,6 ± 1,72 ^a	0,24 ± 0,01 ^b	4,70 ± 0,53 ^b	7,83 ± 0,25 ^b
Régimes associés	7,00 ± 0,41 ^a	32,00 ± 0,25 ^a	35,25 ± 1,87 ^a	0,46 ± 0,01 ^a	9,23 ± 0,18 ^a	15,39 ± 1,21 ^a
P	0,86	0,75	0,78	0,00	0,00	0,00
Effet	NS	NS	NS	S	S	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %

P : Probabilité ; **NS** : Non significatif ; **S** : Significatif.

4.2. Association hévéa (*Hevea brasiliensis*) – *Aloe vera*

4.2.1. Effet de l'association hévéa (*Hevea brasiliensis*) – *Aloe vera* sur la croissance de *Aloe vera*

4.2.1.1. Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* en fonction du temps

La Figure 44 montre les courbes d'évolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du temps et selon les traitements. Le nombre de feuilles produites par les plantes témoins augmente du 28^{ème} au 140^{ème} jour après association. La vitesse d'apparition des feuilles témoins est en moyenne de 5 feuilles tous les 14 jours. Par contre, celle des feuilles produites au niveau des traitements 1 et 2 est en moyenne de deux feuilles tous les 14 jours avant le quasi arrêt de la croissance des plantes après 84 jours de plantation.

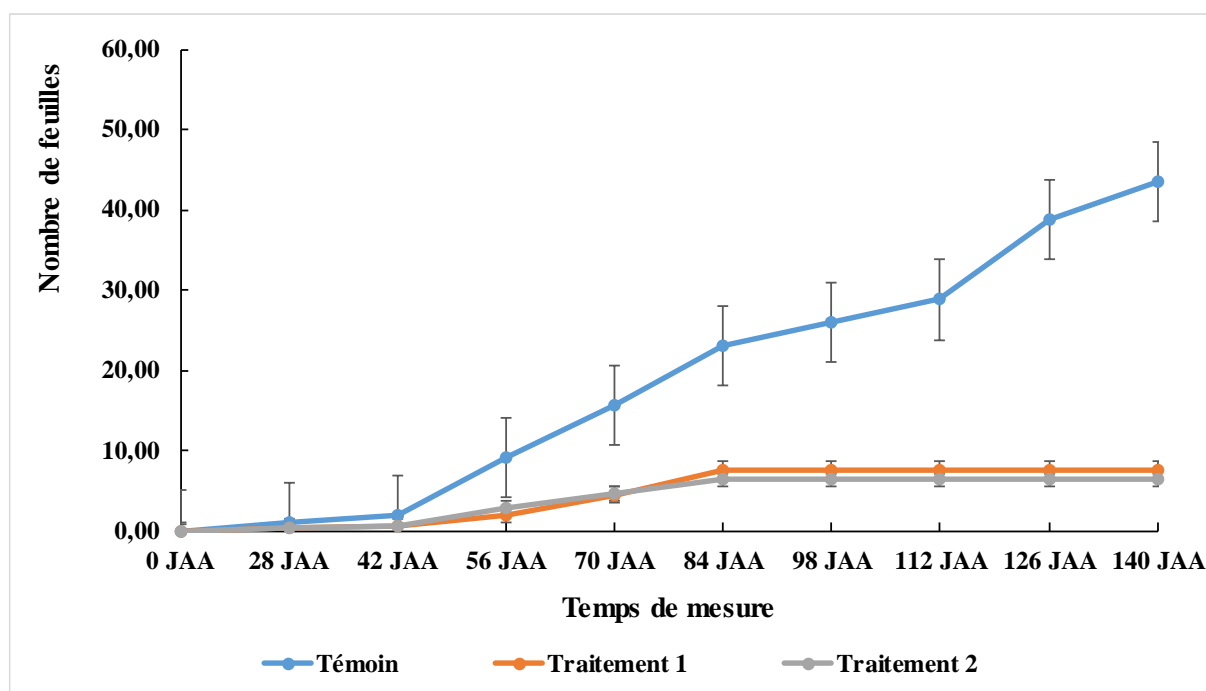


Figure 44 : Evolution du nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du temps et selon les traitements

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **JAA** : Jour après association.

4.2.1.2. Nombre de feuilles de *Aloe vera* produites

Le Tableau XXXIII met en évidence le nombre total de feuilles produites par *Aloe vera*. Le nombre de feuilles produites par les rejets témoins est significativement supérieur à ceux obtenus au niveau des traitements 1 et 2. Cent quarante jours après association, le témoin a produit en moyenne 43 feuilles contre 7 feuilles avec un pied de *Aloe vera* associé entre quatre

pieds d'hévéea (traitement 1) et 6 feuilles avec deux pieds de *Aloe vera* associés entre quatre pieds d'hévéea (traitement 2).

Tableau XXXIII: Nombre de feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du traitement

Traitements	Nombre de feuilles émises 140 JAA
Témoin	43,50 ± 2,34 ^a
Traitement 1	7,50 ± 2,59 ^b
Traitement 2	6,33 ± 2,16 ^b
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéea ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéea ; **JAA** : Jour après association ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif

4.2.1.3. Longueur des feuilles de *Aloe vera*

Le Tableau XXXIV présente la longueur des feuilles de *Aloe vera* mesurée au cours de l'expérimentation. L'analyse statistique a montré une différence significative entre les longueurs des feuilles du témoin et celles issues des traitements 1 et 2. Cependant les dispositions d'un ou de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéea ont eu le même effet sur la longueur des feuilles produites. Cent quarante jours après association, la longueur moyenne des feuilles produites au niveau du témoin était de 27,50 ± 6,28 cm contre 17,30 ± 5,02 cm pour le traitement 1 et 15,41 ± 6,57 cm pour le traitement 2.

Tableau XXXIV: Longueur des feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du traitement

Traitements	Longueur des feuilles émises 140 JAA
Témoin	27,50 ± 6,28 ^a
Traitement 1	17,30 ± 5,02 ^b
Traitement 2	15,41 ± 6,57 ^b
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéea ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéea ; **JAA** : Jour après association ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif

4.2.1.4. Largeur des feuilles de *Aloe vera*

Le Tableau XXXV présente la largeur des feuilles de *Aloe vera* mesurée au cours de l'expérimentation. L'analyse statistique a montré une différence significative entre les largeurs des feuilles du témoin et celles issues des traitements 1 et 2. Cependant les dispositions d'un ou de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ont eu le même effet sur la largeur des feuilles produites. Cent quarante jours après association, la largeur moyenne des feuilles produites au niveau du témoin était de $2,12 \pm 0,67$ cm contre $0,84 \pm 0,38$ cm pour le traitement 1 et $0,85 \pm 0,51$ cm pour le traitement 2.

Tableau XXXV: Largeur des feuilles de *Aloe vera* produites en fonction du traitement

Traitements	Largeur des feuilles émises 140 JAA
Témoin	$2,12 \pm 0,67^a$
Traitement 1	$0,84 \pm 0,38^b$
Traitement 2	$0,85 \pm 0,51^b$
P	0,00
Effet	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **JAA** : Jour après association ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif

4.2.2. Effet de l'association hévéa (*Hevea brasiliensis*) – *Aloe vera* sur le rendement de *Aloe vera*

Le rendement de *Aloe vera* est exprimé en quantité de matières fraîche et sèche des feuilles (Tableau XXXVI). L'analyse statistique montre une différence significative entre les biomasses des feuilles en fonction du traitement. Cependant, il n'existe aucune différence significative entre les biomasses fraîches et sèches des feuilles issues des traitements 1 et 2. La masse en matières fraîches des feuilles produites au niveau du témoin ($74,45 \pm 5,85$ g) est supérieure à celles des feuilles produites au niveau du traitement 1 ($24,87 \pm 2,94$ g) et du traitement 2 ($28,81 \pm 2,65$ g). La biomasse sèche des feuilles produites au niveau du témoin ($53,99 \pm 9,14$ g) est aussi plus élevée que celles des feuilles produites au niveau du traitement 1 ($0,53 \pm 0,06$ g) et du traitement 2 ($4,67 \pm 3,89$ g).

Tableau XXXVI: Masses fraîches et sèches des feuilles de *Aloe vera*

Traitements	Masse fraîche	Masse sèche
Témoin	74,45 ± 5,85 ^a	53,99 ± 9,14 ^a
Traitement 1	24,87 ± 2,94 ^b	0,53 ± 0,06 ^b
Traitement 2	28,81 ± 2,65 ^b	4,67 ± 3,89 ^b
P	0,00	0,00
Effet	S	S

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Traitement 1 : Un pied de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **Traitement 2** : Deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds d'hévéa ; **P** : Probabilité ; **S** : Significatif

4.2.3. Effet de l'association hévéa (*Hevea brasiliensis*) – *Aloe vera* sur la circonférence des arbres d'hévéa

La Figure 45 présente les courbes d'évolution de la circonférence des arbres d'hévéa en fonction du temps. L'association des rejets de *Aloe vera* aux arbres d'hévéa n'a nullement influencé l'évolution de la circonférence des arbres au cours de cette expérience. La courbe montrant l'évolution de la circonférence au cours du temps tant au niveau des témoins que des arbres associés est linéaire.

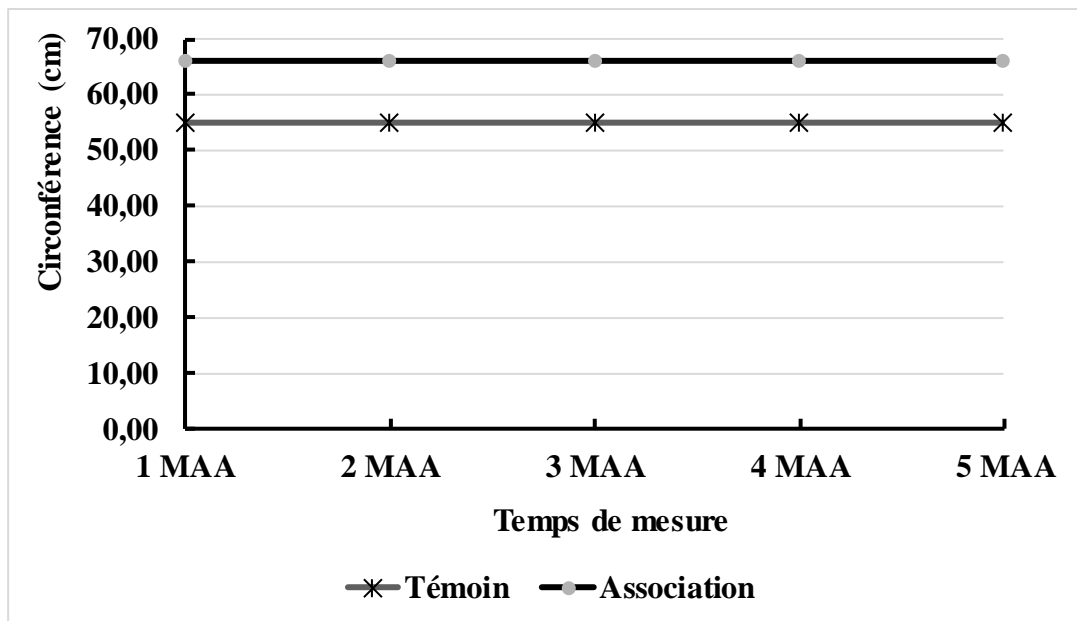


Figure 45: Evolution de la circonférence des arbres d'hévéa en fonction du temps

MAA : Mois après association

4.3. Discussion

Cette étude a été menée pour évaluer d'une part, l'effet de l'association bananier (*Musa* sp) - aloès (*Aloe vera*) et d'autre part, l'effet de l'association hévéa - aloès sur la croissance et le rendement des cultures. Les résultats montrent que l'association bananier-*Aloe vera* a été bénéfique pour les deux spéculations. En effet, les rejets de *Aloe vera* plantés entre les pieds de bananier ont eu un nombre total de feuilles, une longueur et une largeur de feuilles plus élevés que ceux des témoins. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les rejets de *Aloe vera* disposés entre les pieds de bananier ont bénéficié de l'ombrage et par ricochet de l'humidité créées par les plantes de bananier d'où leur croissance harmonieuse. L'importance de l'ombrage pour la bonne croissance et le bon développement des plants surtout des plants d'ombrage comme *Aloe vera* est mentionnée par plusieurs auteurs (Azib & Hammache, 2019 ; Gharib & Ben, 2021). En effet, l'ombrage améliore l'humidité du sol, contribue à modérer la température ambiante et à augmenter l'humidité de l'air. Ainsi, les plants sous ombrage réduisent considérablement leur transpiration même en période de grande chaleur (Zomboudré *et al.*, 2005). Les rejets de *Aloe vera* associés aux bananiers échappent ainsi à la limitation de la disponibilité en eau dans le sol tout en réduisant leur transpiration contrairement aux rejets témoins qui, eux, étaient exposés au soleil et confrontés à un stress hydrique. De ce fait, les températures élevées constatées durant le premier trimestre après plantation et association (février à avril 2023) auraient donc ralenti la croissance des rejets de *Aloe vera* témoins. Nos résultats confirment les conclusions de Gharib & Ben (2021) dans leur affirmation selon laquelle l'ombre est importante pour un bon développement des plants de *Aloe vera*. Aussi, l'intérêt agronomique de l'association de bananiers à d'autres cultures a été largement documenté (Adou *et al.*, 2016 ; Kpangui *et al.*, 2015 ; Guichard, 2022). *Aloe vera* sous ombrage a également bénéficié de la disponibilité en éléments minéraux provenant des larges feuilles de bananiers qui tombent et se décomposent rapidement à cause du microclimat humide engendré par l'association. Dans ce contexte, les éléments minéraux libérés par la chute des feuilles de bananier suivi de leur décomposition ont favorisé une nutrition minérale optimale des rejets de *Aloe vera* associés contrairement aux témoins. Les feuilles de bananier sont utilisées dans la fabrication de certains compost (Biaou *et al.*, 2017). Elles sont évidemment des matières vertes qui se décomposent pour fournir un additif riche en nutriments pour la croissance de l'aloès. Selon une étude, le compost à base de banane apporte plus de nutriments dans le sol par rapport à d'autres engrais et assure une diminution des pertes de nutriments par lessivage (Hazem, 2011). Les valeurs élevées de matières fraîches et sèches des feuilles de *Aloe vera* observées au niveau des plantes de *Aloe vera* associées aux bananiers en serait une des conséquences (Bouda

& Haddioui, 2011). Quant à la réduction du délai de floraison de *Aloe vera*, elle se justifierait par une nutrition adéquate des plantes en phosphore. En effet, la bouse de vache, par sa décomposition, enrichit le substrat en phosphore (Adande & Fiogbe, 2015). Ce phosphore est absorbé par les plantes de *Aloe vera* au cours de leur nutrition minérale. Toutefois, l'atteinte de la maturité des plantes associées aux bananiers avant les témoins est sûrement due à un apport plus important de phosphore assuré par la décomposition des feuilles de bananier. Christian *et al.* (2005) ont montré que le phosphore stimule la précocité de la floraison. Aussi, Garane *et al.* (2019) affirment que l'apport du phosphore sous une forme assimilable favorise la formation des fleurs et des fruits et augmente la précocité. En ce qui concerne les bananiers associés aux rejets de *Aloe vera* ; ils ont pu croître et se développer plus sainement contrairement aux témoins. En effet, les bananiers témoins ont été sévèrement attaqués par les bio-agresseurs du genre *Mycosphaerella sp.* Ce genre est responsable de la maladie de la cercosporiose chez le bananier. Ces attaques auraient eu un impact sur la croissance et le développement des bananiers témoins. Tuo *et al.* (2021) ont signalé la présence de ces maladies dans la zone de Daloa et soutiennent qu'elles réduisent la capacité photosynthétique des feuilles et affectent la croissance et le développement des bananiers. Quant aux bananiers associés, le faible taux d'attaque constaté dans cette étude serait probablement dû à la proximité des bananiers avec les rejets de *Aloe vera*, ce qui créerait une protection naturelle constituée par ces derniers. Selon Gharib & Ben (2021), la présence d'anthraquinones amères et d'autres composants polyphénoliques dans les feuilles de *Aloe vera* la rendrait peu attrayante aux ravageurs et agents pathogènes.

L'étude de l'association hévée - aloès a eu un impact négatif sur la croissance des rejets de *Aloe vera*. Les conditions de culture pourraient expliquer ce résultat. En effet, la plantation des rejets s'est faite sous des arbres d'hévée matures avec une canopée développée. Cette canopée a créé un ombrage épais permanent sous ces arbres. Aussi, avec la saison pluvieuse débutée un mois après la plantation, les rejets de *Aloe vera* plantés sous les arbres d'hévée matures se sont retrouvés dans un microclimat très humide et à faible flux lumineux. Ce microclimat est impropre à la réalisation de la photosynthèse donc au développement de la plante. Selon Azib & Hammache (2019), l'ensoleillement est nécessaire pour une bonne croissance de *Aloe vera* tout comme l'excès d'eau lui est néfaste. Gharib & Ben (2021) ont aussi rapporté qu'un excès d'eau inhibe la croissance de *Aloe vera*. Une compétition pour les éléments minéraux du sol pourrait aussi justifier la faible croissance des rejets de *Aloe vera* associés aux arbres d'hévée. Les pieds d'hévées étant matures, une bonne partie des interlignes étaient exploités par leurs racines. Ainsi, les rejets de *Aloe vera* n'avaient accès qu'à une infirme

partie des éléments minéraux disponibles dans le sol. Cette quantité d'éléments minéraux absorbée par ces derniers était probablement insuffisante pour combler tous leurs besoins contrairement aux rejets témoins. En effet, les rejets témoins avaient probablement accès à une plus grande quantité d'éléments nutritifs pour s'assurer une nutrition minérale adéquate. Nos résultats sont similaires à ceux de Kouadio *et al.* (2021) qui ont rapporté une baisse de la production des caféiers associés aux hévéas à partir de la troisième année. Cette baisse a été suivie d'un arrêt de la production dès la cinquième année face à l'accentuation de la compétition en éléments minéraux due au développement des racines d'hévéas occupant une majeure partie des interlignes. Ce travail a aussi montré une invariabilité de la circonférence des arbres d'hévéa associés aux rejets de *Aloe vera*. Ce résultat signifierait que les plantes *Aloe vera* n'ont eu aucune influence sur l'évolution de la circonférence des hévéas. Ceci pourrait être dû à l'âge de la plantation. Les arbres seraient trop grands pour être impactés par les rejets de *Aloe vera*. En effet, Kéli *et al.* (2005) ainsi que Kouadio *et al.* (2021) ont montré qu'à partir de l'année de production, les cultures intercalaires n'impactent plus les hévéas à cause de la densité du feuillage et des racines.

Conclusion partielle

Cette étude a montré d'une part que l'association bananier plantain - *Aloe vera* est bénéfique aux deux spéculations. Elle a occasionné une croissance optimale des plantes de *Aloe vera* tout comme celle des bananiers. De plus, le rendement a d'autant été plus important au niveau des aloès associés que des bananiers. Par ailleurs, l'association a favorisé la réduction du temps de floraison des plantes de *Aloe vera*. Ainsi, l'association bananier – aloès peut être recommandée et pourrait se faire à la densité de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananiers plantain. En perspectives, nous envisageons associer *Aloe vera* à d'autres cultures comme le palmier à huile. Par ailleurs, l'étude a montré une influence négative de l'association hévéa - *Aloe vera* sur la croissance des plantes de *Aloe vera*. Les arbres matures d'hévéa ont créé un microclimat non propice à la croissance des plantes de *Aloe vera*. Aussi, les plantes de *Aloe vera* n'ont eu aucun effet sur la circonférence des arbres d'hévéa. À la vue de ces résultats, la culture des plants de *Aloe vera* sous des arbres d'hévéa matures n'est pas avantageuse pour *Aloe vera* au stade actuel de nos recherches. Néanmoins, avec un apport de bouse de vache qui réduirait son délai de maturité, les plantes de *Aloe vera* pourraient être cultivées durant les quatre premières années avant le développement complet de la canopée à l'instar des cultures vivrières.

**CONCLUSION GENERALE,
RECOMMANDATIONS ET
PERSPECTIVES**

Conclusion générale, recommandations et perspectives

Cette étude a été réalisée afin de déterminer et de vulgariser un ensemble de techniques culturales qui permettent une bonne productivité de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire.

Pour ce faire, elle a été présentée en quatre parties :

- la première est consacrée à l'évaluation de la capacité de multiplication de *Aloe vera* à partir de la tige et de la racine ;
- la deuxième partie porte sur la détermination du/des substrat (s) et/ou de (s) amendement (s) le (s) plus approprié (s) à la croissance de *Aloe vera* en pépinière et au champ ;
- la troisième concerne la recherche de la densité de plantation optimale pour une croissance efficiente des plants de *Aloe vera* au champ ;
- la quatrième partie porte sur l'évaluation de deux systèmes de cultures intégrant *Aloe vera*, bananier-*Aloe vera* et hévéa-*Aloe vera*.

Il faut souligner que l'indisponibilité du matériel végétal en Côte d'Ivoire à savoir les rejets, couramment utilisés pour la culture de *Aloe vera*, constitue un frein à la vulgarisation rapide de cette culture. Ainsi, les résultats présentés dans la première partie ont permis de répondre à cette préoccupation. En effet, ces résultats ont montré que la culture de *Aloe vera* par bouturage de tiges et de racines peut être aussi recommandée. Cependant, la croissance est plus optimale avec des boutures partiellement enfouies de tige contrairement aux boutures entièrement enfouies. Au regard de ces résultats, un amendement efficace est nécessaire pour une production en grande masse de matériel végétal de plantation de *Aloe vera*.

Les résultats de la deuxième partie apportent la solution à cette deuxième préoccupation en ce qui concerne la recherche d'un amendement pour une optimisation de la croissance de *Aloe vera*. En effet, pour booster la croissance des plants de *Aloe vera* en pépinière et produire des plants vigoureux, le substrat formulé à base de bouse de vache et l'amendement liquide à base de coquilles d'œuf de poulet, de peaux de bananes plantain et de tonte de gazon peuvent être conseillés. Ces amendements augmentent la vitesse d'apparition des feuilles. De même, ils ont produit le plus grand nombre de feuilles. Le substrat à base de bouse de vache a favorisé la croissance en longueur et en largeur des feuilles. Aussi, les plus longues et larges feuilles de *Aloe vera* ont été obtenues sous l'amendement A7. Cependant, l'apport de l'amendement liquide (A7) doit se faire toutes les trois semaines. Les résultats ont également montré que la croissance de *Aloe vera* au champ est fonction de la dose et de la fréquence d'apport de l'amendement liquide A7. En outre, pour favoriser une croissance rapide des plants de *Aloe vera* au champ, la quantité de 0,75 l de l'amendement (A7) apportée une fois par mois durant sept mois pourrait être recommandée. Elle a réduit le délai de maturité des plantes de *Aloe vera* à neuf mois.

Conclusion générale, recommandations et perspectives

Concernant les résultats de la troisième partie, ils ont montré que les fortes densités de plantation réduisent les performances de croissance de *Aloe vera*. Dès lors, pour une croissance optimale des plants de *Aloe vera*, trois densités peuvent être conseillées à savoir 10000 plants / ha (1 m x 1 m), 13333,33 plants / ha (0,75 m x 1 m) et 17777,77 plants / ha (0,75 m x 0,75 m). Toutefois, la densité 10000 plants / ha (1 m x 1 m) est meilleure que les autres. Elle favorise une apparition plus rapide des feuilles (6,70 feuilles tous les 20 jours), un nombre plus important de feuilles ($53,67 \pm 6,78$ feuilles) et une croissance plus rapide des feuilles en longueur ($41,75 \pm 6,89$ cm) et en largeur ($5,06 \pm 0,91$ cm). Cette densité associée à la bouse de vache, utilisée comme amendement organique, a réduit le délai de maturité des plantes de *Aloe vera* à huit mois.

Les résultats présentés dans la quatrième partie ont montré que le quatrième objectif spécifique de la présente étude semble être atteint. En effet, dans un souci de protection des forêts et au vue de la rareté des terres cultivables, cette étude s'est aussi fixée pour objectif de valoriser, à l'aide de *Aloe vera*, les grandes interlignes de certaines cultures comme le bananier et l'hévéa. Ceci permettrait d'éviter l'intensification de la destruction des forêts par l'adoption de la culture de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire. Ainsi, au stade actuel de notre étude, les résultats montrent que l'association de *Aloe vera* au bananier peut être recommandée. La disposition de deux pieds de *Aloe vera* distant d'un mètre entre quatre pieds de bananier favorise la croissance optimale des deux spéculations et par conséquent accroît leur rendement. La masse fraîche des feuilles de *Aloe vera* associées est $125,42 \pm 3,12$ g contre $88,59 \pm 7,02$ g pour les témoins. De plus, l'association a induit une réduction du délai de maturité de *Aloe vera* à sept mois. Aussi, les bananiers associés ont produit le plus haut rendement avec $15,39 \pm 1,21$ t.ha⁻¹ contre $7,83 \pm 0,25$ t.ha⁻¹ pour les témoins. Cette association permettra donc aux paysans de la zone de Daloa, zone caractérisée par de grandes bananeraies, et par ricochet ceux de la Côte d'Ivoire de diversifier leurs cultures et d'accroître ainsi leurs revenus. Par contre, la canopée des arbres matures d'hévéa a créé un microclimat humide non propice à une croissance rapide d'aloès.

En définitif, la conduite technique pour la culture de *Aloe vera* se présente comme suit :

❖ Etape 1 : phase de pépinière

Cette phase dure quatre mois et doit être réalisée sous abri. Pour réussir la pépinière, le matériel végétal peut être des rejets possédant six feuilles et en moyenne 17 cm de longueur tout comme des boutures. Les boutures recommandées sont celles de la tige et de la zone subérifiée de la racine. Aussi, pour une croissance rapide des plants, deux méthodes peuvent

Conclusion générale, recommandations et perspectives

être utilisées. La première est la formulation d'un substrat à base de bouse de vache et la deuxième est l'apport d'un amendement liquide pour enrichir le substrat constitué uniquement de terre.

Les différentes étapes pour la réalisation d'une pépinière de *Aloe vera* à base de bouse de vache sont :

- utiliser des pots ou des sachets ;
- remplir le pot ou le sachet au 1/3 de sa hauteur avec la bouse de vache ;
- compléter avec la terre puis effectuer un mélange homogène dans un récipient avant de transvaser le tout de nouveau dans le pot ou le sachet ;
- faire un poquet à l'intérieur du substrat et y planter un rejet ou une bouture. Pour les rejets, seules les racines doivent être couvertes par le substrat. Quant aux boutures, elles doivent être plantées de manière verticale et être couvertes en partie ;
- assurer un désherbage efficace à la main afin d'éviter toute compétition avec les adventices ;
- arroser uniquement lorsque la surface du substrat est sèche.

Les différentes étapes pour la réalisation d'une pépinière de *Aloe vera* avec l'amendement liquide sont :

- utiliser des pots ou des sachets ;
- remplir entièrement le pot ou le sachet avec la terre (substrat) ;
- faire un poquet à l'intérieur du substrat et y planter un rejet ou une bouture. Pour les rejets, seules les racines doivent être couvertes par le substrat. Quant aux boutures, elles doivent être plantées de manière verticale et être couvertes en partie ;
- apporter 500 ml de l'amendement liquide par pot et refaire l'opération toutes les trois semaines durant 4 mois ;
- assurer un désherbage efficace à la main afin d'éviter toute compétition avec les adventices ;
- arroser uniquement lorsque la surface du substrat est sèche.

❖ Etape 2 : phase de champ

– **Choix de la parcelle**

Aloe vera peut être cultivée en culture pure ou être associée aux bananiers. Toutefois l'association est préconisée car cette plante aime l'ombrage. Ainsi, les différentes étapes pour l'association bananier – *Aloe vera* se présentent comme suit :

– **Préparation du sol**

Les activités à mener sont :

- faire deux buttes de 20 à 25 cm de hauteur distant d'un mètre et disposées entre quatre pieds de bananier ;
- faire des poquets de 10 cm de profondeur et 15 cm de largeur dans chaque butte ;
- épandre 500 g de bouse de vache dans chaque poquet ou ne rien mettre si vous comptez amender les plantes avec de l'engrais (engrais liquide).

– **Choix du matériel végétal pour la plantation**

La culture au champ de *Aloe vera* peut se faire avec des rejets de 17 cm de longueur en moyenne et possédant six feuilles ou avec des plants issus d'une pépinière.

– **Plantation et entretien**

La plantation consiste à disposer les plants dans les poquets et à les recouvrir de manière à ce que seules les racines soient couvertes de sable.

L'entretien consiste à désherber les adventices pour éviter toute compétition, à arroser les plantes au besoin c'est-à-dire lorsque la surface est sèche et à apporter 0,75 l de l'engrais organique liquide au pied de chaque rejet, si vous optez pour ce type d'engrais, une fois par mois durant sept mois.

• **NB :**

- ✓ Si vous optez pour la bouse de vache, la plante atteindra sa maturité entre sept et neuf mois. Par contre, si vous choisissez d'apporter l'engrais liquide, la plante atteindra sa maturité neuf mois après la plantation.
- ✓ Préparation de l'amendement liquide

Les différentes quantités des composantes utilisées pour la préparation de 1,5 l de l'amendement liquide sont :

- 24,57 g de coquilles d'œuf colorées de poule ;
- 139,69 g d'épluchure de banane plantain ;
- 44,07 g de tonte de gazon.

Mettez les composantes dans un pot sans ordre précis. Ensuite, ajoutez la quantité d'eau correspondante à la quantité des composantes. Fermez le pot durant deux semaines avant d'utiliser l'amendement.

– **Protection phytosanitaire**

La présence d'anthraquinones amères et d'autres composants polyphénoliques rend la plante peu attrayante aux ravageurs et agents pathogènes. Ainsi, elle ne nécessite pas de traitement contre les agents pathogènes.

❖ **Etape 3 : Récolte**

La récolte se fait lorsque la plante devient mature. Cette maturité est caractérisée par la floraison des plantes de *Aloe vera*. Les feuilles extérieures, ayant une taille d'au moins 25 cm, sont récoltées manuellement.

Cette étude a permis d'avoir les premières données pour la conduite technique de la culture de *Aloe vera* en Côte d'Ivoire. Pour encourager et faciliter l'adoption de cette culture par les paysans, il serait opportun :

- de faire des tests multi locaux pour valider la fiche technique pour la culture de *Aloe vera* ;
- d'étudier les mécanismes d'adaptation mis en place par *Aloe vera* face à la sécheresse ;
- de déterminer la composition chimique du gel produit à partir de l'itinéraire technique mis en place pour évaluer sa qualité ;
- d'associer *Aloe vera* aux jeunes plants d'hévéa ;
- de rechercher d'autres cultures pouvant être associées à *Aloe vera* ;
- de montrer la portée économique de *Aloe vera* à travers l'utilisation du gel et du suc de *Aloe vera* en milieu paysan et fabriquer plusieurs gammes de produits.

REFERENCES

- Adande R. & Fiogbe E.D (2015). Utilisation des fertilisants organiques d'origine animale et végétale pour le développement de la pisciculture dans les étangs : Synthèse bibliographique. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2: 281-287.
- Adiko A.F.A.E. (2019). Evaluation des services d'approvisionnement fournis par la Forêt Classée du Haut-Sassandra en 2000 et 2019 : cas de la production cacaoyère et de bois d'œuvre. Mémoire de Master en Biodiversité et Gestion Durable des Ecosystèmes. Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 70 p.
- Adou D.L. (2012). « L'économie de plantation et dynamique de peuplement dans la région du Haut Sassandra », Thèse unique de Doctorat en géographie, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 286 p.
- Adou Yao C.Y., Kpangui K.B., Vroh B.T.A. & Ouattara D. (2016). Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agroforêts traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire. *Revue d'ethnoécologie*, 9: 1-17.
- Ahoba A. (2011). Evaluation de quelques caractéristiques dendrométriques de trois clones d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Agronomie Africaine*, 23(3): 227-236.
- Alla D.A. (1991). Dynamisme de l'espace péri-urbain de Daloa, étude géographique. Thèse de Doctorat, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 318 p.
- Alla K.T., Bomisso E.L., Ouattara G. & Dick A.E. (2018). Effets de la fertilisation à base des sous-produits de la pelure de banane plantain sur les paramètres agromorphologiques de la variété d'Aubergine F1 kalenda (*Solanum melongena*) dans la localité de Bingerville en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38(3) : 6292-6306.
- Alla T.K., Bomisso L.E., Tuo S. & Dick E.A. (2021). Effets de la fertilisation organique à base de pelure de banane plantain et de fiente de poulet sur les paramètres agronomiques et la rentabilité financière de l'aubergine N'drowa (*Solanum aethiopicum* L.) en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 18(6) : 25 – 38.
- Amaglo N.K., Timpo G.M., Ellis W.O. & Bennett R.N. (2006). Effet de l'écartement et la fréquence des récoltes sur la croissance et le rendement en feuilles de *Moringa oleifera* Lam. *Moringa* et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : Stratégies, normes et marchés pour un meilleur impact sur la nutrition en Afrique. Accra, Ghana, 11 p.

- Amar S., Resham V. & Saple D.G. (2008). *Aloe vera*: a short review. *Indian Journal of Dermatology*, 53(4): 163-166.
- Ambassa V.N., Anaba D.M. & Biye E.H. (2021). Régénération assistée de *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg avec des boutures et graines dans la Région du Centre au Cameroun. *Afrique SCIENCE*, 18(3) :1 – 12.
- Anonyme 1 (2021). How to make *Aloe vera* fertilizer, insecticide and rooting hormone [En ligne]. https://www.youtube.com/watch?v=DuxD_QQ5jFE (Consulté le 25 juin 2023).
- Anonyme 2 (2023). Vente de feuilles d'Aloes vera et arborescens en agriculture biologique [en ligne]. http://www.cactuseraie.fr/?page_id=4860 (Consulté le 25 juin 2023).
- Anonyme 3 (2023). Feuilles fraîches d'aloès vrai – Feuilles *Aloe vera* [en ligne]. <https://www.boutique-vegetale.com/p/feuilles-aloe-vera-feuilles-aloe-vrai> (Consulté le 25 juin 2023).
- Anonyme 4 (2019). Natural fertilizer for *Aloe vera* plant to grow faster || Organic fertilizer for *Aloe vera* plant [En ligne]. <https://www.youtube.com/watch?v=ki0azbmVVUI> (Consulté le 25 juin 2023).
- Anonyme 5 (2022). Quel type de sol pour l'*Aloe vera* ? [en ligne]. <https://plantesguide.com/quel-type-de-sol-pour-laloe-vera/> (Consultée le 25/01/2023).
- APROMAC (2019). Production de caoutchouc en Côte d'Ivoire [en ligne]. www.apromac.ci (Consulté le 15 janvier 2019).
- Atsin G. J. O. (2017). Contribution à la mise au point de systèmes de récolte du latex sans stimulation hormonale chez les clones d'hévéa (*Hevea Brasiliensis* MUELL. ARG. (Euphorbiaceae) de la classe d'activité métabolique rapide cultivés au sud-ouest de la Côte D'Ivoire. Thèse Université Nangui Abrogoua, UFR Science de la Nature, Côte d'Ivoire, 164 p.
- Ayidego C.E.H (2019). Etude de l'efficacité des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promu par le centre Songhaï pour améliorer la production de la laitue et de l'amarante au Sud du Bénin. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain, 103 p.
- Azib C. & Hammache R. (2019). Evaluation des propriétés antioxydantes et fonctionnelles de *Aloe vera* et élaboration d'un jus à base de cette plante. Mémoire de master en

- Science Alimentaire, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi of Bordj Bou Arreridj, Algérie, 67 p.
- Bakayoko S., AHD A., Konate Z. & Toure N. (2019). Effets comparés de la bouse de bovins séchée et de la sciure de bois sur la croissance et le rendement du Maïs (*Zea Mays* L.), *Agronomie Africaine*, 8 : 10 p.
- Ballo K.E. (2019). Effet de différentes techniques culturales sur les paramètres agrophysiologiques et sanitaires de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* muell. arg) au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 170 p.
- Bamba M. (2021). Effet du gel de l'*Aloe vera* dans le traitement fongique des semences de riz cultivées dans la localité de Daloa (Côte d'Ivoire) : cas des variétés Wita 9 et Bouaké 189. Mémoire de Master en Bioressources-Agronomie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 64 p.
- Bassetti A. & Sala S. (2005). The great aloe book history, botany, composition, and pharmacological aspects of this legendary plant. Zuccari éditions, Toronto, United States of America, 191 p.
- Bationo B.A. (1994). Étude des potentialités agroforestières, de la multiplication et des usages de *Guiera senegalensis*, Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 102 p.
- Baudron F., Corbeels M., Monical F. & Giller K.E. (2009). Cotton expansion and biodiversity losing African savannahs, opportunities and challenges for expansion conservation agriculture: a review paper based on two case studies. *Biodiversity and Conservation*, 18: 2625-2644.
- Begreen (2023). Engrais NPK 15 15 15 [en ligne]. <https://begreen-company.com/engrais/engrais-npk-15-15-15/> (Consulté le 25 juin 2023)
- Belkhodja L. & Ghlamallah Y. (2015). Effet du déficit hydrique sur la dynamique des racines séminales chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique. Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie. 85 p.
- Benzaza W. & Sattal F. (2018). Etude de l'effet inhibiteur de *Aloe vera* vis-à-vis de certains pathogènes. Mémoire de Master en Nutrition et pathologie, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie, 74 p.

- Benzie I.F.F. & Wachtel-Galor S. (2011). *Herbal Medicine, Biomolecular and Clinical Aspects. 2nd édition Taylor and Francis Group, New York, United States of America, 38 p.*
- Bernardes I., Felipe R.M.P., Bacelli G.K., Munin E., Alves L.P. & Costa M.S. (2012). *Aloe vera* extract reduces both growth and germ tube formation by *Candida albicans*. *Mycoses*. 55(3): 257-61.
- Betrand R. & Gigou J. (2002). *La fertilité des sols tropicaux*. Paris, Edition Maisonneuve, Larose, Paris, France, 397 p.
- Bettaieb T. (2013). Sauvegarde d'une plante aux multiples vertus : *Aloe vera* L. Projet, domestication et conservation d'une plante médicinale en voie de disparition : *Aloe vera* L. *TUN/SGP/OP5/CORE/BD/12/07*, 38 p.
- Biaou O.D.B., Saidou A., Bachabi F-X., Padonou G.E. & Balogoun I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5) : 2315-2326.
- Bio S. (2016). *Cultivons autrement : exemples locaux de techniques agro-écologiques. 2ème édition Bio savane, 21 p.*
- Bouda S. & Haddioui A. (2011). Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue Nature et Technologies* : 7 –79.
- Boudjouref M. (2011). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris*. Diplôme de Magister en Biochimie, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 99 p.
- Boudreau M.D. & Beland F.A. (2006). An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe barbadensis* (Miller), *Aloe vera*, *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 24(1):103-154.
- Boulkhiout K. & Chouieb M. (2009). Importance de la litière dans la régénération des sols et des plantes. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'études supérieures. Option : Biologie et physiologie végétale, Université de Jijel, Jijel, Algérie, 50 p.
- Chabrier J.Y. (2018). *Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie*. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université de Lorraine, Lorraine, France, 184 p.
- Chang X.L., Feng Y.M. & Wang W.H. (2011). Comparison of the polysaccharides isolated from skin juice, gel juice and flower of *Aloe arborescens* tissues. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 4 (2): 13–19.

- Christaki E.V. & Florou-Paneri P.C. (2010). "Aloe vera : A plant for many uses." *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8 (2) : 245-249.
- Christian S., Jean C.M. & Jacques D. (2005). Guide de fertilisation raisonnée, 4 p.
- Christophe J. (2004). Bouse : historique, importance et écosystème. Thèse pour le doctorat vétérinaire, Université de Toulouse (France), 82 p.
- CNRA (2005). Bien cultiver la banane plantain en Côte d'Ivoire, 2 p.
- Coulibaly F.L., Soumahin F.E., Koné C.H.K., Traore S.M., Obouayeba S. & Ake S. (2014). Systèmes de récolte du latex adaptés à la saignée descendante du clone pb 235 d'*Hevea brasiliensis* MUELL. ARG. au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 26 (1) : 57- 67.
- Coulibaly K., Vabl E., Autfray P. & Sedogq P.M. (2012). Performance technico-économique des associations maïs-niébé et maïs-mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso: potentiels et contraintes. *Tropicultura*, 30 (3): 147-154.
- Cronquist A. (1981). Angiosperm Orders and families. New York, Colombia University Press. *An integrated system of classification of flowering plants*, 216 (4551) : 1217-1218.
- Dally B.M.H. (2016). Saturation foncière et stratégies de sécurisation alimentaire dans les exploitations agricoles du Haut-Sassandra. Mémoire de Master Socio-Économie, Gouvernance et Développement, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire, 123 p.
- Dao L. (2014). Effet de différents modes d'association sur la productivité du maïs (*Zea mays* L) et du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) en milieu contrôlé. Mémoire de Master, Université polytechnique de Bobo-dioulasso, Burkina Faso, 40 p.
- De padirac R. (1986). L'importance économique et l'avenir du caoutchouc. In : *Le caoutchouc naturel*, Maisonneuve et Larose, Paris (France) : 15-18.
- Dedi J. & Allou K. (2015). Etude du pouvoir germinatif de quatre variétés de riz que sont GIZA 178, WAB 56-50, Lohinini, Danane et identification des champignons présents sur les grains en germination. *Afrique SCIENCE* 11(3): 161 – 171.
- Dembélé A. (2014). Response of maize (*Zea mays* L.) to compost or manure on soils amended with fragmented twigs of *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. DEA thesis. University of Polytechnic of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 64 p.
- Dembélé I.C. (2012). Etude préliminaire du potentiel de multiplication par bouturage de l'*Anogeissus leiocarpus* (DC) Guill. et Perr. au Mali, influence de l'état physiologique des boutures et des régulateurs de croissance. Mémoire de fin d'étude, département de phytologie, Université Laval Québec, Canada, 66 p.

- Dhed'a D.B., Adheka J.G, Onautshu O.D & Swennen R. (2019). La Culture des Bananiers et Plantains dans les Zones Agroécologiques de la République Démocratique du Congo. *Presse Universitaire UNIKIS*, Kisangani, 84 p.
- Diop B., Samba S.A.N. & Akpo L.E. (2012). Caractéristiques morphologiques et croissance de jeunes plants de *Jatropha curcas* L. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2) : 677-691.
- Djéké D.M., Angui K.T.P. & Kouadio Y.J. (2011). Décomposition des coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 15 (1), 109 - 117.
- Dro B., N'goran K.D., Coulibaly S., Salla M., Amon A.D.E & Kouassi K.H (2020). Diversité floristique des lianes de la forêt classée de Bouaflé, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 16 (27) : 1857 - 7881.
- Elabo A.A.E. (2009). Recherche de marqueurs biochimiques et protéiques pour la sélection de clones à fort potentiel de production de caoutchouc chez l'hévéa : *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 129 p.
- Eleiwa M.E., Brahim S.A. & Mohamed M.F. (2012). Combined effect of NPK levels and foliar nutritional compounds on growth and yield parameters of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) *African Journal of Microbiology Research*, 6 (24) : 5100-5109.
- Essy F.J.K, Kouassi N.J., Kouamé N. & Yatty K.J. (2022). Effets de la fertilisation organique et de la densité de semis sur les performances agronomiques d'une variété de maïs (f8128) cultivée dans la région du Gbeke (Centre de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(6): 2869-2880.
- Eurofertil (2001). Info technique Agro-fourriture. Le calcium, un élément amendant et fertilisant, *Info technique agro fourniture* n°2, 6 p.
- FAO (2013). FAO statistics database agriculture, Roma : La situation des marchés des produits agricoles. *Production Yearbook*, 5(7): 185-186.
- FAOSTAT (2013). La situation des marchés des produits agricoles dans le monde. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Production yearbooks*, 1(1): 346 p.
- Garane A., Some K., Nikiema J., Ouango K., Traoré M. & Sawadogo M. (2019). Fréquences d'application d'engrais minéraux : Impact sur les variables de croissance et de

- développement de la tomate hivernale (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sous serre au centre du Burkina Faso. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41 (3): 7068-7085.
- Garcia M.A., Ventosa M., Diaz R., Falco S. & Casariego A. (2014). Effects of *Aloe vera* coating on postharvest quality of tomato. *Fruits*, 69. 117-126.
- Garden-landscape (2023). Sur-fertilisation du sol-signes et conséquences pour les plantes [en ligne]. <https://fr.garden-landscape.com/over-fertilization-of-soil-signs-and-consequences-for-plant-3930> (Consulté le 14 février 2023)
- Gboyinde P.M (2019). Synergistic effects of Chitosan and *Aloe vera* gel coatings on tomato, orange and cucumber. A Thesis submitted to the microbiology unit, department of biosciences and biotechnology, college of pure and applied sciences, Kwara State University, Kwara, Nigeria. 24 p.
- Gerbeaud (2022). Que faire avec les tontes de gazon ? [en ligne]. <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/que-faire-des-tontes-de-gazon,2121.html> (Consulté le 14 février 2023)
- Gharib K. & Ben Z.S. (2021). Investigations sur les propriétés antimicrobiennes, antifongiques et antivirales « anti COVID-19 » chez *Aloe vera*. Mémoire de Master en Science Biologique, Université Frères Mentouri Constantine 1, Constantine, Algérie, 48 p.
- Giscard A.A., Gohourou F., Seidou C. & Ang J. (2016). Analyse de la dynamique spatiale des ressources forestières et de ses causes dans la sous-préfecture de Zoukougbeu (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences Historiques*, 1, 25 p.
- Guichard C. (2022). Influence d'*Erythrina poeppigiana* sur les cacaoyers dans les systèmes agroforestiers dominicains. Mémoire de stage présenté pour obtenir le diplôme national de master mention Biodiversité, écologie, évolution. Université de Montpellier, France, 92 p.
- Guillaumet J.L. & Adjanohoun E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM n°50*, Paris (France) : 157-263.
- Havard M. (2013). Optimisation d'un essai système de culture innovant en grandes cultures biologiques dans le contexte Breton. Mémoire de fin d'étude. Stage réalisé à la CRAB (Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne) sur la station d'expérimentation de Kerguéhenec. Université de Rennes, France, 86 p.
- Hazem B. (2011). Selon une étude, le compost du bananier peut accroître les rendements des cultures [en ligne]. <https://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/news/selon->

- une-tude-le-compost-du-bananier-peut-accro-tre-les-rendements-des-cultures/
(consulté 20 juillet 2023).
- Henrion M. (2021). Étude de l'impact des propriétés hydrauliques du sol sur la régulation de la transpiration du tournesol (*Helianthus annuus*) en conditions contrôlées. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, Belgique, 98 p.
- Ignacio S., Alfonso J., Ilaria C. & Carmen G.M. (2020). Encapsulation of Bioactive Compounds from *Aloe vera* Agrowastes in Electrospun Poly (Ethylene Oxide) Nanofibers, polymers. *Polymers*, 12(6): 13-23.
- IIRR & ACT. (2005). Conservation agriculture. Manual for farmers and extension workers in Africa. International Institute of Rural Reconstruction, Nairobi, African Conservation Tillage Network, Harare, Kenya, 251 p.
- Im S.A., Lee Y.R., Lee Y.H., Lee M.K., Park Y.I., Lee S., KIM K. & Lee C.K. (2010). In vivo evidence of the immunomodulatory activity of orally administered *Aloe vera* gel. *Archives of Pharmacal Research*, 33(3):451-6.
- IRRDB (1996). Symposium on farming system aspects of the cultivation of natural rubber (*Hevea brasiliensis*), IRRDB, Beruwala, 150 p.
- Jardiner Autrement (2022). Les éléments nutritifs des plantes [en ligne]. <https://www.jardiner-autrement.fr/elements-nutritifs-plantes/> (Consulté le 30 mars 2023)
- Jin Z., Wang C., Liu Z. & Gong W. (2007). Physiological and ecological characters' studies on *Aloe vera* under soil salinity and sea water irrigation. *Journal of Process Biochemistry*, 4 (2) : 710-714.
- Jobbe-Duval B. (1988). “ Cultures associées à l'hévéa, des cultures permanentes possibles ? ”. Document interne CIRAD, Paris, France, 10 p.
- Kannika S., Chot V. & Ssupata M. (1981). Rubber seed oil for paint in Thailand. *Journal Natural Country Thailand*, 4: 13-14.
- Kéli Z.J., Assiri A.A., Koffi N., N'goran J. & Kebe B.I. (2005). Associations culturales à base de plantes pérennes en Côte d'Ivoire : bilan et perspectives. *Sciences & Nature*, 2 (2) : 193-200.
- Kéli Z.J., Boko C., Assiri A.A., Hubert O., Obouayeba S. & Doumbia A. (2006). Comment associer les cultures vivrières à l'hévéa en milieu paysan ivoirien, 2 p.
- Koffie-bikpo C.Y. & Kra K.S. (2013). « La région du Haut Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire », In : *Revue de géographie tropicale et d'environnement*, n°2, EDUCI, pp.1-9.

- Kouadio A.N. (2021). Effet du gel d'*Aloe vera* dans la conservation post récolte de deux fruits et légumes cultivés dans la localité de Daloa (Côte d'Ivoire) : cas de la tomate (*Solanum lycopersicum*) et du piment (*Capsicum* sp.). Mémoire de Master en Bioressources-Agronomie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 58 p.
- Kouadio Y.D.M., Kouassi K.H., Bahan F.M. & Keli Z.J. (2021). Impact de l'association Hevea-Cafeier sur la production des deux spéculations. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 47 (3): 8497-8505.
- Kouakou A.C.A, Coulibaly B., Kaba D., Anoh K.P & Courtin F. (2018). Dynamique de peuplement et modification paysagère dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Tropicultura*, 36 (2) : 206-216.
- Kouamé N. (2014). Modélisation de la croissance du bananier plantain (*Musa sp.*, AAB, cultivar corne 1) à partir des réseaux de neurones artificiels : cas d'Azaguie et de Yamoussoukro. Thèse de Doctorat, Université Félix HOUPHOUËT- BOIGNY, Côte d'Ivoire, 215 p.
- Kouassi N.J., Koffi, A.M.H., Yah N.M, Kouakou Y.I.J. & Yatty K.J. (2017). Influence de la densité de semis sur les paramètres agronomiques de trois variétés de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp, Fabaceae) cultivées en Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE* 13(4): 327-336.
- Koulibaly B. (2011). Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina. Thèse en Sciences Appliquées à l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 183 p.
- Koulibaly T., N'diaye O., Toguila T.B & N'guatta B.S.J. (2016). Développement de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire, menaces ou opportunités pour les cultures vivrières. *Atelier International Rubber Research and Development Board* - les 28-29-30/09/2016.
- Kouman A.D. (2018). Qualité épuratoire des bassins de traitement des déchets liquides du Centre Hospitalier Régional de Daloa (Côte d'Ivoire) à partir du phytoplancton et de quelques paramètres physico-chimiques. Mémoire de Master en production aquacole et protection de l'environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, 61 p.

- Kpangui K.B., Vroh B.T.A., Goné B.Z.B. & Adou Y.C.Y. (2015). Diversité floristique et structurale des cacaoyères du « V baoulé » : Cas de la sous-préfecture de Kokumbo (centre, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 11(36):1857-7881.
- Kpéra A., Gandonou C.B., André B.A, Gandaho S. & Gnancadja L.S. (2017). Effet de différentes doses de bouse de vache, d'urine humaine et de leur combinaison sur la croissance végétative et le poids des fruits de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) au Sud Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 110(1) : 10761-10775.
- Lassoudière A. (2012). Le bananier un siècle d'innovations techniques. Editions Quae, France : 352-354.
- Leikam D.F., Murphy L.S., Kissel D.E., Whitney D.A. & Mserh H.C. (1983). Effect of nitrogen and phosphorus chorus application and nitrogen source in winter wheat grand yield and leaf tissue phosphorus. *Soil Science*: 530-535.
- Li Y. (2009). The health efficacy of Aloe and its development and utilization. *Asian Social Science*, 5(9): 151-154.
- Mahungu N.M., Ndonga M.A., Frangoie N.A. & Moango M.A. (2015). Effet du labour et du mode de bouturage sur les rendements en racines et en feuilles de manioc dans les zones de savane et de jachères forestières de la République Démocratique du Congo. *Tropicultura*, 33(3) : 176-185.
- Mazinga K.M., Godoy M.J., Longanza B.L., Sikuzani U.Y. & Koninckxloo V.M. (2012). Détermination des teneurs en phytohormones endogènes des organes caulinaires et racinaires des hybrides de bananier (*Musa sp.*). *Journal of Applied Biosciences*, 58: 4243- 4250.
- Michayewicz N. (2013). *Aloe vera*, plante médicinale traditionnellement et largement utilisée depuis des millénaires, aux nombreuses propriétés thérapeutiques. Plante miracle ? Thèse Doctorat en Pharmacie, Université de Lorraine, Lorraine, France, 148 p.
- Morin E. (2008). *Aloe vera* (L.) Burm.f.: Aspects pharmacologiques et cliniques, Doctorat d'Etat en Pharmacie. Université De Nantes, Nantes, France, 224 p.
- MPEER. (2019). CI-Energie, Projet d'électrification rurale de 1 088 localités en Côte d'Ivoire. Rapport final du PCGES Réf:NATRA/2019-09/BI19/PCGES-PROSER, Districts de la vallée du Bandama, des savanes et du Denguele, 257 p.
- Mpiana T.P., Koto-te-Nyiwa N., Damien S., Jason T., Benjamin Z., Domaine T., Clement L., Emmanuel M., Clement M., Aristote M., Gedeon N. & Dorothée D. (2020). Identification of potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease from *Aloe vera* compounds: A molecular docking study. *Chemical Physics Letters*, 754: 137751.

- N'guessan K.A., Yao K.A, Ballo K.C & Alui K.A (2010). Effet de la densité de plantation sur le rendement et les composantes du rendement de *Lippia multiflora*, cultivée au sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of applied biosciences*, 33: 2047-2056.
- Nanema S.L., Nana R., Nguinambaye M.M., Konate B., Badiel B., Djinet A.I. & Tamini Z. (2016). Les teneurs en phytohormones des organes aériens de *Faidherbia albida* (Del) A. Chevalier au cours de la période froide et sèche au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 107: 10395-10406.
- Obouayeba S. (2005). Contribution à la détermination de la maturité physiologique de l'écorce pour la mise en saignée d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae) : Norme d'ouverture. Thèse en Biosciences à l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 225 p.
- Onétié O.Z., Théophile L., Adama C., Derving B., Rosine F.N.G. M., Marc Y. T. & Aristide A.K. (2016). Apport du SIG et de l'analyse multicritère dans la prospection hydrogéologique du Socle précambrien de Gagnoa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12 (23) : 137-154.
- Ouarrak K. (2019). *Aloe vera* une plante millénaire aux vertus thérapeutique. Thèse en Pharmacie, l'Université Mohammed V de Rabat, Maroc, 149 p.
- Ouattara G. (2015). Évaluation agrophysiologique d'itinéraires techniques élaborés pour une production rentable de *Ananas comosus* (L.) Merr. var. MD2 (Bromeliaceae) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat à l'Université de Cocody, Cocody, Côte d'Ivoire, p. 204.
- Ouédraogo J., Nacro H.B., Ouédraogo E., Youl S. & Sedogo M. (2014). Improving phosphorus availability through soil macrofauna management: case of a lixisol in the semi-arid zone of Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4): 1838-1846.
- Oura R.K. (2012). Extension urbaine et protection naturelle : la difficile expérience d'Abidjan. 12 (2). *Vertigo*, 47 p
- Penot E. & Ollivier E. (2009). L'hévéa en association avec les cultures pérennes, fruitières ou forestières : quelques exemples en Asie, Afrique et Amérique latine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 301 (3) : 67 - 82.
- Rahoui W. (2019). Evaluation des effets métaboliques de la consommation du gel de *Aloe vera* chez le rat Wistar Obèse. Thèse de Doctorat 3eme cycle en Biologie, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas, Algérie, 155 p.
- Ramachandra C.T. & Rao S.P. (2008). Processing of *Aloe vera* Leaf Gel: A Review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3 (2): 502-510.

- Ratsiaharovala V. (2011). Contribution à la valorisation des peaux de bananes. Mémoire de fin d'étude. Ecole Supérieure Polytechnique, Département Génie Chimique, Université d'Antananarivo, Madagascar, 93 p.
- Remission S.U. (1980). Varietal response of cowpea to range of densities in a forest zone. *Experimental Agriculture*, 16(2): 201-2006.
- Saidou A., Bachabi S.F.X., Padonou G.E., Biauou O.D.B., Balogoun I. & Kossou D. (2012). Effet de l'apport d'engrais organiques sur les propriétés chimiques d'un sol ferrallitique et la production de laitue au Sud Bénin. *Revue CAMES-Série A*, 13(2): 281-285.
- Saint Pierre C. (1989). "Agroforestry in tropical China. Traditional systems and current evolution". Mémoire de DEA " Biologie végétale, option botanique tropicale appliquée ", Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, France, 89 p.
- Sangaré A., Koffi E.M., Akamou F.M. & Fall C.A. (2009). Rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. République de Côte d'Ivoire. Ministère de l'agriculture. État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture : Second rapport national, Côte d'Ivoire, 63 p.
- Schmelzer G. & Gurib-Fakim A. (2008). Ressources végétales de l'Afrique Tropicale, Plantes médicinales 1, Fondation PROTA, 94-95.
- Scholl L.V. (2000). Gérer la fertilité du sol. Series Agrodok n°02, Wageningen, Pays-Bas, 88 p.
- Schweizer M. (2012). Aloès, la plante qui guérit. *Apophtegme*, 13-14.
- Segda Z., Hien V. & Becker M. (2000). *Mucuna cochinchinensis* dans les systèmes d'association et de rotation culturale au Burkina Faso. In : Ch. Florent, R. Pontanie (éditeurs). *La jachère en Afrique tropicale*. John Libbey-Eurotext, Paris (France): 622-627
- Segnou J., Akoa A., Youmbi E. & Njoya J. (2012). Effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits du piment (*Capsicum annuum* L.; Solanaceae) en zone forestière de basse altitude au Cameroun. *Agronomie Africaine*, 24 (3) : 231-240.
- Seguen W. & Brimess S. (2014). Etude comparative phytochimique et biologique de deux plantes médicinales *Aloe barbadensis* Miller et *Agave americana* L. Mémoire de Master en biodiversité et production des plantes, Université Constantine 1, Constantine, Algérie, 137 p.

- Sharrock S. & Lusty C. (2000). Nutritive value of banana. *In: Inibap annual report 1999*, 45 p.
- Sidibé A., Kamsu K.T., Diarra S., Kwa M. (2020). Etude des caractéristiques agromorphologiques de quelques hybrides de bananiers (*Musa sp.*) au CARBAP de Njombé, Cameroun. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 46 (1): 8129-8140.
- Soriano L. (2016). *Aloe vera*. DESS de cosmétologie, Université du Québec, Canada, 30 p.
- Svjetlana Z., Parađiković N., Davidović J., Gidas E. & Vujošević A. (2020). The effect of water extract of *Aloe vera* (L.) burm.f. on germination and growth of scarlet sage; *Proceedings of the XI International Scientific Agricultural Symposium*, 12 (7): 262-267.
- Taffouo V.D, Etamé J., Din N., Nguелеmeni M.L.P., Eyambé Y.M., Tayou R.F. & Akoa A. (2008). Effets de la densité de semis sur la croissance, le rendement et les teneurs en composés organiques chez cinq variétés niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Applied Biosciences*, 12: 623 - 632.
- Tano A.M. (2012). Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Méadji au Sud-Ouest ivoirien. Thèse en économie à l'Université Toulouse 2 Le Mirail, Toulouse, France, 261pp.
- Tchan Lou B. E. (2016). Genre et relation de pouvoir dans les dynamiques d'appropriation et de valorisation des bas-fonds rizicoles dans la région du Haut-Sassandra. Mémoire de Master en Socio-Économie, Gouvernance et Développement, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire, 102 p.
- Tognetti C., Mazzarino M.J. & Laos F. (2008). Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity, *Soil Biology & Biochemistry*, 40(9): 2290-2296.
- Tougma W.S.R. (2006). Effets de la fertilisation organique et minérale sur la production en biomasse et en huile essentielle de la citronnelle (*Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf) dans la région des Cascades (Ouest du Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur de développement rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 234 p.
- Traore M. (2000). Etude de la phénologie, de la régénération naturelle, et des usages de *Piliostigma reticulatum* (de.) Hochst. en zone nord soudanienne du Burkina Faso ; Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural ; Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 95 p.

- Tuo S., Camara B., Kassi K.F. J-M., Kamaté K., Ouédraogo S.L. & Koné D. (2021). Actualisation de la distribution géographique des cercosporioses des bananiers en Côte d'Ivoire : diversité et incidence de l'agent pathogène. *Journal of Applied Biosciences*. 166: 17188– 17211.
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangij A.K.P., Kyungu K., Baboy L.L., Nyembo K.L. & Mpundu M.M. (2013). Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsole du sud-est de la RD Congo. *Journal Applied Biosciences*, 66: 5070-5081.
- Van Asten P.J.A., Wairegi L.W.I., Mukasa D. & Uringi N.O. (2011). Agronomic and economic benefits of coffee–banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. *Agricultural Systems*, 1 (04): 326–334.
- Vawa O.S.T., Seri S.P., Gnonhouiri G.P., Adiko A. & Otchoumou A. (2021). Effet de l'application des endomycorhizes en replantation annuelle de bananiers sur deux nématodes endomigrateurs : *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* et les rendements des bananiers plantains en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 33(4): 696-705.
- Vincourt P. (1984). Relations entre rythme d'apparition des feuilles, nombre total de feuilles et précocité de floraison chez le maïs. *Agronomie*, 4 (8) : 795-800.
- Weil A. & Duval J. (2009). Les amendements organiques : fumiers et compost. In : *Manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée*, Équiterre, Montréal, Canada, 19 p.
- Yao M., Camara B., Cherif M., Ouattara G., Bomisso L.E., Sorho F., Yocoli E., Kone D. & Dick E.A. (2020). Effets du lit, de la densité de plantation et de la fertilisation sur la croissance végétative de l'ananas (*Ananas comosus* L., var. MD2) à différentes saisons de planting dans la zone de Bonoua en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(7): 2398-2414.
- Yosser B.Z. (2012). Comportements de *Aloe vera* planté sur deux sols de texture différente et soumis à un traitement salin. Projet de fin d'étude, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, Tunisie, 49 p.
- Zean G.M., Ahon D.B & Béné Jean-Claude Koffi B.J-C. (2018). Peuplement avifaunique du Campus Universitaire Jean Lorougnon Guédé, Daloa et sa périphérie (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6): 2503-2518.

- Zerrad W., Maataoui B.S., Hilali S., El Antri S. & Hmyene A. (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, 9 (2) : 27-36.
- Zomboudré G., Zombré G., Ouedraogo M., Guinko S. & Macauley H.R. (2005). Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, (1): 75-85.
- Zro B.F.G, Soro D. & Abobi D.H.A. (2018). Analyse comparée des effets de deux amendements organiques sur le statut organo-minéral et la productivité d'un sol sableux. *Journal of Applied Biosciences*, 124: 12416-12423.

ANNEXES

Annexe 1: Quelques étapes de la réalisation de la pépinière de *Aloe vera*



A : Nettoyage du site ; **B** : Abri construit pour protéger les plants du rayonnement solaire ; **C** : Sachets remplis de substrat et disposés sous l'abri ; **D** : Plantation des rejets de *Aloe vera*

Annexe 2: Mesure des feuilles de *Aloe vera*



Annexe 3: Lecture du pH des substrats



Annexe 4: Pots contenant les amendements liquides préparés



A : Pots disposés après préparation des amendements ; **B** : Apparition de mousse deux semaines après préparation

Annexe 5: Plante de *Aloe vera* plantée à la densité 10000 plants / ha cinq mois après plantation



Annexe 6: Photo de l'expérience de l'association bananier-*Aloe vera*



Annexe 7: Photos de l'expérience de l'association hevea-*Aloe vera*



A : Mise en place des buttes ; **B** : Pourriture des feuilles de *Aloe vera* associées aux arbres matures d'hévéa

Annexe 8: Culture pure de *Aloe vera* mise en place suivant la fiche technique élaborée



**PRODUCTIONS
SCIENTIFIQUES**

ARTICLES

N'goran K.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Zoh O.D, Sey J. & Akaffou D.S. (2023). Effect of organic amendments on *Aloe vera* growth in nursery in Daloa, Côte d'Ivoire. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, Vol-8, Issue-2. 9 p

N'goran K.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Zoh O.D, Sey J. & Akaffou D.S. (2023). Evaluation of Intercropped *Aloe vera* with plantain on Growth and yield Status in a real culture situation in Daloa, Côte d'Ivoire. *Journal of Experimental Agriculture International*. Volume 45, Issue 10, Page 250-261.



Effect of organic amendments on *Aloe vera* growth in nursery in Daloa, Côte d'Ivoire

N'goran Koffi Désiré*, Tonessia Dolou Charlotte, Soumahin Eric Francis, Zoh Olivia Dominique, Sey Junias, Akaffou Doffou Selastique

Agricultural Production Improvement Laboratory, UFR-Agroforestry, University Jean Lorougnon Guédé BP 150 Daloa, Ivory Coast

*Corresponding Author

Received: 02 Feb 2023; Received in revised form: 02 Mar 2023; Accepted: 08 Mar 2023; Available online: 15 Mar 2023

©2023 The Author(s). Published by Infogain Publication. This is an open access article under the CC BY license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract— In the face of climate change, the optimization of crop diversification policy in Côte d'Ivoire must go through research and promotion of crops of interest that require little water, including *Aloe vera*. However, in view of its slow growth in nursery, the improvement of growth substrate fertility by the supply of nutrients is necessary. Thus, this study aims at assessing the effects of six organic matter formulations on *Aloe vera* growth in nursery. To this end, a completely randomized block experimental design comprising six treatments and three replications was carried out. The amendments tested were cow dung, chicken droppings, charcoal, banana tree stems and ripe plantain and dessert bananas. The results showed substrate pH variability (6.67 to 7.87) depending on the amendments. Leaf emergence speed increased with cow dung from the 80th day after planting. Similarly, the highest number of leaves was obtained with cow dung (9.33 leaves). With 22.89 cm in average length and 1.65 cm in average width, the leaves generated with cow dung were also the longest and widest. This study showed that cow dung promotes rapid *Aloe vera* growth in nursery.

Keywords— Climate change, Crop diversification, *Aloe vera*, Nursery, Organic matter

I. INTRODUCTION

Côte d'Ivoire has based its economy since its independence on agriculture. This agriculture is dominated by cash crops such as coffee, cocoa, oil palm, cotton and rubber (Sangaré *et al.*, 2009). Alongside these cash crops, there are food crops such as bananas. With an annual yield estimated at 1.6 million tons (Nindjin *et al.*, 2003), it ranks third in terms of food production. It is an important source of income, employment and export earnings (Foure & Tezenas, 2000). Moreover, food crops contribute to local and regional economic development, ensuring regular income for producers.

However, the rapid growth of the Ivorian population, which rose from 2630000 in 1950 to 21295000 in 2015 (Kouakou *et al.*, 2018) has a significant impact on agriculture. Indeed, this population growth has led to strong anthropogenic pressure on arable land and a strong reduction in the area occupied by forests. This situation has

been exacerbated in recent years by insufficient and irregular rainfall, subjecting crops to water stress, which seriously limits their growth as well as plant productivity (Zerrad *et al.*, 2008). Consequently, farmers are faced with a drop in their agricultural yield and therefore in their income. Faced with this observation, the optimization of crop diversification policy through research and the promotion of crops of interest and requiring little water is necessary. *Aloe vera*, which appears to be an interesting alternative, fits in this perspective.

Indeed, *Aloe vera* is a succulent plant that can grow with low or irregular water availability (Svjetlana *et al.*, 2020). Moreover, the presence of bitter anthraquinones and other polyphenolic components makes the plant unattractive to pests and pathogens (Gharib, 2021). *Aloe vera* is mainly cultivated for its leaves from which juice and gel are extracted, which give rise to the development of products with diversified uses to such an extent that the plant has now

become a marketing strategy (Onyinyechi *et al.*, 2021). The main producing countries are Mexico, Venezuela and the Dominican Republic. In this regard, the American continent alone produces 60% of *Aloe vera* gel sold in the world, while the remaining 40% comes from Asia and Australia (Michayewicz, 2013). In these countries, *Aloe vera* is grown to meet the ever-increasing international demand. According to IMF estimates, the *Aloe vera* market could bring in more than \$3.3 billion dollars by 2026 (Anonymous 1, 2022). For Africa and other developing countries, this could therefore become a major financial windfall.

In West Africa, Nigeria is the leading *Aloe vera* producer. However, its yield is intended for the local market (Michayewicz, 2013). In Côte d'Ivoire, *Aloe vera* is an unknown plant that is mainly grown as an ornamental plant on degraded soils. Its cultivation is preferably done vegetatively because of the rapid growth of suckers compared to propagation through seeds. These can be cut from the mother plant when they reach 15-20 cm in length, and can be cultivated in nursery in the first year (Michayewicz, 2013). However, growth in nursery lasts a year or more due to the slow growth of this plant which can give vigorous plants to be transplanted to the field. Thus, any attempt to promote this plant must think about improving growth substrate fertility by providing nutrients to boost its cultivation.

To date, it is difficult to find works devoted to the search for standard amendments for a sustainable and large-scale *Aloe vera* yield. The hypothesis we put forward is that the contribution of organic matter to the soil would positively influence *Aloe vera* growth parameters. Thus this study, which was carried out in Daloa in west central Côte d'Ivoire, aims at assessing the effects of six organic matter formulations on *Aloe vera* growth in nursery. The organic matter used in this study were composed of plant and animal waste from the Daloa region.

II. MATERIAL AND METHODS

Study site

This study was conducted on an experimental plot at the University Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) located in the department of Daloa (West central Côte d'Ivoire). It is bounded by the West longitudes 6.48° and 6.41° and the North latitudes 6.91° and 6.84° (Adjiri *et al.*, 2018). The climate of this region is of the subequatorial Attiean type (Adjiri *et al.*, 2020) with two seasons, namely a dry season and a rainy season. The dry season extends over four months (November to February). As for the rainy season, it lasts eight months and extends from March to October. The wettest months are April, August and September when an average of 103.58 mm of rain is recorded each year.

Furthermore, the average annual temperature is 26.3°C and the months of November and May are the driest with average temperatures of 26.2 and 27.9°C, respectively (Dro *et al.*, 2020). The soils in this area are generally ferralitic, moderately leached on firm land and sandy hydromorphic (Zro *et al.*, 2018).

Methodology

Trial set up

The trial was set up in December 2020 and lasted four (04) months. The plant material used in this study consisted of *Aloe vera* suckers with a size between 15 and 20 cm (Michayewicz, 2013). These all-comer suckers were collected from different districts of Daloa near homes.

The organic amendments tested included:

- Cow dung (1);
- Chicken droppings (2);
- Charcoal (3);
- Banana tree stems or banana stipes (4);
- Ripe plantain (5);
- Ripe dessert banana (6);

The soil used as substrate was collected from the experimental plot of UJLoG. The organic matter tested were mixed with soil in 15-cm high pots with a surface area of 0.0176 m².

For each pot the height was divided into three (03) of which 2/3 were filled with soil and 1/3 with the amendment except for the pots containing the bananas. Indeed, at this point, the pots were completely filled with soil and then holes were made in each banana which, subsequently, were buried in the ground at the rate of one banana per pot. In each pot, the suckers were buried so that only the roots were covered with the substrate except for dessert bananas and plantains where the suckers were buried in the holes made inside them and then covered with substrate. The control was made up of a pot filled entirely with soil collected from the experimental plot. The Experimental Design was a completely randomized block with 3 replications (Fig. 1). Plant monitoring consisted of watering as needed when the surface of the substrate was dry. Also, regular cleaning was carried out in order to avoid any competition of weeds with *Aloe vera* plants.

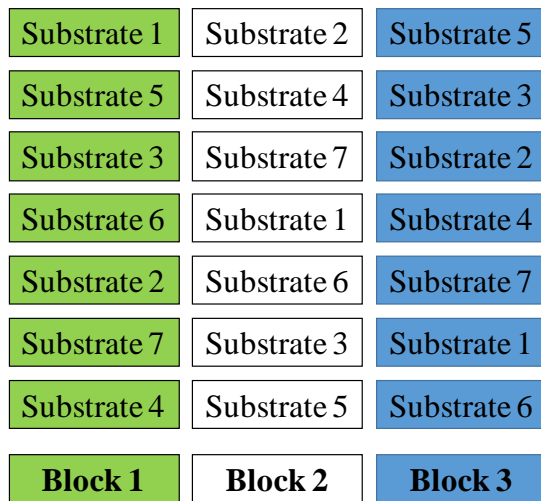


Fig 1: Experimental design

Substrate 1: Control; Substrate 2: Soil + cow dung; Substrate 3: Soil + chicken droppings; Substrate 4: Soil + charcoal; Substrate 5: Soil + banana stipes; Substrate 6: Soil + ripe plantain; Substrate 7: Soil + ripe dessert banana.

Parameters measured

The observations focused on substrate growth parameters and pH monitoring. Substrate pH, determined by the electrometric method with a pH meter (Alla et al., 2018) was measured every 20 days. The probe was pushed, after cleaning with a cloth, into the substrate about 10 cm followed by the reading one (01) minute later. This operation was repeated three times at different locations of the substrate contained in each pot in order to calculate the average for result reliability.

The growth parameters concerned leaf emergence speed, the number of emerged leaves, leaf length and width over time. Thus, a leaf was considered new when its length reached 4 cm (Yosser, 2012). The length of the new generated leaves as well as their width were taken every 20 days using a graduated ruler.

Statistical analysis of data

The data collected was subjected to statistical tests using Statistica 7.1 software. An analysis of variance made it possible to assess the effects of amendments on *Aloe vera* sucker growth. The hypothesis of equality of averages was assessed at α risk = 5%. If this last hypothesis was rejected, the Newman-Keuls multiple comparison test (at α risk threshold = 5%) made it possible to classify the averages into homogeneous groups.

III. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Results

3.1.1. pH of the different substrates

The measured pHs varied from 6.67 to 7.87 and are shown in Table 1 and Fig. 2. The pH values showed a significant difference ($P < 0.05$) regarding substrates.

Compared to the pH of the control which was 7.87 and which represented the starting pH of the substrates, the input of amendments led to a drop in the pH of the substrates. A very significant reduction was obtained with cow dung, ripe plantain, chicken droppings and charcoal amendments. However, these pH remained basic with the exception of the substrate amended with charcoal powder which was acidic (6.67).

Table 1: Average pHs of the studied substrates

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	P
Average pH	7.87 ^a	7.36 ^b	7.59 ^{ab}	6.67 ^c	7.69 ^{ab}	7.49 ^b	7.73 ^{ab}	0.00

The averages on the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold.

S1: reference; **S2:** Soil + cow dung; **S3:** Soil + chicken droppings; **S4:** Soil + charcoal; **S5:** Soil + banana stipes; **S6:** Soil + ripe banana plantain; **S7:** Soil + ripe dessert banana; **P:** Probability

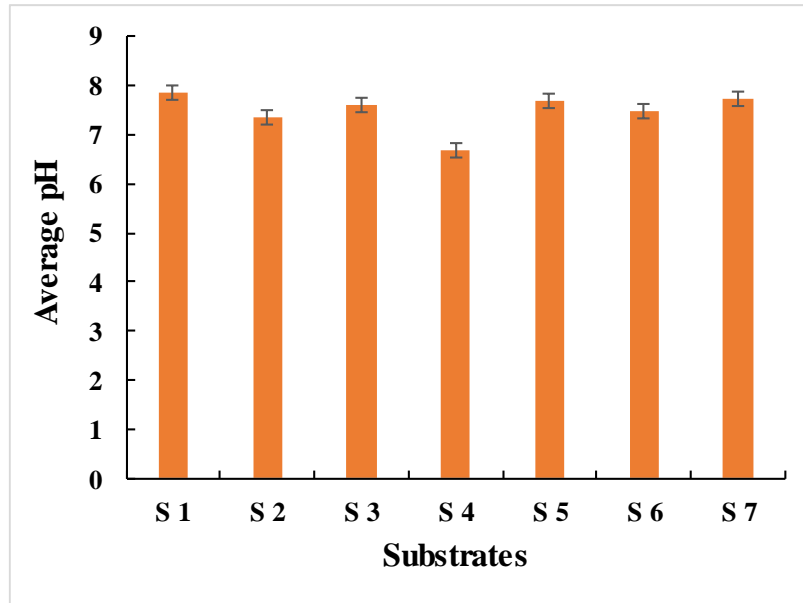


Fig. 2 : Average pHs depending on the substrates

S 1: Control; S 2: Soil + cow dung; S 3: Soil + chicken droppings; S 4: Soil + charcoal; S 5: Soil + banana stipes; S 6: Soil + ripe plantain; S 7: Soil + ripe dessert banana

3.1.2. Leaf emergence speed

Leaf emergence speed followed the same evolution regardless of the type of substrate (Fig. 3). The analysis of variance of the data shows that the amendments used did not

significantly influence ($P > 0.05$) new (Table 2). However, Figure 3 shows a slight increase in leaf emergence speed from the 80th day after planting on substrate 2 (cow dung) and from the 100th day after planting on the substrate amended with chicken droppings (substrate 3).

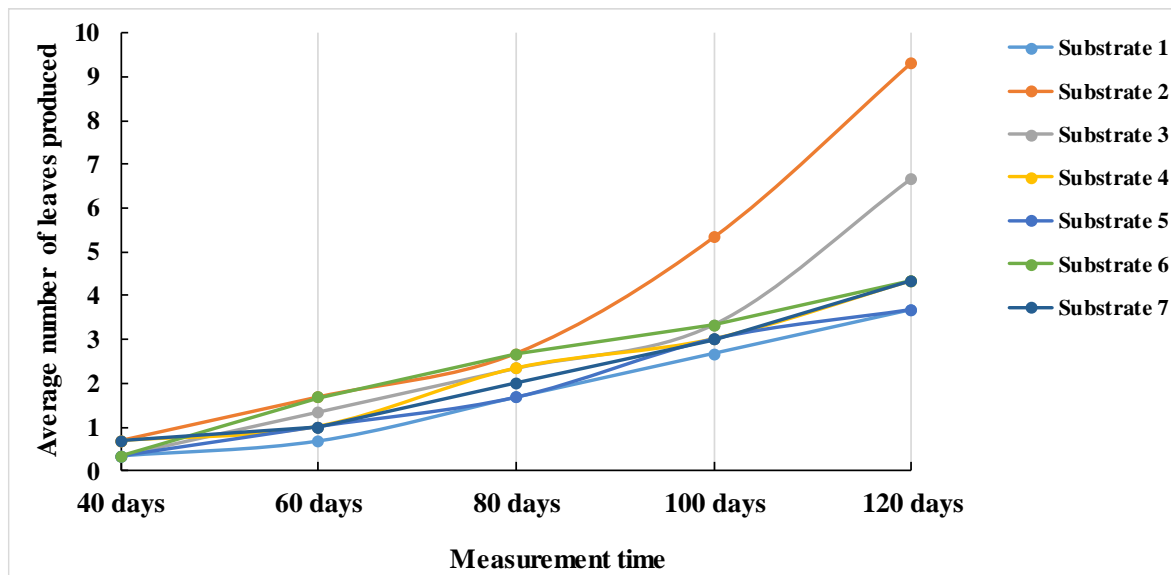


Fig. 3 : Evolution of the average number of leaves generated on the substrates depending on time

Table 2: Average number of leaves generated on the substrates

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	P
40 days	0.33 ^a	0.67 ^a	0.33 ^a	0.67 ^a	0.33 ^a	0.33 ^a	0.67 ^a	0.93
60 days	0.67 ^a	1.67 ^a	1.33 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.67 ^a	1.00 ^a	0.33
80 days	1.67 ^a	2.67 ^a	2.33 ^a	2.33 ^a	1.67 ^a	2.67 ^a	2.00 ^a	0.34
100 days	2.67 ^a	5.33 ^a	3.33 ^a	3.00 ^a	3.00 ^a	3.33 ^a	3.00 ^a	0.17
120 days	3.67 ^a	9.33 ^a	6.67 ^a	4.33 ^a	3.67 ^a	4.33 ^a	4.33 ^a	0.17

The averages on the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold.

S1: reference; S2: Soil + cow dung; S3: Soil + chicken droppings; S4: Soil + charcoal; S5: Soil + banana stipes; S6: Soil + ripe banana plantain; S7: Soil + ripe dessert banana; P: Probability

3.1.3. Number of emerged leaves

The number of emerged leaves on the different substrates is illustrated by Fig. 4. Organic fertilizers increased the number of emerged leaves except banana tree stems which generated a number (3.67 leaves) identical to

that of the control (3.67 leaves). The highest number of leaves was obtained on substrates 2 (9.33 leaves) - cow dung-based - and 3 (6.67 leaves) - chicken dropping-based -, respectively. However, statistical analysis revealed no significant difference ($P > 0.05$).

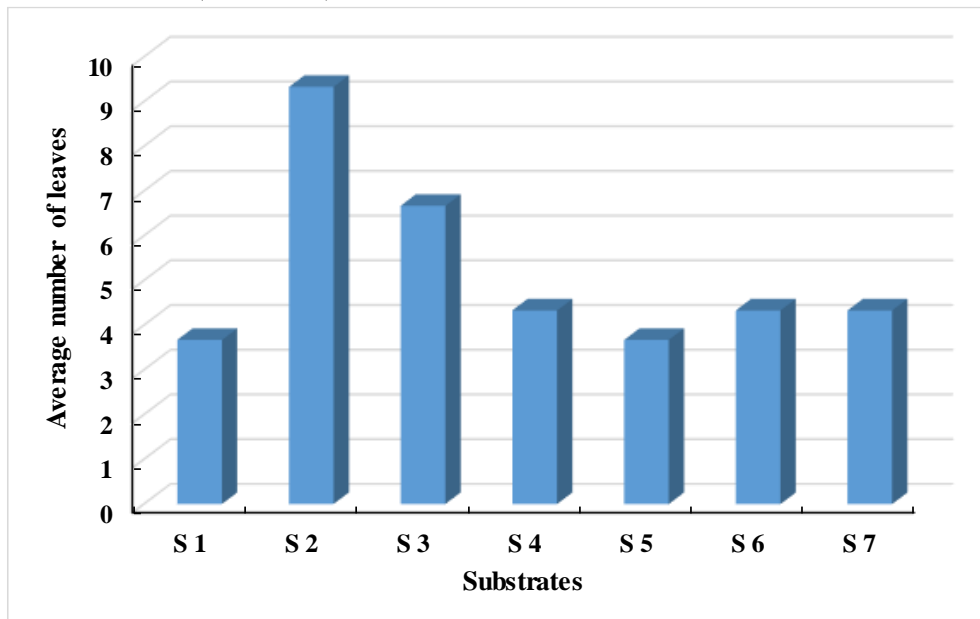


Fig. 4 : Number of leaves generated depending on the substrates

S 1: Control; S 2: Soil + cow dung; S 3: Soil + chicken droppings; S 4: Soil + charcoal; S 5: Soil + banana stipes; S 6: Soil + ripe plantain; S 7: Soil + ripe dessert banana

3.1.4. Effect of amendments on the length of new generated leaves

Fig. 5 shows that the average length of generated leaves on amended substrates increased with time. However, the leaves generated on the amended substrates were longer than those generated on the non-amended control. Thus, significant differences ($P < 0.05$) were

observed from the 80th day (Table 3I). Substrate 2, with cow dung, was the one that produced the longest leaves from the 40th day after planting (8.50 cm) to the 120th day (22.89 cm). It was followed by the one with chicken droppings even if on the 120th day after planting no significant difference was observed between substrates 2, 3 and 4. The same was true for substrates 1,5,7 where no significant difference was

observed although the average lengths of generated leaves on substrates 5 and 7 were greater than those of the leaves generated on the control from the 100th day.

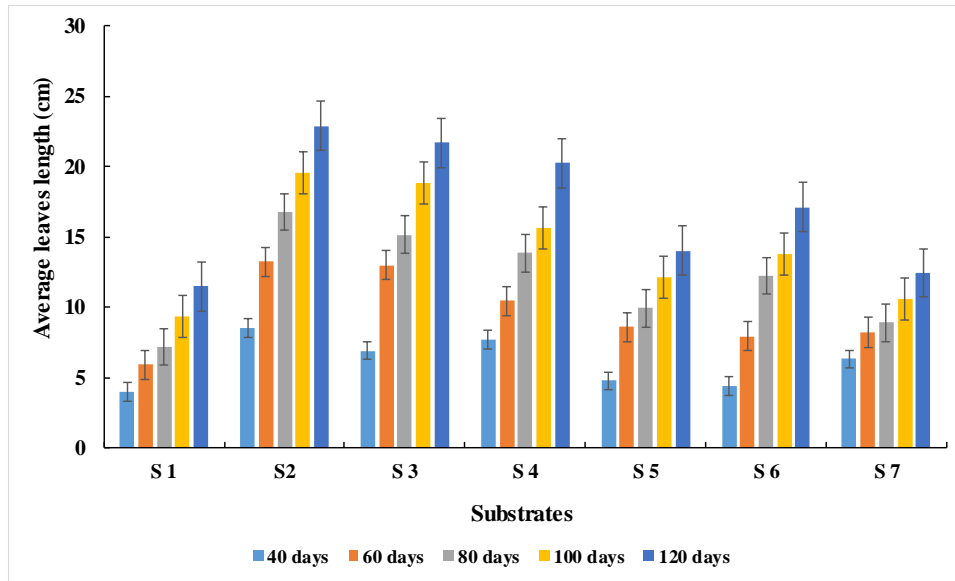


Fig. 5 : Evolution of the average length of leaves generated on the substrates depending on time

S1: Control; S2: Soil + cow dung; S3: Soil + chicken droppings; S4: Soil + charcoal; S5: Soil + banana stipes; S6: Soil + ripe plantain; S7: Soil + ripe dessert banana

Table 3: Average length of leaves generated on substrates

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	P
40 days	4.00 ^a	8.50 ^a	6.90 ^a	7.70 ^a	4.75 ^a	4.40 ^a	6.30 ^a	0.38
60 days	5.90 ^a	13.25 ^a	13.00 ^a	10,45 ^a	8.60 ^a	7.90 ^a	8.20 ^a	0.37
80 days	7.16 ^c	16.78 ^a	15.16 ^{ab}	13.84 ^{abc}	9.92 ^{abc}	12.22 ^{abc}	8.88 ^{bc}	0.00
100 days	9.38 ^b	19.60 ^a	18.83 ^a	15.66 ^{ab}	12.08 ^b	13.79 ^{ab}	10.53 ^b	0.00
120 days	11.49 ^b	22.89 ^a	21.71 ^a	20.24 ^a	14.00 ^b	17.12 ^{ab}	12.43 ^b	0.00

The averages on the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold.

S1: reference; S2: Soil + cow dung; S3: Soil + chicken droppings; S4: Soil + charcoal; S5: Soil + banana stipes; S6: Soil + ripe banana plantain; S7: Soil + ripe dessert banana; P: Probability

3.1.5. Effect of Amendments on center width of new generated leaves

Fig. 7 shows the average width of *Aloe vera* leaves of measured on the different substrates. Significant differences ($P < 0.05$) between the substrates were observed on the 80th day after planting (Table 4). The amended substrates all favored good leaf width growth compared to the control. The substrates amended with cow dung and chicken droppings induced better *Aloe vera* leaf width growth. However, cow dung promotes leaf width growth

better than chicken droppings. Indeed, the highest average width was obtained with cow dung (1.34 cm). On the 100th day after planting, cow dung and chicken droppings generated the largest leaves with averages of 1.43 cm and 1.39 cm, respectively. After 120 days of planting, the widest leaves were still those obtained on substrates amended with cow dung (1.65 cm) and chicken droppings (1.61 cm). The lowest averages were obtained with the control substrate even if between the 100th and 120th day after planting, the leaves obtained on substrate 5 had the same average width as those obtained on the control.

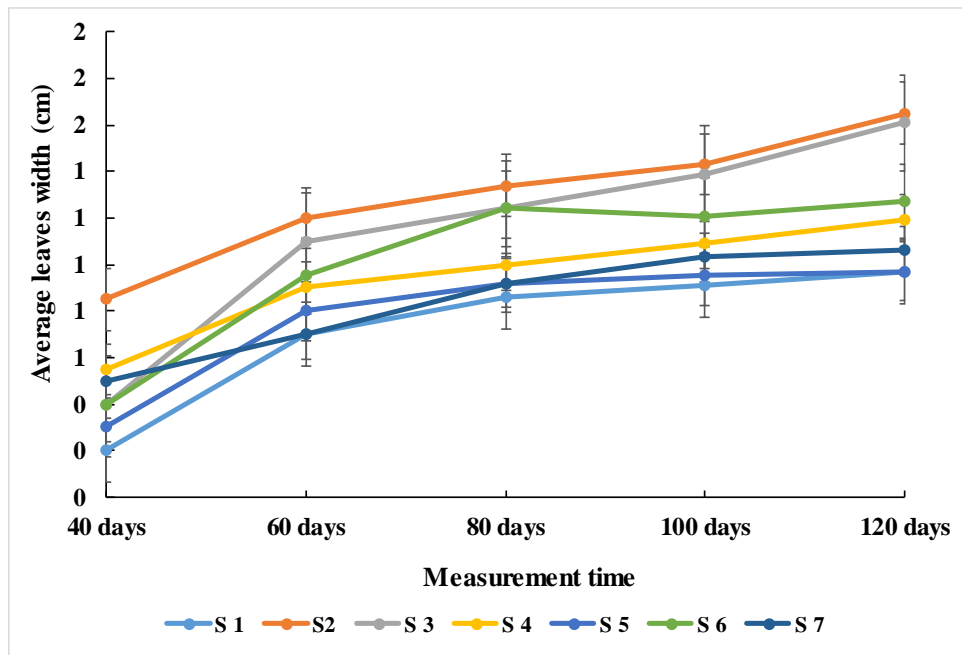


Fig 6: Evolution of the average width of the leaves generated on the substrates depending on time

S1: reference; S2: Soil + cow dung; S3: Soil + chicken droppings; S4: Soil + charcoal; S5: Soil + banana stipes; S6: Soil + ripe banana plantain; S7: Soil + ripe dessert banana

Table 4: Average width of the leaves generated on substrates

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	P
40 days	0.20 ^a	0.85 ^a	0.40 ^a	0.55 ^a	0.30 ^a	0.40 ^a	0.50 ^a	0.68
60 days	0.70 ^a	1.20 ^a	1.10 ^a	0.90 ^a	0.80 ^a	0.95 ^a	0.70 ^a	0.06
80 days	0.86 ^b	1.34 ^a	1.24 ^{ab}	1.00 ^{ab}	0.92 ^{ab}	1.24 ^{ab}	0.92 ^{ab}	0.01
100 days	0.91 ^b	1.43 ^a	1.39 ^a	1.09 ^{ab}	0.95 ^b	1.21 ^{ab}	1.03 ^b	0.02
120 days	0.97 ^b	1.65 ^a	1.61 ^a	1.19 ^b	0.97 ^b	1.27 ^b	1.06 ^b	0.00

The averages on the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold.

S1: reference; S2: Soil + cow dung; S3: Soil + chicken droppings; S4: Soil + charcoal; S5: Soil + banana stipes; S6: Soil + ripe banana plantain; S7: Soil + ripe dessert banana; P: Probability

3.2. Discussion

The pH of *Aloe vera* growth substrates evolved differently depending on the types of amendment ranging from 7.87 to 6.67. The organic amendments supplied therefore did not have the same influence on the modification of soil pH. The variability of pH takes into account the nature of organic amendments (Koulibaly, 2011). Charcoal input resulted in an acidic pH while other inputs kept the soil at a basic pH. This result is in contradiction with the results which tend to show that charcoal, due to its adsorbent properties, tends to increase soil pH (Bio, 2016). We could explain our results by the quality of charcoal used or the management of the crop. For example, poorly controlled irrigation can lead to excessive

drainage, loss of bases and Ca²⁺ at depth, resulting in acidification of the surface (Koulibaly, 2011). However, the variation in pH was not an obstacle to the cultivation of aloe in nurseries. These results are in agreement with some authors who have shown that *Aloe vera* is generally cultivated on soils whose pH varies between 6.0 and 7.20 and can even tolerate high pHs (Anonymous 2, 2022; Gharib, 2021).

Leaf generating speed and total number of generated leaves, although improved by the input of organic fertilizers, were not statistically different from one substrate to another before 80 days after sowing. One could conclude that the examination of the comparative rhythms of emergence of *Aloe vera* leaves is first of a genetic order. As

a result, it provides information both on the size of the leaf system and on the number of leaves up to the adult stage of the plant (Vincourt, 1984). However, these genetic characteristics can be influenced by the cultivation environment. Indeed, at 80 and 100 days after planting, it was noted the intensification of leaf emergence on the substrates amended with cow dung and chicken droppings, respectively. In fact, these organic constituents have, in the meantime, been mineralized to be made available to the plant for its development (Segnou *et al.*, 2012; Etter, 2017).

The amendments supplied have relatively improved *Aloe vera* leaf growth in length and width. According to Djéké *et al.*, (2011) and Useni *et al.*, (2013), the decomposition of organic fertilizers raises the levels of soil nutrients available to plants. These results would therefore result from a favorable action of the nitrogen and humus contained in these organic amendments, in particular cow dung and chicken droppings (Dembele, 2014). Indeed, according to Eleiwa *et al.* (2012), plant vegetative growth is positively correlated with nutrient absorption, in particular nitrogen which plays an important role in the increase in leaf area index and generation as well as photosynthetic activity. In addition, the results obtained in plants that received chicken droppings could be explained by the essential role that assimilable phosphorus, released into the soil by this manure, plays in growth and development, as well as in plant metabolism and energy transport (Ouedraogo *et al.*, 2014). Similarly, according to Kouassi *et al.* (2017), charcoal contributes to nitrogen immobilization. In fact, adding charcoal to heavily weakened tropical soils improves their physical, chemical and biological properties. As a result, these soils can acquire good cation exchange capacities (CEC) and better abilities to retain and recycle nutrients over long cultivation periods. These results would therefore be attributable to this capacity possessed by charcoal. Through the effects due to banana, it seems that nitrogen assimilation by plants is favored by the strong presence of potassium and phosphorus in banana peel, as thought by Leikam *et al.*, (1983). According to them, adequate phosphorus and potassium nutrition can increase the crop's growth response to nitrogen. The results obtained, in connection with substrate 5, show a low quantity of nitrogen in banana tree stems, which would justify the weak growth of the plants having evolved on this substrate compared to other fertilizers. Indeed, nitrogen is the most important nutrient for good growth of *Aloe vera* plants (Michayewicz, 2013). This observation is confirmed by Harry *et al.* (2011) who claim that the concentrations of total nitrogenous matter in banana tree stems are low and close to a straw.

IV. CONCLUSION

Cow dung, chicken droppings, charcoal, banana stipes, ripe plantain, and ripe dessert banana were used to determine and compare their effects on *Aloe vera* sucker growth in nursery. The results show that the pH of the substrates depends on the type of amendment supplied. This pH varied from 6.67 to 7.87. Regarding growth parameters, thanks to its richness in nitrogen, cow dung intensified leaf emergence speed. Moreover, with 9.33 leaves generated, 2.89 cm average leaf length and 1.65 cm average leaf width, it favored the rapid growth of *Aloe vera* suckers. Thus, for the establishment of an *Aloe vera* nursery, the use of cow dung could be recommended to promote good and rapid growth of suckers.

REFERENCES

- [1] Adjiri, O., Assoma, T.V., Soro, G., Aka, N., Bengaly, I. and Soro, N. (2020). Evaluation of the suitability of natural spring waters for agriculture using hydrochemical techniques: the case of the departments of Daloa and Zoukougbeu, Ivory Coast. *Africa Science*, 16 (1): 204-217.
- [2] Adjiri, O., Kouamé, V., Niangoran, C.K., Soro G. and Biémi, J. (2018). Toxic waste dumping in Ivory Coast: following the effectiveness of the clean-up operation based on residual pollution indicators. *Environment, Risks & Health*, 2 (17): 147-154.
- [3] Alla, K.T., Bomisso, E.L., Ouattara, G. and Dick, A.E. (2018). Effects of plantain peel by-product fertilization on agromorphological parameters of the F1 Eggplant variety kalenda (*Solanum melongena*) in Bingerville locality, Ivory Coast. *Journal of Animal & Plant Sciences*. Vol.38, Issue 3: 6292-6306.
- [4] Anonymous 1 (2022). Mexico big producer of the beauty scrunchie [online]. <https://www.actulatio.com/2021/08/16/1-aloe-vera-the-mexico-big-producer-of-scrunchie-beauty/> (Consulted on 03/09/2022).
- [5] Anonymous 2 (2022). What type of soil for Aloe vera? [online]. <https://plantsguide.com/what-type-of-soil-for-aloe-vera/> (consulted on 25/01/2023).
- [6] Bio, S. (2016). Growing differently: local examples of agro-ecological techniques. 21 p.
- [7] Dembele, A. (2014). Response of maize (*Zea mays* L.) to compost or manure on soils amended with fragmented twigs of *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. DEA thesis. University of Polytechnic of Bobo-Dioulasso. Burkina Faso, 64 p.
- [8] Djéké, D.M., Angui, K.T.P. and Kouadio, Y.J. (2011). Decomposition of cocoa shells in ferralitic soils of the Oumé area, west-central Ivory Coast: effects on soil chemical characteristics. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*. 15 (1), 109 - 117.
- [9] Dro, B., N'goran, K.D., Coulibaly, S., Salla, M., Amon, A.D.E and Kouassi, K.H (2020). Floristic Diversity of the Lianas of the Forest Classified as Bouaflé, Centre West of

- Ivory Coast. *European Scientific Journal*. Edition Vol.16, No.27 ISSN: 1857 - 7881.
- [10] Eleiwa, M.E., Brahim, S.A. and Mohamed, M.F. (2012). Combined effect of NPK levels and foliar nutritional compounds on growth and yield parameters of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) *African Journal of Microbiology Research*, 6 (24) : 5100-5109.
- [11] Etter, A. (2017). Organic fertilizers: yield and quality. Review UFA 10/ 2017, 2 p.
- [12] Foure, E. and Tezenas, D.M. (2000). Banana production: a major economic challenge for food security. *Newsletter of the regional cooperation for the development of horticultural products in Africa*, 1 (8) : 23-28.
- [13] Gharib, K. and Ben, Z.S. (2021). Investigations on Antimicrobial, Antifungal and Antiviral Properties of *Aloe vera*. Master thesis, University Brothers Mentouri Constantine 1, 48p.
- [14] Kouakou, A.C.A., Coulibaly, B., Kaba D., Anoh, K.P and Courtin, F. (2018). Settlement dynamics and landscape modification in the Marahoué National Park (Ivory Coast). *TROPICULTURA*, 36(2): 206-216.
- [15] Koulibaly, B. (2011). Characterization of soil acidification and fertility management of cotton agrosystems in Burkina. Thesis at the University of Ouagadougou Option Applied Sciences Speciality: Agro-pedology. 183 p.
- [16] Leikam, D.F., Murphy, L.S., Kissel, D.E., Whitney, D.A. and Mserh, H.C. (1983). Effect of nitrogen and phosphorus chorus application and nitrogen source in winter wheat grand yield and leaf tissue phosphorus. *Soil. SCI. AMG*: 530-535.
- [17] Michayewicz, N. (2013). *Aloe vera*, a medicinal plant traditionally and widely used for thousands of years, with numerous therapeutic properties. Miracle plant? Doctoral thesis, University of Lorraine, France, 148p.
- [18] Nindjin, K.A.G., Agbo, N.G. & Otokore, O.D. (2003). Varieties of yams (*Dioscorea spp*) found on markets in Ivory Coast and their culinary preference Post-harvest, 32 p.
- [19] Onyinyechi, C., Amobi, A.A., Cynthia, E., Chineye, L., Nneka, M.U.C., Simeon, O., Chidimma, C., Kelechi, M.O.F. and Chukwuebuka, O. (2021). In vivo study of antiplasmodium and histological activity of *Garcinia kola* and *Aloe vera* extracts against *Falciparum malaria*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 15 (5) : 18-195.
- [20] Ouédraogo, J., Nacro, H.B., Ouédraogo, E., Youl, S. and Sedogo, M. (2014). Improving phosphorus availability through soil macrofauna management: case of a lixisol in the semi-arid zone of Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(4): 1838-1846.
- [21] Sangare, A., Koffi, E.M., Akamou, F.M. & Fall, C.A. (2009). National Report on the State of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Republic of Ivory Coast. Ministry of Agriculture. The State of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: Second National Report. 63 p.
- [22] Segnou, j., Akoa, A., Youmbi, E. and Njoya, J. (2012). Effect of mineral and organic fertilization on fruit yield of chilli (*Capsicum annum* l.; solanaceae) in lowland forest zone in Cameroon. 10 p.
- [23] Svjetlana, Z., Parađiković, N., Davidović, J., Gidas, E. and Vujošević, A. (2020). The effect of water extract of *Aloe vera* (L.) burm.f. on germination and growth of scarlet sage; *Proceedings of the XI International Scientific Agricultural Symposium Agrosym* , 12 (7) : 262-267.
- [24] Useni, S.Y., Chukiyabo, K.M., Tshomba, K.J., Muyambo, M.E., Kapalanga, K.P., Ntumba, N.F., Kasangij, A.K.P., Kyungu, K., Baboy, L.L., Nyembo, K.L. and Mpundu, M.M. (2013). Use of recycled human waste for increasing maize (*Zea mays* L.) production on a ferralsol in southeastern DR Congo. *Journal Applied Biosciences*. 66: 5070 - 5081.
- [25] Vincourt, P. (1984). Relationships between leaves appearance rhythm, total number of leaves and flowering precocity in maize. *Agronomy*, 4 (8), pp.795-800.
- [26] Yossier, B.Z. (2012). Behaviour of *Aloe vera* planted on two different textured soils and subjected to saline treatment. End of study project. Mograne High School of Agriculture, 49 p.
- [27] Zerrad, W., Maataoui, B.S., Hilali, S., El Antri, S. and Hmyene, A. (2008). Comparative study of biochemical mechanisms of resistance to water stress in two varieties of hard wheat. *Lebanese Science Journal*, 9(2). 27-36.
- [28] Zro, B.F.G, Soro, D. and Abobi, D.H.A (2018). Comparative analysis of the effects of two organic amendments on the organo-mineral status and productivity of a sandy soil. *Journal of Applied Biosciences* 124: 12416 - 12423.



Evaluation of Intercropped *Aloe vera* with Plantain on Growth and Yield Status in a Real Culture Situation in Daloa, Côte d'Ivoire

N'goran Koffi Désiré ^{a*}, Tonessia Dolou Charlotte ^a,
Soumahin Eric Francis ^a, Zoh Olivia Dominique ^a,
Sey Junias ^a and Akaffou Doffou Selastique ^a

^aLaboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, UFR-Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: 10.9734/JEAI/2023/v45i102217

Open Peer Review History:

This journal follows the Advanced Open Peer Review policy. Identity of the Reviewers, Editor(s) and additional Reviewers, peer review comments, different versions of the manuscript, comments of the editors, etc are available here: <https://www.sdiarticle5.com/review-history/106674>

Original Research Article

Received: 20/07/2023

Accepted: 26/09/2023

Published: 06/10/2023

ABSTRACT

Rains decrease and irregularity represent a threat to farmers and call for crops of interest's promotion like *Aloe vera*, requiring little water. Therefore, lands rarity compels the valorization inter-row crops' spacing occupying wide spaces. Thus, the research has been led in the Central - West of Côte d'Ivoire in order to evaluate the effect of plantain banana tree (*Musa* sp) and *Aloe vera* association on these crops growth and yield. For this, an implement with a complete randomization design including two treatments with eight repetitions was achieved. The processings were consisted in planting either one *Aloe vera* plant (treatment 1) or two *Aloe vera* plants (treatment 2)

*Corresponding author: E-mail: koffidesirengoran@gmail.com;

between four plantain tree plants. The interval used for the planting of banana shoots in the 40-cm deep seed holes was 3 m x 2 m. The results showed that treatment 2 has speeded up the appearance of *Aloe vera*'s leave and encouraged the generation of a high number of leaves (39 leaves) longer (20.06 cm) and wider (2.78 cm) bringing about large fresh and dry biomasses, compared to treatment 1 and the control, with 125.42 g and 64.27 g, respectively. As for plantain banana tree, the intercropping favored a higher leaf emergence rate with a high number of leaves (23 leaves) longer and wider, 113.53 cm and 58.70 cm long, respectively. The intercropping also favored in plantain banana a large number of hands (7) and fingers (32) with a finger length of 35.25 cm weighing on average 0.46 kg and causing a mass of 9.23 kg / bunch. Bananas bunch yield higher in the associated plantain banana trees (15.39 t. ha⁻¹) compared to controls (7.83 t. ha⁻¹).

Keywords: Rain irregularity; plantain banana tree; inter-row spacing.

1. INTRODUCTION

Forest exploitation (logging operation and business, timber harvesting, etc.) and farming have always been the primary activities which widely set up the country (Côte d'Ivoire) economy's ground. These practices vantage an imprecise land code, which was worsen later by greater uncontrolled immigration flow. Undeniably, the deeds harm and change the natural environment, particularly the rain forest (primeval forest). So, many zones of the forest have been destroyed and transformed either into farms (food, commercial or agro-industrial plantations), or into fallow land [1]. Currently, the Ivorian forest coverage approximatively 2.7 million hectares with an estimated annual deforestation rate of 4.32% between 1990 and 2005 [2]. This destruction of the forest is one of the main causes of the climate change observed.

Worries about the climate change effects are bright, especially regarding the rising of temperatures, the risk of floods and other extreme weather events, as well as reduced water availability. The agricultural production of Côte d'Ivoire is essentially food- and rain-fed; only 0.2% of the country's cultivated land is currently equipped for irrigation [3]. Small farmers therefore suffer particularly from the impacts of climate variability which limits their sources of food and increases the risk of hunger and poverty. The little adaptive capacity of the agricultural sector underscores the country's vulnerability to climate change.

Besides, environmental stresses, especially water stress, seriously limit plant growth as well as plant productivity [4]. Indeed, water stress affects several plants functioning variables, such as leaf temperature [5], stomatal conductance and leaf area [6], as well as photosynthesis [7]. A

decrease in the water content of the plant results immediately in a reduction in the growth of the different organs even before photosynthesis is affected [8]. In front of this observation, the optimization of crops diversification policy, through the seek for new speculations of interest in which little water requirement is essential.

It is in this line of approach that *Aloe vera* is introduce as an attracting attention crop. Indeed, *Aloe vera* is a succulent plant resist to drought and some diseases responsible for the destruction of many crops [9]. It can also be developed with water irregularity and weak availability. *Aloe vera* is cultivated mainly for its leaves from which juice and gel are extracted, which give rise to the manufacture of products with diversified uses to such an extent that the plant has today become a marketing strategy [9]. It is involved in the fabrication of several food, cosmetic and pharmaceutical products. The main producing countries are Mexico, Venezuela and the Dominican Republic [10]. In this regard, the American continent alone produces 60% of the *Aloe vera* gel marketed in the world while the remaining 40% comes from Asia and Australia. In these countries, *Aloe vera* is cultivated to meet constantly increasing international demand. According to IMF estimates, the *Aloe vera* market could bring in more than 3.3 trillion dollars by 2026 [11]. For Africa and other developing countries, this could therefore become a significant financial windfall.

In Africa, research programs on *Aloe vera* have mainly focused on its properties ([12,13,14,15]). Very few scientific studies have been carried out at agronomic trait. In Côte d'Ivoire, the only known study is that of N'goran et al. [9], on the search for an amendment for optimum growth of *Aloe vera* in nurseries. This study will therefore provide useful additional information with a view

to promoting and popularizing the cultivation of *Aloe vera* in Côte d'Ivoire. However, facing with the scarcity of arable land, this boost requires the valorization of inter-row spacing of crops occupying large spaces like plantain banana tree, ideally cultivated with a spacing of 3 m x 2 m, that is, a density of 1666 plants per hectare [16].

Thus, the hypothesis that we put forward is that *Aloe vera* intercropping in plantain banana plantations would positively influence the growth and yield parameters of both speculations. This work is effectuated in Daloa at the West Central of Côte d'Ivoire and the purpose aims is to evaluate the effect of intercropped *Aloe vera* with plantain banana (*Musa* sp) on the both crops' growth and yield.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study Site

This study was conducted on the experimental plot of the University Jean Lorougnon Guédé in the West Central of Côte d'Ivoire in the county of Daloa (6.48° and 6.41° and 6.91° and 6.84°). The climate of this area is of the Attiéan subequatorial type [17] with two seasons, namely a dry season and a rainy season. The dry season extends over four months from November to February. As for the rainy season, it lasts eight months and extends from March to October. The wettest months are April, August and September when an average of 103.58 mm of rain is recorded each year. The soils in this area are generally ferralitic, moderately leached on firm land and sandy hydromorphic [18].

2.2 Method

The plant material used was composed of come 1 variety plantain tree shoots, mainly cultivated in Côte d'Ivoire, and *Aloe vera* shoots. The plantain shoots were taken from a rural field in the department of Daloa and transported to the University Jean Lorougnon Guédé (UJLoG). The most vigorous shoots were then selected for the experiment. As for *Aloe vera* shoots, they were collected from a nursery within the UJLoG. These shoots had an average leaf length ranging from 15 to 20 cm [19] with 5 to 7 leaves.

Preparation of the experimental site began with the cutting of a 288 m² plot, followed by the staking stage, which consisted of marking out the locations of the planting beds for the banana

shoots with stakes. The spacing used for planting banana shoots is 3 m x 2 m [16]. Pockets 40 cm deep were dug at each stake location using a pickaxe. Then, 500 g of cow dung was poured into each pile before planting the banana shoots.

The *Aloe vera* shoots were planted one month after the banana plants were put in place. This time was necessary for the banana plants to recover properly. To do this, the diagonals formed by four banana plants were traced using a tape measure. The point where the diagonals meet was then marked with a stake. A mound 25 cm high was made at this point to accommodate one *Aloe vera* plant between four banana plants.

Secondly, two mounds 25 cm high, separated by one meter and located on either side at an equal distance (50 cm) from the point of concordance of the diagonals were made for the placement of two *Aloe vera* plants between four banana plants. The spacing used for planting *Aloe vera* shoots is therefore 1 m x 1 m [19]. The *Aloe vera* shoots were planted after adding 500 g of cow dung to the pockets made in each mound. The *Aloe vera* shoots were planted on mounds to allow better root fixation of the plants [20].

The experimental design (Fig. 1) used to set up the trial was a complete randomization design with two treatments and eight replicates. The treatments consisted of planting one *Aloe vera* plant between four banana plants (treatment 1) and two *Aloe vera* plants one meter distant between four banana plants (treatment 2).

2.3 Parameters Measured

Observations started 20 days after establishing *Aloe vera* and focused on the growth and yield parameters of *Aloe vera* and plantain tree. The measurement of growth parameters was conducted over 05 months. Indeed, from 05 months, it becomes almost impossible to measure *Aloe vera* leaves without breaking them because of the clump of leaves formed and their fragility. The measurement concerned leaf emergence rate, the number of emerged leaves, the length and width of *Aloe vera* leaves. At the end of the experiment, the biomass of *Aloe vera* leaves was determined. A leaf was considered new when its length reached 4 cm [21]. The length of new generated leaves as well as their width were taken using a graduated ruler every 20 days. Regarding plantain banana tree, the leaf growth was also appreciated every 20 days by counting the number of generated leaves and

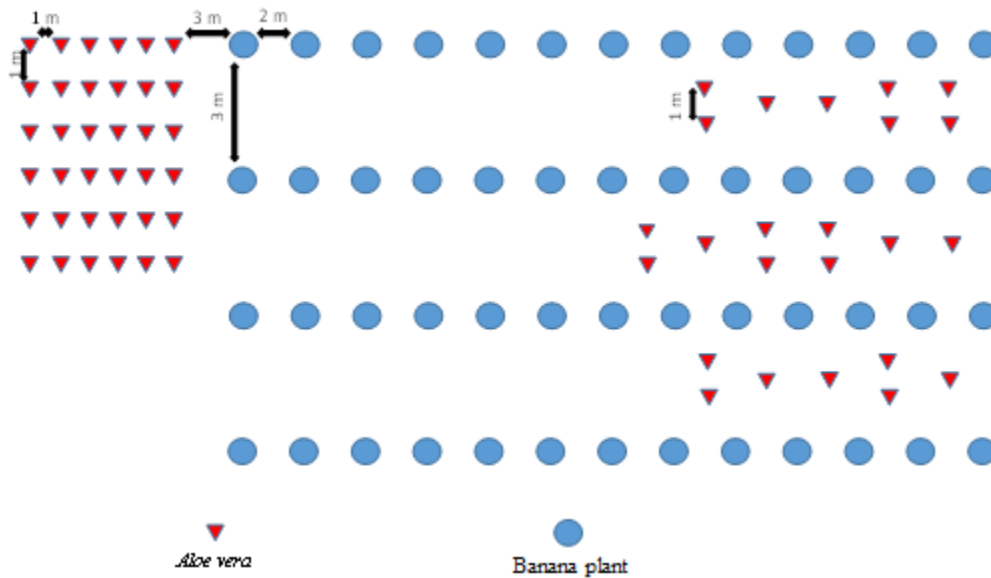


Fig. 1. Experimental design

measuring their length and width using a tape measure. The yield parameters evaluated were the number of hands and fingers, finger mass (kg), finger length (cm), and bunch mass (kg). Yield in terms of bunch ($t \cdot ha^{-1}$) was calculated using the formula below [22]:

$$\text{Bunch yield (t} \cdot \text{ha}^{-1}) = \text{bunch mass} \times \text{planting density} \quad (1)$$

2.4 Statistical Analysis of Data

The collected data were subjected to statistical tests using Statistica 10.0 software. An analysis of variance made it possible to appraise the effect of combinations on *Aloe vera* and plantain banana tree growth and yield. Equality of means hypothesis was estimated at $\alpha = 5\%$ risk. In case of rejection of this hypothesis, the Newman-Keuls multiple comparison test (at $\alpha = 5\%$ threshold) made it possible to classify the means into homogeneous groups.

3. RESULTS

3.1 Effect of the Intercropping *Aloe vera* with Plantain on *Aloe vera* Growth

3.1.1 *Aloe vera* leaf emergence rate

Fig. 2 shows that the number of leaves increased depending on time regardless of the treatment.

From the 20th day to the 60th day after intercropping *Aloe vera* with plantain, the evolution curves of the number of leaves almost overlapped. From the 60th day after the planting, the evolution curve of the number of *Aloe vera* leaves resulting from the arrangement of two *Aloe vera* shoots between four plantain plants was clearly above the other two ones with an average of 4 leaves every 20 days. However, the evolution curve of the number of *Aloe vera* leaves from treatment 1 overlapped the one of control suckers until the 160th day after combination.

3.1.2 Number of *Aloe vera* leaves generated

Table 1 shows the number of new *Aloe vera* leaves generated during the experiment. We observed that this number was higher from the 60th day after planting regarding treatment 2. However, the statistical analysis showed a significant difference between the number of leaves generated depending on the treatments only from the 100th day after planting. Thirty-nine leaves on average were generated 160 days after combination regarding treatment 2 against 33 for treatment 1. The lowest value regarding the number of leaves was observed in the control (32 leaves on average). However, the number of leaves generated in the control was statistically identical to that of treatment 1 as of 160 days after combination.

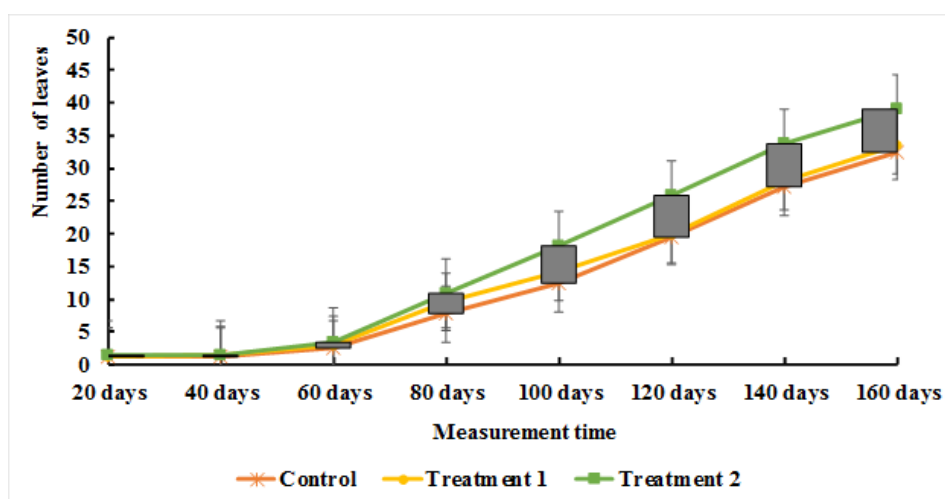


Fig. 2. Evolution of the number of *Aloe vera* leaves generated depending on time
 Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants

Table 1. Number of new *Aloe vera* leaves generated

Time after combination	Control	Treatment 1	Treatment 2	P
20 days	1.25 ± 0.46 ^a	1.25 ± 0.46 ^a	1.38 ± 0.52 ^a	0.84
40 days	1.25 ± 0.46 ^a	1.38 ± 0.52 ^a	1.38 ± 0.52 ^a	0.85
60 days	2.50 ± 1.20 ^a	3.00 ± 1.20 ^a	3.50 ± 1.31 ^a	0.3
80 days	7.75 ± 4.20 ^a	9.63 ± 4.24 ^a	10.88 ± 2.10 ^a	0.29
100 days	12.38 ± 4.78 ^b	14.13 ± 3.18 ^{ab}	18.13 ± 4.32 ^a	0.03
120 days	19.50 ± 3.85 ^b	19.88 ± 6.03 ^b	25.88 ± 5.49 ^a	0.03
140 days	27.13 ± 4.67 ^b	28.00 ± 6.82 ^b	33.75 ± 5.01 ^a	0.04
160 days	32.50 ± 4.14 ^b	33.50 ± 5.83 ^b	39.00 ± 5.50 ^a	0.03

The means of the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold
 P: Probability. Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants

3.1.3 *Aloe vera* leaf length

The evolution of the generated leaves length depending on time it is shown in Fig. 3. The lengths of generated leaves with treatment 2 were found to be the highest from the 20th day to the 160th day after planting. Leaf length varied from 6.88 ± 2.09 cm to 20.06 ± 7.66 cm (Table 2). The highest leaf lengths after those of treatment 2 were those of treatment 1. The lengths of generated leaves with treatment 1 varied on average from 6.44 ± 1.50 cm (20 days after planting) to 17.55 ± 7.89 cm (160 days after planting). Statistically, a significant difference ($p < 0.05$) between the leaf lengths of the control and treatments 1 and 2 appeared from the 100th day after planting. From the 140th day to the 160th day after planting, the lengths of the leaves generated by treatment 1 were statistically identical to those of the control.

3.1.4 *Aloe vera* leaf width

The development of the width of the leaves generated depending on time is represented by Fig. 4. The widths of the leaves generated with treatment 2 (two *Aloe vera* plants combined with four plantain plants) from the 20th day to the 160th day after planting were the highest. Leaf width varied on average from 0.70 ± 0.21 cm to 2.78 ± 0.61 cm. The highest leaf widths after those of treatment 2 were those of treatment 1. The widths of the leaves generated with treatment 1 fluctuated from 0.65 ± 0.23 cm (20 days after planting) to 2.43 ± 0.81 cm (160 days after planting). The narrowest leaves were those generated by the control. Table 3 shows the results after analysis of variance. Statistically, a significant difference ($p < 0.05$) between the widths of the leaves of the control and treatments 1 and 2 appeared from the 100th day after planting.

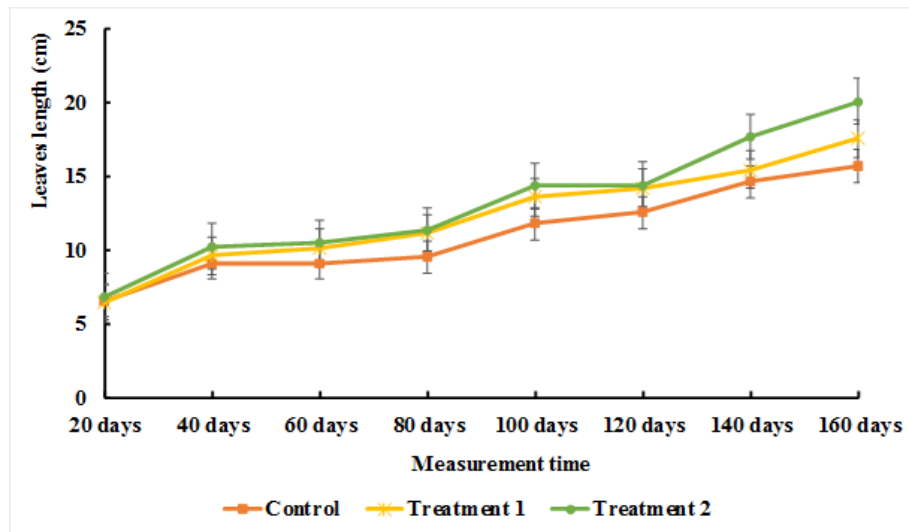


Fig. 3. Evolution of the length of *Aloe vera* leaves generated depending on the treatments
 Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants.

Table 2. Length of *Aloe vera* leaves generated depending on the treatments

Time after combination	Control	Treatment 1	Treatment 2	P
20 days	6.58 ± 2.10 ^a	6.44 ± 1.50 ^a	6.88 ± 2.09 ^a	0.89
40 days	9.13 ± 3.66 ^a	9.65 ± 3.33 ^a	10.27 ± 3.73 ^a	0.77
60 days	9.11 ± 4.72 ^a	10.15 ± 4.44 ^a	10.50 ± 4.66 ^a	0.61
80 days	9.55 ± 5.80 ^a	11.17 ± 5.46 ^a	11.35 ± 6.27 ^a	0.17
100 days	11.79 ± 6.24 ^b	13.57 ± 6.67 ^a	14.33 ± 5.15 ^a	0.01
120 days	12.54 ± 6.51 ^b	14.22 ± 6.64 ^a	14.41 ± 6.29 ^a	0.02
140 days	14.61 ± 6.48 ^b	15.42 ± 6.87 ^b	17.65 ± 6.81 ^a	0.00
160 days	15.69 ± 7.25 ^c	17.55 ± 7.89 ^b	20.06 ± 7.66 ^a	0.00

Means on the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold. P: Probability.
 Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants

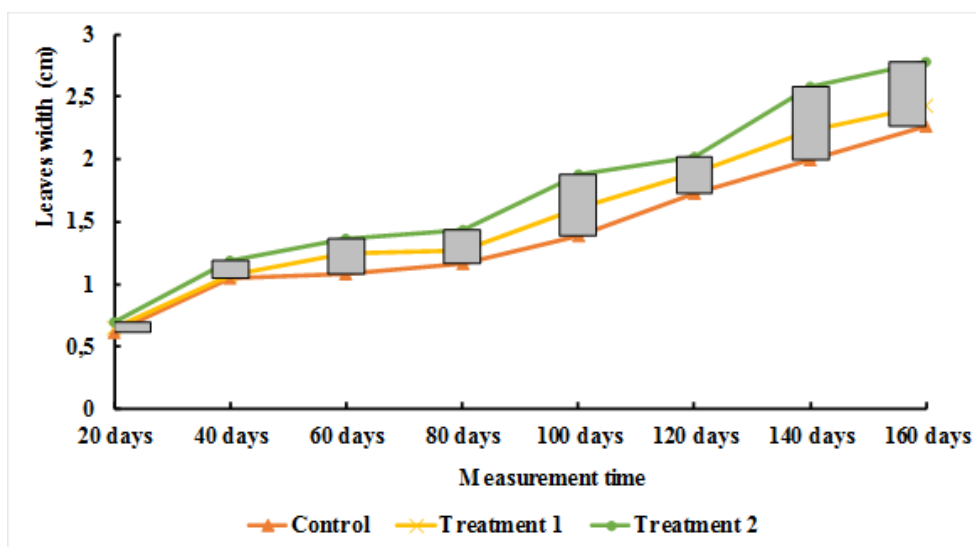


Fig. 4. Evolution of the width of *Aloe vera* leaves generated depending on the treatments
 Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants

Table 3I. Width of leaves generated depending on the treatments

Time after combination	Control	Treatment 1	Treatment 2	P
20 days	0.61 ± 0.18 ^a	0.65 ± 0.23 ^a	0.70 ± 0.21 ^a	0.70
40 days	1.05 ± 0.46 ^a	1.07 ± 0.34 ^a	1.19 ± 0.35 ^a	0.68
60 days	1.08 ± 0.54 ^a	1.25 ± 0.59 ^a	1.36 ± 0.64 ^a	0.33
80 days	1.16 ± 0.70 ^a	1.27 ± 0.64 ^a	1.43 ± 0.72 ^a	0.09
100 days	1.39 ± 0.72 ^c	1.61 ± 0.62 ^b	1.88 ± 0.83 ^a	0.00
120 days	1.73 ± 0.79 ^b	1.89 ± 0.79 ^{ab}	2.02 ± 0.76 ^a	0.01
140 days	2.00 ± 0.76 ^c	2.23 ± 0.74 ^b	2.58 ± 0.59 ^a	0.00
160 days	2.26 ± 0.76 ^c	2.43 ± 0.81 ^b	2.78 ± 0.61 ^a	0.00

The means of the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold

P: Probability. Treatment 1: One *Aloe vera* plant between four plantain plants; Treatment 2: Two *Aloe vera* plants between four plantain plants

Table 4. Fresh and dry masses of *Aloe vera* leaves

Leaf masses	Control	Treatment 1	Treatment 2	P
Fresh mass	88.59 ± 7.02 ^b	103.48 ± 12.11 ^b	125.42 ± 3.12 ^a	0.00
Dry mass	27.80 ± 7.31 ^b	42.70 ± 13.62 ^b	64.27 ± 5.93 ^a	0.00

The means of the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold P: Probability

3.1.5 *Aloe vera* yield

Aloe vera yield (Table 4) was expressed in quantity of fresh and dry leaf matter. The mass of fresh leaf matter generated by treatment 2 (125.42 ± 3.12 g) was greater than those of the leaves generated by treatment 1 (103.48 ± 12.11 g) and the control (88.59 ± 7.02g). The dry biomass of the leaves generated by treatment 2 (64.27 ± 5.93 g) was also higher than those of the leaves generated by treatment 1 (42.70 ± 13.62 g) and the control (27.80 ± 7.31g). The statistical analysis showed a significant difference between leaf biomasses depending on the treatments. However, there was no significant difference between the fresh and dry biomass of the leaves from treatment 1 and the control.

3.2 Effect of the Intercropping *Aloe vera* with Plantain on Plantain Tree Growth

3.2.1 Plantain tree leaf emergence rate

Fig. 5 shows us the emergence rate curves of plantain tree leaves. These overlapped from the 20th to the 40th day after combination. However, we noted that from the 40th day after combination, the emergence rate curve of the leaves from combined plantain trees was above that of control plantain trees with an average of 3 leaves every 20 days.

3.2.2 Number of plantain tree leaves

Table 5 shows us the number of leaves generated by plantain trees during the

experiment. We remark that this number was higher from the 40th day after planting in the combined plantain trees. However, the statistical analysis showed a significant difference between the numbers of leaves generated only from the 120th day after planting. Twenty-three leaves on average were produced 160 days after combination in the combined plantain trees compared to 21 for the controls.

3.2.3 Plantain banana tree leaf length

The evolution of the length of plantain tree leaves generated depending on time is represented by Fig. 6. The results showed that the leaf length curve of combined plantain trees was above that of control plantain trees. The length of leaves generated by combined plantain trees was greater than that of control plantain trees from the 20th day to the 160th day after planting. This vacillated between 48.60 cm and 113.53 cm for combined plantain trees and between 38.73 cm and 85.61 cm for control plantain trees 20 and 160 days after combination, respectively.

3.2.4 Plantain tree leaf width

Fig. 7 shows the evolution of the width of plantain tree leaves depending on time. The leaf width evolution curve of plantain trees resulting from the combination was above that of control plantain trees. It thus appeared that combination favored better plantain tree leaf growth. The leaf width of plantain trees combined with *Aloe vera* varied from 26.84 ± 5.38 cm (20 days after

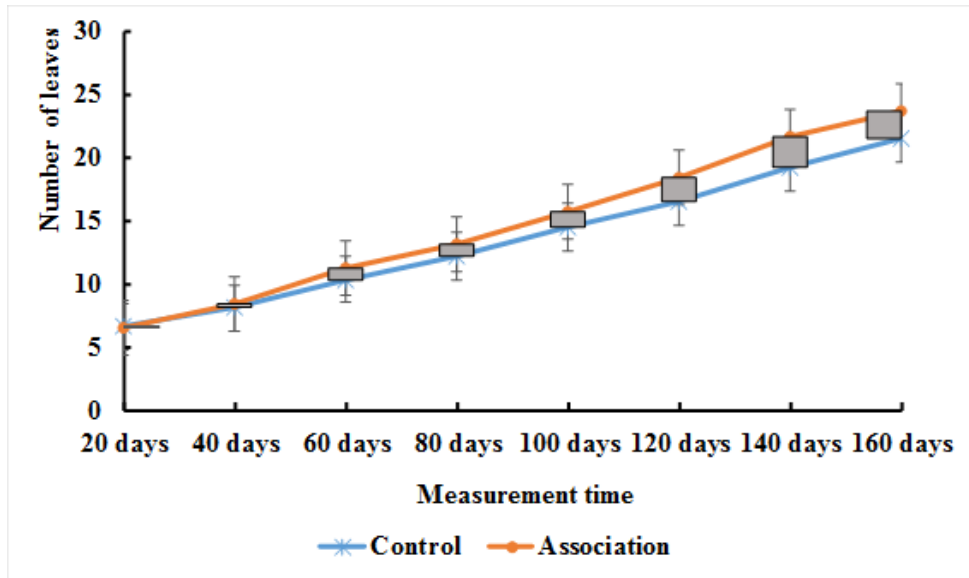


Fig. 5. Evolution of the number of plantain tree leaves generated over time

Table 5. Number of leaves generated by plantain trees

Time after combination	Control	Combination	P
20 days	6.63 ± 1.06 ^a	6.50 ± 0.53 ^a	0.77
40 days	8.13 ± 1.13 ^a	8.50 ± 0.93 ^a	0.47
60 days	10.38 ± 1.06 ^a	11.25 ± 0.89 ^a	0.09
80 days	12.25 ± 1.16 ^a	13.13 ± 1.13 ^a	0.14
100 days	14.50 ± 1.41 ^a	15.75 ± 0.89 ^a	0.05
120 days	16.50 ± 1.41 ^b	18.38 ± 0.92 ^a	0.00
140 days	19.25 ± 1.83 ^b	21.63 ± 0.74 ^a	0.00
160 days	21.50 ± 1.41 ^b	23.63 ± 0.74 ^a	0.00

The means of the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold
P: Probability

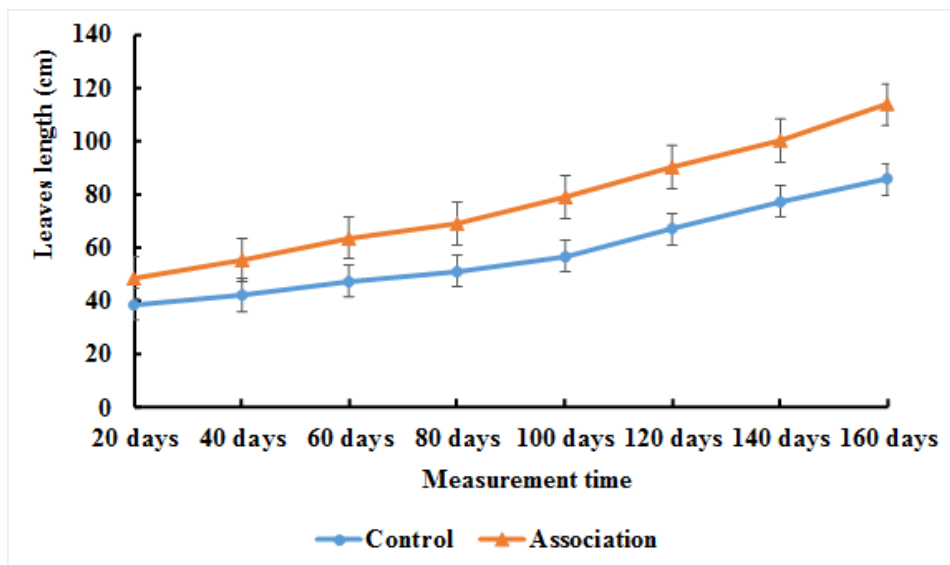


Fig. 6. Evolution of the length of plantain tree leaves

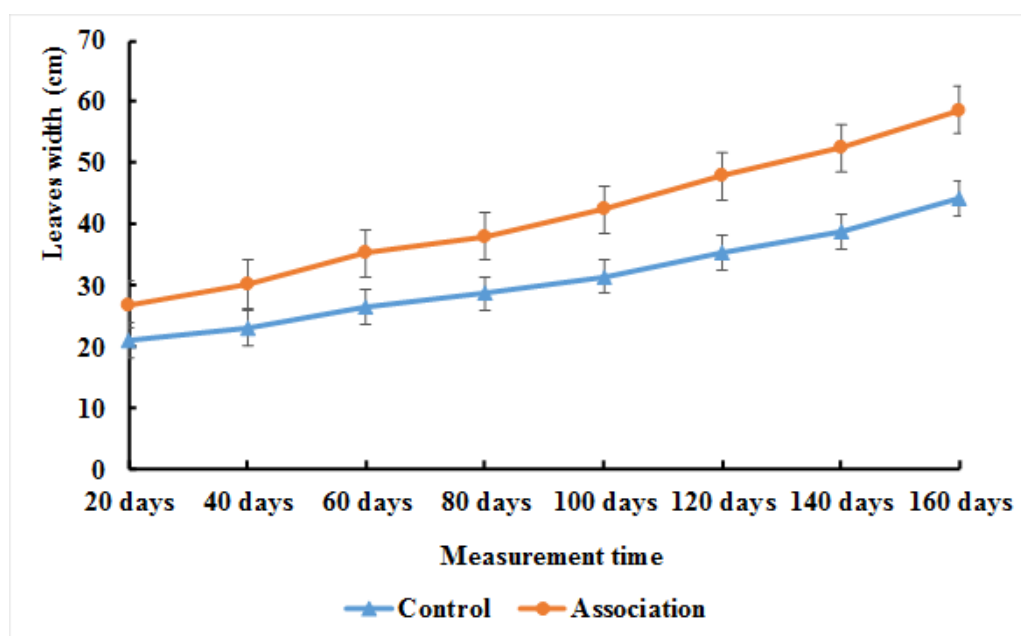


Fig. 7 . Evolution of the width of plantain trees leaves

Table 6. Yield and yield parameters of plantain trees

	Control bunches	Combined bunches	P
Number of hands	6.80 ± 0.22 ^a	7.00 ± 0.41 ^a	0.86
Number of fingers	31.33 ± 0.87 ^a	32.00 ± 0.25 ^a	0.75
Finger length (cm)	34.6 ± 1.72 ^a	35.25 ± 1.87 ^a	0.78
Finger mass (kg)	0.24 ± 0.01 ^b	0.46 ± 0.01 ^a	0.00
regime mass (kg)	4.70 ± 0.53 ^b	9.23 ± 0.18 ^a	0.00
Regime yield (t.ha ⁻¹)	7.83 ± 0.25 ^b	15.39 ± 1.21 ^a	0.00

The means of the same line followed by different letters are significantly different at 5% threshold
P: Probability

combination) to 58.70 ± 13.38 cm (160 days after combination). As for that of control plantain trees, it ranged from 21.14 ± 3.62 cm (20 days after combination) to 44.18 ± 13.80 cm (160 days after combination). The leaf widths of combined plantain trees were statistically different from those of control plantain trees from the 20th day after combination.

3.2.5 Plantain tree yield

The results of yield parameters and bunch yield plantains trees are shown in Table 6. Yield parameters included the numbers of hands and fingers, finger length, finger mass per regime, and regime mass. The results showed that the number of hands, fingers as well as the length of fingers were not significantly different depending on whether the plantains trees were combined with *Aloe vera* or not. However, a statistical difference (at 5 % threshold) was observed in

finger mass (0.24 ± 0.01 kg for control bunches and 0.46 ± 0.01 kg for combined bunches), bunches (4.70 ± 0.53 kg for control bunches and 9.23 ± 0.18 kg for combined bunches) and bunch yield (7.83 ± 0.25 t.ha⁻¹ for control bunches and 15.39 ± 1.21 t.ha⁻¹ for combined bunches).

4. DISCUSSION

This study was conducted to evaluate the effect of plantain banana tree (*Musa* sp) – aloe (*Aloe vera*) combination on the growth and yield of both crops. The results showed that the plantain banana tree -*Aloe vera* combination was beneficial for both crops. Indeed, the *Aloe vera* shoots planted between the plantain banana plants had a higher leaf emergence rate, number of leaves, leaf length and leaf width than those of the controls. This result can be explained by the fact that the *Aloe vera* shoots arranged between plantain plants benefited from

the shade and, in turn, the humidity created by plantain tree leaves, hence their harmonious growth. The importance of shade for the good growth and development of plants, especially shade plants such as *Aloe vera*, is mentioned by several authors ([23,14]). Indeed, shade improves soil humidity, helps moderate ambient temperature and increase air humidity. Thus, plants under shade considerably reduce their transpiration even in periods of extreme heat [24]. *Aloe vera* shoots combined with plantain trees thus escape the limitation of water availability in the soil while reducing their transpiration unlike the control suckers which were exposed to the sun and faced with water stress. As a result, the high temperatures observed during the first quarter after planting and combination (February to April 2023) would therefore have slowed down the growth of control *Aloe vera* shoots. Our results confirm the conclusions of Gharib & Ben [14] in their assertion that shade is important for the good development of *Aloe vera* plants. Besides, the beneficial demonstration of the combination of plantain trees with other crops has been widely documented ([25,26,27]).

Aloe vera under shade also benefited from the availability of mineral elements stemming from the large plantain tree leaves which fall and decompose quickly because of the humid microclimate generated by the combination. In this context, the mineral elements released by the falling of plantain tree leaves followed by their decomposition favored optimal mineral nutrition of the combined *Aloe vera* suckers unlike the controls. Plantain tree leaves are used in the manufacture of certain compost [28]. Plantain tree leaves are obviously green materials that decompose to provide a nutrient-rich additive for aloe growth. According to one study, banana-based compost has greater nutrient efficiency in the soil compared to other fertilizers, good aeration associated with relatively low water application, and decreased nutrient loss through leaching [29]. The high values of fresh and dry matter of *Aloe vera* leaves observed in *Aloe vera* plants combined with plantain trees would be one of the consequences [30].

Regarding plantain trees combined with *Aloe vera* shoots; they were able to grow and develop more healthily unlike the controls. Indeed, control plantain trees were severely attacked by pests of the genus *Mycosphaerella* sp. This genus is responsible for Sigatoka disease in plantain tree. These attacks would have had an impact on the

growth and development of control plantain trees. Tuo et al. [31] reported the presence of these diseases in the area of Daloa and argue that they reduce the photosynthetic capacity of leaves and affect the growth and development of plantain trees. As for the combined plantain trees, the low attack rate observed in this study would probably be due to the proximity of the plantain trees to *Aloe vera* shoots which would create a natural protection provided by the latter. According to Gharib & Ben [14], the presence of bitter anthraquinones and other polyphenolic components in *Aloe vera* leaves makes it unattractive to pests and pathogens [32,33].

5. CONCLUSION

In a nutshell, one can say that this study has demonstrated that plantain tree - *Aloe vera* combination is beneficial for both crops. Indeed, *Aloe vera*, which is a shade plant, could benefit from the shade and humid microclimate caused by the large plantain tree leaves, especially during periods of high temperature. In addition, the fall of large plantain tree leaves would favor optimal mineral nutrition of *Aloe vera*. As for plantain trees, the presence of *Aloe vera* could reduce the rate of attack on plantain trees by pests. Thereby plantain tree-aloe combination can be recommended and could be done at the density of two *Aloe vera* plants between four plantain plants. In outlook (perspective) we are planning to combine *Aloe vera* with other crops such as rubber tree and palm oil.

ACKNOWLEDGEMENTS

We owe a profound gratitude to University Jean Lorougnon Guédé of Daloa (Côte d'Ivoire) where this research was led as well as thanking from the bottom of my heart the aforesaid teachers of this University.

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Guillaumet JL, Adjanohoun E. The vegetation of Côte d'Ivoire. In : The natural environment of Côte d'Ivoire. Paris (France). 1971;157-263.
2. Dro B, N'goran KD, Coulibaly S, Salla M, Amon ADE and Kouassi KH. Floristic diversity of the lianes of the Bouaflé,

- classified forest, Centre-West Ivory Coast. European Scientific Journal. 2020;16(27):1857-7881.
3. FAO. Agriculture food and nutrition in Africa. FAO, Rome, Fruits. 2020;48(2):125-132.
 4. Zerrad W, Maataoui BS, Hilali S, El Antri S, Hmyene A. Comparative study of the biochemical mechanisms of resistance to water stress of two varieties of durum wheat. Lebanese Science Journal. 2008;9(2):27-36.
 5. Mawuli AAA, Komi O, Abalo-Esso M. Study of the influence of water stress on two cowpea lines. European Scientific Journal. 2014;10(30):1857-7881.
 6. Lowlor D, Cornic W. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher. Plant cell. Environ. 2002;25:275-294.
 7. Yuan G, Luo Y, Sun X and Tang D. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the north china plain. Agricultural Water Management. 2004;64(1):29-40.
 8. Turner NC, Wright GC, Siddique KHM. Adaptation of grain legume to water-limited environments. Adv. Agron. 2001;71:193-231.
 9. N'goran KD, Tonessia DC, Soumahin EF, Zoh OD, Sey J, Akaffou DS. Effect of organic amendments on *Aloe vera* growth in nursery in Daloa, Côte d'Ivoire. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. 2023;9.
 10. Anonymous. Demand for *Aloe vera* Extracts to Reach 60,720 tonnes; 2016. Accessed 03 September 2022. Available:<http://www.futuremarketinsights.com/press-release/aloe-vera-extracts-market>
 11. Anonymous. Mexico, a major producer of the beauty darling; 2022. Accessed 03 September 2022.
 12. Available:<https://www.actulatio.com/2021/08/16/l-aloe-vera-the-mexico-major-producer-of-darling-beauty/>
 13. Belmadadi I, Mekhalfia A. Study of the antioxidant potential of *Aloe vera* and prickly pear. Master's thesis. Democratic and Popular Republic of Algeria. University of Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. 2018;57.
 14. Khemissi M, Boulouh H and Hamida K. Study of the antibacterial activity of two *Aloe* species: *Aloe barbadensis* Miller (*Aloe vera*) and *Aloe saponaria* Ait. Thesis for the Master's degree. Democratic and Popular Republic of Algeria. University of 8 May 1945 Guelma. 2021;83.
 15. Gharib K, Ben ZS. Investigation into the Antimicrobial, Antifungal and Antiviral properties of "antiCOVID-19" in *Aloe vera*. Master's thesis, Biology and plant physiology, University of Brothers Mentouri Constantine 1 (Morocco). 2021;26.
 16. Ugwuwoh DAN. Medicinal properties of *Aloe vera* and their functions. Eurasian Experiment Journal of Public Health. 2023;4(1):2992-4081.
 17. CNRA. How to grow plantain in Côte d'Ivoire. 2005;2.
 18. Adjiri O, Assoma TV, Soro G, Aka N, Bengaly I. and Soro N. Evaluation of the suitability of natural spring water for agricultural use using hydrochemical techniques: the case of the Daloa and Zoukougbeu departments, Côte d'Ivoire. Afrique science. 2020;16(1):204-217.
 19. Zro BFG, Soro D and Abobi DHA. Comparative analysis of the effects of two organic amendments on the organo-mineral status and productivity of a sandy soil, Ivory Coast. Journal of Applied Biosciences. 2018;(124):12416-12423.
 20. Michayewicz N. *Aloe vera*, a medicinal plant traditionally and widely used for millennia, with numerous therapeutic properties. Miracle plant? Doctoral thesis, University of Lorraine (France). 2013; 33-76.
 21. Permaculture Design. Mound farming: Advantages and disadvantages; 2019. Accessed 18 June 2023. Available:<https://www.permaculturedesign.fr/culture-on-mound-advantages-disadvantages/>
 22. Yossier BZ. Behaviour of *Aloe vera* planted on two soils of different texture and subjected to saline treatment. End of study project. Mograne College of Agriculture. 2012;49.
 23. N'guetta A, Traoré S, Yao NT, Aby N, Koffi YD, Atsin GO, Otro STV, Kobenan K, Gnonhouri P and Yao KA. Impact of planting density on plantain growth and yield in Côte d'Ivoire: the case of two hybrids (PITA 3 and FHIA 21) and two local varieties (Corne 1 and Orishele). African Agronomy. 2015;27(3):213-222.
 24. Azib C, Hammache R. Evaluation of the antioxidant and functional properties of *Aloe vera* and development of a juice based on this plant. Master's thesis,

- University Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A (Morocco). 2019;67.
25. Zomboudré G, Zombré G, Ouedraogo M, Guinko S and Macauley HR. Physiological response and crop productivity in a traditional agroforestry system: the case of maize (*Zea mays* L.) associated with shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) in the eastern zone of Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2005;1:75-85.
 26. Adou Yao CY, Kpangui KB, Vroh BTA and Ouattara D. Cultural practices, use values and farmers' perception of cocoa companion species in traditional agroforests in central Côte d'Ivoire. *Rev. of ethnoecol.* 2016;9:1-17.
 27. Kpangui KB, Vroh BTA, Goné BZB and Adou YCY. Floristic and structural diversity of cocoa plantations in the "V Baoulé": Case of the Kokumbo sub-prefecture (Central, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal.* 2015;11(36):1857-7881.
 28. Guichard C. Influence of *Erythrina poeppigiana* on cocoa trees in Dominican agroforestry systems. Thesis presented to obtain the national master's degree in Biodiversity, Ecology and Evolution. Montpellier. 2022;92.
 29. Biao ODB, Saidou A, Bachabi F-X, Padonou GE and Balogoun I. Effect of applying different types of organic fertilizers on soil fertility and carrot (*Daucus carota* L.) production on ferrallitic soil in southern Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2017;11(5):2315-2326.
 30. Hazem B. Study finds banana compost can boost crop yields; 2011. Accessed 20 July 2023.
 31. Available: <https://www.scidev.net/africa-sub-saharan/news/according-to-a-study-the-compost-of-banana-can-increase-the-yields-of-crops/>
 32. Bouda S, Haddioui A. Effect of salt stress on germination of some species of the genus *Atriplex*. *Revue Nature et Technologies.* 2011;7-79.
 33. Tuo S, Camara B, Kassi KFJ-M, Kamaté K, Ouédraogo SL and Koné D. Update of the geographical distribution of banana cercosporioses in Côte d'Ivoire: Pathogen diversity and incidence. *Journal of Applied Biosciences.* 2021;24.

© 2023 Désiré et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:

The peer review history for this paper can be accessed here:
<https://www.sdiarticle5.com/review-history/106674>

COMMUNICATIONS

1. Cette thèse a obtenu le troisième prix du concours Ma Thèse en 180 secondes (MT180) à l'Université Jean Lorougnon Guédé. Elle a également été présentée à la finale nationale dudit concours, organisée le 24 Juin 2021 à Abidjan à l'Institut Français.
2. Une communication tirée de cette thèse a été acceptée à la 6^{ème} édition des Journées Scientifiques du CAMES (JSDC-6) en Mars 2024.

RESUME

La diminution et l'irrégularité des pluies entraînent la promotion de plantes peu exigeantes en eau comme *Aloe vera*. Cependant sa vulgarisation se heurte à une absence d'un itinéraire technique pour sa culture à grande échelle. Ainsi, une étude a été conduite au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire pour déterminer et vulgariser un ensemble de techniques culturales qui permettent une bonne productivité de *Aloe vera*. La méthodologie a débuté par l'étude de la multiplication végétative de la plante via la technique du bouturage des tiges et des racines. Pour cela deux modes de planting ont été testés à savoir l'enfouissement total et partiel des boutures dans le sol selon un dispositif en factoriel blocs. Ensuite, six formulations de substrat de culture et six milieux composites d'engrais liquide à base de matériel localement disponible ont été testés pour évaluer l'émergence et la croissance des plantules en pépinière. Au champ, cinq niveaux de densités dont 40000 plants / ha, 26666,66 plants / ha, 20000 plants / ha, 17777,77 plants / ha et 13333,33 plants / ha ainsi que deux essais d'association hévéa-*Aloe vera* et bananier-*Aloe vera* ont été testés selon des dispositifs en blocs de Fisher. La densité témoin était de 10000 plants / ha. Aussi, l'engrais liquide identifié en pépinière a été évalué sur la croissance efficiente de *Aloe vera*. Les résultats ont montré que la multiplication végétative de *Aloe vera* via le bouturage des tiges et des racines est possible. Cependant, les meilleurs résultats ont été obtenus à partir de boutures de tige partiellement enfouies dans les substrats de culture. En pépinière, les meilleures formulations de substrat ont été celles à base de bouse de vache et de fiente de poulet. Quant aux engrais liquides, celui à base de coquilles d'œuf, d'épluchures de bananes plantains et de tonte de gazon a favorisé une bonne croissance de la plante. Par ailleurs, l'apport une fois par mois de 0,75 l de cet amendement a occasionné une réduction du délai de floraison de *Aloe vera* qui est de neuf mois. Aussi, les densités 10000 plants / ha, 13333,33 plants / ha et 17777,77 plants / ha ont induit une croissance optimale de *Aloe vera*. Ces densités ont réduit le délai de floraison des plantes de *Aloe vera* à huit mois. L'association bananier-*Aloe vera* avec la disposition de deux pieds de *Aloe vera* entre quatre pieds de bananier a favorisé une croissance optimale et un meilleur rendement des deux spéculations. Le rendement des bananiers associés était de $15,39 \pm 1,21$ t.ha⁻¹ contre $7,83 \pm 0,25$ t.ha⁻¹ pour les témoins. A l'opposé, les arbres matures d'hévéa ont créé un microclimat humide qui a ralenti la croissance des plantes de *Aloe vera*. Cet ensemble de résultats a permis de proposer une fiche technique pour la culture de *Aloe vera*.

Mots clés : Irrégularité des pluies, plantes peu exigeantes en eau, *Aloe vera*, itinéraire technique, Côte d'Ivoire, bonne productivité

ABSTRACT

Rains decrease and irregularity lead to the promotion of plants that do not require much water, such as *Aloe vera*. However, its popularisation is hampered by the lack of a technical itinerary for its large-scale cultivation. A study was therefore carried out in Central West of Côte d'Ivoire to determine and disseminate a set of cultivation techniques to ensure good productivity of *Aloe vera*. The methodology began with a study of the vegetative propagation of the plant using the stem and root cutting technique. Two planting methods were tested: total and partial burial of the cuttings in the soil using a factorial block system. Then, six formulations of growing medium and six composite media of liquid fertiliser based on locally available material were tested to assess the emergence and growth of seedlings in the nursery. In the field, five density levels were tested, including 40000 plants/ha, 2666.66 plants/ha, 20.000 plants/ha, 17777.77 plants/ha and 13333.33 plants/ha, as well as two hevea-*Aloe vera* and banana-*Aloe vera* association trials using Fisher block system. The control density was 10000 plants/ha. The liquid fertiliser identified in the nursery was also evaluated for its effect on the efficient growth of *Aloe vera*. The results showed that vegetative propagation of *Aloe vera* using stem and root cuttings is possible. However, the best results were obtained from stem cuttings partially buried in growing substrates. In the nursery, the best substrate formulations were those based on cow dung and chicken droppings. As for liquid fertilisers, the one based on eggshells, plantain peelings and grass clippings encouraged good plant growth. In addition, the monthly application of 0.75 l of this fertiliser reduced the flowering time of *Aloe vera* to nine months. In addition, the densities of 10000 plants/ha, 13333.33 plants/ha and 17777.77 plants/ha resulted in optimum growth of the *Aloe vera*. These densities reduced the flowering time of the *Aloe vera* plants to eight months. The banana-*Aloe vera* combination, with two *Aloe vera* plants placed between four banana plants, resulted in optimum growth and higher yields for both crops. The yield of the associated banana trees was 15.39 ± 1.21 t.ha⁻¹ compared with 7.83 ± 0.25 t.ha⁻¹ for the controls. In contrast, the mature rubber trees created a humid microclimate that slowed the growth of the *Aloe vera* plants. Based on these results, a technical data sheet for growing *Aloe vera* was proposed.

Key words: Irregular rain, plants with low water requirements, *Aloe vera*, technical itinerary, Côte d'Ivoire, good productivity