



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR AGROFORESTERIE

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNÉE : 2024-2025

N° D'ORDRE : 158

CANDIDAT

Nom : SEY

Prénom : JUNIAS

THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Agrophysiologie

Évaluation d'un système agroforestier hévéa
(*Hevea brasiliensis*) - igname (*Dioscorea* sp.)
de sous-bois pour la sécurité alimentaire en
Côte d'Ivoire

JURY

- Président** : M. AKAFFOU Doffou Selastique, Professeur
Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé
- Directeur** : Mme. TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de
Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé
- Rapporteur** : M. GORE Bi Boh Nestor, Maître Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé
- Examineur** : M. COULIBALY Lacina Fanlégué, Maître de
Conférences, Université Peleforo Gon Coulibaly
- Examineur** : M. VOKO Bi Rosin Don Rodrigue, Maître de
Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé

**Soutenue publiquement
le 20 Septembre 2025**

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
TABLE DES MATIÈRES	i
DÉDICACE	viii
AVANT-PROPOS.....	ix
REMERCIEMENTS	x
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xvi
LISTE DES FIGURES	xviii
LISTE DES ANNEXES	xx
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITES	2
1.1. Hévéa	6
1.1.1. Origine et distribution	6
1.1.2. Systématique.....	6
1.1.3. Botanique	7
1.1.4. Ecologie.....	9
1.1.5. Itinéraire technique cultural.....	10
1.1.5.1. Choix du terrain	10
1.1.5.2. Préparation du terrain.....	10
1.1.5.3. Planting des arbres	11
1.1.5.4. Entretien	12
1.1.6. Technique de récolte du latex.....	12
1.1.6.1. Système de saignée	12
1.1.6.2. Stimulation hormonale	14
1.1.7. Paramètres physiologiques du latex liés à la production	15
1.1.7.1. Extrait sec du latex (ExS).....	15
1.1.7.2. Saccharose (Sac).....	16
1.1.7.3. Phosphore inorganique (Pi).....	16
1.1.7.4. Composés ou groupements thiols (R-SH).....	16
1.1.8. Typologie clonale de fonctionnement métabolique du système laticifère.....	17
1.1.9. Facteurs liés à la croissance végétative de l'hévéa.....	18
1.1.10. Maladies	19
1.1.10.1. Maladies dues aux agents pathogènes.....	19

1.1.10.2. Maladie physiologique	20
1.1.11. Importance de l'hévéaculture	20
1.1.12. Zone de production de l'hévéa	22
1.2. Associations culturales à base d'hévéa	23
1.2.1. Associations temporaires à base d'hévéa	23
1.2.1.1. Associations temporaires hévéas-cultures vivrières	23
1.2.1.2. Associations temporaires hévéas-cultures pérennes	24
1.2.2. Associations permanentes hévéas-cultures pérennes et essences forestières	25
1.3. Igname.....	25
1.3.1. Igname ordinaire ou traditionnelle.....	26
1.3.1.1. Origine et distribution	26
1.3.1.2. Systématique.....	26
1.3.1.3. Botanique.....	27
1.3.1.4. Ecologie.....	28
1.3.1.4.1. Exigence climatique	28
1.3.1.4.2. Exigence pédologique	29
1.3.1.5. Morphologie et cycle de développement	29
1.3.1.5.1. Phase 1 : de la maturité du tubercule à la levée de la dormance	29
1.3.1.5.2. Phase 2 : de la germination à la levée des premiers organes.....	30
1.3.1.5.3. Phase 3 : croissance, développement végétatif et initiation du tubercule	30
1.3.1.5.4. Phase 4 : tubérisation rapide	31
1.3.1.5.5. Phase 5 : du début de la sénescence à la maturité du tubercule.....	31
1.3.1.6. Itinéraire technique cultural.....	31
1.3.1.6.1. Préparation du sol	31
1.3.1.6.2. Semi des boutures d'igname.....	31
1.3.1.6.3. Entretien des cultures d'igname.....	32
1.3.1.6.4. Récolte des ignames.....	32
1.3.1.7. Maladies	33
1.3.1.8. Importance.....	33
1.3.1.8.1. Importance socio-économique.....	33
1.3.1.8.2. Importance alimentaire et nutritionnelle	34
1.3.1.9. Zones de production de l'igname en Côte d'Ivoire	34
1.3.1.10. Espèces d'ignames cultivées en Côte d'Ivoire	34
1.3.2. Particularité des ignames de sous-bois	35

1.3.2.1. Origine et distribution	35
1.3.2.2. Techniques culturelles.....	36
1.3.2.3. Diversité des ignames de sous-bois cultivées en Côte d'Ivoire	36
1.3.2.4. Importance des ignames de sous-bois	37
1.4. Associations culturelles à base d'igname.....	37
1.4.1. Associations ignames-cultures vivrières	37
1.4.2. Associations ignames-cultures pérennes.....	38
1.5. Système agroforestier	38
1.5.1. Systèmes agrisylvicoles	38
1.5.2. Systèmes sylvopastoraux	39
1.5.3. Systèmes agrisylvopastoraux	39
1.5.4. Autres systèmes agroforestiers	39
1.5.5. Importances des systèmes agroforestiers	39
1.6. Zones d'enquêtes et sites d'études.....	40
1.6.1. Caractéristiques du site expérimental	43
1.6.1.1. Situation géographique.....	43
1.6.1.2. Climat.....	44
1.6.1.3. Hydrographie	46
1.6.1.4. Sols.....	46
1.6.1.5. Végétation	46
1.6.1.6. Population et activités humaines	47
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	48
2.1. Matériel	49
2.1.1. Matériel végétal	49
2.1.1.1. Clones GT 1 et IRCA 41 d'hévéa.....	49
2.1.1.2. Ignames de sous-bois	49
2.1.2. Matériel technique	50
2.2. Méthodes	52
2.2.1. Description des systèmes de cultures des ignames de sous-bois en Côte d'Ivoire.....	52
2.2.1.1. Choix des localités	52
2.2.1.2. Enquête de terrain et collecte de données	52
2.2.1.3. Analyse statistique	54
2.2.2. Évaluation de la croissance et de la production des ignames issues du système agroforestier igname de sous-bois hévéas matures	54

2.2.2.1. Choix et préparation du terrain	54
2.2.2.2. Dispositif expérimental et choix des hévéas	54
2.2.2.3. Mise en place de l'expérimentation	57
2.2.2.4. Entretien des parcelles.....	58
2.2.2.5. Collecte de données sur les paramètres de croissance et de production des ignames .	59
2.2.2.6. Analyse statistique	62
2.2.3. Évaluation des paramètres agronomiques, sanitaires et physiologiques de l'hévéa en association à l'igname de sous-bois	62
2.2.3.1. Collecte de données	62
2.2.3.2. Analyse statistique	66
2.2.4. Impact du système agroforestier hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnelles des sols.....	66
2.2.4.1. Collecte de données	66
2.2.4.1.1. Caractérisation de l'environnement morpho-physique du système hévéa-igname de sous-bois.....	66
2.2.4.1.2. Mesures des paramètres hydrodynamiques	70
2.2.4.1.3. Mesures des paramètres physico-chimiques des sols et analyse foliaire	71
2.2.4.1.4. Caractérisation de la santé des sols du système hévéa-igname de sous-bois	74
2.2.4.2. Analyses statistiques	77
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION	79
3.1. Résultats	80
3.1.1. Description des systèmes de culture des ignames de sous-bois dans les zones agroécologiques de production de la Côte d'Ivoire.....	80
3.1.1.1. Proportions des systèmes de cultures associant l'igname de sous-bois sur l'ensemble des régions enquêtées	80
3.1.1.2. Répartition des systèmes pratiqués par région enquêtée.....	80
3.1.1.3. Ages des cultures pérennes associées à l'igname de sous-bois	81
3.1.1.4. Superficie des cultures pérennes.....	82
3.1.1.5. Types de sols	83
3.1.1.6. Position topographique des exploitations.....	83
3.1.1.7. Cultivars d'ignames de sous-bois cultivées.....	84
3.1.1.8. Cycle de culture et période de récolte des principales ignames de sous-bois cultivées sous les cultures pérennes	85
3.1.1.9. Itinéraire technique cultural des ignames de sous-bois.....	86

3.1.1.10. Provenance des semences d'igname de sous-bois	87
3.1.1.11. Densités et rendements des ignames de sous-bois associées aux cultures pérennes	88
3.1.1.11.1. Densités des ignames de sous-bois	88
3.1.1.11.2. Rendements des ignames de sous-bois.....	89
3.1.1.12. Conservation des ignames de sous-bois	89
3.1.1.13. Commercialisation des ignames de sous-bois	90
3.1.1.14. Contraintes en culture d'ignames de sous-bois.....	91
3.1.2. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur la croissance et la production des ignames.....	92
3.1.2.1. Effet de l'hévéa du clone GT 1 sur la croissance et la production des ignames de sous-bois	92
3.1.2.1.1. Effet de l'accession d'igname sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois	92
3.1.2.1.2. Effet du mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois	94
3.1.2.1.3. Effet de l'interaction entre l'accession et le mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois	94
3.1.2.1.4. Effet de l'accession d'igname sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	97
3.1.2.1.5. Effet du mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	97
3.1.2.1.6. Effet de l'interaction accession mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	99
3.1.2.2. Effet de l'hévéa du clone IRCA 41 sur la croissance et la production des ignames de sous-bois.....	99
3.1.2.2.1. Effet de l'accession d'igname sur la levée et la croissance des ignames sous-bois	99
3.1.2.2.2. Effet du mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois	102
3.1.2.2.3. Effet de l'interaction entre l'accession et le mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois	102
3.1.2.2.4. Effet de l'accession d'igname sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	105
3.1.2.2.5. Effet du mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	105

3.1.2.2.6. Effet de l'interaction accession mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois	107
3.1.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques des clones GT 1 et IRCA 41	107
3.1.3.1. Clone GT 1 d'hévéa	107
3.1.3.1.1. Effet du système agroforestier hévéas matures du GT 1-ignames de sous-bois sur la croissance, la production et l'encoche sèche des hévéas matures	107
3.1.3.1.2. Effet du système hévéas matures du GT 1-ignames de sous-bois sur le potentiel hydrique foliaire (Ψ)	110
3.1.3.1.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur le profil physiologique du latex des hévéas du clone GT 1	110
3.1.3.1.3.1. Taux moyens d'extraits secs (ExS %) et teneurs moyennes en saccharose	110
3.1.3.1.3.2. Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols des hévéas GT 1	112
3.1.3.2. Clone IRCA 41 d'hévéa	112
3.1.3.2.1. Effet de l'association hévéas matures de l'IRCA 41-ignames de sous-bois sur la croissance, la production et l'encoche sèche des hévéas matures	112
3.1.3.2.2. Effet de l'association hévéas matures de l'IRCA 41-igname de sous-bois sur le potentiel hydrique foliaire (Ψ) des hévéas	114
3.1.3.2.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur le profil physiologique du latex du clone IRCA 41	114
3.1.3.2.3.1. Taux moyens d'extraits secs et teneur moyenne en saccharose	114
3.1.3.2.3.2. Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols	116
3.1.4. Impact du système hévéas matures-ignames de sous-bois sur les paramètres hydrodynamiques, physico-chimique et fonctionnels sols	118
3.1.4.1. Profil pédologique et types de sols	118
3.1.4.2. Paramètres hydrodynamiques du sol	121
3.1.4.2.1. Perméabilité hydraulique à saturation	121
3.1.4.2.2. Teneurs en éléments grossiers (Eg %) des sols	122
3.1.4.2.3. Distribution de la densité apparente (Da) des sols	123
3.1.4.2.4. Capacité de stockage et réserve utile en eau des sols	123
3.1.4.3. Caractéristiques physico-chimiques du sol	124
3.1.4.4. Caractéristiques physico-chimiques des feuilles d'ignames et d'hévéas	125
3.1.4.5. Indicateurs Biofunctool	128
3.1.4.6. Impact du système hévéa-igname sur les propriétés fonctionnelles du sol	128

3.1.4.7. Indice global de la santé des sols dans le système agroforestier hévéa-igname.....	130
3.2. Discussion	131
3.2.1. Description des systèmes de culture des ignames de sous-bois dans les zones agroécologiques de production de la Côte d'Ivoire.....	131
3.2.2. Impact du système agroforestier hévéa mature-igname de sous-bois sur la croissance et la production des ignames.....	135
3.2.3. Effet du système agroforestier hévéa mature - igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques des hévéas.....	139
3.2.4. Impact du système hévéa-igname de sous-bois sur le sol.....	143
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	148
RÉFÉRENCES.....	152
ANNEXES.....	178

DÉDICACE

Je dédie cette thèse à :

Mon père **SEY Djoman Felix**

Ma mère **ODJE Sasso Yolande**

Mon époux **DIABLÉ Acka Francois Dieudonné**

Mon fils **ACKA Adoukoua Jeriel**

Mes frères et sœurs **SEY Timothée, SEY Syntyche, SEY Evodie et SEY Triphene.**

AVANT-PROPOS

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont été possibles grâce au financement de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), dans le cadre du projet « Jeune Equipe Associée à l'IRD (JEAI) ». Le titre du projet est « Agroforesterie Hévéa Igname de sous-bois pour la Sécurité Alimentaire » (AHISSA). Le projet a été conduit par l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) en collaboration avec le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). L'objectif du projet est d'améliorer la production de l'igname par la mise au point d'un système agroforestier innovant associant l'igname de sous-bois à l'hévéa.

Ce mémoire de thèse découle dudit projet. Ainsi, pendant les années consacrées aux travaux de ma thèse, ceux-ci ont porté sur l'hévéa mature et l'igname de sous-bois. L'innovation dans ces travaux est l'association de l'hévéa mature à une culture vivrière, notamment l'igname de sous-bois. Cette association apporte une réponse concrète au problème de rareté de terres cultivables pour les vivriers. Elle contribue par ailleurs à la sécurité alimentaire des populations. En effet, le développement rapide de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire, bien qu'essentiel pour l'économie nationale, réduit progressivement les terres disponibles pour les cultures vivrières. Cela accentue ainsi les enjeux de sécurité alimentaire. Face à cette réalité, l'association de l'igname, première culture vivrière de la Côte d'Ivoire, avec l'hévéa mature apparaît comme une piste de recherche prometteuse. Il convient donc d'évaluer l'effet d'un tel système pour la sécurité alimentaire.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été la résultante des efforts conjugués de plusieurs personnes morales et physiques. Avant d'exposer les résultats de nos travaux, il nous appartient de manifester notre infinie reconnaissance à toutes ces personnes qui ont contribué de près ou de loin à leur progression et consolidation tant moralement, matériellement que financièrement.

Tout d'abord, nous tenons à remercier Madame ADOHI Adjo Viviane épouse KROU, Professeur Titulaire en Physique Atomistique et Nucléaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa qui n'a cessé de nous encourager à la recherche scientifique et à promouvoir l'excellence.

Nous remercions également Monsieur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire en Agro-Pédologie, Vice-Président en charge de la Pédagogie et de la Vie Universitaire de l'UJLoG, pour tous les efforts consentis à la planification de notre formation.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à Monsieur KONÉ Issiaka, Professeur Titulaire en Sociologie des organisations, Vice-Président en charge de la Recherche, de l'Innovation et des Relations Extérieures de l'UJLoG, pour sa disponibilité, ses encouragements et son engagement dans les activités de recherche et la réussite des étudiants.

Nous associons à ces remerciements, Monsieur KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie, pour ses conseils qui nous ont été utiles durant ce travail.

Également un grand merci à Monsieur AYOLIÉ Koutoua, Professeur Titulaire en Agrophysiologie, Directeur du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, pour ses conseils avisés dans la réalisation de cette thèse. Merci pour votre accueil chaleureux ainsi que pour votre disponibilité chaque fois que nous vous avons sollicités pour des questions administratives.

Nous tenons particulièrement à témoigner notre infinie gratitude à Madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Phytopathologie, Directrice Scientifique de cette thèse. Madame, pendant ces années de travail, vous nous avez guidé dans toutes les étapes de cette thèse et avez fait preuve d'une immense patience. Vous avez été disponible malgré vos différentes charges administratives. Vos observations, vos orientations et votre soutien moral nous ont permis de conduire à terme cette recherche. Pour autant, nous ne saurions trouver les mots justes pour vous exprimer notre gratitude pour la confiance que vous nous avez constamment accordée et pour le chemin que vous nous avez permis de parcourir grâce à vos critiques constructives, votre rigueur dans le travail et la constante sollicitude dont vous avez toujours fait preuve.

Nos remerciements vont également à l'endroit de Monsieur SOUMAHIN Eric Francis, Maître de Conférences en Agrophysiologie à l'Université Jean Lorougnon Guédé, Coordonnateur du projet AHISSA (Agroforestier Hévéa Ignose de sous-bois pour la Sécurité Alimentaire). Dès le début, vous nous avez guidé dans toutes les étapes du travail tout en dirigeant nos pas dans ce monde merveilleux de la recherche agronomique. Vos qualités personnelles et professionnelles resteront pour nous une immense source d'enrichissement à tous les points de vue. Recevez toute notre estime, notre entière admiration et notre reconnaissance pour tout ce que vous avez fait et que vous continuez de faire pour nous.

Nous remercions également tous les membres du conseil scientifique de l'UFR Agroforesterie pour leur engagement et leur expertise qui ont été déterminants dans l'avancement de cette thèse.

Aussi voudrions-nous tout particulièrement remercier tous les membres de notre jury de thèse.

À Monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des plantes de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous exprimons toute notre reconnaissance pour son accueil chaleureux et ses conseils avisés. Cher Maître, merci d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

À Monsieur CHERIF Mamadou, Maître de Conférences en Agrophysiologie de l'Université Félix Houphouët-Boigny, nous témoignons toute notre gratitude pour avoir accepté d'instruire cette thèse et de donner un avis favorable pour la réalisation de cette soutenance.

Notre reconnaissance va, en outre, à Monsieur GORE Bi Boh Nestor, Maître de Conférences en Génétique et Phytotechnie de l'Université Jean Lorougnon Guédé et instructeur de cette thèse pour le temps et l'attention consacrés à l'examen de ce mémoire de thèse. Sachez que vos suggestions ont grandement contribué à enrichir ce travail et à affiner notre réflexion.

Nous tenons aussi à remercier Messieurs COULIBALY Lacina Fanlégué, Maître de Conférences en Agrophysiologie de l'Université Peleforo Gon Coulibaly et VOKO Bi Rosin Don Rodrigue, Maître de Conférences en Microbiologie des sols de l'Université Jean Lorougnon Guédé, d'avoir accepté d'examiner notre thèse. Chers Maîtres, votre expertise est précieuse et nous apprécions votre soutien dans cette étape cruciale de notre parcours académique.

À l'ensemble des Enseignants-Chercheurs, Chercheurs et personnel administratif et technique de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous témoignons toute notre reconnaissance pour leurs contributions, leurs conseils et leurs assistances qui nous ont permis de mener à bien nos travaux.

Le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké a servi de cadre d'étude et nous a ainsi permis d'effectuer nos manipulations au sein du Laboratoire Central Sol, Eau et Plante (LCSEP).

Que Monsieur DIBI Konan Evrard Brice, Maître de Recherche en Agrophysiologie et Chef du Programme Plantes à racine et Tubercule à la station de Recherche de Bouaké, trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous associons à ces remerciements tous les autres membres du projet AHISSA. Il s'agit de Monsieur ESSEHI Jean Lopez, Chargé de Recherche en Agro-Pédologie, qui a conduit nos pas dans le monde de la science du sol ; merci infiniment pour votre disponibilité et vos précieux conseils.

Monsieur ADOLPHE Mahyao, Maître de Recherche, Socio-économiste, Directeur de la station CNRA de Gagnoa qui nous a apporté son précieux appui lors des enquêtes sur la caractérisation des ignames de sous-bois. Madame CLERMON-DAUPHIN Marie-Cathy, Chargée de Recherche à l'IRD en Ecologie fonctionnelle et Biogéochimie des sols et des Agrosystèmes, Correspondante de la JEAI, pour ses inestimables orientations.

Nous adressons également nos remerciements à Monsieur N'GUESSAN Oro Sosthène, chef de la plantation qui a servi à nos expérimentations.

Un très grand merci à Monsieur ABOBI Herbert, Maître de Conférences en pédologie de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour ses conseils, ses orientations et sa disponibilité.

Infiniment merci à tous nos amis, particulièrement KOUADIO Etelly Nassib, YAO Jean Jaurès, SOUMAHORO Megblè, N'GUESSAN Parfait et KOFFI N'Goran Désiré pour leur disponibilité, le soutien matériel, moral et spirituel qu'ils nous ont apporté.

Nous tenons à dire un grand merci à toutes les personnes dont les noms n'ont pu être mentionnés ici mais qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de nos travaux.

Un très grand merci aux familles LOUGA, N'GUESSAN, ABOUA et YESSO qui nous ont hébergés durant notre parcours universitaire à Daloa.

Nous adressons enfin nos remerciements à tous les membres de notre famille pour nous avoir soutenus tout au long de notre cursus universitaire.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Liste des sigles

ACP	: Analyse à Composante Principale
AFNOR	: Association Française de Normalisation
ANOVA	: Analyse of Variance
ANRPC	: Association of Natural Rubber Producing Countries
APROMAC	: Association des Professionnels de Caoutchouc Naturel de Côte d'Ivoire
CFA	: Communauté Financière d'Afrique
CIRAD	: Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
CPCS	: Commission de Pédologie et de Classification des Sols
CSE	: Capacité de Stockage en Eau
DPPSE	: Direction des Prévisions, Politiques et des Statistiques Economiques
FAO	: Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)
FIRCA	: Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles
GPS	: Global Positioning System
IFPRI	: International Food Policy Research Institute
INS	: Institut National des Statistiques
IRCA	: Institut de Recherche sur le Caoutchouc en Afrique
MDL	: Micro Diagnostic Latex
MINAGRI	: Ministère de l'Agriculture
MINEF	: Ministère de l'Environnement et de la Forêt
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
SAPH	: Société Africaine de Plantations d'Hévéa
SIPH	: Société Indochinoise des Plantations d'Hévéas
SODEXAM	: Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
WRB	: World Reference Base for soil

Liste des abréviations

°C	: Degrés Celsius
Accr	: Accroissement annuel moyen de circonférence
C/N	: Rapport carbone azote
Circn	: Circonférence des arbres à la fin de l'expérimentation ;
Circn-1	: Circonférence des arbres au début de l'expérimentation
cm.an ⁻¹	: Centimètre par année
CV	: Cheval-vapeur
Da	: Densité apparente
DAPFAL	: Délai d'apparition de la première feuille après la levée
DC	: Diamètre au collet
DL	: Délai de levée de la bouture
E	: Epaisseur de sol
ExS	: Extrait sec
Fr	: Franc
g.a ⁻¹ .s ⁻¹	: Gramme par arbre et par saignée
GT 1	: Gondang Tapen 1
Hp	: Humidité pondérale
K	: Perméabilité à saturation
LEM	: Longueur d'encoche malade
LET	: Longueur d'encoche totale
mmol.l ⁻¹	: Millimoles par litre
MO	: Matière organique
Nbl	: Nombre de boutures levées
nm	: Nanomètre
Npf	: Nombre de plants ayant des feuilles
Npm	: Nombre de plants mesurés
Ntb	: Nombre total de boutures semées
Ntbl	: Nombre total de boutures levées
Nte	: Nombre total d'emplacements
PF	: Poids de matière fraîche
pH	: Potentiel hydrogène
Pi	: Phosphore inorganique
PI	: Plantations Industrielles

Prod	: Production
PS	: Poids de matière sèche
Pte	: Poids des tubercules pesés par emplacement
Pv	: Poids vide du pilulier
PV	: Plantations Villageoises
R-SH	: Composés thiols
Rt	: Rendement en tubercules
RU	: Réserve utile en eau
S/2	: Saignée descendante en demi-spirale
S/4U	: Saignée en quart de spirale inversée
Sac	: Saccharose
SF	: Surface Foliaire
SSF	: Surface Spécifique Foliaire
TCA	: Acide trichloracétique
TES	: Taux d'encoche sèche
TL	: Taux de levée
Vcr	: Vitesse de croissance
Ψ_b	: Potentiel hydrique foliaire de base
Ψ_m	: Potentiel hydrique foliaire de midi

LISTE DES TABLEAUX	Pages
Tableau I : Valeurs de références des quatre paramètres physiologiques les plus importants du latex.....	17
Tableau II : Rendements des espèces vivrières associées à l'hévéa immature.....	24
Tableau III : Caractéristiques physiques des localités enquêtées.....	42
Tableau IV: Fonction de chaque matériel technique utilisé	51
Tableau V: Répartition des producteurs d'ignames de sous-bois dans les zones et les localités enquêtées en Côte d'Ivoire.....	52
Tableau VI: Méthode de détermination de quelques paramètres durant l'enquête.....	53
Tableau VII : Echelle du niveau d'affectation des arbres par l'encoche sèche	64
Tableau VIII : Normes d'interprétation des valeurs des éléments chimiques	73
Tableau IX: Décision pour la normalisation des indicateurs Biofunctool.....	78
Tableau X : Ages des cultures pérennes associées à l'igname de sous-bois par région.....	82
Tableau XI : Superficies des cultures pérennes associées aux ignames de sous-bois dans les régions enquêtées	82
Tableau XII : Proportions de quelques ignames de sous-bois dans les localités enquêtées	85
Tableau XIII: Cycles et périodes de récolte des principales variétés d'ignames de sous-bois cultivées en association.....	86
Tableau XIV: Itinéraires de culture des ignames de sous-bois selon les systèmes pratiqués...	87
Tableau XV: Densités d'ignames de sous-bois des systèmes cacao-igname, anacarde-igname et hévéa-igname.....	88
Tableau XVI : Production des ignames de sous-bois selon les systèmes de culture.....	89
Tableau XVII : Lieux de commercialisation et prix de vente des ignames de sous-bois.....	90
Tableau XVIII : Contraintes rencontrées en culture d'ignames de sous-bois	91
Tableau XIX : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différentes accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1	93
Tableau XX: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames de sous-bois semées sous GT 1	95
Tableau XXI : Valeurs moyennes de l'interaction accession et mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois semées sous GT 1	96
Tableau XXII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1.....	98
Tableau XXIII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis sous GT 1	98

Tableau XXIV : Valeurs moyennes de l'interaction entre l'accession et le mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois semées sous GT 1	100
Tableau XXV: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différentes accessions d'ignames de sous-bois semées sous IRCA 41	101
Tableau XXVI: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames de sous-bois semées sous IRCA 41	103
Tableau XXVII: Valeurs moyennes de l'interaction entre l'accession d'igname et le mode de semis sur la croissance des ignames de sous-bois semées sous IRCA 41	104
Tableau XXVIII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous IRCA 41	106
Tableau XXIX : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis sous IRCA 41	106
Tableau XXX : Valeurs moyennes de l'interaction entre accession d'igname et mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames sous IRCA 41	108
Tableau XXXI: Accroissements moyens annuels de circonférence, production et taux d'encoche sèche des hévéas du clone GT 1	109
Tableau XXXII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_b) et de midi (Ψ_m) des hévéas du clone GT 1 en saisons sèche et pluvieuse	111
Tableau XXXIII: Taux moyens annuels d'extraits secs du latex et teneur moyenne en saccharose des hévéas du clone GT 1	111
Tableau XXXIV : Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols du clone GT 1	113
Tableau XXXV: Accroissements moyens annuels de circonférence, production et taux d'encoche sèche des hévéas du clone IRCA 41	113
Tableau XXXVI : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire de base et de midi des hévéas du clone IRCA 41	115
Tableau XXXVII : Taux moyens d'extraits secs et teneur moyenne en saccharose des hévéas du clone IRCA 41	115
Tableau XXXVIII: Teneurs moyennes en phosphore inorganique du latex des hévéas du clone IRCA 41	117
Tableau XXXIX: Proportions des éléments chimiques dans les sols étudiés	126
Tableau XL: Proportions des éléments chimiques dans les feuilles d'ignames et d'hévéas	127
Tableau XLI: Score normalisé (S_i) de l'hévéa ou de l'igname en condition de culture pure ou en association sur les indicateurs de la qualité des sols	129

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Plantation adulte d' <i>Hevea brasiliensis</i>	8
Figure 2 : Feuille d'hévéa	9
Figure 3 : Hévéa en saignée	13
Figure 4: Evolution de la production de caoutchouc naturel en Côte d'Ivoire de 2002 à 2023	21
Figure 5: Différentes parties d'un plant d'igname	28
Figure 6 : Quelques accessions d'ignames de sous-bois	37
Figure 7 : Zones d'enquêtes	41
Figure 8 : Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique du site expérimental de l'étude.....	43
Figure 9 : Diagramme ombrothermique du département de Daloa de 1994 à 2023	44
Figure 10: Humidité relative du département de Daloa de 1994 à 2023	45
Figure 11 : Insolation du département de Daloa de 1994 à 2023.....	45
Figure 12 : Quelques caractéristiques morphologiques de l'accession Bacoué	50
Figure 13 : Quelques caractéristiques morphologiques de l'accession Soukpataloa.....	50
Figure 14 : Quelques matériels techniques	51
Figure 15 : Dispositif expérimental en bloc factoriel.....	56
Figure 16 : Tuteurage de l'igname	58
Figure 17 : Presse hydraulique (HBJ202).....	61
Figure 18 : Carte présentant la disposition des parcelles d'étude avec les sites de prélèvement de sol et de mesures des paramètres morpho-physiques	67
Figure 19 : Description morphopédologique d'un profil de sol.....	68
Figure 20 : Mesure <i>in situ</i> de la densité apparente par la méthode au sable marin.....	69
Figure 21 : Mesure de la vitesse de l'infiltration de l'eau dans le sol à l'aide du dispositif d'un anneau unique.....	70
Figure 22 : Prélèvement d'échantillons de sol à la tarière.....	72
Figure 23 : Mesure de la densité optique du gel à l'aide d'un spectrophotomètre	75
Figure 24: Baits lamina enfouis dans le sol de l'expérimentation	75
Figure 25 : Proportions des systèmes de culture associant les ignames de sous-bois pratiqués dans les régions d'études	80
Figure 26 : Proportions des systèmes de culture pratiqués par zone d'étude	81
Figure 27 : Types de sols utilisés pour les associations avec les ignames de sous-bois	83

Figure 28 : Position topographique des sols des cultures associées à l'igname de sous-bois ..	84
Figure 29 : Provenance des semences d'ignames de sous-bois	88
Figure 30 : Modes de conservation des ignames de sous-bois	90
Figure 31: Types de sols observés dans la toposéquence de la parcelle d'hévéas du clone GT 1	119
Figure 32 : Types de sols observés dans la toposéquence de la parcelle d'hévéa du clone IRCA 41	120
Figure 33: Types de sols observé dans la toposéquence de la monoculture d'igname	121
Figure 34 : Vitesse d'infiltration de l'eau dans les 20 premiers cm des sols selon le couvert végétal.....	122
Figure 35 : Distribution de la charge en éléments grossiers des sols des hévéas GT 1 et IRCA 41 et du sol de la monoculture d'igname de sous-bois en fonction de la profondeur..	122
Figure 36: Densités apparentes des sols étudiés	123
Figure 37: Capacité de stockage en eau et de la réserve utile des sols étudiés.....	124
Figure 38: Analyse en Composantes Principales des indicateurs de la santé des sols	129
Figure 39: Indice global de la santé des sols.....	130

LISTE DES ANNEXES

	Pages
Annexe 1 : Origines des accessions collectées	xxi
Annexe 2 : Enquête sur la culture des ignames de sous-bois	xxii
Annexe 3 : Quelques étapes de la mise en place de l'expérimentation.....	xxxiii
Annexe 4 : Levée d'une igname de sous-bois.....	xxxiv
Annexe 5 : Association hévéas-ignames de sous-bois	xxxv
Annexe 6 : Tubercules d'ignames de sous-bois sous hévéas.....	xxxvi

INTRODUCTION

L'agriculture est un pilier central de l'économie de la Côte d'Ivoire. Elle représente près de 22 % du produit intérieur brut (PIB) et emploie plus de 50 % de la population (Milhorance *et al.*, 2024). Cette agriculture repose sur une double dynamique ; elle est dominée d'un côté par les cultures de rente fortement exportatrices, notamment le cacao, le café et l'hévéa (Sangaré *et al.*, 2009) et par les cultures vivrières destinées à la consommation telles que l'igname, le manioc et la banane (Vawa *et al.*, 2021).

Parmi les cultures de rente, l'hévéa (*Hevea brasiliensis*), l'une des cultures pérennes les plus cultivées dans le monde, a connu une expansion remarquable ces dernières décennies. Il a été introduit en Côte d'Ivoire, dans les années 1950 à l'initiative de sociétés privées (Essehi, 2019). Sa culture était uniquement réservée aux entreprises agricoles et à quelques particuliers. Toutefois, avec la hausse constante des prix du caoutchouc sur le marché mondial et le fait qu'elle procure un revenu mensuel aux producteurs, l'hévéaculture a connu un développement spectaculaire. L'hévéaculture qui n'était pratiquée que dans le Sud de la Côte d'Ivoire, s'est étendue au cours de ces dernières décennies dans l'Est, le Centre-Ouest et le Nord-Ouest. Ces zones étaient qualifiées autrefois de marginales (Koulibaly, 2014). Le développement de l'hévéaculture est confirmé par l'augmentation de la production qui est passée de 135 542 tonnes en 2002 à 1 678 000 tonnes en 2023 (APROMAC, 2024). Cette situation a permis à la Côte d'Ivoire de se hisser au rang de premier producteur africain de caoutchouc et de troisième au plan mondial derrière l'Indonésie et la Thaïlande (ANRPC, 2024). Aujourd'hui, sur les six millions d'hectares de terres cultivées en Côte d'Ivoire, le verger hévéicole ivoirien couvre une superficie de plus de 650 000 hectares dépassant les 300 000 hectares prévus pour 2025 (APROMAC, 2021).

En revanche, l'expansion massive de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire a conduit à une saturation foncière dans les zones de culture de l'hévéa (Kouadio, 2021). Elle a par ailleurs, occasionné une indisponibilité de terres cultivables pour les cultures vivrières, provoquant une insécurité alimentaire (Koulibaly, 2014). En effet, selon l'Institut National des Statistiques (INS, 2016), la faim toucherait 20,6 % de la population rurale en Côte d'Ivoire.

Pour pallier l'insécurité alimentaire dans les zones hévéicoles, il convient de concevoir et de mettre en place des systèmes de cultures qui associent les hévéas matures à la production vivrière. Déjà des travaux antérieurs ont montré que l'hévéa peut à son stade jeune être associé aux cultures vivrières telles que le riz, l'arachide, le manioc, la banane et l'igname (Keli *et al.*, 2006 ; Kouadio, 2021). Cependant, au stade adulte, il s'avère difficile d'associer des cultures aux arbres d'hévéa en raison de leur grande hauteur qui produit de l'ombrage. En effet, la hauteur imposante de ces hévéas et la densité des feuillages génèrent un ombrage important

(Snoeck *et al.*, 2013), réduisant de manière très considérable la quantité de lumière disponible au niveau du sol. Ainsi, ces facteurs restreignent et limitent le choix des cultures à associer aux hévéas matures. Par conséquent, seules certaines espèces adaptées à ces faibles conditions de luminosité ou disposant de quelques stratégies d'adaptation spécifiques peuvent parvenir à assurer une production convenable dans cet environnement (N'Goran, 2024). Il est donc primordial de trouver des espèces capables de s'adapter dans un tel environnement en vue de valoriser les interlignes inexploités dans les parcelles d'hévéas matures et augmenter la proportion des terres cultivables pour les vivriers. Ainsi, l'igname, première culture vivrière de la Côte d'Ivoire, se présente comme une alternative intéressante pour venir à bout de cette insécurité alimentaire.

En effet, l'igname (*Dioscorea* sp.) est une culture vivrière beaucoup consommée en Côte d'Ivoire. Elle est l'aliment de base des populations et occupe une place très importante, car elle représente, à elle seule, 63,72 % de la superficie des cultures vivrières (Coulibaly, 2004). Avec une production de 8 000 000 de tonnes en 2023 (Assocle, 2024), elle contribue à la sécurité alimentaire de plusieurs millions de personnes. Ainsi, de plus en plus, l'igname devient-elle une source de revenus pour les producteurs ivoiriens (N'Goran *et al.*, 2007). En Côte d'Ivoire, les espèces cultivées sont principalement *D. alata* et *D. rotundata* (Bakayoko *et al.*, 2019). Au sein de ces espèces, il existe plusieurs variétés d'igname (Eza & Ballo, 2022). Parmi cette grande diversité d'igname se trouvent celles qui sont aussi capables de se développer sous les bois. Ce type d'igname cultivé en sous-bois permet aux paysans d'avoir de la nourriture en permanence, de lutter contre le problème de tuteurage et de résoudre le problème de rareté de terre cultivable.

Les ignames de sous-bois sont communément appelées *Cocoassié* en langue vernaculaire. Ce sont des ignames comestibles qui sont connues pour leurs bonnes croissances sous l'ombrage du cacaoyer. Ces ignames s'intègrent harmonieusement aux habitudes culinaires locales, notamment dans la préparation du foutou d'igname, plat emblématique baoulé (Ruf, 2010). Ainsi, elles permettent de contribuer à la sécurité alimentaire des ménages ruraux surtout en période de soudure où ils sont confrontés à une pénurie alimentaire (N'Goran *et al.*, 2024).

Ces ignames de sous-bois semblent être propices à une éventuelle association culturale avec les hévéas matures. Cette association permettra aux paysans non seulement de subvenir à leurs besoins alimentaires, mais aussi d'accroître leurs revenus et de préserver l'environnement. Vu qu'aucun modèle n'existe à notre connaissance, il conviendrait de concevoir un système agroforestier hévéa mature igname de sous-bois. L'objectif de cette étude est de contribuer à la

sécurité alimentaire par l'augmentation de la production de l'igname en Côte d'Ivoire. Les objectifs spécifiques assignés à cette étude sont de :

- ✓ décrire les systèmes de cultures mis en place par les producteurs d'ignames de sous-bois dans les différentes zones agroécologiques de production en Côte d'Ivoire ;
- ✓ évaluer la croissance et la production des ignames de sous-bois associées aux hévéas matures ;
- ✓ évaluer l'effet de l'association hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques de l'hévéa ;
- ✓ déterminer l'impact de l'association hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnels des sols.

Pour atteindre ces objectifs, cette étude s'est appuyée sur les différentes hypothèses de recherches que sont :

- ✓ les systèmes de culture des ignames de sous-bois sont connus ;
- ✓ les ignames de sous-bois sont capables de croître et de se développer sous les hévéas matures ;
- ✓ les ignames de sous-bois peuvent être cultivées dans les interlignes des hévéas matures sans aucun inconvénient sur les hévéas ;
- ✓ les ignames de sous-bois cultivées dans les interlignes des hévéas matures sont sans dommage sur les caractéristiques physico-chimiques et fonctionnelles des sols.

Outre l'introduction, le présent travail est subdivisé en trois parties. La première partie est consacrée aux généralités sur l'hévéaculture et sur l'igname. Dans la deuxième partie, sont présentés le matériel et la méthodologie utilisés pour la conduite des travaux, la collecte et l'analyse des données. Les résultats sont ensuite exposés, suivis de leur discussion dans la troisième partie. Cette dernière partie est suivie de la conclusion générale et de quelques perspectives de recherche. Enfin, la liste détaillée des références citées a été consignée dans les références bibliographiques.

GÉNÉRALITES

1.1. Hévéa

1.1.1. Origine et distribution

L'hévéa, de son nom scientifique *Hevea brasiliensis* est originaire d'Amérique du Sud et plus précisément du Brésil (Dusotoit-Coucaud, 2009). Il a été découvert par Charles de la Condamine en 1736 et décrit pour la première fois par le botaniste français Fresneau, en 1747. C'est l'anglais Sir Henri Wickham qui, en 1876, collecte les premières graines du Brésil à grande échelle et les envoie au Jardin botanique de Kew en Angleterre, à Londres (Déon, 2012). En 1877, les plants ayant survécu provenant de Kew sont envoyés à Singapour, provoquant la naissance et l'extension de l'hévéaculture en Asie. Au cours du XIX^e siècle, la culture s'étend en Afrique de l'Ouest et en Amérique latine.

C'est en 1953, avec l'arrivée de la Compagnie Française de Caoutchouc d'Extrême-Orient et d'Afrique, que la culture de l'hévéa devient effective en Côte d'Ivoire (Monner, 1974). Les premiers essais ont eu lieu à Prollo près du fleuve Cavally et à Dabou (Brou, 1982). Des plantations expérimentales ont été installées en 1955 près d'Ono et de Dabou par la Société Indochinoise des Plantations d'Hévéas (SIPH), devenue en 1956 la SAPH : Société Africaine des Plantations d'Hévéas (Thierry, 2005).

1.1.2. Systématique

L'hévéa (*Hevea brasiliensis*), ou arbre à caoutchouc, appartient à la famille des Euphorbiaceae qui regroupe des espèces herbacées et ligneuses dont la caractéristique commune est la présence de latex dans les tissus phloémiens (tiges, feuilles et racines). Les Euphorbiaceae sont réparties dans les zones tempérées et tropicales (Dusotoit-Coucaud, 2009). Dix espèces sont décrites à ce jour : *H. benthamiana*, *H. brasiliensis*, *H. camporum*, *H. guianensis*, *H. microphylla*, *H. nitida*, *H. pauciflora*, *H. rigidifolia*, *H. spruceana* et *H. camargoana* (Schultes, 1990). Ces différentes espèces sont considérées comme un complexe d'espèces du fait de l'absence de barrière de reproduction entre elles (Clement-Demange *et al.*, 1997). Le latex de la plupart de ces espèces est résineux et donne du caoutchouc de mauvaise qualité, excepté *H. brasiliensis*, *H. benthamiana* et *H. guianensis* (Besse, 1993). Parmi toutes ces espèces, *H. brasiliensis* est la plus cultivée dans le monde pour la qualité et la quantité de latex qu'elle produit. Cette espèce a le meilleur potentiel de production de caoutchouc naturel avec un fort intérêt économique.

Selon Schultes (1990), la position systématique de *Hevea brasiliensis* est la suivante :

Règne	: Végétal
Sous-règne	: Tracheabiontes
Embranchement	: Angiospermes
Division	: Magnoliophytes
Classe	: Dicotylédones
Sous-classe	: Rosidées
Ordre	: Euphorbiales
Famille	: Euphorbiaceae
Genre	: Hevea
Espèce	: <i>Hevea brasiliensis</i>

1.1.3. Botanique

L'hévéa est un arbre à croissance rythmique et à ramification orthotrope (Okoma, 2008). C'est un grand arbre de forêt qui atteint une hauteur de 25 à 30 m avec un tronc de 3 m de diamètre dans son milieu naturel (Hong *et al.*, 1999). Cette hauteur est généralement atteinte en fin de vie économique, entre 25 et 30 ans (Compagnon, 1986 ; Atsin, 2017). En plantation, les hévéas sont, dans la plupart des cas, des arbres greffés. L'hévéa est un arbre des régions chaudes au tronc cylindrique portant à son sommet un bouquet de feuillage et qui produit un latex qu'on extrait de l'arbre. Sa couronne qui atteint les étages supérieurs de la forêt est généralement peu observable au sol (Lehi, 2022).

L'hévéa est une dicotylédone. C'est un arbre à feuilles caduques. En règle générale, une plantation mature (Figure 1) en production traverse une période d'hivernage caractérisée par une défoliation qui dure approximativement un mois. En Afrique de l'Ouest et Centrale, la sénescence des feuilles débute en décembre. Elle est suivie d'une défoliation à la fin du mois de Janvier. La réfoliation commence généralement fin Février. L'uniformité du matériel végétal dans les parcelles clonales favorise la synchronisation de ce phénomène. Cela s'accompagne de changements physiologiques qui sont marqués notamment par une intense mobilisation des assimilats et des réserves de carbone durant la phase de refoliation. La nécessité de mettre fin à la saignée durant cette phase de refoliation est bien connue de tous. L'hévéa est légèrement tronconique vers la base (Thierry, 2005 ; Soumahin *et al.*, 2022).

L'hévéa se caractérise par une écorce vert grisâtre. Les feuilles sont composées de trois folioles (Figure 2) disposées à l'extrémité d'un long pétiole (Elabo, 2009). Les fleurs des hévéas sont de petite taille, de couleur jaune clair et rassemblées en grappes. Elles apparaissent après la chute des feuilles. Les fruits sont constitués d'une capsule à 3 loges contenant chacune une

graine (Soumahin, 2010 ; Traoré, 2014). À maturité, celles-ci sont projetées avec un bruit d'éclatement sec, caractéristique. Ces graines de 2 cm environ, d'une section ovale, quelques fois presque rondes, sont revêtues d'un tégument coriace, brun brillant, décoré de taches blanchâtres ; on dit de ce fruit qu'il est déhiscent (Hallé & Martin, 1968). La floraison commence quand l'arbre atteint l'âge de 4 à 5 ans. Elle est déclenchée par une forte intensité lumineuse et elle peut survenir une à deux fois par an (Yeang, 2007). Les fleurs fécondées tombent du mois d'Août à Septembre. C'est à partir de cette période que les graines sont ramassées pour les pépinières. L'hévéa est une plante monoïque, c'est-à-dire qu'elle possède des fleurs mâles et femelles sur la même plante. Préférentiellement allogame (fécondation croisée), ses fleurs sont unisexuées (l'inflorescence porte séparément les fleurs mâles et femelles).

Hevea brasiliensis peut vivre pendant plus de 100 ans (Hallé & Martin, 1968). La multiplication végétative de l'hévéa se fait par greffage (Déa *et al.*, 2000). L'hévéa présente un enracinement à la fois pivotant et traçant. Le pivot orthotrope se développe en profondeur sur des distances pouvant aller à plus de cinq mètres dans les terrains homogènes et à bonne structure. Il assure ainsi l'ancrage de l'arbre dans le sol (Compagnon, 1986). Par ailleurs, l'hévéa subit moins rapidement le déficit hydrique grâce au pivot bien développé, qui contribue à l'alimentation en eau et en sels minéraux à partir des couches profondes du sol, notamment en période de sécheresse (Kouadio, 2021).

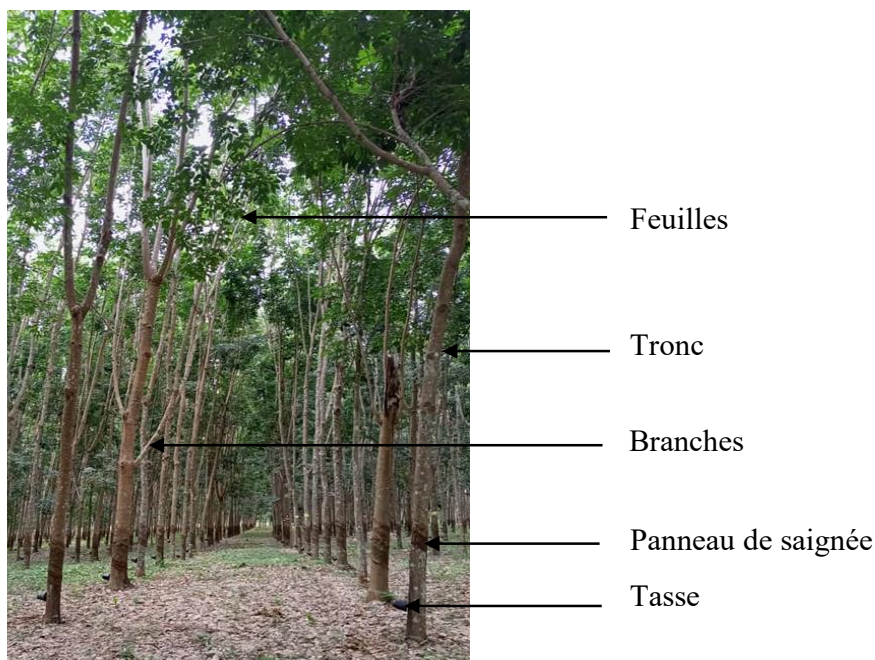


Figure 1 : Plantation adulte d'*Hevea brasiliensis*

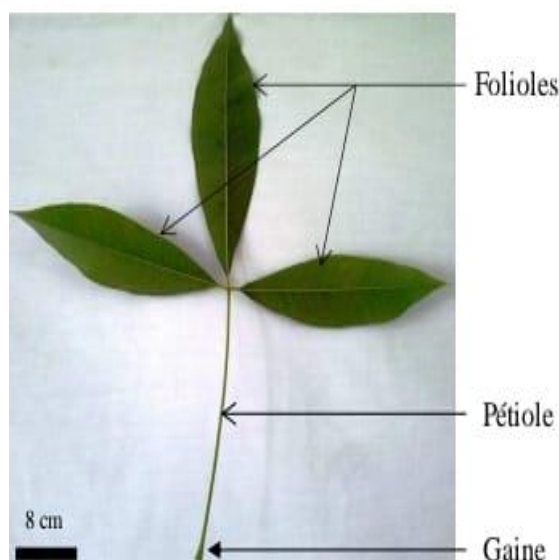


Figure 2 : Feuille d'hévéa

1.1.4. Ecologie

L'hévéa est un arbre qui prospère en climat équatorial ou tropical humide (Martin, 1970). La pluviosité constitue un facteur très important à considérer, car elle conditionne d'une part la végétation de l'arbre et d'autre part la production de caoutchouc. Les pluviométries moyennes annuelles de l'ordre de 1800 à 2500 mm, avec un minimum de 1500 mm d'eau par an, sont suffisantes pour répondre aux exigences de l'hévéa (Gnanglè *et al.*, 2011 ; Ndoutoumou *et al.*, 2016). Toutefois, l'hévéa peut se développer sous des pluviométries plus faibles comprises entre 1200 et 1400 mm, tel que c'est le cas à Abengourou (Coulibaly *et al.*, 2022). Les saisons sèches peuvent avoir une incidence favorable en empêchant ou en limitant le développement de certaines maladies très préjudiciables à l'hévéa (Ndoutoumou *et al.*, 2017).

L'hévéa a besoin pour son développement d'une température moyenne annuelle comprise entre 25 et 37 °C (APROMAC, 2018). Des périodes assez longues de températures journalières inférieures à 20 °C ont inévitablement des effets limitant la croissance de l'hévéa (Gnanglè *et al.*, 2011 ; Ndoutoumou *et al.*, 2016). Ces effets se trouvent souvent, associés à certains facteurs limitants tels que des périodes sèches prolongées, ou amplifiées par d'autres, tels que des conditions physiques de sols médiocres. En ce qui concerne la production de caoutchouc, la température fait partie de la conjoncture climatique qui conditionne l'écoulement du latex au moment de la saignée (Gnanglè *et al.*, 2011 ; Ndoutoumou *et al.*, 2016).

Le bois d'hévéa est cassant. Les zones à tornades doivent être évitées et, dans la mesure du possible, les lignes de plantation doivent être orientées dans le sens du vent. Il est ainsi recommandé l'utilisation des clones moins cassants (Martin, 1970). Parmi de nombreux clones

sélectionnés pour leur productivité, un petit nombre a révélé une meilleure résistance à la casse. Ces clones sont utilisés de préférence. Il s'agit des clones GT 1, IRCA 41, PB 217, etc. (Compagnon, 1986 ; Chapuset *et al.*, 2000). Les vents violents causent des dégâts considérables (Clement-Demange, 2001).

En raison de la racine pivotante de l'hévéa, sa culture requiert des sols meubles et profonds de texture sablo-argileuse à argileuse. Les sols superficiels et hydromorphes sont donc déconseillés. Le sol doit être idéalement plat ou présenter une faible inclinaison (APROMAC, 2018). Les caractéristiques physiques du sol susceptibles d'être défavorables à la mise en place de l'hévéa sont la présence d'éléments grossiers, le cuirassement et l'hydromorphie (Krishnakumar & Potty, 1992 ; Kouassi *et al.*, 2010). Le pH optimum du sol doit se situer entre 4,5 et 5,5 (Compagnon, 1986).

1.1.5. Itinéraire technique cultural

1.1.5.1. Choix du terrain

Pour la réussite d'une plantation d'hévéa, il convient de l'établir sur un terrain plat ou de très faible pente. Cette pente doit être inférieure à 10 %. Aussi, le sol doit être profond, meuble et d'une texture argilo-sableuse ou sablo-argileuse (Wehi, 2012).

1.1.5.2. Préparation du terrain

La préparation du terrain consiste à l'ensemble des quatre opérations suivantes :

- **Défrichement et abattage**

Le défrichage consiste à éliminer la végétation présente sur une parcelle spécifique. Si l'on entreprend de réaliser une plantation sur un ancien défrichage, il est nécessaire de retirer la végétation au moyen d'une machette. En revanche, pour un couvert forestier, il est nécessaire de commencer par couper les sous-bois, lianes, herbes et arbustes à l'aide d'une machette. Ensuite, l'opération se poursuit par l'abattage, qui vise à couper tous les grands arbres au moyen d'une tronçonneuse ou d'une hache (Wehi, 2012).

- **Brulage**

Le brûlage est une méthode traditionnelle utilisée surtout dans les zones de forêt et de jachères. Un mois après le défrichage et l'abattage des arbres, il est opportun de procéder à la combustion de la végétation accumulée. Cette étape permet de réduire le stock de mauvaises herbes présentes dans le sol et de faciliter la réalisation des interventions ultérieures. Il fournit de manière temporaire de la matière organique et des cendres riches en minéraux, notamment

en potassium, et rend le sol plus meuble. L'allumage du feu se fait dans l'après-midi lorsque la végétation est bien sèche (Wehi, 2012).

- **Piquetage et densité**

Le piquetage consiste à matérialiser, à l'aide de piquets, l'emplacement des futures plantes d'hévéa. Les arbres sont retenus selon un agencement en ligne, suivant une densité définie. Trois densités courantes sont ainsi utilisées. Il s'agit notamment de la densité de 510 arbres par hectare, 555 arbres par hectare et 666 arbres par hectare. Ces densités correspondent respectivement aux espacements de 7 mètres, 6 mètres et 5 mètres entre les lignes, et de 2,80 mètres, 3 mètres et 3 mètres entre les plantes sur une même ligne. Toutefois, le dispositif recommandé par le CNRA est celui de 6 mètres sur 3 mètres, soit une densité de 555 arbres/ha (Wehi, 2012).

- **Trouaison**

La trouaison consiste à creuser des trous destinés à recevoir des plants à l'emplacement des piquets. Ainsi deux modes opératoires semblent possibles. La trouaison peut être manuelle ou mécanique (FIRCA, 2022). Elle est manuelle lorsqu'à l'aide de ciseaux palmistes ou d'une daba, des trous de 40 cm de côté et de 60 cm de profondeur sont creusés à l'emplacement des piquets. Il est impératif que tous les trous soient placés du même côté des piquets afin de ne pas modifier la densité de plantation (Wehi, 2012). La terre de surface doit être disposée d'un côté et celle de profondeur d'un autre côté. La trouaison est manuelle lorsqu'on utilise une tarière à double hélice de 40 cm de diamètre attelée à un tracteur de 40 CV. Le tractoriste est ainsi guidé par un ou deux manœuvres sur la ligne de plantation.

1.1.5.3. Planting des arbres

La plantation s'effectue pendant la saison des pluies et consiste à installer dans les trous les plants d'hévéas élevés en pépinière. Pour les plantes en sac, on commence par découper le fond du sac à l'aide d'une machette, puis on le fend à mi-hauteur dans le sens de la longueur, en partant du bas. Le sac est ensuite placé dans le trou en orientant le greffon vers le sud-ouest. Une fois positionné, le sac est retiré par le haut. Après cela, tasser la terre de surface autour de la morte de terre de sac et terminer le planting par la terre de profondeur en damant au moyen du plantoir (Wehi, 2012).

1.1.5.4. Entretien

L'entretien constitue une opération culturale essentielle, qui vise à assurer une bonne croissance et une protection efficace des jeunes plants. Il regroupe un ensemble d'actions complémentaires, mises en œuvre de manière régulière au cours des premières années de développement.

Parmi ces interventions, figure le contrôle de la végétation adventice, qui consiste à éliminer les mauvaises herbes susceptibles de concurrencer les plants pour les ressources essentielles telles que l'eau, les nutriments et la lumière.

La confection de cuvettes au pied des plants permet de recueillir efficacement les eaux de pluie et de canaliser les apports en fertilisants, améliorant ainsi leur assimilation.

Le paillage, par l'apport de matière végétale au sol, joue un double rôle : il contribue à la conservation de l'humidité et à la reconstitution de la matière organique, favorisant ainsi l'activité biologique du sol.

L'ébourgeonnage vise à éliminer les bourgeons indésirables afin de structurer le jeune plant et d'orienter sa croissance vers une forme optimale pour l'exploitation future.

L'entretien comprend également le remplacement des plants morts ou non conformes, ainsi que la fertilisation, indispensable pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques de l'hévéa durant ses premières phases de développement (FIRCA, 2022).

1.1.6. Technique de récolte du latex

La technique de récolte du latex est l'ensemble des pratiques hévéicoles visant à extraire le latex de façon régulière, ordonnée et planifiée. Elle prend en considération divers facteurs, notamment le système de saignée et aussi la stratégie de stimulation hormonale (Jacob *et al.*, 1995).

1.1.6.1. Système de saignée

La saignée est l'opération qui consiste à pratiquer une incision dans l'écorce de l'arbre à l'aide d'un outil tranchant (Figure 3). Cette opération vise à sectionner les vaisseaux laticifères de l'arbre hévéa en vue de permettre l'expulsion du latex vers l'extérieur (Soumahin, 2010).

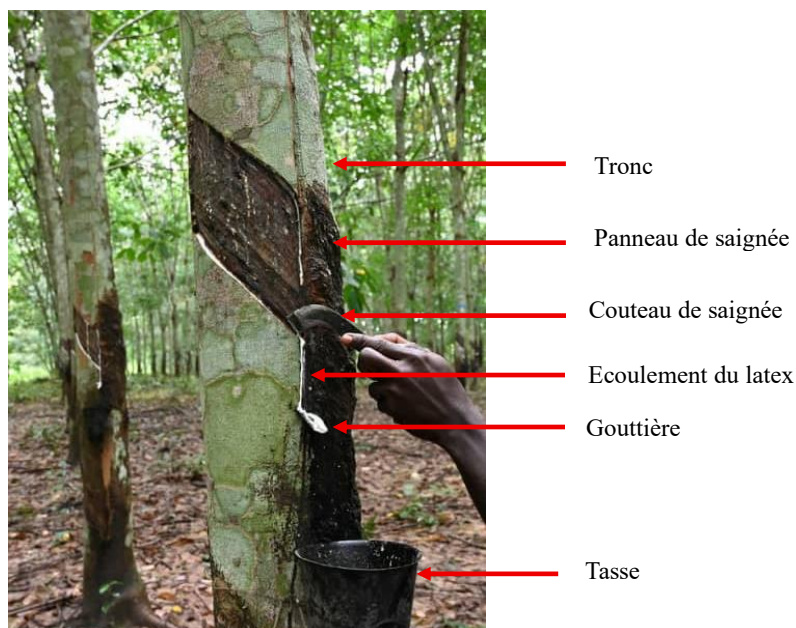


Figure 3 : Hévéa en saignée

- **Critères ou normes de mise en saignée**

La mise en saignée des arbres d'une plantation d'hévéa débute par une identification des arbres qui respectent les conditions requises pour la saignée. En effet, des études menées par Obouayeba (2005) ont montré que deux conditions sont nécessaires pour une mise en saignée permettant une récolte sans préjudice important, sur le latex de l'arbre, à long terme. Il s'agit notamment de la maturité des hévéas qui est atteinte 6 ans après la plantation et de la circonférence à 1 m du sol, qui est de 50 cm. Une fois ces conditions réunies, la saignée peut être réalisée.

- **Longueur de l'encoche de saignée**

La distance qui sépare les pointes supérieures et inférieures de l'encoche de saignée est appelée longueur d'encoche de saignée (Kouakou, 2022). Les premières méthodes de saignée consistaient à pratiquer une spirale entière ou plusieurs fractions de spirale réparties en différents emplacements du tronc (Compagnon, 1986). Ainsi, lorsque l'incision concerne toute la circonférence de l'arbre, on parle de spirale entière (S). En demi-spirale (S/2), l'incision couvre la moitié de la circonférence de l'arbre et en quart de spirale (S/4), elle couvre un quart de la circonférence (Kouakou, 2022). Les encoches longues, c'est-à-dire les spirales entières, réduisent la production de latex par centimètre d'encoche (Soumahin, 2010). Par ailleurs, selon Obouayeba (2009), les saignées en quart de spirale et en demi-spirale sont les plus utilisées.

- **Direction de la saignée**

L'exploitation de l'écorce de saignée peut être descendante ou remontante. La saignée descendante est pratiquée en demi-spirale durant les neuf premières années de récolte du latex (Traoré, 2014). Quant à la saignée remontante ou inversée, elle est pratiquée sur les arbres âgés dont le latex a été récolté pendant neuf années en demi-spirale descendante (Soumahin, 2010). Le ravivage de l'écorce se fait du bas vers le haut et de la droite vers la gauche. Ainsi, la régénération du latex se fait dans les meilleures conditions. Cette méthode, bien que délicate, présente une très bonne productivité et peut durer au moins huit années (Kouakou, 2022).

- **Fréquence de saignée**

On appelle fréquence de saignée, l'intervalle de temps entre deux saignées consécutives pour des saignées continues (Lehi, 2022). La saignée est réalisée tout au long de l'année à une fréquence régulière de deux (d2), trois (d3), quatre (d4), voire même six jours (d6). Selon Soumahin (2010), la fréquence de saignée la plus utilisée en Côte d'Ivoire est celle qui est réalisée tous les trois jours (d3). En outre, l'un des facteurs déterminant de la production est le nombre de saignées au cours d'une année. Ce dernier dépend de la fréquence de saignée. Ainsi, il est important de ne pas pratiquer un trop grand nombre de saignées afin d'éviter l'épuisement de l'arbre et des chutes de production à long terme. Le nombre de saignées doit être suffisant pour que la production tende vers le potentiel maximum de l'arbre (Compagnon, 1986 ; Lehi, 2022).

1.1.6.2. Stimulation hormonale

La stimulation est une composante du système de récolte du latex de l'hévéa en vue d'intensifier son exploitation. Elle se traduit par un apport d'énergie exogène pour lui permettre de produire davantage de caoutchouc, à partir de modifications de processus physico-chimiques de la production (Gohet, 1996). L'éthéphon, commercialisé sous le nom d'Ethrel, est un générateur d'éthylène. Il est de nos jours le principal agent stimulant utilisé par les hévéaculteurs (Dibi, 2011). Les traitements éthyléniques permettent de doubler, voire même de tripler la production de latex par la prolongation de la durée d'écoulement, l'augmentation de la zone d'écorce drainée par la saignée. La stimulation agit ainsi sur les deux facteurs limitants de la production que sont l'écoulement et la régénération du latex entre deux saignées consécutives (Ballo, 2019). On appelle fréquence de stimulation le temps qui sépare deux stimulations consécutives. Elle doit être suffisamment adaptée pour permettre à l'arbre de rétablir un équilibre physiologique, plus ou moins affecté en fonction de la quantité de substance active administrée et du type de système de saignée utilisé.

Les principaux produits utilisés pour la stimulation hormonale en Côte d'Ivoire sont l'Ethrel, le ELS 50 Double Red, l'Amephon, le Hevetex, le Callel et le Panover. La stimulation est appliquée avec un pinceau par les saigneurs deux jours avant la saignée (Compagnon, 1986). La stimulation est déconseillée à certaines périodes de l'année, notamment durant la phase de défoliation et de refoliation. Cette période est marquée par une diminution drastique des activités physiologiques surtout durant les saisons de pluies fréquentes et abondantes, qui provoquent le lessivage du produit stimulant ; ainsi que pendant les périodes de faible luminosité, où la réduction de l'activité photosynthétique résulte d'un manque de rayonnement solaire qui atteint la plante (Compagnon, 1986).

1.1.7. Paramètres physiologiques du latex liés à la production

Plusieurs paramètres biophysiques et biochimiques du latex peuvent refléter l'état de fonctionnement physiologique du système laticigène à un moment donné, tant en ce qui concerne l'écoulement que la régénération. À partir de la représentation donnée par la combinaison des niveaux de ces différents paramètres, il est possible de statuer sur l'état physiologique de fonctionnement du système de production à un moment donné. Ceci débouche sur un diagnostic physiologique permettant d'évaluer l'aptitude à la production des arbres étudiés : le diagnostic latex (Jacob *et al.*, 1995). Les paramètres pris en compte dans le diagnostic latex sont l'extrait sec, le saccharose, le phosphore inorganique et les composés thiols.

1.1.7.1. Extrait sec du latex (ExS)

Il prend en compte non seulement le caoutchouc (environ 90 % de l'extrait sec) mais également les constituants autres que l'eau des cellules laticifères. Il reflète l'activité de biosynthèse globale du tissu producteur (Thanh & Thuy, 2003). Ce paramètre intègre également les processus de transferts hydriques inter plasmiques qui se produisent notamment lors de la saignée et contrôle probablement en partie les caractéristiques de l'écoulement (Lacrotte, 1991). Une faible valeur de l'extrait sec représente une faible activité du métabolisme de régénération. À l'inverse, une valeur élevée traduit soit un métabolisme de régénération très efficient, soit une difficulté de rééquilibrage hydrique au niveau de l'aire drainée qui peut éventuellement entraver l'écoulement, du fait d'une trop grande viscosité du latex (Milford *et al.*, 1969 ; Brzozowska-Hanower *et al.*, 1979).

1.1.7.2. Saccharose (Sac)

L'élaboration du *cis*-polyisoprène (molécule de caoutchouc) se fait en deux étapes. La première est la transformation du saccharose, synthétisé dans les feuilles, en acétate. La deuxième est l'activation de l'acétate en acétyl-coenzyme A et sa transformation en *cis*-polyisoprène. Le saccharose du latex représente potentiellement un facteur limitant essentiel du métabolisme de régénération et donc de production (Lacrotte, 1991 ; Thanh & Thuy, 2003). La teneur en saccharose du latex dépend de son utilisation et de l'alimentation hydrocarbonée des tissus laticifères. L'interprétation de la teneur en saccharose du latex est donc complexe : une concentration élevée peut par exemple traduire un bon approvisionnement des laticifères et permet un haut niveau d'activité (Tupy & Primot, 1976), mais elle peut aussi signifier une faible utilisation métabolique de ce sucre dans le cas d'une faible activité laticigène (Gohet, 1996) et vice versa. En fait, la concentration mesurée représente le bilan du saccharose importé activement vers le tissu laticigène et du saccharose effectivement métabolisé (Lacrotte, 1991). Dans les conditions où le saccharose devient un facteur limitant de la production de caoutchouc, des corrélations positives peuvent être obtenues entre sa teneur dans le latex et la production de caoutchouc (Eschbach *et al.*, 1984).

1.1.7.3. Phosphore inorganique (Pi)

Le phosphore inorganique est un indicateur de l'intensité du métabolisme énergétique des cellules laticifères (Jacob *et al.*, 1988). Il est impliqué dans le catabolisme glucidique (Jacob, 1970) ainsi que dans l'anabolisme isoprénique. En effet, le phosphore inorganique peut provenir de l'hydrolyse de molécules phosphorylées et principalement de celle du pyrophosphate inorganique (PPi) produit par la « rubber » transférase lors de l'élongation de la chaîne de *cis* polyisoprène (Lynen, 1969). De ce fait, sa concentration est très fortement corrélée avec la production (Thanh & Thuy, 2003). La stimulation qui provoque une activation générale du métabolisme au sein des laticifères a aussi pour conséquence une augmentation de la teneur en phosphore inorganique du latex (Eschbach *et al.*, 1984).

1.1.7.4. Composés ou groupements thiols (R-SH)

Les thiols présents dans le latex, sous leur forme réduite (R-SH), contribuent de manière essentielle à la protection des membranes des organites du latex, pareil que les lutoïdes et les particules de Frey-Wyssling. Ainsi, ils neutralisent les formes toxiques de l'oxygène, notamment les peroxydes, superoxydes et radicaux libres (Chrestin, 1984). Ce rôle majeur d'antioxydant favorise ainsi la stabilité colloïdale du latex et s'avère un facteur bénéfique pour l'écoulement, en empêchant ou du moins en retardant la coagulation. Les thiols jouent

également le rôle d'activateurs d'enzymes clés du catabolisme glucidique (Jacob *et al.*, 1982). Ils peuvent donc influencer favorablement sur le métabolisme de régénération. Les corrélations positives entre concentration en thiols et production obtenues par plusieurs auteurs (Thanh & Thuy, 2003) reflètent cette double activité. Au sein du latex, les thiols sont essentiellement représentés par la cystéine, la méthionine et surtout le glutathion (Cretin & Bangratz, 1983). L'examen simultané des niveaux des quatre paramètres précédents, associé aux données agro-écologiques du milieu, permet de statuer sur l'état d'équilibre physiologique du système laticifère et d'en dresser le bilan. Les valeurs de référence de ces paramètres définies par Jacob *et al.* (1987) sont indiquées dans le tableau I.

Tableau I : Valeurs de références des quatre paramètres physiologiques les plus importants du latex

Paramètres physiologiques	Ex.S (%)	Sac (mmol.l ⁻¹)	Pi (mmol.l ⁻¹)	R-SH (mmol.l ⁻¹)
Très élevé	> 43	> 12	> 25	> 0,9
Elevé	38 à 43	9 à 12	20 à 25	0,80 à 0,90
Moyen	33 à 38	6 à 9	15 à 20	0,60 à 0,80
Faible	29 à 33	4 à 6	10 à 15	0,50 à 0,60
Très faible	≤ 29	≤ 4	≤ 10	≤ 0,50

Ex.S (%) : taux moyen d'extrait sec de latex exprimé en pourcentage ; Sac (mmol.l⁻¹) : teneur moyenne en saccharose du latex exprimée en millimole par litre ; Pi (mmol.l⁻¹) : teneur moyenne en phosphore inorganique du latex exprimée en millimole par litre ; R-SH (mmol.l⁻¹) : teneur moyenne en groupements thiols du latex exprimée en millimole par litre.

Source : Jacob *et al.* (1987)

1.1.8. Typologie clonale de fonctionnement métabolique du système laticifère

L'étude de différents clones, en l'absence de stimulation hormonale de la production de caoutchouc, a permis de montrer que leur système laticifère pouvait être performant et actif (Soumahin, 2010). Cette étude a, en outre, permis de distinguer des clones à métabolisme lent et intermédiaire.

- Clones à métabolisme lent

Le clone IRCA 41 (Institut de Recherche sur le Caoutchouc 41) est originaire de la Côte d'Ivoire et est caractérisé par un écoulement peu aisé (Kouakou, 2022). Ce clone provient du croisement entre le clone GT 1 et le PB 51 créé en 1974. Sa vigueur immature est voisine à celle du GT 1 (Clement-Demange, 2001). Il fait partie des clones à métabolisme lent. D'après Chapuset *et al.* (2000), ce clone présente une meilleure résistance à la casse des arbres provoquée par le vent. En l'absence de toute stimulation hormonale, ce type de clone se caractérise par une faible productivité en caoutchouc (Gohet, 1996). Ce faible niveau de

production est un signe d'une activité métabolique intrinsèque très peu intense. Ce profil est notamment mis en évidence par une faible concentration en phosphore inorganique (Pi), indicateur physiologique clé. La teneur en sucre du latex est élevée. Le taux d'extrait sec est relativement bas, signe d'une faible régénération. L'intensification de l'exploitation par la stimulation hormonale permet d'activer significativement le métabolisme, notamment par l'accélération glycolytique. Il s'en suit une très bonne réponse de ce type de clone à la stimulation hormonale, laquelle permet d'augmenter très significativement le niveau de production (Atsin, 2017). Il faut aussi noter que ces clones sont généralement peu sensibles au syndrome de l'encoche sèche.

- Clones à métabolisme intermédiaire

Le clone GT 1 (Gondang Tapen 1) est originaire de l'Indonésie (Kouakou, 2022). Il est considéré comme le clone de référence en Côte d'Ivoire (Essehi, 2019). Selon Obouayeba *et al.* (2000), ce clone a une croissance végétative radiale modérée et est le seul clone actuellement planté dans les 20 secteurs hévéicoles que compte la Côte d'Ivoire. Il est moyennement sensible à l'encoche sèche et a une résistance moyenne à la casse due au vent (Kouakou, 2022). Il se caractérise par un écoulement plus ou moins faible et présente, en l'absence de stimulation hormonale, une production moyenne de caoutchouc ; signe d'une activité métabolique intrinsèque également moyenne ou modérée. L'indicateur physiologique correspondant est une teneur moyenne en phosphore inorganique au sein du latex (Atsin, 2017). Le clone GT 1 possède moins de sucres que ceux du précédent groupe. La stimulation hormonale de la production de caoutchouc permet d'activer significativement le métabolisme dans la limite du sucre intra-laticifère disponible (Traoré *et al.*, 2014).

1.1.9. Facteurs liés à la croissance végétative de l'hévéa

La croissance végétative de l'hévéa est influencée par une diversité de facteurs relevant de plusieurs domaines. Selon Compagnon (1986), ces facteurs sont étroitement liés aux conditions d'établissement et d'entretien de la plantation, aux modalités de récolte du latex, ainsi qu'à la pression exercée par les agents pathogènes.

Les facteurs relatifs à l'établissement et à l'entretien concernent notamment le niveau de fertilité du sol et la densité de plantation, deux éléments déterminants pour le bon développement des jeunes plants (Obouayeba, 2005).

En ce qui concerne la récolte du latex, des pratiques telles que la saignée et la stimulation hormonale exercent une influence particulièrement significative sur la croissance des arbres,

tant par leurs effets physiologiques directs que par les sollicitations qu'elles imposent à la plante (Soumahin *et al.*, 2014). La vitesse de croissance de l'hévéa tend à diminuer lorsque la mise en saignée est précoce et la production plus élevée (Obouayeba *et al.*, 2002).

La mise en saignée des hévéas s'accompagne systématiquement d'une diminution marquée du rythme annuel de croissance isodiamétrique, passant d'environ 9 cm à 1 cm selon la classe de croissance isodiamétrique du tronc du clone et le niveau d'intensité de la récolte de latex (Gohet, 1996 ; Obouayeba & Boa, 1993). La récolte du latex de l'hévéa, et par conséquent la production de caoutchouc qui en découle, influencent négativement la croissance isodiamétrique (Obouayeba & Boa, 1993). Il semble y avoir une forte compétition pour les assimilats entre la croissance isodiamétrique et la production de caoutchouc. Ainsi, les clones les plus vigoureux, qui concentrent prioritairement leur métabolisme sur la synthèse de biomasse primaire, sont les plus sensibles aux déviations des assimilats vers la synthèse de biomasse secondaire (Gohet, 1996).

1.1.10. Maladies

Chez l'hévéa, il existe plusieurs maladies qui influencent la production du latex. Certaines de ces maladies sont dues à des agents pathogènes et d'autres à des problèmes physiologiques.

1.1.10.1. Maladies dues aux agents pathogènes

Au niveau des feuilles, l'on distingue la maladie de chute des feuilles due à *Corynespora cassiicola* (Yao *et al.*, 2018). Les symptômes les plus rencontrés sont caractérisés par des lésions foliaires brunes avec une décoloration progressive des tissus périphériques. Les feuilles peuvent jaunir entièrement, se dessécher puis tomber, selon l'importance de la maladie. Les infections sur les tiges et les pétioles conduisent à une déchirure de l'écorce et à la mort des organes. La gestion actuelle du problème consiste à privilégier des clones moins sensibles lors de la plantation et à assurer une protection régulière des arbres au moyen de traitements antifongiques (Déon, 2012).

Pour ce qui est des racines, la plus importante maladie est la « pourriture blanche des racines » ou le « pourridié des racines ». L'agent causal du pourridié des racines est un champignon du sol appelé *Leptoporus lignosus* ou *Rigidoporus lignosus* ou *Fomes lignosus* couramment appelé *Fomes* (Wahounou *et al.*, 2017). Le pourridié des racines peut provoquer une diminution du peuplement d'hévéas dans une plantation, entraînant des pertes variant de 10 à 30 %, et pouvant même atteindre 50 % (Obouayeba, 2005). Cette maladie représente la principale menace pour la culture de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Elle entraîne directement la mort

des arbres infectés quels que soient leurs âges ou leurs vigueur. En outre, ces contaminations et infections ayant lieu en dessous de la surface du sol, les symptômes de dépérissement ne sont visibles qu'après une infection déjà avancée. L'arbre est alors pratiquement condamné (Ballo, 2019). Les moyens de lutte mis en œuvre consistent à identifier et marquer les arbres atteints, en découvrant la terre au niveau de leurs racines latérales ainsi que de celles de leurs voisins immédiats. Les arbres infectés sont ensuite isolés ou extraits de la parcelle. Un traitement curatif est ensuite appliqué à l'aide de fongicides à base de triazoles, généralement reconnaissable par la présence de résidus visibles au pied des arbres traités (FIRCA, 2013).

1.1.10.2. Maladie physiologique

Observée au niveau de l'encoche de saignée, l'encoche sèche est un syndrome physiologique. Elle se manifeste par l'interruption partielle ou totale de l'écoulement de latex suite à la saignée (Okoma *et al.*, 2011 ; Obouayeba *et al.*, 2016). L'encoche sèche causée par un dysfonctionnement physiologique des arbres, suite à des exploitations intensives sur-saignée et/ou sur-stimulation (Dian *et al.*, 2016). Les pratiques agricoles telles que la mauvaise gestion de la technique de récolte du latex, l'utilisation de clones sensibles et la durée de la production de caoutchouc des arbres contribuent à plus de 60 % à l'apparition et au développement de l'encoche sèche chez l'hévéa, dans les plantations non industrielles (Okoma *et al.*, 2016). En Côte d'Ivoire, l'encoche sèche affecte 9 % des arbres en plantation industrielle et 12 % des arbres en plantation non industrielle (Ballo, 2019).

1.1.11. Importance de l'hévéaculture

➤ Importance économique

L'hévéa apparaît pour de nombreux paysans, comme une source de revenu viable et crédible. Partout, dans toutes les régions du Centre-Ouest, de l'Est, du Sud et du Sud-Ouest, l'hévéaculture suscite un véritable engouement auprès des populations car elle leur permet de diversifier leurs sources de revenus. En effet, l'exploitation hévéicole est source de richesse, parce qu'elle procure des revenus substantiels aux acteurs de la filière. Ces revenus sont mensuels et s'étendent sur 10 à 12 mois de production dans l'année (Meless, 2016). Le caoutchouc naturel est devenu le 2^e produit agricole d'exportation de la Côte d'Ivoire après le cacao. Le caoutchouc naturel est utilisé comme matière première dans diverses industries que sont la pneumatique, la pharmaceutique, la construction de ponts, d'immeubles, le bitumage de route, etc. (Jacob *et al.*, 1989). Par ailleurs, l'industrie du pneu reste l'un des principaux débouchés de la filière hévéa (Soumahin, 2010). Cependant, quelques sous-produits en découlent. Il s'agit de l'huile d'amande qui peut être utilisée de diverses manières, notamment

en cosmétique (Nadarajah *et al.*, 1973), des graines dont la transformation donne un tourteau qui peut servir à l'alimentation des animaux (Ocho, 1999) et du bois d'hévéa qui est utilisé dans la confection de meubles et la production d'énergie (Ahoba, 2011). De ce point de vue, l'hévéaculture a une place importante dans l'économie du pays (Gbodjé, 2021). De plus, la production nationale (Figure 4) qui augmente au rythme de 5 % l'an, a atteint une production de 1 678 000 tonnes en 2023 (APROMAC, 2024) contre 135 542 tonnes en 2002. Ces avantages font de l'hévéa un instrument majeur de développement des zones rurales tropicales (Thaler, 2013).

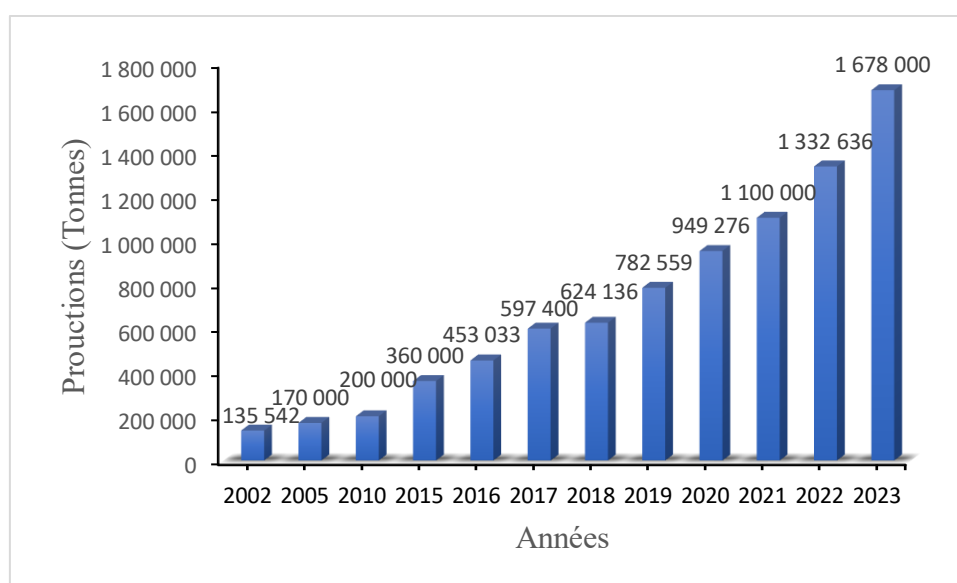


Figure 4: Evolution de la production de caoutchouc naturel en Côte d'Ivoire de 2002 à 2023
Source: APROMAC (2024)

➤ Importance environnementale

Une étude réalisée par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en Asie du Sud-Est, principale région productrice de caoutchouc, met en lumière que l'introduction de l'hévéa représente une opportunité pour préserver l'écosystème et même restaurer les qualités physiques et chimiques du sol (Diby *et al.*, 2017).

Les travaux réalisés par Simien (2005) et Rodrigo *et al.* (2011) ont aussi montré le rôle bénéfique de l'hévéa sur l'environnement. La culture de l'hévéa améliore en effet selon ces auteurs les propriétés physiques, hydrodynamiques, chimiques et biologiques des sols dégradés à cause du chevelu racinaire très abondant, de sa grande séquestration du CO₂ et de l'environnement de forêt secondaire qu'elle crée. Elle reconstitue également un couvert forestier dès cinq ans (Obouayeba *et al.*, 2015). Par ailleurs, grâce à la production importante de biomasse végétale après la période de défoliation, l'hévéa génère un écosystème de forêt

secondaire susceptible de freiner la dégradation du milieu, même sur un sol pauvre de savane à *Imperata cylindrica* (Obouayeba *et al.*, 2015). La biomasse d'une plantation d'hévéas adulte est estimée entre 85 et 100 tonnes par hectare tandis que celle d'une forêt tropicale dense se situe entre 300 et 400 tonnes par hectare (Huttel et Reversat, 1967). De plus, la production de litière sous un couvert hévéicole varie entre 4,5 et 14 tonnes par hectare, avec un taux de décomposition de 66 % (Tié, 1985 ; Ballo, 2019).

1.1.12. Zone de production de l'hévéa

- **Au niveau international**

On dénombre 31 pays producteurs de caoutchouc naturel. Les principaux pays producteurs de caoutchouc naturel à l'échelle internationale incluent la Thaïlande, l'Indonésie et la Côte d'Ivoire (ANRPC, 2024).

La République dominicaine, Brunei, la Centrafrique, le Congo et la Bolivie sont les pays ayant les plus faibles productions de caoutchouc naturel. En 2023, la production mondiale de caoutchouc naturel a atteint 14,74 millions de tonnes (Marion, 2024).

- **Au niveau régional**

En Afrique de l'Ouest, les plus grands pays producteurs de caoutchouc naturel sont la Côte d'Ivoire, le Nigéria, le Liberia et le Cameroun (Kouadio, 2021). La production de caoutchouc naturel s'élevait à 1,61 million de tonnes, soit 11 % de la production mondiale. La Côte d'Ivoire a fourni 82,57 % de cette production régionale (SIPH, 2025). Ainsi, l'Afrique de l'Ouest représente un potentiel de développement idéal pour l'hévéaculture. Cette dynamique s'explique par des conditions climatiques favorables, une main-d'œuvre agricole abondante et des terres disponibles favorables au développement de l'hévéaculture (Kouadio, 2021).

- **En Côte d'Ivoire**

Les zones de production ivoiriennes de caoutchouc sont Dabou, Anguédédou, Bonoua, Aboisso, Adzopé, Agboville, Sikensi, Divo, Tiassalé, Grand-Lahou, Gagnoa, Daloa, Issia, Guibéroua, Bettié, Abengourou, Bongouanou, Daoukro, Soubré, Guiglo, Duékoué, Bloléquin, Tabou, Grand-Béréby (Brindoumi, 2010). Toutefois, les nouvelles plantations se créent désormais dans presque toute la zone dite forestière ou post-forestière. Par exemple, ces dernières années, l'hévéa a considérablement progressé dans les régions de Yamoussoukro, San-Pedro, Sassandra (Brindoumi, 2010) et même à Man (Koffi *et al.*, 2021). La production enregistrée en 2023 est de 1 678 000 tonnes (APROMAC, 2024).

1.2. Associations culturelles à base d'hévéa

Les associations culturelles à base d'hévéa sont couramment pratiquées dans plusieurs pays producteurs de caoutchouc naturel tels que le Brésil, la Malaisie, l'Indonésie, la Thaïlande (Penot & Ollivier, 2009) et la Côte d'Ivoire (Kéli *et al.*, 2005 a). L'hévéa peut être associé, de manière temporaire ou permanente, à des cultures vivrières, à des espèces pérennes ou encore à des essences forestières.

1.2.1. Associations temporaires à base d'hévéa

En Côte d'Ivoire, plusieurs associations temporaires intégrant des hévéas ont été mises en place. D'une part, ces systèmes visent à garantir aux petits planteurs une production destinée à l'autoconsommation familiale. D'autre part, ils permettent d'assurer un revenu additionnel pendant la période improductive des hévéas (3 à 4 ans) grâce à la commercialisation des cultures associées. Enfin, ces pratiques favorisent la diversification et la stabilisation des cultures (Kéli *et al.*, 2005 a).

1.2.1.1. Associations temporaires hévéas-cultures vivrières

Une diversité d'associations hévéas-vivriers a fait l'objet d'essais en Côte d'Ivoire. L'objectif était d'identifier les techniques culturelles possibles mais également de faire la monoculture vivrière en intercalaire des hévéas avec ou sans apport de fumure (Kéli *et al.*, 2005 a; Kouadio, 2021). Ainsi, plusieurs études ont montré que pendant la phase immature, l'hévéa pouvait être associé à un certain nombre de vivriers sans dommage pour les arbres (Tableau II). Il s'agit notamment de l'igname, du riz, de l'arachide, du maïs et de la banane plantain (Kéli *et al.*, 2006). Dans les jeunes hévéas de trois ans, le piment est aussi cultivé (Penot & Ollivier, 2009). Ces cultures présentent un effet bénéfique sur la croissance des hévéas. En effet, la croissance des hévéas en association avec ces cultures a été supérieure de 29 % par rapport à celle des témoins non associés (Kéli *et al.*, 2005 a). De plus, certaines cultures associées, notamment les légumineuses telles que l'arachide, enrichissent le sol en azote en favorisant une augmentation de la circonférence de ces hévéas. Relativement aux rendements des cultures vivrières, une moyenne globale a été observée pour quelques spéculations. Ainsi, à Anguédédou, l'igname affiche un rendement de 17,7 t/ha, tandis que celui du piment est de 1,44 t/ha (Obouayeba, 1991). Toutefois, ces associations sont limitées dans le temps en raison de l'ombrage produit par les hévéas matures qui créent une compétition pour la lumière (Kouadio, 2021).

Tableau II : Rendements des espèces vivrières associées à l'hévéa immature

Espèces	Variétés associables	Rendement (t/ha)
Igname	Florido, Krenglè	8 à 25
Riz	IRAT 112, IRAT 14, IDESSA 10, IDESSA 16, IAC 164	2,5 à 4
Mais	F 7635, F 7928, IRAT 83, IRAT 81	1,5 à 3
Arachide	KH 149 A	1,5 à 2,5
Bananier plantain	Corne 1, Orishele	3,5 à 5

t : tonne ; ha : hectare

Source : Obouayeba (1991)

1.2.1.2. Associations temporaires hévéas-cultures pérennes

Vingt années d'expérimentations conduites en Côte d'Ivoire ont permis de montrer que certaines cultures pérennes, notamment le caféier, le cacaoyer, le palmier à huile, le kolatier et le citronnier, peuvent être cultivées dans les plantations d'hévéa au cours des trois à quatre premières années, sans nuire au développement des jeunes hévéas (Kéli *et al.*, 2005 a). Bien au contraire, ces associations contribuent généralement à une amélioration de la croissance des hévéas et ne réduisent pas leur production. Parmi les espèces associées, le palmier à huile a présenté un développement végétatif jugé moyen, tandis que le colatier, en revanche, a montré une croissance particulièrement médiocre, notamment dans les zones du Sud-Est du pays. En ce qui concerne le caféier, les performances enregistrées en termes de production sont très satisfaisantes. Un rendement de 4 t/ha a été obtenu, soit une valeur comparable à celle observée en monoculture. Snoeck *et al.* (2013) rapportent que des essais d'association entre l'hévéa et le cacaoyer ont également été menés au Brésil et en Côte d'Ivoire, en station expérimentale. Les résultats préliminaires de ces expérimentations ont été jugés satisfaisants. Toutefois, les auteurs signalent qu'à partir de la sixième année, l'ombrage généré par les hévéas adultes affecte négativement les rendements du cacaoyer, soulignant ainsi la nécessité d'un aménagement approprié des espacements et d'une gestion rigoureuse de la canopée dans ces systèmes agroforestiers. Ainsi, selon Kouadio (2021), l'avenir du système hévéa-cacaoyer repose sur l'adoption de systèmes de plantation à très grands écartements, avec des espacements compris entre 12 et 18 mètres entre les doubles ou triples lignes d'hévéas.

1.2.2. Associations permanentes hévéas-cultures pérennes et essences forestières

En Côte d'Ivoire, on retrouve des associations durables avec des cultures telles que le caféier (Kouadio, 2021), le teck (N'Guessan, 2022), le fromager et l'akpi (Bamba, 2024). Ces associations permanentes avec l'hévéa constituent probablement des leviers de stabilisation économique pour les exploitations aux surfaces cultivables restreintes. Toutefois, on observe une diminution de la production au fil des années, principalement attribuable à l'ombrage généré par les hévéas (Ollivier, 2000) dès leur entrée en production. Les caféiers cultivés en association avec des doubles lignes d'hévéa espacées de 33 mètres affichent des rendements équivalents à ceux observés en monoculture. En revanche, lorsque l'écartement entre les doubles lignes d'hévéa est réduit à 16 mètres ou à 11 mètres, une diminution significative de la production de café est constatée. Cette production tend à s'annuler au-delà de cinq années (Kouadio, 2021). Pour ce qui est du teck, la présence des hévéas exerce une influence favorable sur son développement global. Ils améliorent notamment leur croissance, leur rectitude, leur branchage ainsi que leur capacité naturelle à s'élaguer. Par contre, la présence des tecks entraîne une diminution de 40 à 52 % respectivement au niveau de la croissance et de la production des hévéas (N'Guessan, 2022). Il en est de même pour les fromagers associés aux hévéas. Les fromagers induisent une diminution de la croissance et une baisse de la production de caoutchouc des hévéas matures situés dans un rayon de trois mètres des fromagers (Bamba, 2024). En Asie du Sud-Est, les arbres fruitiers sont fréquemment conservés et cultivés parmi les hévéas. Parmi ceux-ci, on trouve le durian, un bois de grande valeur qui peut générer un revenu considérable, bien que sa production n'intervienne qu'à partir de la quinzième année après sa plantation. Le ramboutan (*Nephelium lappaceum*), très prisé localement, est également planté dans ces systèmes, tout comme le jengkol (*Archidendron pauciflorum*), le petai (*Parkia speciosa*) et le *Lansium domesticum* appelé langsat (Penot & Ollivier, 2009).

1.3. Igname

Le terme igname est utilisé ici de manière inclusive pour désigner à la fois les ignames dites ordinaires ou traditionnelles, largement cultivées et consommées par les populations et les ignames dites de sous-bois.

1.3.1. Igname ordinaire ou traditionnelle

1.3.1.1. Origine et distribution

L'igname (*Dioscorea* sp.) est une plante tubéreuse cultivée dans les zones tropicales et subtropicales d'Afrique, des Caraïbes, d'Océanie et d'Asie du Sud par de petits exploitants. Il existe plusieurs espèces. *Dioscorea alata* et *D. esculenta* sont originaires de l'Asie du Sud-Est tandis que *D. cayenensis-rotundata*, *D. dumetorum* viennent de l'Afrique de l'Ouest. *D. trifida* est originaire de la région frontalière du Brésil et de la Guyane, tandis que *D. bulbifera* vient de l'Asie et de l'Afrique (Kouakou, 2010). La majorité de ces espèces se rencontre donc dans les zones intertropicales (entre 20°N et 20°S), mais on en cultive également en zone tempérée, comme en Argentine, en France ou au Japon (Cornet, 2015). Presque tout le potentiel mondial d'ignames provient de l'Afrique ; soit environ 97 % en 2016 (Akakpo, 2018).

La région dite de la ceinture de l'igname, comprenant la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigeria et le Cameroun, est la principale zone de production d'igname dans le monde. En Afrique de l'Ouest, cinq espèces sont économiquement plus importantes. Il s'agit de *Dioscorea alata*, *Dioscorea dumetorum*, *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea esculenta* ainsi que *Dioscorea rotundata* (Kouakou, 2010). *D. alata* a été introduite en Afrique de l'Ouest dans le courant du 16^e siècle. En raison de ses qualités organoleptiques, *D. rotundata* est très souvent préférée à *D. alata* (Cornet, 2015). *D. alata* est surtout cultivée en Côte d'Ivoire (Akakpo, 2018).

1.3.1.2. Systématique

D'après la classification établie par Coursey (1972) et rapportée par Yolou *et al.* (2015), les ignames sont des Monocotylédones appartenant au genre *Dioscorea*. Celles-ci font partie de la famille des Dioscoréacées et de l'ordre des Dioscoréales. Une classification analogique a par la suite été faite par Dégras (1986). Selon cette classification, la position systématique du genre *Dioscorea* est la suivante :

Embranchement	: Spermaphytes
Sous-embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Ordre	: Dioscoréales
Famille	: Dioscoreaceae
Genre	: <i>Dioscorea</i>
Espèce	: <i>Dioscorea</i> sp

1.3.1.3. Botanique

Les ignames appartiennent à l'embranchement des Cormophytes. Ce sont des plantes vivaces rampantes. Ces plantes sont herbacées, grimpantes, à tige volubile, ou épineuse, de section cylindrique ou anguleuse et comportent une partie vivace, souterraine ou non et une partie caduque, aérienne, plus mince. Les feuilles des ignames sont alternes ou opposées, sans poils, et de forme cordiforme, souvent avec des bulbilles qui facilitent la multiplication. Les tubercules formés constituent la partie comestible de la plante. Elles se présentent sous la forme cylindrique, sphérique ou lobulée, de couleur brune. La chaire est de couleur blanche, jaune ou rougeâtre et le poids est variable, atteignant parfois 10 kg. Selon Cornet (2015), le genre *Dioscorea* regroupe plus de 600 espèces, mais seulement quelques-unes d'entre elles sont utilisées dans l'alimentation humaine. Il s'agit notamment des espèces de *D. alata*, *D. dumetorum*, *D. bulbifera*, *D. rotundata*, *D. cayenensis* et *D. esculenta* (Maliki, 2013).

Les différentes espèces d'ignames se différencient par leurs caractéristiques botaniques (tiges, fleurs, fruits), par la présence ou non de bulbilles et par le sens d'enroulement des tiges. Au sein de chaque espèce, les variétés se distinguent par l'apparence des tubercules, la couleur de la chair, les propriétés de l'amidon, l'aspect extérieur des tiges, ainsi que la configuration des feuilles et leur positionnement sur la tige (Nyabyenda, 2005). De nombreuses espèces d'ignames sauvages produisent aussi des bulbilles sur la tige (Dumont *et al.*, 1997). La partie souterraine se compose de deux éléments distincts : les racines et les tubercules.

Le système racinaire de l'igname est encore mal connu de nos jours. Cependant, Hgaza *et al.* (2011) indiquent qu'il reste majoritairement superficiel (< 0,3 m de profondeur) tout au long du cycle. Les racines du tubercule et la surface du tubercule elle-même jouent un rôle important dans l'absorption de l'eau et des nutriments (Ferguson & Gumbs, 1976).

Les tubercules sont les principaux organes de stockage, et se présentent sous diverses formes. Les racines, les tiges et les feuilles (Figure 5) se développent toutes à partir d'un tissu unique, appelé massif néoformé.

Dumont *et al.* (2005) soulignent que d'une façon générale, les ignames sont dioïques et rarement monoïques. Les variétés cultivées et de nombreuses espèces sauvages sont en général annuelles. La multiplication de l'igname se fait couramment par voie végétative à partir de fragments de tubercules ou de tubercules entiers, et aussi à partir des bulbilles (Diby, 2005).

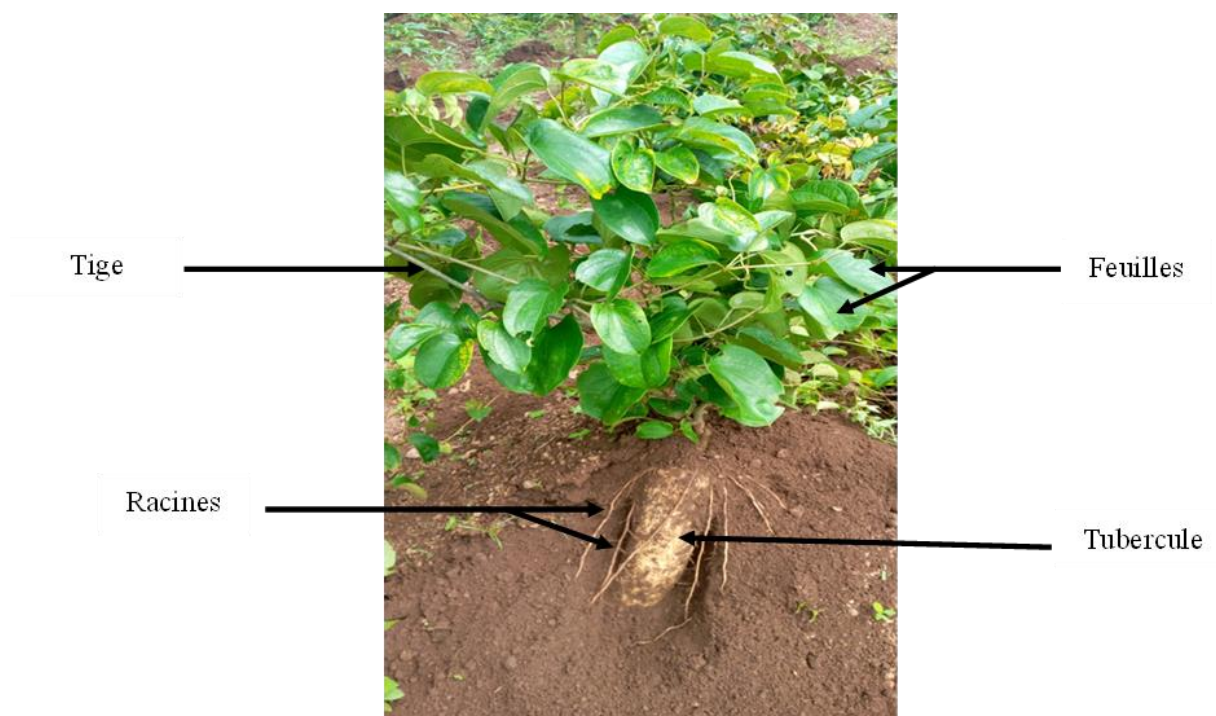


Figure 5: Différentes parties d'un plant d'igname

1.3.1.4. Ecologie

1.3.1.4.1. Exigence climatique

L'igname est donc un taxon d'espèces tropicales qui nécessitent des températures élevées. La germination est comprise entre 25 et 30 °C. Les températures inférieures à 15 °C ou supérieures à 35 °C retardent la germination. L'igname, durant la saison de culture, a besoin d'une importante quantité d'eau. Elle se cultive dans des zones où la pluviométrie varie entre 600 et 1800 mm (Adifon *et al.*, 2019). Cependant, certaines variétés d'ignames peuvent être cultivées dans des climats où les précipitations annuelles dépassent 3000 mm, tandis que d'autres peuvent prospérer avec une pluviométrie aussi faible que 600 mm. Toutefois, dans ce dernier cas, le rendement net reste faible et il est impossible de réaliser deux récoltes par année (Cornet, 2005). Au cours du cycle, l'igname peut tolérer de courtes périodes de stress hydrique. Cette action s'accompagne presque toujours d'une réduction du rendement (Onwueme, 1976).

La photopériode semble influencer la croissance des tubercules. Les jours de courte durée, environ 12 heures, caractéristiques des régions tropicales de culture de l'igname, favorisent la tubérisation (Cornet, 2015). En revanche, les journées supérieures à 12 heures semblent favoriser le développement de la partie aérienne. Selon Pouzet (1985), la floraison est également influencée par la photopériode.

1.3.1.4.2. Exigence pédologique

L'igname est tolérante à une large gamme de sols mais préfère des sols légers, profonds, bien drainés, à texture limono-sableuse ou sablo-limoneuse (Cornet, 2005). Il est préférable d'éviter les sols hydromorphes et lourds. L'igname est exigeante sur la qualité physique des sols qui doivent être meubles, perméables, profonds, riches en potasse et en matières organiques et de pH compris entre 5 et 7 (Janssens, 2001). Une compaction de la zone de croissance du tubercule et des racines passant de 1,1 à 1,3 et 1,6 g/m³ de sol diminue fortement le rendement. De solides capacités de drainage préviennent la compaction du sol et la stagnation de l'eau, deux phénomènes pouvant nuire à la croissance du tubercule (Ferguson & Gumbs, 1976). Ainsi, dans le cas où le sol est léger et présente de bonnes propriétés physiques, il est possible de planter l'igname à plat, c'est-à-dire sans buttage (Cornet, 2005).

Les sols propices à la culture de l'igname sont caractérisés par une capacité d'échange cationique (CEC) élevée et une valeur nutritionnelle élevée, principalement en Ca, Mg et K (Cornet, 2005). D'autres études ont souligné l'importance de l'azote du sol et dans une moindre mesure, de K et P (Obigbesan, 1977).

1.3.1.5. Morphologie et cycle de développement

Les ignames alimentaires ont un cycle végétatif annuel en adéquation avec l'alternance des saisons dans les régions intertropicales. La période de croissance se déroule durant la saison des pluies, suivie de la sénescence de la partie aérienne et de la mise en dormance du tubercule, ce qui correspond généralement au début de la saison sèche (Cornet, 2015). La phase de croissance varie entre 6 et 12 mois selon le génotype, le matériel de plantation et le milieu. En Afrique de l'Ouest, le semenceau « dormant » est planté en fin de saison des pluies de l'année précédente ou en début de saison des pluies. La phase de pré-émergence, s'étendant de la plantation à l'émergence, est généralement exclue de la période de croissance, en raison de sa durée variable, qui peut aller de 2 à plus de 12 semaines, en fonction du degré de maturité et de la dormance du semenceau. Le cycle de l'igname peut être divisé en cinq grandes phases que sont :

1.3.1.5.1. Phase 1 : de la maturité du tubercule à la levée de la dormance

Le tubercule atteint la maturité biologique lorsque la translocation des produits de la photosynthèse s'arrête. En pratique, la maturité du tubercule est évaluée en fonction de la sénescence totale du feuillage (Cornet, 2015). Le tubercule peut poursuivre sa croissance jusqu'à ce que la végétation soit entièrement desséchée. Une fois la maturité atteinte, le tubercule d'igname entre dans une phase de dormance durant laquelle il ne peut pas germer

(Craufurd *et al.*, 2001). La durée de cette période de dormance varie généralement de deux à quatre mois, en fonction de l'espèce et de la variété (Cornet, 2005).

1.3.1.5.2. Phase 2 : de la germination à la levée des premiers organes

La germination du semenceau est précédée par le développement d'un méristème primaire d'épaississement sous-cortical. Son développement conduit à la formation d'un méristème apical racinaire et d'un méristème caulinaire, dit de germination (Onwueme, 1973). Les racines, les tubercules et les tiges se développeront à partir de ce tissu unique. Durant cette période, le pré-tubercule formé par le complexe nodal primaire reste en phase de stagnation. À ce stade, la plante demeure dépendante de la mobilisation des réserves présentes dans le tubercule, et aucune feuille n'est encore visible. Cette phase se termine avec l'émergence de la tige au-dessus du sol et sa durée varie généralement entre 30 et 50 jours (Cornet, 2005).

1.3.1.5.3. Phase 3 : croissance, développement végétatif et initiation du tubercule

La croissance débute par une phase qualifiée d'hétérotrophe, au cours de laquelle la tige et les racines tirent principalement leurs nutriments des réserves de la semence. Selon les espèces et les variétés, durant cette phase, la tige est dépourvue de feuilles et de ramification, mais elle présente des cataphylles, c'est-à-dire des feuilles réduites à l'état d'écailles. À l'aisselle de chaque cataphylle se situe un méristème latéral, lequel ne commence à se développer que plus tard.

La phase initiale de croissance se distingue principalement par l'élargissement d'un système racinaire étendu. Celui-ci est fibreux et se développe à partir du complexe nodal primaire (Cornet, 2015). Clairon et Zinsou (1980) ont noté que le maximum de développement des racines se manifeste environ un mois avant celui des parties aériennes. Une excroissance en saillie se développe à partir du massif néoformé : elle est considérée comme l'initiation de la tubérisation pendant cette phase (Cornet, 2015). Toutefois, l'initiation effective de la tubérisation est difficile à cerner précisément et la formation du méristème responsable de cette tubérisation peut survenir beaucoup plus tôt que ce qui est observable (Sobulo, 1972). Une fois l'initiation amorcée, la masse cellulaire du pré-tubercule se polarise et développe rapidement un géotropisme positif. Pendant cette phase, le tubercule connaît une croissance lente, avec une augmentation hebdomadaire d'environ 0,9 g et se caractérise principalement par une division cellulaire intense (Goenaga & Irizarry, 1994). Cette phase d'initiation du tubercule coïncide avec le début de la croissance linéaire exponentielle des parties aériennes. La durée de cette phase varie généralement entre 20 et 70 jours (Cornet, 2005).

1.3.1.5.4. Phase 4 : tubérisation rapide

La phase de tubérisation démarre avec l'entrée en compétition de la partie aérienne et du tubercule pour l'utilisation des assimilats. Ceci entraîne rapidement l'infléchissement des courbes de croissance des tiges et des feuilles. Pendant cette phase, la partie aérienne fournit exclusivement des nutriments au tubercule, qui commence à se remplir de manière active selon un modèle de croissance exponentielle. Ainsi, au cours de cette phase, la floraison peut apparaître chez les plantes florifères. L'entrée dans la phase rapide de tubérisation coïncide avec le stade de développement foliaire maximal. La durée de cette phase varie entre 60 et 90 jours (Cornet, 2005).

1.3.1.5.5. Phase 5 : du début de la sénescence à la maturité du tubercule

Durant cette dernière phase, les feuilles et les tiges entrent en sénescence. Le poids du tubercule atteint d'abord un maximum, puis se stabilise avec la fin du stade feuillé, avant de diminuer légèrement par la suite (Sobulo, 1972 ; Treche & Guion, 1979). Des floraisons peuvent apparaître sur les plantes florifères. Dans la pratique, il est difficile de séparer les stades 4 et 5 dont la durée cumulée varie entre 80 et plus de 150 jours. Le système aérien se dessèche entièrement après 7 à 11 mois (Cornet, 2005).

1.3.1.6. Itinéraire technique cultural

1.3.1.6.1. Préparation du sol

La préparation du sol s'effectue avant les premières pluies et implique le défrichage de la parcelle, suivi du labourage et de la formation de billons ou de crêtes (battes). Ces battes peuvent mesurer entre 20 et 45 cm de hauteur et avoir un diamètre de 1,2 à 1,5 m. L'utilisation de battes de grande taille (0,8 à 1 m de haut) favorise le développement des tubercules. Toutefois, leur réalisation nécessite davantage de travail et de ressources (N'Gue *et al.*, 2007).

1.3.1.6.2. Semi des boutures d'igname

Les semences sont en général des tubercules entiers ou des morceaux de tubercule. Il est conseillé de les immerger dans une solution d'eau contenant un fongicide puis de les laisser sécher à l'ombre pendant 24 à 48 heures avant de les semer. La bouture est mise en terre au sommet de la butte, dès le début de la saison des pluies. La bouture est plantée à environ 10 cm de profondeur. Elle est protégée par un coussinet d'herbe ou de terre pour éviter d'être endommagée par la pluie. Un tuteur de trois mètres de hauteur planté auprès de chaque butte permet à la plante de grimper. Selon N'Gue *et al.* (2007), le paillage favorise la levée parce

qu'il réduit la température du sol et l'évaporation, en même temps qu'il limite l'érosion et l'enherbement. Le paillage est donc d'une grande nécessité pour la survie du semenceau et pour son développement ultérieur. Il est recommandé de semer à des écartements de 1 m x 1 m (1 m entre les lignes et 1 m entre les plantes sur la même ligne) correspondant à une densité moyenne de 10 000 plantes à l'hectare.

1.3.1.6.3. Entretien des cultures d'igname

Les activités d'entretien comportent le désherbage, le tuteurage et l'apport de fertilisant. En ce qui concerne le tuteurage, l'expérience a montré que les feuilles des variétés précoces meurent beaucoup plus tôt si elles ne sont pas supportées par des tuteurs, ce qui entraîne une baisse des rendements. Le tuteurage est pratiqué un mois ou deux après le semis. La parcelle est ensuite sarclée quand c'est nécessaire. Pour ce qui est de la fertilisation, l'igname préfère les sols riches en azote, phosphore et potassium (N, P, K). C'est pour cette raison qu'elle est plantée en tête de rotation après une longue jachère où le stock de biomasse est bien constitué (N'Gue *et al.*, 2007).

1.3.1.6.4. Récolte des ignames

La maturité de l'igname commence au bout de 7 mois. Au moment de la récolte, on peut retirer d'un sol de fertilité moyenne entre 20 et 30 tonnes de tubercules à l'hectare, tandis que les sols fertiles permettent d'en obtenir jusqu'à 50 tonnes. Pour faire sortir l'igname, il suffit de tirer la racine de toutes ses forces. Il faut creuser pour cela autour du tubercule tout en veillant à ne pas le casser. Selon la variété, la récolte peut s'effectuer une ou deux fois par an. Dans le cas où la récolte a lieu deux fois l'année, lors de la première récolte, un sevrage est fait. Le sevrage est une technique de récolte qui vise à obtenir à un stade précoce des ignames. Il se pratique durant la saison des pluies environ 5 mois après l'apparition des tiges. Il faut écarter soigneusement le sol autour du tubercule. Ensuite, détacher prudemment les tubercules d'ignames du collet sans blesser ni les tiges ni les racines. À la fin, le trou est refermé. Les variétés qu'on récolte deux fois sont de type précoce et leurs tubercules se conservent mal. Les variétés à une seule récolte sont de type tardif et les tubercules se conservent mieux. Les deux systèmes de récolte sont économiquement viables, mais la récolte unique est cinq fois moins profitable que la récolte avec sevrage (N'Gue *et al.*, 2007).

1.3.1.7. Maladies

La culture de l'igname est confrontée à de multiples contraintes phyto sanitaires. Les principales maladies sont causées par des champignons et des virus. L'antracnose représente le principal problème cryptogamique de l'igname en Afrique de l'Ouest. L'agent causal est un champignon du genre *Colletotrichum*. Les attaques sont fréquentes en conditions d'humidité maximales. La transmission de la maladie est assurée par la persistance des spores par le vent ou les projections d'eau de pluie. Elle provoque des nécroses sévères sur la tige et les feuilles, allant jusqu'à la nécrose totale des éléments aériens (Goudou, 1995).

En ce qui concerne les virus, celui de la mosaïque de l'igname (Yam Mosaic Virus, YMV) est le plus connu et le plus répandu parmi les virus filamenteux infectant cette culture. La maladie se manifeste par des symptômes tels que des colorations anormales des nervures, ainsi qu'une mosaïque de cloques sur les feuilles et peut parfois entraîner un nanisme de la plante.

1.3.1.8. Importance

1.3.1.8.1. Importance socio-économique

L'igname joue un rôle très important dans la sécurité alimentaire et les systèmes de subsistance d'au moins 60 millions de personnes en Afrique de l'Ouest. Il est reconnu à l'igname un rôle socio-culturel important dans la vie des populations des zones de production. En effet, dans de nombreux groupes ethniques, la consommation de l'igname est fortement ritualisée, encadrée à chaque nouvelle récolte par des cérémonies qui renforcent la cohésion sociale (Degras, 1986). L'igname revêt une importance considérable dans les rites tels que les mariages et les célébrations annuelles, au point que Baco *et al.* (2007) soulignent que sa signification dépasse celle d'autres cultures en milieu tropical. Dans de nombreuses communautés agricoles d'Afrique de l'Ouest, la taille de l'exploitation d'igname est souvent perçue comme un indicateur du statut social de l'individu (Idumah *et al.*, 2014).

Sur le plan économique, l'igname constitue une source de revenu non négligeable pour les producteurs, les commerçants et les transformateurs (Bricas *et al.*, 2003). Les agriculteurs cultivent l'igname non seulement pour leur propre consommation, mais aussi pour générer des revenus en vendant les excédents (Maliki *et al.*, 2012). En conséquence, l'igname est devenue une culture lucrative qui approvisionne les marchés urbains. L'igname est moins affectée par les variations de prix que les céréales lors de crises sur les marchés internationaux (Adifon *et al.*, 2019). Ainsi, la culture de l'igname joue un rôle crucial dans le renforcement de la stabilité du système alimentaire et dans l'amélioration de la prévisibilité des revenus des agriculteurs.

1.3.1.8.2. Importance alimentaire et nutritionnelle

D'un point de vue nutritionnel, les tubercules d'igname sont particulièrement riches en glucides ; l'amidon constituant entre 50 et 80 % du poids sec. Les tubercules contiennent de la vitamine C et B6, du potassium, du manganèse et des acides aminés (Bergh *et al.*, 2012). Le tubercule d'igname fait l'objet d'une grande consommation, qui justifie son important rôle. En effet, dans les principaux pays producteurs, l'igname fournit plus de 200 calories par jour à l'alimentation de 60 millions de personnes. L'igname présente plusieurs vertus, elle peut être consommée sous plusieurs formes. Les principales préparations culinaires peuvent être classées en deux grandes catégories : les produits à base d'ignames fraîches comme l'igname pilé (fufu), bouillie, ragoût ou frite et les produits à base de farine comme l'amala (pâte d'igname) ou le wassa-wassa (semoule d'igname). L'igname pilé est la forme de consommation la plus prisée. C'est la forme traditionnelle de consommation en Côte d'Ivoire. Sa préparation est fastidieuse (Cornet, 2015).

1.3.1.9. Zones de production de l'igname en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, l'igname représente en volume la première culture vivrière. Elle est cultivée sur la quasi-totalité du territoire national, avec cependant des intensités variables en fonction des zones agroécologiques. Les régions Centre, Centre-Est, Nord-Est et Nord constituent les principaux bassins de production (Doumbia *et al.*, 2006). La production de l'igname est pour l'essentiel localisée dans les parties Centre et Nord du pays au-dessus du 8^e parallèle de latitude Nord où elle constitue un aliment de base pour les populations (N'Goran *et al.*, 2007). Toutefois, sa production au Sud du pays en zone forestière, comme vivrier d'accompagnement de la création de nouvelles plantations de café et de cacao, est loin d'être négligeable (Doumbia *et al.*, 2006). L'igname est également produite à l'Ouest du pays.

1.3.1.10. Espèces d'ignames cultivées en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, les facteurs qui influencent le choix des variétés par les producteurs sont la qualité culinaire des tubercules, la productivité, la précocité de tubérisation, la valeur commerciale, la capacité de conservation, la facilité de culture, le niveau de multiplication, ainsi que leur rôle dans l'alimentation et les besoins liés aux cérémonies rituelles. Les facteurs pédoclimatiques, notamment le type de sol, la température et la pluviométrie, sont aussi des facteurs qui influencent le choix des variétés. Les espèces cultivées sont principalement *D. alata* et *D. rotundata* (Bakayoko *et al.*, 2019). Cependant, le commerce de l'igname est principalement dominé par l'espèce *D. rotundata*, qui représente 75 % des échanges, tandis que *D. alata* est principalement destinée à l'autoconsommation des producteurs (Kouakou, 2010).

Aussi, une distinction pratique est faite entre les ignames cultivées. Ces ignames sont sur le plan agronomique, séparées en deux groupes principaux, les précoces et les tardives (Dumont, 1987). Les ignames précoces, récoltées deux fois dans l'année, sont toutes de l'espèce *D. rotundata*. On y retrouve les variétés "Lokpa", "Wacrou", "Kponan", "Assawa", "Kpassadjo" et "Sopéré". Les ignames tardives sont par contre récoltées une seule fois dans la période de décembre à janvier et elles se retrouvent au sein des espèces *D. alata*. Elles sont constituées de variétés "Krenglè", "Florido" et "Bètè-bètè" (Adolphe, 2008). Parmi cette grande diversité d'igname se trouvent celles qui sont aussi capables de se développer sous les bois. Ce type d'igname cultivé sous-bois permet aux producteurs de lutter contre le problème de tuteurage et de résoudre le problème de rareté de terre cultivable.

1.3.2. Particularité des ignames de sous-bois

Les ignames de sous-bois, sont des ignames qui se développent en dessous des arbres ou des cultures pérennes. Ces ignames, bien que capables de se développer en milieu ombragé (Ruf, 2010), présentent également de bonnes performances en culture de plein champ.

1.3.2.1. Origine et distribution

Les ignames de sous-bois, communément appelées *Cocoassié*, proviennent de la zone forestière. Ce sont des ignames qui sont, d'un point de vue morphologique, proches des ignames sauvages (Hamon *et al.*, 1986). Au cours des années 1990, la raréfaction des terres cultivables due à l'expansion des cacaoyères, combinée à la baisse de fertilité liée à la déforestation, a entraîné un recul de la production d'igname. C'est dans ce contexte qu'est apparue, de manière spontanée, une igname venue du Ghana : le "*Cocoassié*" (Ruf, 1995). Appréciée pour ses gros tubercules et sa capacité à croître sous ombrage, cette igname s'épanouit particulièrement bien sous les cacaoyers et caféiers adultes. Elle présente également l'avantage de bien se conserver en terre, jouant ainsi un rôle de réserve alimentaire dans les plantations. Au départ, la population baoulé percevait son goût comme peu satisfaisant, ne la consommant que par nécessité. Cependant, dès les années 2000, cette appréciation a évolué. Sa saveur est progressivement réhabilitée car les producteurs observent et gardent les meilleurs tubercules d'igname chaque année. Ils éliminent ainsi, les tubercules fades et fibreux. Ces agissements ont permis d'avoir de meilleurs tubercules d'ignames de sous-bois, rappelant aux consommateurs le goût de l'igname *Lokpa*, très prisée en zone de savane (Ruf, 2010). L'igname *Cocoassié* s'intègre alors harmonieusement aux habitudes culinaires locales, notamment dans la préparation du foutou d'igname, plat emblématique baoulé. À la même époque, cette igname devient particulièrement populaire dans les départements de Soubré et de Méagui. Une large portion de la population

Mossi a également intégré l'igname de sous-bois dans son alimentation, participant ainsi à sa sécurité alimentaire tout en adaptant ses goûts et ses habitudes. En effet, ils avaient déjà largement adopté d'autres variétés d'igname lors de la phase pionnière à savoir pkonan, lopka, florido etc. Ils ont emprunté aux Baoulés le plat traditionnel de foutou, tout en consommant parfois l'igname sous forme de bouillie (Ruf, 2010). À l'origine, les paysans ivoiriens en cultivaient sous les gros arbres épargnés dans les plantations. Les bonnes récoltes l'ont imposée sous tous les arbres fruitiers (orangers, avocatiers, manguiers), parsemant les vergers de cacaoyers. Les arbres se raréfiant, des paysans ont fini par en cultiver simplement sous les cacaoyers, ceux-ci étant utilisés comme des tuteurs. L'expansion de l'igname Cocoassié est due à la publicité que véhicule sa production (N'Goran, 2023).

1.3.2.2. Techniques culturales

Les ignames sont en général cultivées dans des buttes ou sur des billons. Selon les travaux d'Ennin *et al.* (2003) et de Fasinimirin et Reichert (2011), les billons assurent un meilleur contrôle de l'enherbement et une meilleure conservation de l'eau dans le sol à travers une meilleure couverture du sol par rapport aux buttes.

Le semis des ignames sous-bois débute par le creusage de gros trous autour des arbres qui seront utilisés comme tuteurs. On y met des feuilles sèches de cacaoyers, des herbes séchées mais également des écorces sèches de gros arbres abattus. Cette méthode permet d'améliorer le microclimat du sol et réduit les besoins en fertilisant chimique. Dès le mois de Septembre, des buttes sont réalisées sur les trous. De grosses boutures y sont insérées. Avec les pluies récurrentes, les boutures germent à partir du mois de Décembre. Une jeune tige de Cocoassié peut atteindre un mètre et demi sans qu'elle ne rampe à terre, en raison de sa robustesse. Les tubercules peuvent rester deux à trois années dans les buttes sans être récoltés. Ainsi, chaque tubercule germe l'année suivante avec une tige plus grosse que les premières. Comme le tubercule qui germe pourrit par la suite pour faire place au nouveau tubercule, la récolte donne lieu à avoir des tubercules assez énormes. Si un seul tubercule peut excéder un mètre de long, de même une butte d'igname peut permettre d'avoir plusieurs grosses ignames qu'une famille peut consommer pendant plusieurs jours (Ruf, 2010).

1.3.2.3. Diversité des ignames de sous-bois cultivées en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, il existe plusieurs ignames de sous-bois cultivées et consommées par la population dans les différentes régions agropédoclimatiques. Des noms vernaculaires sont attribués à ces ignames selon les régions. Quarante et une accessions d'ignames de sous-bois ont été collectées et utilisées par N'Goran (2023) pour une caractérisation morphologique.

L'annexe 1 fait le point des accessions rencontrées ainsi que leur provenance. On peut citer quelques cultivars tels que Soukpataloa, Bacoué, Cocomisé et Brodja (Figure 6).



Figure 6 : Quelques accessions d'ignames de sous-bois

A: Bacoué ; B : Brodja

Source : N'Goran (2023)

1.3.2.4. Importance des ignames de sous-bois

Les ignames de sous-bois sont cultivées et appréciées pour leurs meilleurs goûts, l'adaptation aux mets locaux, leurs rendements élevés, et leur apport de nourriture en quantité suffisante. Ainsi, elles permettent de contribuer à la sécurité alimentaire des ménages ruraux surtout en période de soudure. Période durant laquelle ces ménages sont confrontés à une pénurie alimentaire (N'Goran, 2023). Ces ignames de sous-bois présentent un potentiel de valorisation très intéressant dans la fabrication de farines composées, destinées à divers usages alimentaires et industriels (N'Goran *et al.*, 2024).

1.4. Associations culturelles à base d'igname

1.4.1. Associations ignames-cultures vivrières

Dans les systèmes agricoles en Afrique tropicale, l'igname est souvent cultivée en association avec d'autres cultures telles que le maïs, le sorgho, le mil, le riz et l'arachide (Tiama *et al.*, 2018). Selon ces mêmes auteurs, les associations de cultures sont très bénéfiques pour les producteurs. En effet, en cas d'irrégularité ou d'insuffisance de pluies, les céréales bénéficient de l'humidité résiduelle qui se trouve entre les billons réalisés pour la culture de l'igname pour terminer leur cycle. En outre, les tiges des céréales (maïs, le sorgho, le mil), servent de tuteurs aux ignames.

1.4.2. Associations ignames-cultures pérennes

L'igname est parfois associée aux plantes pérennes. On parle alors de culture complantée (Cornet, 2005). Dans ces systèmes, l'espèce ligneuse, une culture de rente (palmier à huile, cocotier, hévéa, cacao, caféier, kolatier, agrume etc.) a la priorité et l'igname n'est souvent qu'une composante secondaire (Suja *et al.*, 2003). Au Cameroun, comme en Côte d'Ivoire, l'association de l'igname avec le cacaoyer est fréquente (Kouakou *et al.*, 2019). Cette association est en général limitée dans le temps, lorsque la canopée de la composante principale couvre entièrement le sol. Toutefois, il existe des cultivars d'igname capables de se développer sous couvert forestier. En effet, des cultivars tels que Cocoassié (*D. rotundata*), Cocomisé (*D. cayenensis*) et Bolodja (*D. cayenensis*) (Hamon *et al.*, 1986 ; Kouakou *et al.*, 2019) sont en majorité cultivés sous des vergers adultes de cacao, café ou anacarde, par les producteurs en Côte d'Ivoire, avec des rendements satisfaisants. En outre, les ignames bénéficient de la fertilisation minérale apportée aux arbres (Dumont *et al.*, 1994).

1.5. Système agroforestier

Le système agroforestier est une forme d'utilisation des terres qui associe sur la même surface, production agricole et culture d'arbre, ce qui provoque des interactions entre les composantes. Grâce à l'intégration d'arbres dans les exploitations et les paysages agricoles ou à la production de produits agricoles dans les forêts, l'agroforesterie diversifie et soutient la production pour procurer des bienfaits économiques, sociaux et environnementaux accrus aux utilisateurs des terres (FAO, 2022). Ainsi, elle désigne les systèmes d'utilisation durable des terres dans lesquels les cultures annuelles, les animaux et les ligneuses pérennes (arbres et/ou arbustes) sont exploités ensemble sur un même espace dans un arrangement spatial (Atangana *et al.*, 2014). Quatre principaux types de systèmes agroforestiers sont distingués par Atangana *et al.* (2014) ainsi que Gordon *et al.* (2018). Il s'agit notamment des systèmes agrisylvicoles, des systèmes sylvopastoraux, des systèmes agrisylvopastoraux et des autres systèmes agroforestiers.

1.5.1. Systèmes agrisylvicoles

Les systèmes agrisylvicoles désignent l'association des arbres et des cultures (cultures vivrières et de rente) en tenant compte de différentes répartitions spatiales et temporelles des terres cultivables. Ces systèmes sont les plus répandus en Côte d'Ivoire (N'Guessan, 2022). Ils visent à enrichir la qualité des sols en améliorant la matière organique et les nutriments, tout en améliorant les conditions microclimatiques pour maximiser les rendements agricoles (Bélangier,

2017). Ces systèmes comprennent les jachères améliorées, les Taungya, les cultures intercalaires, les cultures sous couvert forestier, les haies vives, etc (Bandi *et al.*, 2020).

1.5.2. Systèmes sylvopastoraux

Les systèmes sylvopastoraux représentent l'intégration harmonieuse des arbres et des animaux d'élevage au sein des pâturages. Ces pratiques permettent non seulement de valoriser la production de bois et de fourrage, mais également de créer un environnement favorable au développement des animaux grâce à l'ombrage et aux bienfaits des arbres. Dans certains cas, on sélectionne des essences d'arbres spécifiquement capables de produire du fourrage aux animaux (Bélanger, 2017).

1.5.3. Systèmes agrisylvopastoraux

Les systèmes agrisylvopastoraux désignent une combinaison intégrée d'arbres, de cultures et d'animaux d'élevage. Ces systèmes mettent en place des surfaces fourragères sous un couvert arboré (Bandi *et al.*, 2020), offrant ainsi une approche polyvalente qui favorise à la fois la productivité agricole, pastorale et forestière dans un cadre durable. Ils se caractérisent par une structure systémique assez complexe qui sollicite plusieurs interactions entre différentes composantes (Bélanger, 2017). Ce type de système se retrouve en général dans le nord de la Côte d'Ivoire où les agriculteurs sont aussi éleveurs de bœufs (Le Guen, 2004).

1.5.4. Autres systèmes agroforestiers

Selon Atangana *et al.* (2014) et Gordon *et al.* (2018), d'autres systèmes agroforestiers existent. Parmi ceux-ci figurent l'aquaforesterie, qui associe les étangs rizicoles et piscicoles entourés des essences forestières. Ensuite, l'apiforesterie intègre l'apiculture avec les ligneuses mellifères. Ils mentionnent également que l'entomoforesterie combine la culture d'arbres avec l'élevage de chenilles.

1.5.5. Importances des systèmes agroforestiers

Les systèmes agroforestiers présentent de multiples bénéfices et contribuent de manière significative à divers objectifs de développement durable. Ils participent notamment à l'éradication de la faim, à une consommation et une production responsable, à la lutte contre le changement climatique et aussi à la vie terrestre (Seghieri & Harmand, 2019).

Les systèmes agroforestiers jouent un rôle crucial dans la prévention de l'érosion des sols. En effet, leurs racines profondément enracinées augmentent la porosité du sol, favorisant ainsi une meilleure infiltration de l'eau. De plus, grâce à leur capacité à réduire la vitesse du

vent, les systèmes agroforestiers réduisent le transport des particules des sols (Codron & Cogliastro, 2022). L'agroforesterie crée un microclimat favorable à l'optimisation des rendements agricoles et au développement d'insectes auxiliaires qui limitent les infestations de ravageurs. En effet, des recherches ont démontré une augmentation des populations de prédateurs et de parasitoïdes, accompagnée d'une diminution des ravageurs dans ces systèmes (Staton *et al.*, 2019). Par ailleurs, les systèmes agroforestiers possèdent un potentiel de séquestration de carbone particulièrement intéressant (Codron & Cogliastro, 2022), permettant de stocker le carbone dans les parties ligneuses, telles que les branches, le tronc et les racines, ainsi que dans le sol aux abords des racines (Stefano & Jacobson, 2018).

D'un point de vue économique, les systèmes agroforestiers génèrent divers produits, parmi lesquels figurent le bois d'œuvre et de chauffage, les denrées alimentaires, le fourrage, ainsi que les produits médicaux et cosmétiques (N'Guessan, 2022).

1.6. Zones d'enquêtes et sites d'études

Les enquêtes ont été réalisées dans quatre zones de culture d'igname en association aux cultures pérennes en Côte d'Ivoire. Ce sont le Centre et le Centre-Est (Yamoussoukro, Toumodi, Dimbokro et Bongouanou), le Sud-Ouest (Gagnoa, Soubré, Méagui et San-Pedro), l'Est (Abengourou et Bouna) et l'Ouest à Daloa et Issia (Figure 7). Les coordonnées géographiques, la végétation, le type de sol, les précipitations et les températures de chacune des localités citées ont été décrites (Tableau III).

La mise en place de l'expérimentation ainsi que les prises de mesures ont été réalisées sur trois parcelles expérimentales dans le village Zakoua situé dans la ville de Daloa.

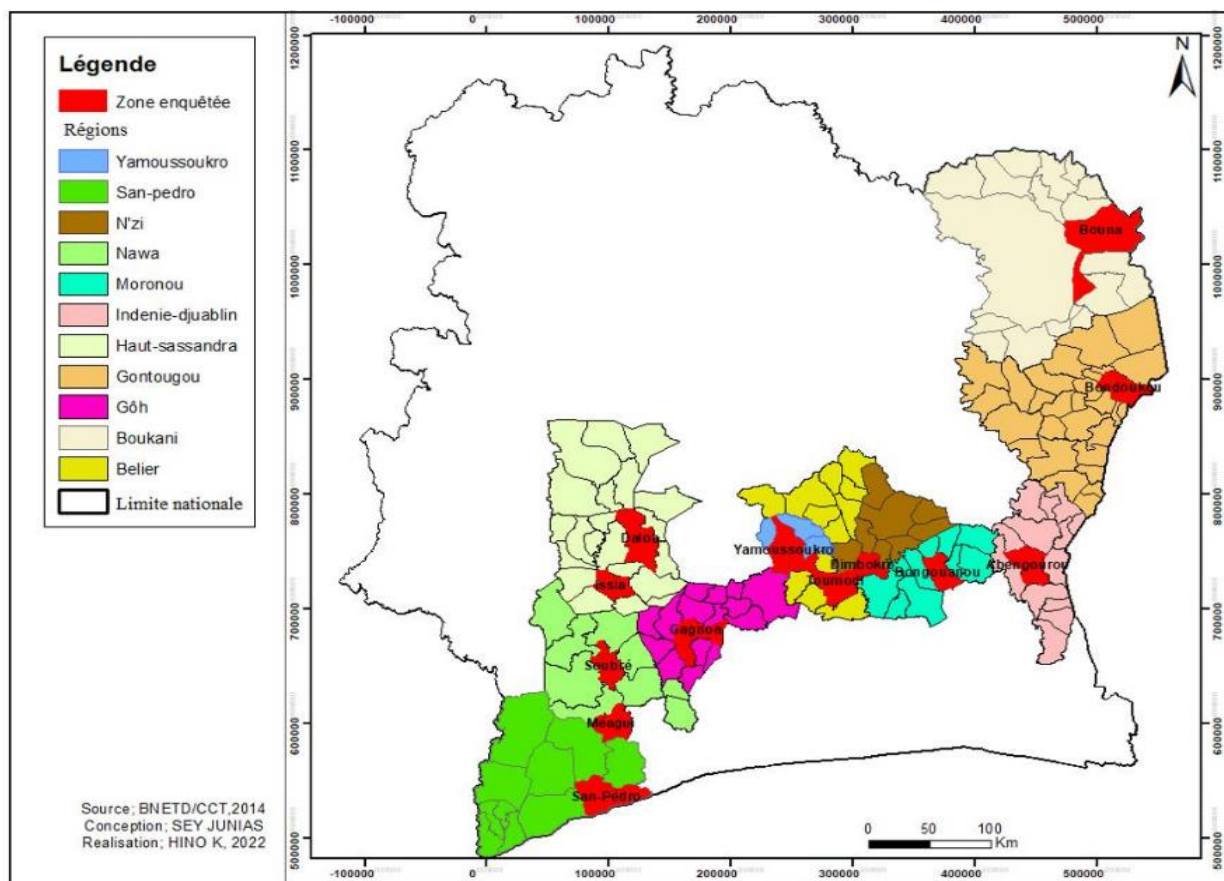


Figure 7 : Zones d'enquêtes

Tableau III : Caractéristiques physiques des localités enquêtées

Localité	Coordonnées géographiques	Végétation	Sols	Précipitations (mm/an)	Température moyenne (°C)	Référence
Yamoussoukro	6°49' N, 5°16' O	Savanes boisées, arborées et arbustives	Ferralitique moyennement désaturés	1200	28	Kouassi (2010)
Toumodi	6°33' N, 5°01' O	Mosaïque forêt-savane	Ferralitiques fortement désaturés	1092	26	Kouacou (2019)
Dimbokro	6°7' N, 4°7' O	Végétation arborée ; Forêt dense humide semi-décidue	Ferralitiques fortement désaturés	1200	27	Adou <i>et al.</i> (2010)
Bongouanou	6°39' N, 4°12' O	Forêt dense Semi-décidue	Ferralitiques et hydromorphes	1142	27	Kassi <i>et al.</i> (2012)
Gagnoa	5°21' N, 4°1' O	Forêt dense humide semi-décidue	Ferralitiques fortement désaturés	1460	27	N'Dri & Gnahoua (2008) ; Kouassi (2019)
Soubré	5°19' N, 6°12' O	Forêt dense humides sempervirentes	Ferralitiques fortement désaturés	1600 - 1800	29	Yao <i>et al.</i> (2014) ; Koua <i>et al.</i> (2018)
Méagui	5°24' N, 6°33' O	Forêt dense humides sempervirentes	Ferralitiques fortement désaturés	1800	27	(OIPR, 2006) ; Yao <i>et al.</i> (2014)
Abengourou	5°45' N, 3°10' O	Forêts denses mésophile et ombrophiles	Ferralitiques fortement désaturés	1600 - 1800	29	Yao <i>et al.</i> (2014) ; Koua <i>et al.</i> (2018) ; Aka <i>et al.</i> (2013)
Bouna	8° N, 2°30' O	Forêts claires et des savanes soudaniennes	Ferralitiques fortement désaturés	1100 - 1600	28	Kambiré <i>et al.</i> (2017)
Daloa	6°53' N, 6°27' O	Forêt dense et humide au Sud et savane arborée au Nord	Ferralitiques	1868	25	Adjiri <i>et al.</i> (2018) ; Ligban <i>et al.</i> (2009)
Issia	6°29' N, 6°35' O	Forêt tropicale dense	Ferralitiques désaturés	1500	26	Traoré & Tamboura (2024)
San-Pedro	4°45' N, 6°38' O	Forêt dense humide sempervirente	Ferralitiques fortement désaturés, gravillonnaires	1800 - 2000	25	Brou (2005)

1.6.1. Caractéristiques du site expérimental

1.6.1.1. Situation géographique

L'expérimentation a été conduite à Daloa, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, sur trois différentes parcelles situées sur l'axe Daloa-Issia précisément à Zakoua (Figure 8). La ville de Daloa se trouve entre les longitudes 6°27' Ouest et les latitudes 6°53' Nord dans la région du Haut-Sassandra (Yao *et al.*, 2022). Elle est couverte par une forêt dense humide semi-décidue à une forêt défrichée mésophile (Kouamé & Zoro-bi, 2010). Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra, elle se trouve à 141 km de Yamoussoukro, la capitale politique et à 383 km d'Abidjan, la capitale économique du pays. Cette localité a une superficie de 5 450 km² et regroupe les Sous-préfectures de Bédiala, Gadouan, Gboguhé, Gonaté et Zaïbo (Guei, 2020). Elle est limitée par les départements de Vavoua au Nord, d'Issia au Sud, de Bouaflé à l'Est puis par celui de Duékoué à l'Ouest.

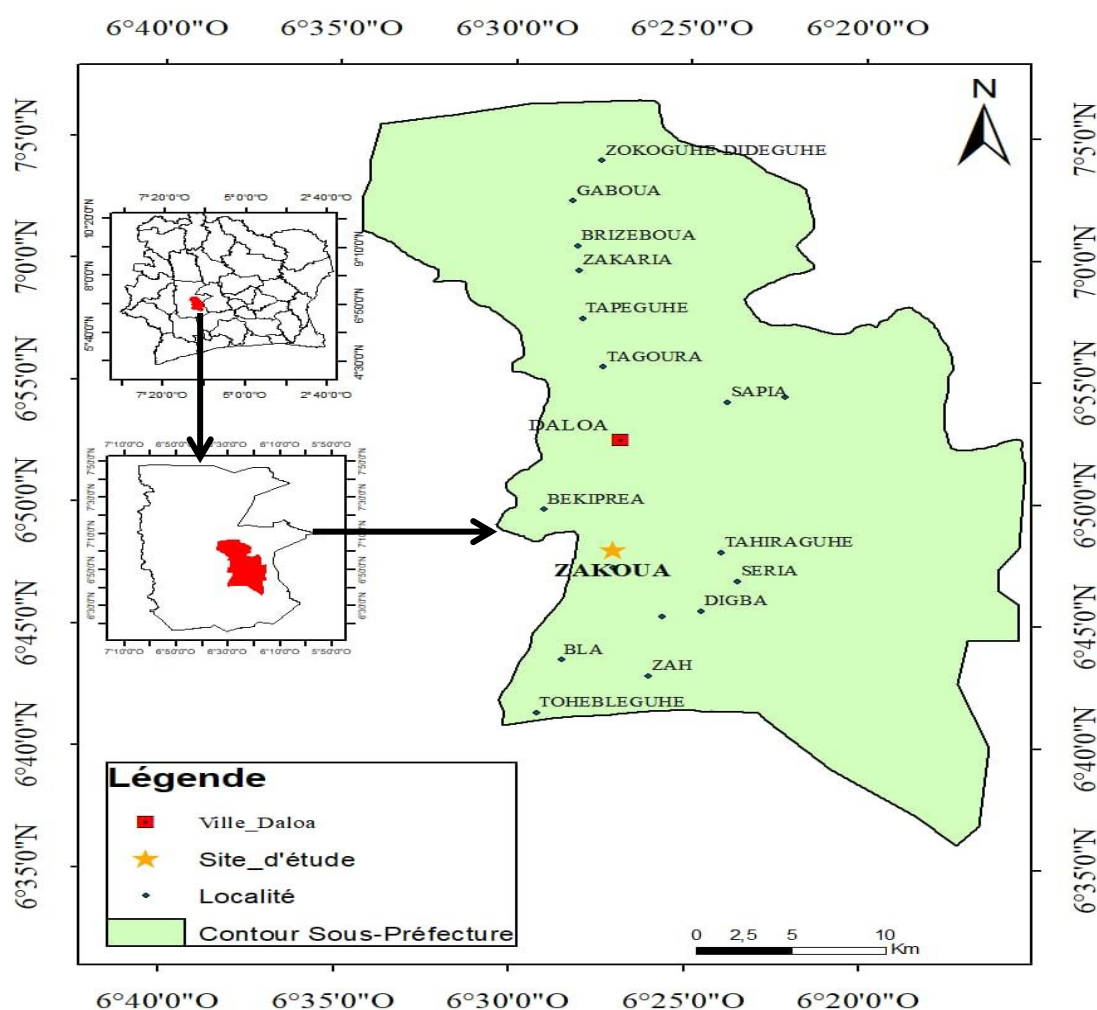


Figure 8 : Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique du site expérimental de l'étude

1.6.1.2. Climat

Le département de Daloa est marqué par un climat de type tropical humide et chaud. Ce département qui se caractérisait, autrefois, par une forte pluviométrie de 1868,5 mm de pluie par an en 1968 a enregistré une baisse de l'ordre de 40 % (Yao, 2023). Le diagramme ombrothermique du département de Daloa (Figure 9) a été réalisé à partir des données pluviométriques et thermiques mensuelles prises sur une période de 30 ans (1994 à 2023). Le diagramme permet de constater que Daloa est une zone humide avec un climat à deux saisons dont une saison sèche et une saison des pluies. La saison sèche s'étend de Novembre à Avril et la saison des pluies de Mai à Octobre. Les pluviométries moyennes sont comprises entre 793 et 1633 mm par an avec une moyenne annuelle de 1242 mm. Zone humide par excellence, l'hygrométrie est importante avec des températures moyennes comprises entre 24,93 °C et 27,99 °C. La température moyenne annuelle est de 26,35 °C. L'humidité relative varie de 66,02 % à 83,99 % avec une moyenne annuelle de 77,25 % (Figure 10). La durée annuelle de l'insolation est de 2186,2 heures. La durée d'insolation la plus élevée a été observée au cours de la période d'Octobre à Avril tandis que la moins élevée a été enregistrée de Mai à Septembre (Figure 11). De telles conditions favorisent le développement simultané de plusieurs cultures, notamment la banane, le manioc, l'hévéa, le cacao et l'igname.

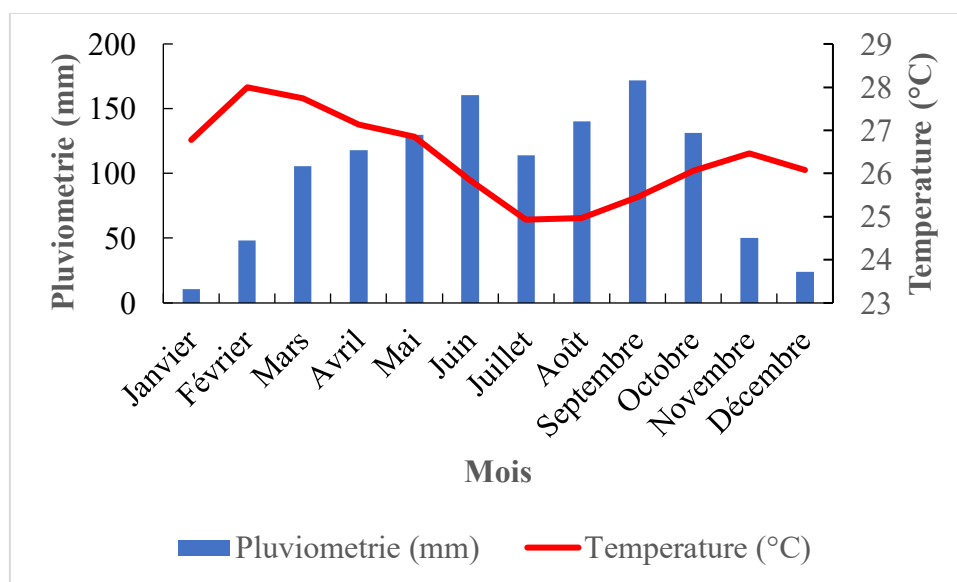


Figure 9 : Diagramme ombrothermique du département de Daloa de 1994 à 2023

Source: SODEXAM (2024)

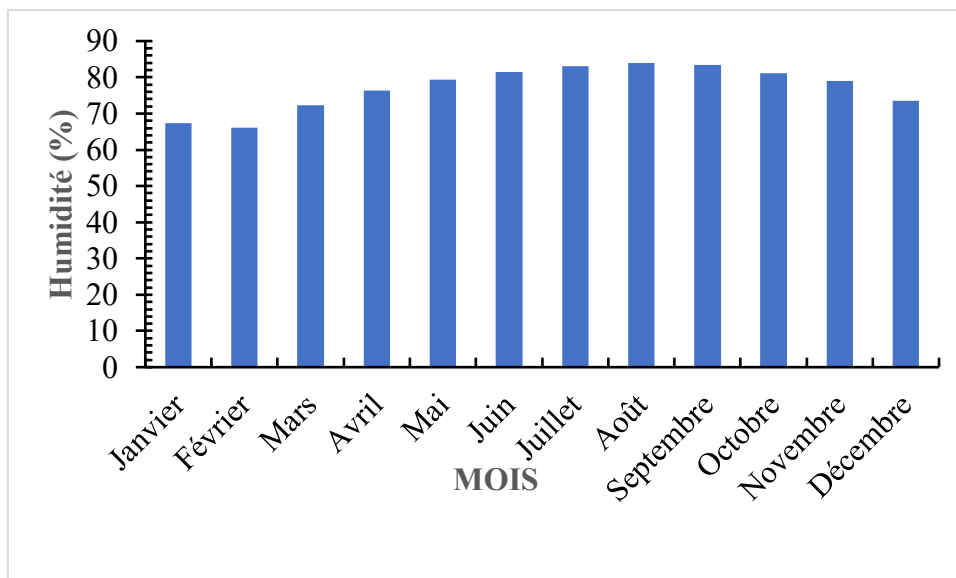


Figure 10: Humidité relative du département de Daloa de 1994 à 2023

Source : SODEXAM (2024)

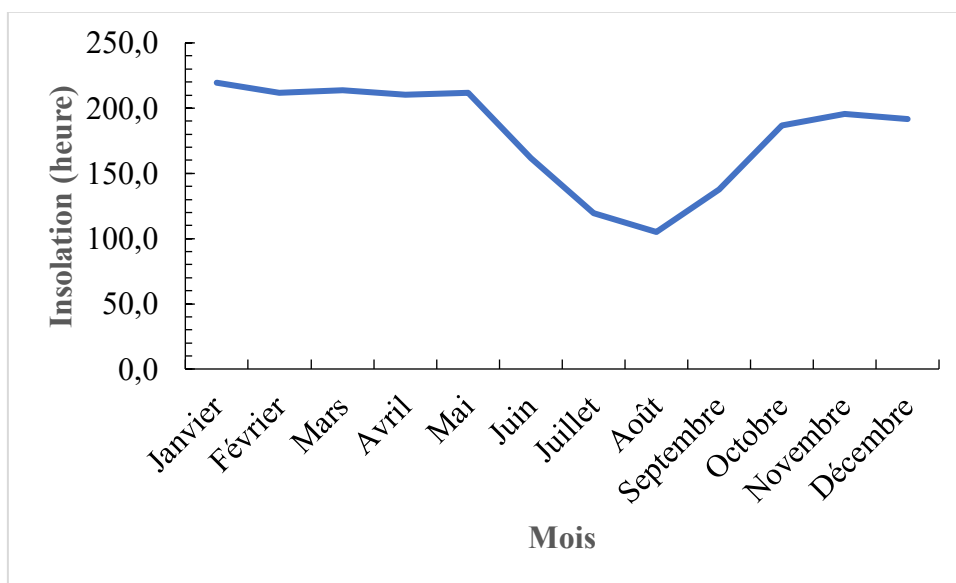


Figure 11 : Insolation du département de Daloa de 1994 à 2023

Source : SODEXAM (2024)

1.6.1.3. Hydrographie

Au plan hydrographique, le département de Daloa est arrosé par le fleuve Sassandra et ses affluents puis le lac du barrage de Buyo (Koffié-Bikpo & Kra, 2013). En outre, de nombreux cours d'eaux à écoulement saisonnier tels que le Dé, le Baboré et le Boty arrosent le département, donnant lieu à de nombreux bas-fonds cultivables. Ces conditions naturelles ont eu pour conséquence une forte implantation de population dans le département de Daloa (Sangaré *et al.*, 2009 ; Koffié-Bikpo & Kra, 2013).

1.6.1.4. Sols

Le sol du département de Daloa 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 profond en général, avec le dépôt actif de l'humus organique. Ces sols sont de type ferralitique. Les terrains sont en général plats ou à faible pente. Ils présentent de bonnes aptitudes agricoles et se prêtent à tous les types de cultures pérennes et vivrières (Koffié-Bikpo & Kra, 2013). Ces cultures sont constituées de cacaoyères, de caféières, de cultures d'hévéas et de palmier à huile (Barima *et al.*, 2016), de cultures associées notamment, cacaoyers-bananiers, cacaoyers-manguiers, cacaoyers-ignames et hévéas-ignames. Plusieurs vivriers tels que la banane, l'igname précoce, l'igname de sous-bois et la tomate sont également cultivés.

1.6.1.5. Végétation

La végétation du département de Daloa se caractérise par une flore très variée et présente deux types de végétations bien distinctes :

- La zone forestière, caractérisée par une forêt semi-décidue, occupe la majeure partie de la région ;
- La région des savanes, également appelée savane préforestière, se caractérise par la présence de savanes à rôniers, ainsi que par des savanes herbeuses post-culturelles et des savanes alluviales le long des rives du fleuve Sassandra. Les savanes arbustives sont aussi rencontrées (Koffié-Bikpo & Kra, 2013).

La presque totalité du bassin du département se trouve en zone tropicale humide avec une végétation de forêt dense à évolution régressive. La dégradation de cette forêt est accélérée par l'intensification des cultures de rente (hévéa, cacao, café et palmier à huile). Les pratiques culturales extensives et itinérantes ainsi que l'exploitation non contrôlée des essences forestières ont notamment fait reculer les limites de cette forêt (Sangaré *et al.*, 2009).

1.6.1.6. Population et activités humaines

Le département de Daloa dispose d'une population estimée à 1 739 697 habitants dont 920 422 hommes et 819 275 femmes (INS, 2022). Le peuplement est constitué uniquement de Bété, de Niamboua, de Zombo et d'une partie de Niédéboua, de divers allogènes et d'étrangers (Koffié & Kra, 2013). Le recensement général de la population et de l'habitat, réalisé en 2021, positionne la ville de Daloa comme la 4^e ville la plus peuplée de la Côte d'Ivoire après Abidjan, Bouaké et Korhogo (ONU, 2023). Daloa bénéficie des conditions naturelles favorables au bon développement agricole (MINAGRI, 2010 ; Adou, 2012) notamment pour la production du vivrier et la commercialisation mais aussi pour la production des autres cultures. Les activités économiques de cette zone sont ainsi assez diversifiées. Cependant, l'agriculture occupe la majorité des populations et reste la principale activité génératrice de revenus. Les activités agricoles menées par les paysans concernent l'hévéa, le cacao, le café, l'anacarde et le palmier à huile. On y trouve également les cultures vivrières (igname, banane, manioc, ignames de sous-bois...) et les maraîchères, notamment les ignames de sous-bois. La production des ignames de sous-bois est réalisée sous les cacaoyers (N'Goran *et al.*, 2024) et les anacardiers par quelques producteurs situés dans les villages environnants. Le système agricole, au départ extensif, évolue aujourd'hui vers une agriculture beaucoup plus intensive du fait de la raréfaction des terres cultivables (Brou, 2005).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été constitué d'une part, de deux clones de *Hevea brasiliensis* GT 1 et IRCA 41 et d'autre part de deux accessions d'igname de sous-bois (*Discoreae sp.*) de nom vernaculaire Bacoué et Soukpataloa.

2.1.1.1. Clones GT 1 et IRCA 41 d'hévéa

Les clones GT 1 et IRCA 41 ont été sélectionnés à l'intérieur d'une plantation villageoise d'hévéa qui regroupe plusieurs clones. Ce choix se justifie par le fait que ces clones sont les plus répandus en Côte d'Ivoire (Obouayeba *et al.*, 2000). Ces parcelles d'hévéas étaient en production avec des densités régulières de plantation.

En début d'expérimentation en 2022, les arbres du clone GT 1 étaient en 9^e année de saignée descendante en demi-spirale (S/2) tandis qu'à la campagne de 2023, les arbres ont été saignés en quart de spirale inversée (S/4U). Quant aux arbres du clone IRCA 41, ils étaient à la 6^e année de saignée en début d'expérimentation. Les hévéas étaient saignés en demi-spirale descendante (S/2).

2.1.1.2. Ignames de sous-bois

Les accessions d'igname de sous-bois Bacoué et Soukpataloa utilisées dans cette étude ont été collectées dans deux régions de la Côte d'Ivoire. L'accession Bacoué a été collectée à Tanda à l'Est de la Côte d'Ivoire et l'accession Soukpataloa à Soubré dans le Sud-Ouest du pays. Ces ignames ont été choisies pour leur haut rendement et leur capacité à s'adapter à l'ombrage (Ruf, 2010). Les semences d'ignames ont été conservées dans un endroit frais et bien aéré, à l'abri du soleil, des pluies et des rongeurs jusqu'au moment de la plantation tel que décrit par N'Gue *et al.* (2007). L'accession Bacoué est caractérisée par des feuilles de couleur vert-violacé (Figure 12A), un nombre élevé d'épines (Figure 12B). Une absence de floraison et une couleur de chair violette (Figure 12C). Quant à l'accession Soukpataloa, elle présente des feuilles de couleur vert foncé (Figure 13A), des épines moyennes (Figure 13B), une floraison et une couleur de chair jaune (Figure 13C).

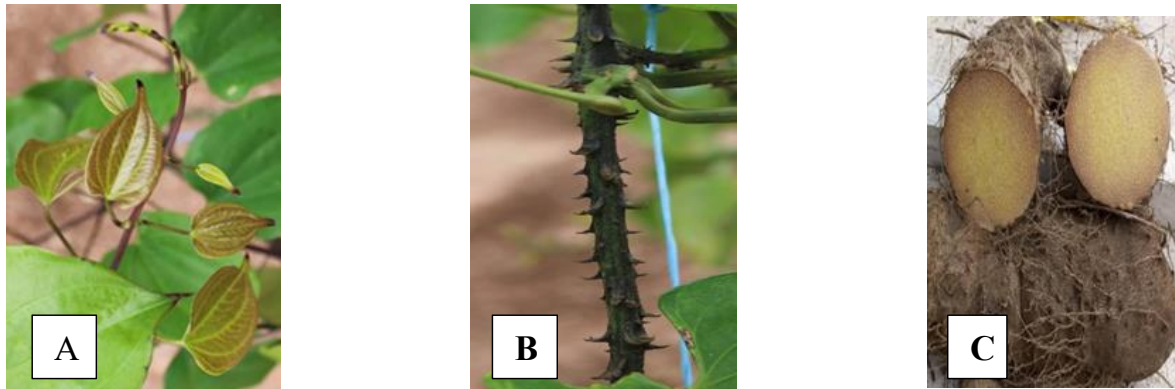


Figure 12 : Quelques caractéristiques morphologiques de l'accession Bacoué

A : Feuille ; B : tige recouverte d'épines ; C : chair de couleur violette

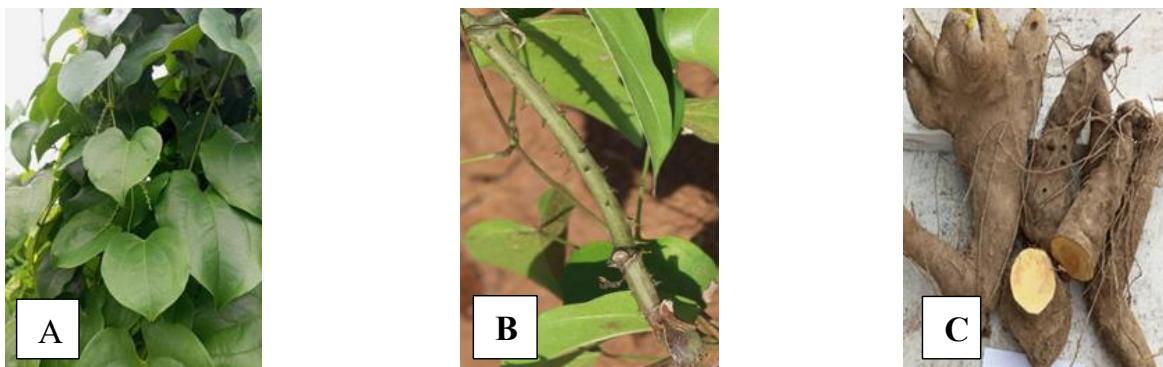


Figure 13 : Quelques caractéristiques morphologiques de l'accession Soukpataloa

A : Feuille ; B : tige recouverte d'épines ; C : chair de couleur jaune

2.1.2. Matériel technique

Le matériel technique utilisé lors des enquêtes a été essentiellement constitué d'une fiche d'enquête qui a servi de guide dans le cadre des échanges avec les producteurs (Annexe 2). D'un appareil photo Nikon D5300 pour la réalisation des prises de vue.

Relativement aux expérimentations, plusieurs instruments ou appareils (Tableau IV) ont été utilisés pour mener à bien ce travail. Les images de quelques-uns des instruments et appareils utilisés sont présentés à la figure 14.

Tableau IV: Fonction de chaque matériel technique utilisé

Matériels	Fonctions
Une machette	Défrichage des différentes parcelles
Une daba	Confection des buttes et des trous pour le semis des ignames, le sarclage et récolte des ignames
Un fil	Support aux tiges des ignames afin de les orienter sur les troncs des hévéas
Un mètre ruban	Mesures des circonférences des hévéas, hauteur des tiges d'ignames
Un pied à coulisse	Mesure du diamètre au collet des tiges d'ignames
Une balance	Mesures de productions (hévéa et ignames de sous-bois); pesée des fractions de sol prélevées
Une presse membranaire	Mesure du potentiel hydrique foliaire
Une étuve	Séchage des feuilles d'ignames et du latex prélevé
Une balance électronique	Pesée des feuilles d'ignames et du latex
Des pelles, pioches et ciseaux	Ouverture des fosses pédologiques
Un décamètre de 50 m	Mesure des distances et des épaisseurs des horizons constitutifs des profils
Une tarière	Prélèvement des échantillons de sol
Un tamis à maille (2 mm de diamètre)	Séparation des terres fines des éléments grossiers
Un couteau de pédologue	Délimitation des différents horizons de sol
Un code Munsell	Détermination des couleurs des différents horizons
Un GPS	Détermination des coordonnées géographiques des parcelles d'essai et des profils pédologiques ouverts
Des sachets plastiques	Conditionnement des échantillons de sols prélevés
Une plaque métallique percée d'un orifice et des piquets en aluminium	Mesure de la densité apparente
Des tubes à essai	Prélèvement du latex
Un spectrophotomètre	Lecture de la densité optique
Des agitateurs électriques, plaque chauffante, pH-mètre	Préparation des solutions
Un agitateur mécanique	Homogénéiser les solutions

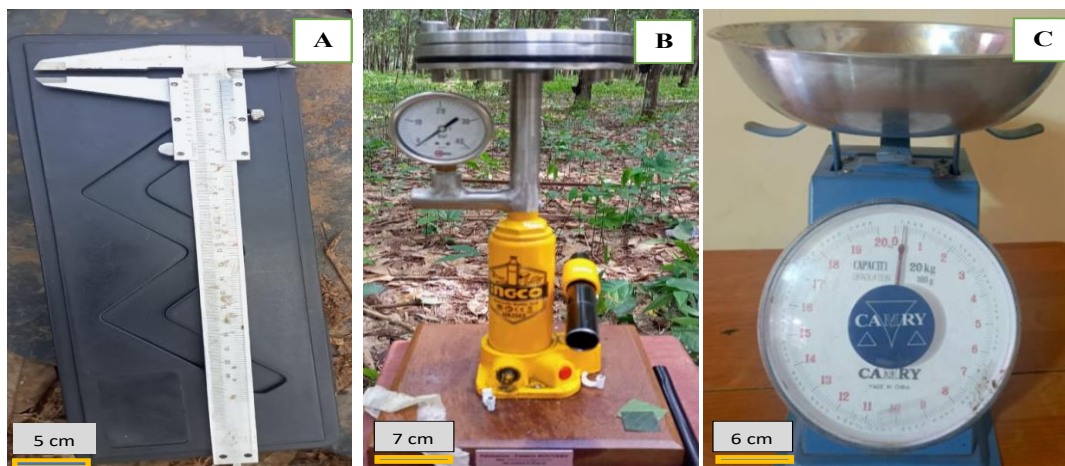


Figure 14 : Quelques matériels techniques
A : pied à coulisse ; B : presse membranaire ; C : balance robervale

2.2. Méthodes

2.2.1. Description des systèmes de cultures des ignames de sous-bois en Côte d'Ivoire

Cette étude a été menée afin de décrire et mieux appréhender les systèmes de culture des ignames de sous-bois. Elle a été réalisée au moyen d'une enquête à l'endroit des producteurs d'ignames de sous-bois.

2.2.1.1. Choix des localités

Pour mener à bien cette enquête, cinq localités ont été d'emblée ciblées sur la base des axes cardinaux dans chacune des quatre zones d'étude. Ce qui correspond à un total de vingt localités. Sur ces vingt, douze localités ont été choisies sur la base de leur accessibilité en toute saison. Au total, 127 producteurs d'igname de sous-bois ont été enquêtés dans les douze localités retenues (Tableau V).

Tableau V: Répartition des producteurs d'ignames de sous-bois dans les zones et les localités enquêtées en Côte d'Ivoire

Zones	Localités	Nombre de producteurs enquêtés	(%)
Centre/Centre-Est	Yamoussoukro, Toumodi, Dimbokro et Bongouanou	30	23,62
Est	Abengourou et Bouna	29	22,83
Ouest	Daloa, Issia	36	28,35
Sud-Ouest	Gagnoa, Soubré, Méagui et San-Pedro	32	25,20
Total	12	127	100

2.2.1.2. Enquête de terrain et collecte de données

De Mars à Août 2022, des entretiens individuels avec les producteurs, et une observation visuelle des plantations ont permis de collecter les informations et d'avoir une idée globale sur les méthodes pré et post-récoltes de production d'igname de sous-bois. L'enquête a consisté à interroger les producteurs, de manière directe, à partir de la fiche de questionnaire préalablement établie. Les variables du questionnaire ont été axées sur cinq facteurs :

- **Les systèmes de culture pratiqués et leurs caractéristiques**

Les paramètres recherchés ont concerné les différents systèmes à base d'igname de sous-bois, l'âge des arbres des cultures pérennes associées aux ignames de sous-bois, les superficies des cultures pérennes associées, le type de sol, la position topographique des

exploitations, les ignames de sous-bois cultivées, l'itinéraire de culture et la provenance des semences.

- Le rendement des ignames de sous-bois

La densité d'igname de sous-bois associée aux cultures pérennes, de même que la production de ces ignames de sous-bois, a été recherchée.

- La conservation des ignames de sous-bois

- La commercialisation des ignames de sous-bois

- Les contraintes rencontrées par les producteurs

La méthode utilisée pour la collecte des données est présentée dans le tableau VI.

Tableau VI: Méthode de détermination de quelques paramètres durant l'enquête

Paramètres	
Âge des cultures pérennes (ans)	Différence entre l'année de l'enquête et l'année de plantation. Les valeurs obtenues par spéculation sont ensuite agrégées pour calculer l'âge moyen de la culture pérenne.
Superficies des cultures pérennes (ha)	Pour chacune des cultures pérennes, les superficies individuelles indiquées par les producteurs ont été agrégées afin de calculer la superficie moyenne des cultures pérennes.
Type de sol (%)	Pour chacune des cultures pérennes, le type de sol déclaré a été noté puis le pourcentage calculé.
Position topographique (%)	Pour chacune des cultures pérennes, la position topographique des exploitations a été notée. Par la suite, le pourcentage a été déterminé.
Variétés d'ignames sous-bois (%)	Nombre de fois qu'une variété répétée, divisé par le nombre total de variétés multiplié par cent
Densité d'igname associée	Pour chacune des cultures pérennes, la densité d'igname indiquée par les producteurs a été agrégée afin de calculer la densité moyenne
Conservation (%)	Les méthodes de conservation ont été recensées. Ainsi, pour chaque méthode adoptée le pourcentage a été calculé.
Commercialisation (%)	Les méthodes de commercialisation ont été recensées. Le pourcentage de chaque méthode spécifique a ensuite été déterminé.
Contraintes	Liste des contraintes rencontrées par chaque paysan énumérée

2.2.1.3. Analyse statistique

Les données collectées au cours de l'enquête ont été saisies sous le tableur Excel et ensuite analysées avec le logiciel Statistica 7.1. L'analyse a été basée sur les statistiques descriptives (calculs de fréquence, moyennes et écarts-types). Les diagrammes et les courbes ont été réalisés grâce à ce tableur. Les données de production ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) en vue de comparer les valeurs moyennes des différents systèmes de culture des ignames de sous-bois. Par la suite, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au risque alpha de 5 % a été utilisé pour constituer les différents groupes homogènes.

2.2.2. Évaluation de la croissance et de la production des ignames issues du système agroforestier igname de sous-bois hévéas matures

Les données collectées sur les ignames de sous-bois concernent le délai de levée, le taux de levée, le délai d'apparition de la première feuille après la levée, le diamètre au collet, la hauteur des tiges, la vitesse de croissance, la surface spécifique foliaire, le potentiel hydrique foliaire et la production de tubercules.

2.2.2.1. Choix et préparation du terrain

Un essai a été mis en place sur deux parcelles d'hévéa GT 1 et IRCA 41 et une parcelle témoin d'igname. Ce choix se justifie par la disponibilité des parcelles monoclonales GT 1 et IRCA 41 qui sont les clones les plus répandus en Côte d'Ivoire, la disponibilité de la main-d'œuvre saigneurs et l'accessibilité des trois parcelles en toutes saisons. La préparation du terrain a débuté par le nettoyage des deux parcelles d'hévéa et le défrichement de la parcelle témoin réservée à la culture pure de l'igname en Juin 2022. La parcelle réservée à la culture pure de l'igname était une jachère d'environ 10 années. Ainsi, après le défrichement, les débris ont été regroupés avant d'être débarrassés de la surface à planter.

2.2.2.2. Dispositif expérimental et choix des hévéas

Pour chacun des deux clones étudiés (GT 1 et IRCA 41), le dispositif expérimental est un bloc factoriel avec deux sous-parcelles distinctes. Chacune d'elles comporte des parcelles élémentaires :

La première (figure 15A) est composée de l'association culturale qui combine deux facteurs : principal et secondaire. Le facteur principal a été l'accession d'igname (Bacoué et Soukpataloa) et le facteur secondaire le mode de semis (butte et trou), soit une combinaison de 4 traitements. En outre, cette parcelle intègre le témoin qui est constitué de la monoculture de

l'hévéa, soit donc un total de 5 traitements. Le dispositif renferme ainsi 5 traitements avec 3 répétitions, soit un total de 15 parcelles élémentaires comme suit :

- 12 avec cultures associées, constituées chacune de 4 plants d'ignames et de 16 hévéas, à raison de 4 arbres autour de chaque plant;

- 3 en culture pure d'hévéas et comportant chacune 16 hévéas.

En somme, cette première parcelle compte 48 plants d'ignames et 192 hévéas en association plus 48 hévéas en culture pure, soit 240 hévéas.

La distance entre les emplacements d'ignames sur la même ligne est de 9 m et de 18 m entre les lignes. Les écartements entre les hévéas ont été de 6 m x 3 m pour le GT 1 et pour l'IRCA 41. Ainsi les densités de semis des ignames et de plantation des clones GT 1 et IRCA 41 ont été respectivement de 62 semences/ha et de 555 arbres/ha.

La deuxième parcelle (Figure 15B) est en réalité constituée des témoins de la culture pure des 2 variétés d'ignames (Bacoué et Soukpataloa) suivant 2 modes de semis (trou ou butte), soit 4 traitements. Chaque parcelle élémentaire est constituée de 4 plants d'igname en 3 répétitions, soit un total de 48 plants d'igname. La distance entre deux emplacements d'igname sur la même ligne et d'une ligne à une autre a été de 2 m correspondant à une densité de 2 500 semences/ha. Cette même sous-parcelle B a été, à la fois, utilisée dans le dispositif expérimental de chacun des deux clones étudiés.

La distance qui sépare la parcelle d'hévéa de la parcelle témoin d'igname est de 50 m. L'étude a été conduite de manière distincte sur chacune des parcelles GT 1 et IRCA 41.

Les traitements ont été les suivants :

- 1 : Ignose Soukpataloa semée dans une butte associée aux hévéas
- 2 : Ignose Soukpataloa semée dans un trou associée aux hévéas
- 3 : Ignose Bacoué semée dans une butte associée aux hévéas
- 4 : Ignose Bacoué semée dans un trou associée aux hévéas
- 5 : Hévéas en monocultures
- 6 : Ignose Soukpataloa semée dans une butte en monoculture (témoin)
- 7 : Ignose Soukpataloa semée dans un trou en monoculture (témoin)
- 8 : Ignose Bacoué semée dans une butte en monoculture (témoin)
- 9 : Ignose Bacoué semée dans un trou en monoculture (témoin)

Les traitements 1 à 5 composent la sous-parcelle A, tandis que la sous-parcelle B est constituée des traitements 6 à 9.

Les arbres de chaque clone d'hévéa (GT 1, IRCA 41) ont été sélectionnés sur la base de leur circonférence et de l'état sanitaire. Les arbres sélectionnés ont été ceux qui n'étaient pas atteints d'encoche sèche et qui avaient une circonférence supérieure à 40 cm à 1,70 m du sol.

Les hévéas du clone GT 1 étaient âgés de 15 ans et ceux d'IRCA 41 de 11 ans au début de l'expérimentation.

Le même dispositif expérimental a été utilisé pour les études sur :

- L'évaluation de l'effet de l'association hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques de l'hévéa ;

La détermination de l'impact de l'association hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnels des sols.

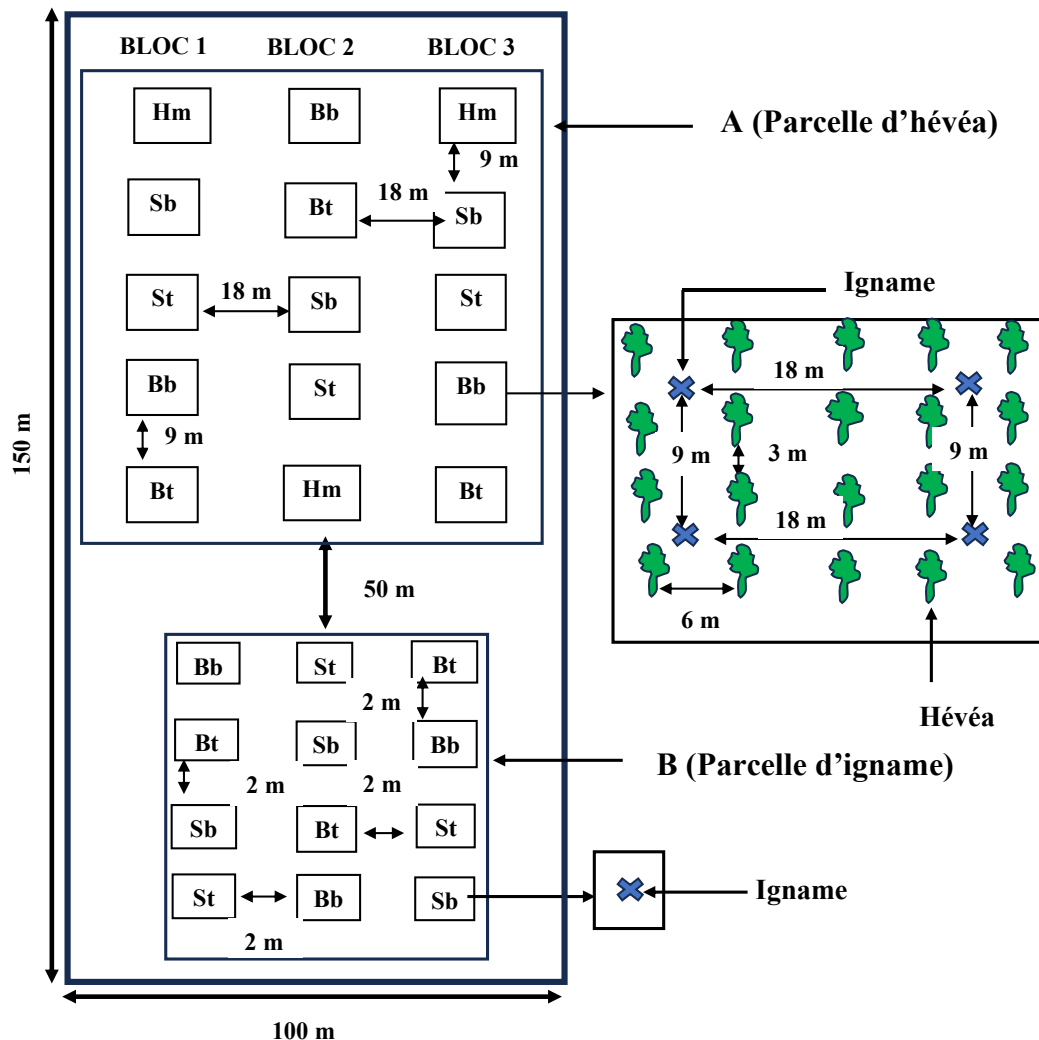


Figure 15 : Dispositif expérimental en bloc factoriel

A : Parcelle d'hévéa ; B : Parcelle d'igname

Sb : Soukpataloa semée dans une butte ; St : Soukpataloa semée dans un trou ; Bb : Bacoué semée dans une butte ; Bt : Bacoué semée dans une butte ; Hm : hévéa monoculture

2.2.2.3. Mise en place de l'expérimentation

Des buttes d'environ 1 m de hauteur et de diamètre ainsi que des trous de 30 cm de profondeur et de 50 cm de diamètre ont été confectionnés avec une pioche et une daba pour la mise en place des ignames sur chaque parcelle. Selon N'Gue *et al.* (2007), la confection des buttes de grande taille (0,8 à 1 m de haut) favorise le développement des tubercules. Avant le semis, les trous creusés ont été légèrement remblayés avec la terre extraite afin de créer un lit de semis meuble et bien drainé. De même, lors de la confection des buttes, à l'aide d'une houe, la terre a été retournée, rendant ainsi le sol meuble. Le semis des ignames a été réalisé un mois après la confection des buttes et des trous de semis.

Les semences d'ignames Bacoué et Soukpataloa ont été obtenues à partir d'une fragmentation des tubercules mères réalisée avec un couteau. Chaque semence avait une longueur comprise entre 10 et 15 cm et une masse variant de 300 à 500 g. Avant le semis, les semences ont été triées afin d'extraire celles qui n'étaient pas en bon état physiologique. Aucun traitement phytosanitaire des semences n'a été effectué avant la plantation. Les semences d'ignames de sous-bois ont été plantées selon les deux modes dans les interlignes des hévéas des deux parcelles. L'essai a été réalisé sur une superficie totale de 3,05 ha. Chaque parcelle d'hévéa s'étendait sur une superficie de 1,5 ha tandis que la parcelle témoin constituée de culture pure d'igname était sur une superficie de 0,05 ha. Les accessions d'ignames ont été plantées dans les interlignes des hévéas à équidistance des quatre pieds hévéas les plus proches. La distance entre deux emplacements d'igname sur la même ligne a été de 9 m et les lignes de semis des ignames ont été séparées de 18 m. La densité de plantation de l'igname a été de 62 semences/ha sous les hévéas afin de réduire au maximum toute compétition entre l'igname de sous-bois et l'hévéa. En culture pure d'igname, la distance entre deux emplacements d'igname sur la même ligne et d'une ligne à une autre a été de 2 m, ce qui correspond à une densité de 2 500 semences/ha. Les semences des deux accessions ont été plantées à une profondeur de 20 cm. L'expérimentation a été mise en place pendant la saison des pluies en juillet 2022 et elle a duré deux années. Après la première année de semis des ignames, une récolte des tubercules d'ignames a été réalisée sur la moitié des buttes et trous d'ignames, tandis que l'autre moitié est restée intacte en terre pour continuer sa croissance jusqu'au terme de la seconde année. C'est à la fin de la deuxième année que cette seconde moitié a été récoltée.

2.2.2.4. Entretien des parcelles

Après le semis des ignames de sous-bois, les parcelles ont bénéficié des travaux d'entretien (désherbage et tuteurage). Dans les parcelles d'hévéa, une semaine après la levée des ignames, une ficelle servant de tuteur a été attachée à un piquet enfoncé dans le sol au pied de chaque butte d'igname (Figure 16 A). Ce fil a été relié à la première branche latérale de l'un des 4 hévéas situés à proximité du plant, afin de donner une orientation à la tige de l'igname qui doit se diriger vers le tronc de l'hévéa. Sur la parcelle témoin d'igname pure, des bois ont été coupés et placés aux pieds de chaque emplacement d'igname pour servir de tuteur aux plants d'ignames (Figure 16 B). Au cours d'un cycle de production de l'igname, quatre désherbages manuels ont été effectués afin d'éviter les compétitions entre les ignames et les mauvaises herbes.

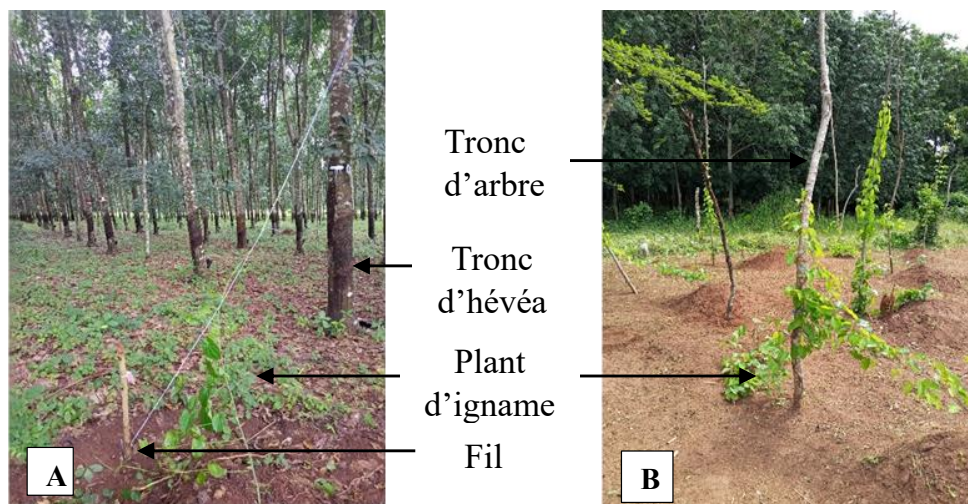


Figure 16 : Tuteurage de l'igname

A : sous hévéas ; B : en culture pure

Les hévéas des clones GT 1 et IRCA 41 ont été saignés chaque trois jours (d3). Cela correspond à huit saignées dans le mois. La production de caoutchouc a été enregistrée, arbre par arbre, à raison d'un contrôle de production tous les mois. Chez le clone GT 1, la saignée descendante a été appliquée à la première année de l'expérimentation, tandis qu'à la seconde année, c'est la saignée remontante ou inversée qui a été adoptée. La saignée descendante a été appliquée chez les hévéas IRCA 41 toute la durée de l'expérimentation. La stimulation hormonale des clones GT 1 (à métabolisme intermédiaire) et IRCA 41 (à métabolisme lent) a été effectuée à l'aide du produit CALLEL concentré à 5 %. Ce produit stimulant la production de latex a été appliqué 12 fois par an à intervalle d'une fois par mois pour chacun des clones. Chez le clone GT 1, conduit en saignée inversée à la deuxième année, le produit CALLEL a été appliqué sans dilution, tandis que, chez le clone IRCA 41 et le clone GT 1 à la première année

de l'essai, une dilution de ce produit (5 %) a été réalisée afin d'obtenir une concentration de 2,5 % en saignée descendante.

2.2.2.5. Collecte de données sur les paramètres de croissance et de production des ignames

Délais et taux de levée des ignames

Le temps écoulé pour chaque bouture d'igname depuis le semis jusqu'à l'émergence de la tige à la surface du sol constitue le délai de levée. Ainsi, un mois après le semis des ignames, un relevé hebdomadaire des boutures levées a été réalisé. La date d'apparition de la tige sur la surface de la butte ou du trou de semis a été notée pour chaque emplacement d'igname, sur chaque parcelle. Par la suite, le délai moyen de levée (DL) pour chaque traitement a été déterminé en faisant la somme du nombre de jours avant la levée de chaque bouture d'igname sur le nombre de levées.

$$DL(jr) = \frac{\sum(Njal)}{Ntbl}$$

$\sum Njal$: Somme du nombre de jours avant la levée de chaque bouture ; $Ntbl$: Nombre total de boutures levées.

Le dénombrement des levées a permis d'estimer le taux de levée (TL) par la relation suivante

$$TL(\%) = \frac{Nbl}{Ntb} \times 100$$

TL : Taux de levée ; Nbl : Nombre de boutures levées ; Ntb : Nombre total de boutures semées.

Délai d'apparition de la première feuille après la levée

Après la levée des boutures d'ignames, un relevé journalier a été réalisé. Sur chaque parcelle, la date d'apparition de la première feuille a été notée pour chaque plante d'igname. Par la suite, le délai moyen d'apparition de la première feuille (DAPFAL) d'igname pour chaque traitement a été déterminé en faisant la somme du nombre de jours avant apparition de la première feuille de chaque igname levée sur le nombre de plants d'igname ayant des feuilles.

$$DAPFAL(jr) = \frac{\sum(Njaapf)}{Npf}$$

$\sum Njaapf$: Somme du nombre de jours avant apparition de la première feuille ; Npf : nombre de plants ayant des feuilles.

Diamètre au collet

Sept jours après la levée des ignames, les mesures du diamètre au collet des plants ont débuté sur chaque parcelle. À ce stade, la plantule est moins fragile et les mesures peuvent se faire aisément. Cette mesure a été réalisée hebdomadairement pendant 84 jours à l'aide d'un pied à coulisse à la base de la tige, précisément au niveau de la zone de séparation entre le système racinaire et la partie aérienne (Mamadou *et al.*, 2014). Les valeurs moyennes pour chaque traitement ont été déterminées en faisant la somme des diamètres au collet (DC) des différents plants d'igname sur le nombre total de plants d'ignames mesurés. Les valeurs ont été exprimées en millimètre (mm).

$$DC(mm) = \frac{\Sigma(DC)}{Npm}$$

ΣDC : Somme des diamètres au collet ; Npm : nombre de plants mesurés.

Vitesse de croissance en hauteur

Sept jours après la levée des ignames, à l'aide d'un mètre-ruban, la hauteur des tiges a été mesurée. Les mesures ont été réalisées du collet à l'apex de la tige pendant 70 jours à un intervalle régulier d'une semaine.

La vitesse de croissance hebdomadaire de la tige a été calculée en appliquant la formule suivante (Dapoigny *et al.*, 2020) :

$$Vcr\left(\frac{cm}{jr}\right) = \frac{H_i - H_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

H_i et H_{i-1} sont les hauteurs des tiges respectivement au temps T_i et T_{i-1} .

Surface spécifique foliaire

Les mesures de surface spécifique foliaire (SSF) ont été réalisées à deux différentes périodes, pendant la saison des pluies et durant la saison sèche lorsque le développement végétatif de la plante était total. Les feuilles collectées pour les mesures ont été les feuilles matures, vertes et saines. Les mesures ont été effectuées sur 3 plants par traitement. Sur chaque plant, 3 feuilles ont été prélevées à trois niveaux dans le feuillage de la plante (le tiers inférieur, le tiers supérieur et le tiers moyen), puis emballées dans du papier journal. Au total, 9 feuilles par traitement ont été prélevées sur chaque parcelle. Ensuite, chacune d'elles a été scannée et enregistrée au format jpg (Dossounon, 2023). Au laboratoire, ces échantillons de feuilles ont été séchés à l'étuve à 60 °C pendant 48 heures. Après le séchage, elles ont été pesées sur une balance électronique de précision, afin d'avoir le poids de la matière sèche (PS). Finalement, le logiciel Photofiltre 7 a été utilisé pour la conversion de l'unité standard pixel des images

scannées en centimètres (cm) afin d'avoir les références de taille pour calculer leurs surfaces. La surface de chaque feuille (SF) a été déterminée à l'aide du logiciel Image J (Dossounon, 2023) et la surface spécifique foliaire (SSF) a été calculée à partir de la relation suivante :

$$SSF \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) = \frac{SF}{PS}$$

SF : Surface Foliaire ; PS : Poids sec de la feuille (Cornelissen *et al.*, 2003).

Potentiel hydrique foliaire

Le potentiel hydrique foliaire a été réalisé en saison sèche et en saison pluvieuse. Cette mesure a été déterminée sur 3 plants par traitement. Pour chaque traitement, 3 feuilles ont été prélevées par plant. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une presse hydraulique, sur un morceau de feuille de 0,5 à 1 cm² prélevé à l'aide d'une paire de ciseaux. Ce morceau a été placé dans la chambre étanche de la presse puis comprimé en actionnant le cric hydraulique jusqu'à suintement de la première goutte de sève le long de la section foliaire. La lecture du potentiel hydrique a été faite sur l'écran de lecture de la presse hydraulique (Figure 17). La valeur qu'a indiquée l'aiguille à l'écran a été notée dès qu'est apparue la première goutte de sève. À chaque observation, le potentiel hydrique Ψ a été mesuré avant le lever du jour de 5 h à 6 h (potentiel hydrique de base) et à midi, le potentiel hydrique de midi (Soubie, 2007).

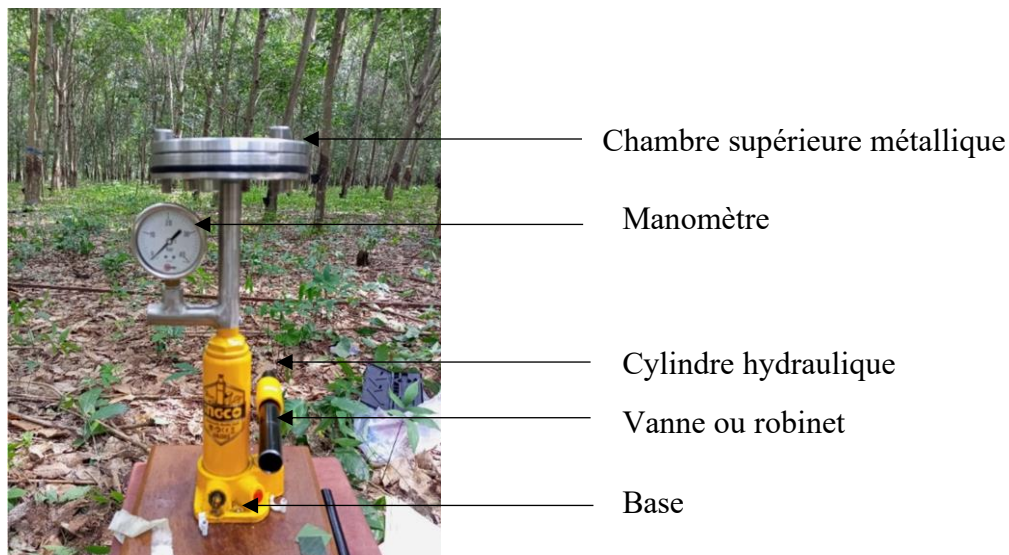


Figure 17 : Presse hydraulique (HBJ202)

Production d'igname

La production de l'igname (Prod) a été déterminée pour chaque traitement. Deux récoltes ont été faites. La première a eu lieu un an après la plantation et la deuxième, deux années après la plantation. Les tubercules récoltés ont été pesés et la production a été exprimée en kilogrammes par hectare (kg/ha). La formule suivante a été appliquée :

$$\text{Prod} = \text{Poids moyen de tubercule par butte ou par trou} \times \text{densité de plantation à l'hectare}$$

2.2.2.6. Analyse statistique

Les données de l'expérimentation portant sur la croissance et la production des ignames de sous-bois ont été soumises à des tests statistiques à l'aide du logiciel Statistica version 7.1. Les tests de normalité et d'homogénéité de variance ont été effectués pour s'assurer de la nature du test à effectuer. Après vérification, une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs a été utilisée pour voir l'effet global de l'accession d'igname de sous-bois, du mode de semis de ces ignames et de leurs interactions sur la croissance et la production des ignames de sous-bois. Le test de la plus petite différence significative a été utilisé pour comparer les moyennes lorsque l'analyse révèle une différence significative. Ce test permet d'identifier le ou les traitements qui diffèrent significativement les uns des autres. Cette différence est déterminée en comparant la probabilité (P) associée à la statistique F du test de Newman-Keuls au seuil théorique de $\alpha = 0,05$. Ainsi, lorsque $P \geq 0,05$, il n'existe pas de différence significative ; par contre, lorsque $P \leq 0,05$, il existe une différence significative entre les différentes moyennes.

2.2.3. Évaluation des paramètres agronomiques, sanitaires et physiologiques de l'hévéa en association à l'igname de sous-bois

Les données collectées au cours de cette expérimentation ont concerné les paramètres agronomiques (la croissance isodiamétrique du tronc, la production de caoutchouc et le potentiel hydrique foliaire), sanitaires (le taux d'encoche sèche) et physiologiques (le taux d'extrait sec, les teneurs en saccharose, en phosphore inorganique et en thiols).

2.2.3.1. Collecte de données

Croissance isodiamétrique du tronc des hévéas

Les mesures de circonférence ont été réalisées pendant 23 mois. Pour chacun des traitements, la circonférence du tronc, à 1,70 m du sol, a été mesurée sur chaque arbre, en début et fin d'expérimentation à l'aide d'un mètre-ruban.

L'accroissement moyen annuel de circonférence (cm.an^{-1}) a été déterminé par la relation suivante :

$$\text{Accr} = \frac{\sum(\text{Circ}_n - \text{Circ}_{n-1})}{\sum n_i}$$

Accr : accroissement moyen annuel de circonférence ; Circ_n : Circonférence des arbres à la fin de l'expérimentation ; Circ_{n-1} : Circonférence des arbres au début de l'expérimentation ; n_i : Nombre d'années.

Production de caoutchouc des hévéas

La production de caoutchouc a été pesée mensuellement, durant 23 mois. Cette production de caoutchouc a été enregistrée, arbre par arbre, à raison d'un contrôle de production tous les mois. Le cumul de production de huit saignées est ainsi obtenu lors de chaque contrôle. Cette activité a consisté à collecter la production de caoutchouc contenue dans les tasses et à les peser à l'aide d'une balance (poids frais : PF). Les poids frais de caoutchouc ont été convertis en poids sec (PS) à l'aide de la formule suivante (Ballo, 2019) :

$$\text{Poids sec} = \text{Poids frais} \times 60 \%$$

60 % = Coefficient de transformation

La production de caoutchouc a été exprimée en gramme de caoutchouc sec par arbre et par saignée ($\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$) et en kilogramme par hectare et par année ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$). Une moyenne de 400 arbres par hectare a été définie pour exprimer la production de caoutchouc sec en $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ étant donné que le nombre d'arbres saignables par hectare peut varier d'une plantation à une autre (Soumahin, 2010).

Taux d'encoche sèche des hévéas

La méthode de relevé de l'encoche sèche permet de rendre compte de l'apparition et de l'état d'avancement de l'encoche sèche (CIRAD, 1993). Une fois par mois et pendant 23 mois, le relevé d'encoche sèche a été effectué par arbre. Au-delà de la méthode rapide par estimation visuelle décrite par Van De Syne (1984), une autre méthode plus précise a été utilisée. Ainsi, après chaque saignée, toutes les parties sur l'encoche de saignée où le latex ne coule pas ont été soulignées avec de la craie. Ensuite, à l'aide d'un mètre ruban, ces endroits soulignés, correspondant à la longueur d'encoche malade (LEM), ont été mesurés. Pour finir, les longueurs d'encoche totales (LET) ont été mesurées à l'aide d'un mètre ruban. Le taux d'encoche sèche a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{TES (\%)} = \frac{\text{LEM}}{\text{LET}} \times 100$$

Les pourcentages d'encoche sèche et leurs significations, sont présentés dans le Tableau VII.

Tableau VII : Echelle du niveau d'affectation des arbres par l'encoche sèche

L (%)	Signification
0	Arbre sain
1 à 20	Arbre atteint d'encoche sèche de très faible niveau
21 à 40	Arbre atteint d'encoche sèche de faible niveau
41 à 60	Arbre atteint d'encoche sèche de niveau moyen
61 à 80	Arbre atteint d'encoche sèche de niveau assez élevé
81 à 99	Arbre atteint d'encoche sèche de niveau élevé
100	Arbre atteint d'encoche sèche totale ou arbre sec

L : Proportion de la longueur d'encoche de saignée ne produisant pas de latex par rapport à la longueur totale d'encoche

Source : Okoma (2008) ; Koffi (2023)

Paramètres physiologiques du latex

L'état physiologique de l'hévéa a été déterminé à partir du Micro Diagnostic Latex (MDL) (Jacob *et al.*, 1988). Il a consisté à déterminer les teneurs en phosphore inorganique, en saccharose, en groupements thiols et le taux d'extrait sec du latex (Coulibaly *et al.*, 2018). Les faibles valeurs de ces quatre paramètres indiquent que l'arbre n'est pas en bon état physiologique. Ce qui pourrait conduire à une baisse de la production de caoutchouc. Cette activité du micro diagnostic latex a été réalisée au début et à la fin de l'expérimentation.

• Echantillonnage et préparation du sérum-TCA

Le latex a été prélevé, très tôt le matin à partir de 6 h, par bloc sur quatre (04) arbres par traitement. Les quatre prélèvements d'un même traitement ont été mélangés pour constituer un échantillon unique. Au total, 15 échantillons ont été prélevés. Le prélèvement a été fait après une saignée. Quelques gouttes (5 à 10 gouttes) de latex ont été laissées tomber pour éliminer les impuretés puis le tube de prélèvement a été rempli au 2/3. Pour extraire les constituants du latex, celui-ci a été coagulé à l'aide d'une solution d'acide trichloracétique (TCA) concentrée à 2,5 %. L'extraction des constituants du latex a consisté à ajouter, dans un pilulier de 15 ml, 9 ml de TCA concentré à 2,5 % et 1 ml d'échantillon de latex prélevé. Une fois le latex coagulé, la partie solide a été compressée à l'aide d'une baguette de verre, puis retirée à l'aide de pinces. La solution obtenue appelée « sérum TCA » a été filtrée sur de la laine de verre. Cette filtration a permis d'éliminer la quasi-totalité des impuretés, notamment les particules de caoutchouc restant en suspension. Ce sérum TCA a été conservé pour le dosage du saccharose, du phosphore inorganique et des composés thiols.

- **Dosage du Saccharose**

Le saccharose (Sac) a été dosé par la méthode à l'anthrone d'Ashwell (1957). En présence d'acide sulfurique concentré, les hexoses se déshydratent pour donner du furfural qui réagit avec l'anthrone pour produire une coloration bleu-vert. Un volume de 100 µl de sérum a été ajouté à 400 µl de TCA 2,5 % ; 3 ml de réactif à l'anthrone ont été ensuite ajoutés et homogénéisés. La solution a été plongée dans un bain-marie bouillant pendant 5 min. Après refroidissement, l'absorbance a été lue au spectrophotomètre (JENWAY) à la longueur d'onde de 627 nm et comparée au témoin (0,5 ml de TCA 2,5 % + 3 ml de réactif à l'anthrone). La teneur en saccharose du latex a été déterminée à partir du dosage des solutions d'une gamme d'étalon et est exprimée en millimole par litre (m.mol.l⁻¹).

- **Dosage du phosphore inorganique**

Le phosphore inorganique (Pi) a été dosé par la méthode de Taussky et Shorr (1953), utilisant le molybdate d'ammonium. Ainsi, le phosphore est complexé par un excès de molybdate d'ammonium. Le complexe formé est ensuite réduit par le sulfate ferreux, donnant une coloration bleue. À un volume de 0,5 ml de sérum, a été ajouté 1 ml de TCA 2,5 % puis 3 ml de réactif. L'absorbance a été lue au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 410 nm et comparée au témoin (0,5 ml d'eau distillée + 1 ml de TCA 2,5 % + 3 ml de réactif). La teneur en Pi a été déterminée à partir du dosage des solutions d'une gamme d'étalon de potassium dihydrogenophosphate et est exprimée en millimole par litre (m.mol.l⁻¹).

- **Teneur en composés thiols**

Les composés thiols (R-SH) ont été dosés selon la méthode de Boyne et Ellman (1972) utilisant l'acide dinitro-2,2'-dithio-5-5'-dibenzoïque (DTNB). Les composés R-SH réagissent avec le DTNB pour donner l'acide thio-nitro-benzoïque (TNB) de couleur jaune qui est fortement absorbé à la longueur d'onde de 410 nm (réaction d'Ellman). Le TNB a été révélé par le tampon Tris (coloration jaune). À un volume de 1,5 ml de sérum, ont été ajoutés 50 µl de DTNB puis 1 ml de Tris 0,5 M. Après agitation, l'absorbance a été lue à la longueur d'onde de 410 nm et comparée au témoin (1,5 ml de TCA 2,5 % + 50 µl de DTNB + 1 ml de Tris 0,5 M). La teneur en R-SH a été déterminée à partir du dosage des solutions d'une gamme d'étalon de glutathion et est exprimée en millimole par litre (m.mol.l⁻¹).

- **Mesure du taux d'extrait sec du latex**

Le taux de matière sèche du latex a été déterminé par la pesée d'un échantillon de 1 ml de latex, avant et après séchage à l'étuve à 80 °C pendant 24 h. Le taux d'extrait sec (Ex.S), exprimé en pourcentage, a été défini par la formule suivante (Soumahin, 2010) :

$$\text{Ex. S (\%)} = \frac{\text{P.S}}{\text{P.F}} \times 100$$

P.S : Poids de matière sèche ; P.F. : Poids de matière fraîche.

2.2.3.2. Analyse statistique

Les données de production, de circonférence, de potentiel hydrique foliaire, de diagnostic latex et d'encoche sèche collectées sur les hévéas ont été soumises à des analyses statistiques. Après la vérification de l'homogénéité des variances, des analyses de variance (ANOVA) à un facteur et la comparaison des moyennes ont été réalisées avec le logiciel Statistica version 7.1. Le niveau de signification, en cas de différence entre les moyennes, a été estimé par le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 %.

2.2.4. Impact du système agroforestier hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnelles des sols

L'évaluation du système hévéa mature-igname de sous-bois sur le sol a consisté à caractériser l'environnement morpho-physique, hydrodynamique, à mesurer les paramètres physico-chimiques et à caractériser la santé du sol.

2.2.4.1. Collecte de données

2.2.4.1.1. Caractérisation de l'environnement morpho-physique du système hévéa-igname de sous-bois

La caractérisation de l'environnement morpho-physique des sols a consisté dans un premier temps en la description des fosses pédologiques préalablement creusées. Par la suite, les mesures des paramètres physiques du sol telles que la densité apparente (Da) et la teneur en éléments grossiers ont été effectuées sur les trois parcelles, à savoir la parcelle pure d'igname, la parcelle d'hévéa du clone GT 1 et celle du clone IRCA 41 (Figure 18). Ces mesures ont été réalisées dans le mois de juillet 2022 au moment de la mise en place de l'expérimentation.

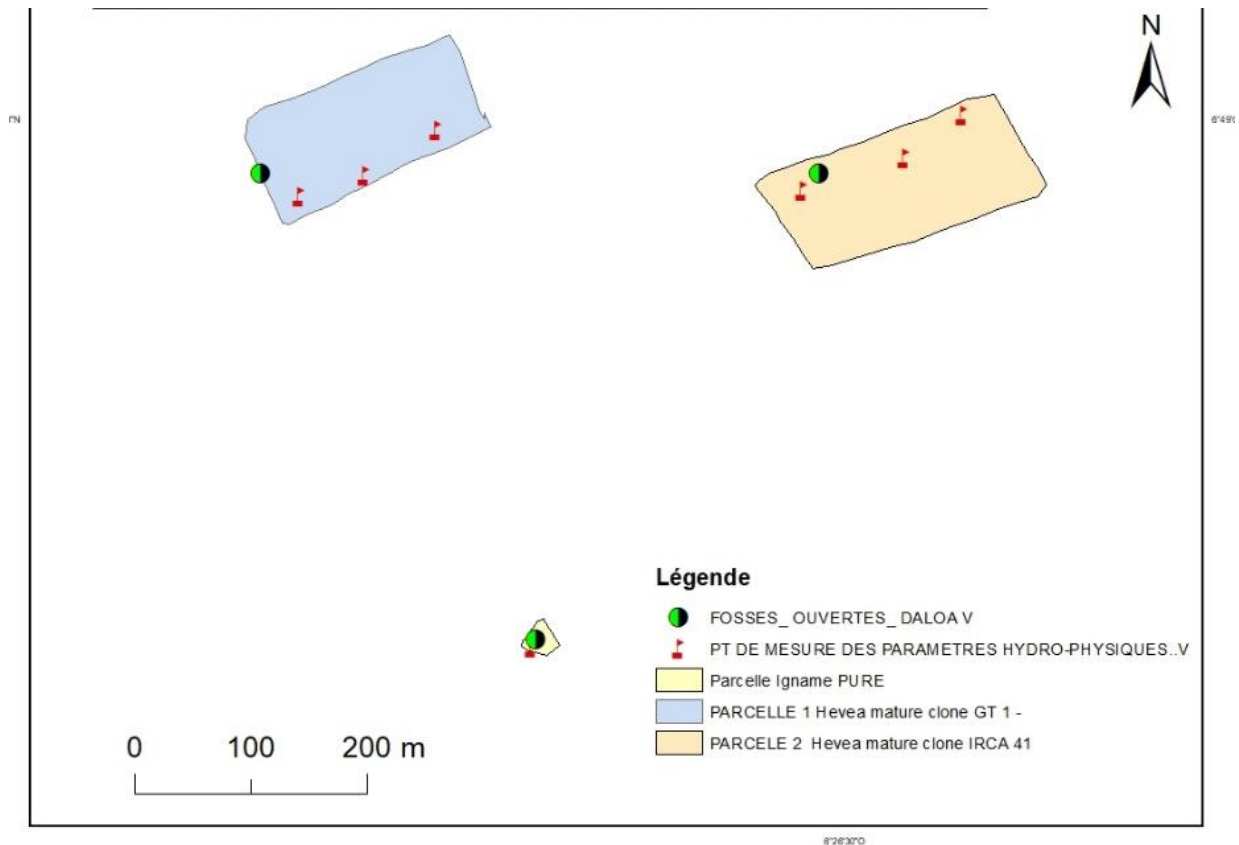


Figure 18 : Carte présentant la disposition des parcelles d'étude avec les sites de prélèvement de sol et de mesures des paramètres morpho-physiques

Description de fosses pédologiques

Dans chacune des parcelles concernées par l'étude, une seule fosse pédologique de dimension 1 m de longueur sur 0,8 m de largeur et 1,20 m de profondeur y a été ouverte. Lors de la description des profils pédologiques, les paramètres tels que la couleur, l'humidité naturelle, la texture, la structure, les éléments grossiers (taux, taille et nature), la cohésion, la porosité, le drainage interne, les racines et la transition à l'horizon sous-jacent, ont été retenus pour la description des horizons (Figure 19).



Figure 19 : Description morphopédologique d'un profil de sol

Mesure de la densité apparente (Da)

La densité apparente (Da) est évaluée selon la méthode au sable (Yoro, 1992). La méthode au sable consiste à creuser une cavité dans le sol, à l'intérieur d'une plaque métallique de diamètre 20 cm et de 20 cm de profondeur. Cette cavité est fixée parallèlement à la surface du sol par des piquets (Figure 20). La totalité du sol présent dans la plaque est recueillie pour en déterminer le poids sec. Ensuite, la cavité est pleinement remplie, avec le sable marin qui a préalablement été calibré. Par la suite, l'excédent de sable à la surface de la plaque est récupéré dans un sachet, puis pesé afin de déterminer la quantité de sable versée. La valeur obtenue est la différence entre le poids initial de sable et celui du reliquat. Pour calibrer donc le sable marin, celui-ci a été au préalable dessalé par trempage dans l'eau de robinet, lavé, séché à l'air libre et tamisé successivement à l'aide des tamis à mailles carrées de 2, 1 et 0,8 mm. À l'issue de ce traitement, deux classes dimensionnelles [2 - 1 mm] et [1 - 0,8 mm], de sable sec et coulant sont obtenues. C'est la classe la plus abondante de masse volumique 1,56 qui a été utilisée pour les mesures de densité apparente (Koffi, 2023). Pour les mesures sur le terrain, des paquets de sable marin de 2,5 kg ont été constitués. Les mesures ont été réalisées dans les tranches 0-20 et 20-40 cm du sol. En effet, après avoir utilisé la plaque métallique pour extraire le sol dans la tranche 0-20 cm, cette même plaque a ensuite été placée à une profondeur de 20 cm afin d'extraire le second niveau 20-40 cm. La Da est déterminée selon la formule suivante :

$$Da = \frac{P}{V}$$

Da : densité apparente exprimée en g/cm³ ; P : poids sec de l'échantillon exprimé en g
et V : volume de l'échantillon prélevé et séché exprimé en cm³

Le volume (V) de l'échantillon prélevé et séché est déterminé par la formule suivante :

$$V = (\text{Poids de sable calibré} - \text{Poids de sable restant}) \times 1,56$$

$$\varphi \text{ sable marin (1 - 0,8 mm)} = 1,56 \text{ g/cm}^3.$$



Figure 20 : Mesure *in situ* de la densité apparente par la méthode au sable marin

Source : Yoro (1992)

Charge en éléments grossiers des sols

Au laboratoire, la charge en éléments grossiers des sols étudiés (GT 1, IRCA 41 et la monoculture d'igname de sous-bois) a été déterminée. Pour ce faire, les échantillons de sols (2,5 kg) prélevés ont été tamisés avec un tamis à maille de 2 mm. Les éléments grossiers supérieurs à 2 mm, appelés le refus, ont d'abord été lavés à l'eau de robinet, afin d'en extraire toute la terre. Par la suite, ils ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures et enfin ils ont été pesés. Le taux d'éléments grossiers a été déterminé par la relations suivante :

$$\text{Taux d'éléments grossiers (\%)} = \frac{\text{masse du refus de tamis}}{\text{masse totale de sol}} \times 100$$

2.2.4.1.2. Mesures des paramètres hydrodynamiques

Perméabilité hydraulique à saturation

La mesure de la perméabilité hydraulique à saturation (K_{sat}) ou de la vitesse de l'infiltration de l'eau dans le sol a été effectuée à l'aide d'un dispositif d'un anneau unique (Elrick *et al.*, 1995), de 30 cm de diamètre et 15 cm de hauteur, enfoncé à 2 cm dans le sol (Figure 21). À l'intérieur de l'anneau, de l'eau a été versée après avoir couvert la surface du sol d'un paillage de protection. Ce paillage a servi à réduire autant que possible, les effets des réorganisations de surface. L'évolution du niveau d'eau a été relevée au cours du temps d'infiltration (1 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30 ; 45 ; 60 ; 75 ; 90 ; 105 et 120 min) à l'aide d'un chronomètre ordinaire, tout en maintenant une lame d'eau constante de 5 cm au-dessus du niveau du sol. Cette mesure a été réalisée sur la parcelle GT 1, IRCA 41 et la parcelle pure d'igname. Le coefficient de perméabilité à saturation (K_{sat}), exprimé en cm/mn, a été déterminé selon la relation suivante :

$$K_{sat} = \frac{NiE - NfE}{Ti}$$

NiE : Niveau initial d'eau ; NfE : Niveau final d'eau ; Ti : Temps d'infiltration

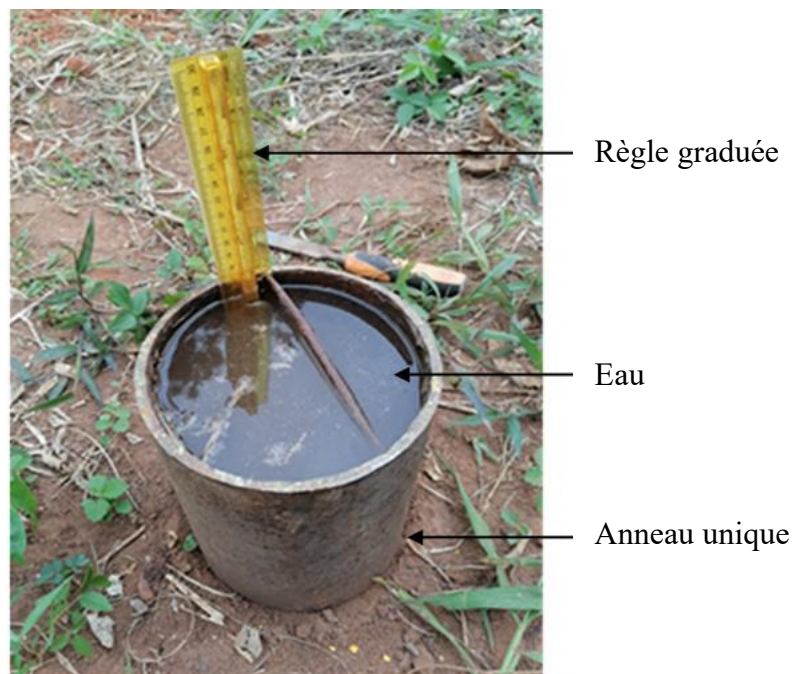


Figure 21 : Mesure de la vitesse de l'infiltration de l'eau dans le sol à l'aide du dispositif d'un anneau unique

Évaluation du stock d'eau dans les sols sous les hévéas

L'évaluation du stock d'eau dans les sols du système agroforestier hévéa-igname de sous-bois a été faite par la détermination des paramètres tels que la capacité de stockage en eau (CSE) et la réserve utile en eau (RU). La capacité de stockage en eau (CSE) d'un sol est le volume maximal d'eau qu'il retient contre les seules forces de gravité, c'est-à-dire après ressuyage spontané (Baize *et al.*, 1995). Elle correspond à la capacité de rétention, c'est-à-dire un réservoir et non une réserve. Elle est exprimée par une hauteur d'eau. Elle est calculée à partir de la formule établie par le groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (GEPPA, 1981) :

$$CSE = HP \times E \times Da$$

CSE : capacité de stockage en eau (mm), Hp : humidité pondérale (%), E : épaisseur de sol en (dm) et Da : densité apparente.

Reserve utile

La réserve utile en eau (RU) est la quantité maximale d'eau retenue à un instant donné, accessible par la plante. Elle dépend de la texture, de la structure du sol et de la profondeur d'enracinement du végétal et de la charge en éléments grossiers. Elle est différente de la CSE. La réserve utile n'est pas fixe, elle évolue au cours du temps en fonction des arrivées (précipitations), des besoins de la plante et de l'évaporation. Cette dernière varie en fonction de l'exposition, de l'inclinaison, de la position topographique et de la couverture végétale des sols. Ce volume d'eau est la quantité d'eau se situant entre la capacité au champ et le point de flétrissement ; elle représente la moitié de la CSE. La réserve utile est calculée à partir de la relation établie par le GEPPA (1981) :

$$RU = \frac{1}{2} \times CSE$$

RU : réserve utile exprimée en mm ; CSE : capacité de stockage en eau exprimée en mm

2.2.4.1.3. Mesures des paramètres physico-chimiques des sols et analyse foliaire

Pour la détermination des paramètres physico-chimiques des sols, des échantillons de sol ont été prélevés au début en Juillet 2022 et à la fin de l'expérimentation au mois de Juillet 2024. Les mesures de paramètres de sol ont porté sur la détermination du pH de l'eau, du carbone organique (C), de l'azote total (N) et de la matière organique (Mo).

Prélèvement de sols

Deux séries de prélèvements ont été réalisées sur chaque parcelle étudiée, en juillet 2022 avant l'expérimentation et en juillet 2024 à la fin de l'expérimentation. Le prélèvement a été réalisé à la tarière (Figure 22) dans chaque traitement et dans la couche 0-20 cm de profondeur. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre et à l'ombre, pendant 72 heures. Après séchage, les échantillons ont été émottés à la main et tamisés avec un tamis à mailles carrées de 2 mm, en vue d'obtenir de la terre fine pour l'analyse en laboratoire.

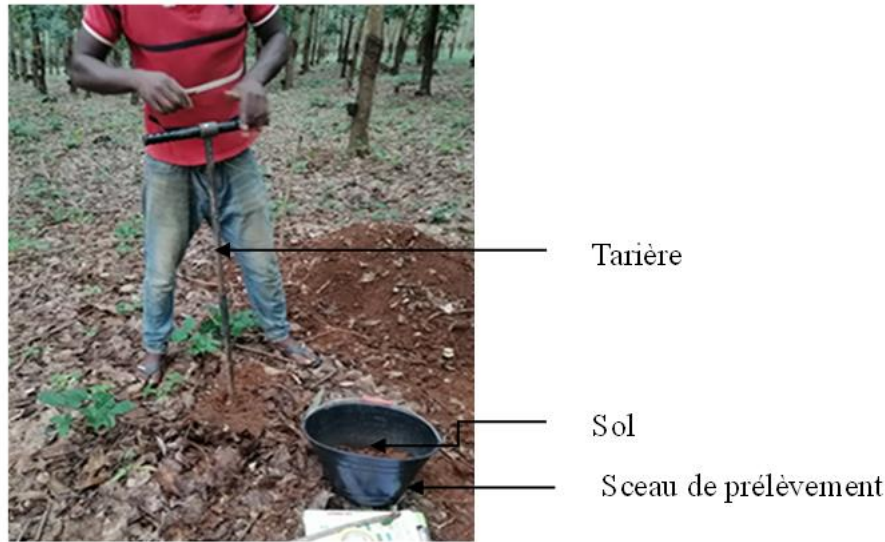


Figure 22 : Prélèvement d'échantillons de sol à la tarière

pH_{eau}

La mesure du pH a été réalisée au laboratoire. Après agitation de la suspension sol/eau distillée dans un rapport de 1/2,5 tel que décrit par AFNOR (1999), la lecture a été effectuée directement sur le pH-mètre.

Carbone organique

Le carbone organique a été mesuré au laboratoire par la voie humide à la température de réaction qui est de 120 °C (Voko *et al.*, 2013). La méthode utilisée est celle de Walkley et Black (Essehi, 2019).

L'azote

L'azote total a été déterminé selon la méthode universelle de Kjeldahl (Mohammad & Flowers, 2004). Cette méthode consiste à attaquer à chaud la matière vivante par l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré en présence de catalyseurs tels que le Sulfate de potassium (K_2SO_4) et le sélénium (Se). Pour terminer, la solution d'extraction a été distillée avec un excès de soude et tirée par l'acide sulfurique (Koffi, 2023).

Le rapport C/N est déduit des valeurs du carbone organique et de l'azote total. Il fournit d'utiles indications sur l'évolution de la matière organique et de l'activité biologique du sol (Koffi, 2023).

Matière organique (MO)

La matière organique contient en moyenne 58 % du carbone organique (Essehi, 2019). Elle est déterminée selon la formule suivante :

$$MO(g.kg^{-1}) = \text{Carbone} \times 1,724$$

La valeur de 1,724 est uniquement utilisée pour déterminer la matière organique des sols cultivés ou agricoles (Hassine *et al.*, 2008).

Bases échangeables

Les bases échangeables Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^{+} ont été extraites à l'acétate d'ammonium 1 M tamponnée à pH = 7. Les teneurs en calcium et magnésium ont été quantifiées par spectrophotométrie d'absorption atomique tandis que la teneur en potassium a été mesurée à travers une spectrophotométrie à flamme (Eponon *et al.*, 2019).

C'est selon les normes établies par Assa (2005) que les résultats de l'analyse physico-chimique des sols ont été interprétés (Tableau VIII).

Tableau VIII : Normes d'interprétation des valeurs des éléments chimiques

Propriétés chimiques	Valeurs des propriétés chimiques			
	Très faible	Faible	Optimale	Elevée
pHeau	< 5,0	5,0 à 5,5	5,5 à 6 o	> 7
N total (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 2,5
C org (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 2,5
MO	1 à 5 (sol dégradé)	5 à 7 (sol instable)	7 à 9 (sol moyen en m.o)	> 9 (sol riche en m.o)
P.ass (g.kg ⁻¹)	< 15	15 à 25	25 à 50	> 100
Ca (cmol.kg ⁻¹)	< 1	1 à 2,5	2,5 à 3,5	> 7
Mg (cmol.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 3
K (cmol.kg ⁻¹)	< 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,40	> 15

Prélèvement des feuilles

Dans le mois de Juillet 2023, les feuilles d'hévéas et d'ignames ont été prélevées sur chaque parcelle étudiée. Le prélèvement a été réalisé à l'aide d'une faucille. Trois feuilles ont été sectionnées dans chaque traitement. Les échantillons de feuilles ont été séchés à l'étuve à 70 °C pendant 72 heures. Après séchage, les feuilles ont été finement broyées et tamisées pour les analyses minérales. Cette analyse foliaire a été faite dans le but d'évaluer la nutrition

minérale des plants d'hévéas et d'ignames à travers les éléments minéraux (N, P, K, Ca et Mg) contenus dans les feuilles.

2.2.4.1.4. Caractérisation de la santé des sols du système hévéa-igname de sous-bois

La santé du sol est définie comme la capacité du sol à assurer de nombreuses fonctions nécessaires au maintien de la stabilité des écosystèmes (Pawlett *et al.*, 2021). Ces fonctions émergent d'interactions complexes entre les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol dont la fourniture peut être menacée par les pratiques anthropiques. Pour cette étude, la méthode du Biofuntool a été utilisée pour évaluer la santé des sols à travers deux propriétés fonctionnelles de ceux-ci qui sont la dynamique du carbone et le maintien de la structure du sol (Thoumazeau *et al.*, 2019). Ces propriétés fonctionnelles du sol ont été évaluées à la fin de l'expérimentation au mois de Juillet. Durant cette période, une faible quantité de litière était présente sous les hévéas.

Dynamique du carbone du sol

Pour la dynamique du carbone, les indicateurs comme le POXC (permanganate de carbone oxydable), la SituResp (respiration basale du sol) et les baits lamina (activité mésofaune et la petite macrofaune) ont été utilisés.

❖ POXC

La méthode POXC a consisté à mesurer le pool de carbone labile du sol qui est la matière organique accessible aux micro-organismes hétérotrophes. Ainsi, une solution oxydante de permanganate de potassium (KMnO_4) diluée a été préparée au laboratoire. La teneur en carbone labile du sol a été quantifiée à travers une oxydation partielle de la matière organique par le permanganate de potassium. Pour terminer, la lecture du résultat a été faite par colorimétrie à l'aide d'un spectromètre de terrain (Weil *et al.*, 2003).

❖ SituResp

La technique SituResp a permis d'évaluer la respiration basale du sol qui est liée à la minéralisation de la matière organique du sol par l'activité des micro-organismes. Pour ce faire, dans des cuves, un gel coloré contenant un indicateur pH (rouge de crésol) a été préparé au laboratoire. Ces cuves ont ensuite été placées dans un bocal hermétiquement fermé contenant la solution de sol prélevée sur le terrain pendant quatre jours d'incubation. Le gel coloré a changé de couleur suite à l'acidification par le CO_2 émis par le sol. Enfin, la lecture a été faite par spectrophotométrie telle que présentée à la figure 23 (Thoumazeau *et al.*, 2017).



Figure 23 : Mesure de la densité optique du gel à l'aide d'un spectrophotomètre

❖ Baits lamina

La méthode des baits lamina a permis de mesurer le degré d'activité de consommation d'un substrat organique par la mésofaune du sol (organismes de 200 μm à 2 mm) dont le rôle est majeur sur le cycle du carbone (Wall *et al.*, 2008). Les baits lamina sont des languettes en PVC composées de seize trous. Ces trous ont été remplis avec un substrat organique et insérés dans le sol pendant environ 15 jours. Sur chaque site d'échantillonnage, huit baits lamina ont été enfouis dans le sol (Figure 24) durant la période d'incubation. L'activité des organismes du sol a été évaluée à travers la consommation de ce substrat, en comptant le nombre de trous dans lesquels une dégradation visible du substrat s'est produite suite à la période d'incubation dans le sol.



Bait lamina

Figure 24: Baits lamina enfouis dans le sol de l'expérimentation

Maintien de la structure du sol

Pour le maintien de la structure du sol, quatre indicateurs ont été évalués ; il s'agit de la stabilité des agrégats de surface (0-2 cm, AggSurf) et des agrégats du sol de profondeur (2-10 cm, AggSoil), de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol (Beerkan) et de la structure du sol (VESS) par évaluation visuelle.

❖ Stabilité des agrégats (AggSurf et AggSoil)

La stabilité des agrégats de surface (0-2 cm, AggSurf) et des agrégats de profondeur (2-10 cm, AggSoil) a été évaluée après cinq minutes dans l'eau (Herrick *et al.*, 2001). Un score de 0 à 6 a été attribué en fonction du pourcentage de désagrégation ou de dispersion de l'agrégat dans l'eau, au cours du temps, à travers deux étapes successives. Dans un premier temps, les agrégats (de 6 à 8 mm de diamètre), auparavant séchés à l'air, sont immergés dans l'eau durant 5 min. Ensuite, ils sont immergés un à un à travers un mouvement de va-et-vient puis retirés.

❖ Capacité d'infiltration de l'eau dans le sol (Beerkan)

La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol a été mesurée avec le test de Beerkan (Lassabatère *et al.*, 2006). Dans cette méthode, 360 ml d'eau sont utilisés pour un anneau de 20 cm de diamètre. Ces 360 ml d'eau ont été répartis dans 36 pots contenant 10 ml d'eau. Le volume d'eau de 10 ml a été versé à une hauteur de 1 cm sur la surface du sol. Le temps nécessaire à chaque volume d'eau pour s'infiltrer dans le sol a été mesuré. Enfin, le taux d'infiltration de l'eau en ml par minute a été calculé grâce à la courbe d'infiltration de l'eau à son état d'équilibre (Brauman & Thoumazeau, 2020).

❖ Structure du sol (VESS)

La méthode VESS se base sur une description visuelle de la structure des différentes couches de sol entre 0 et 25 cm (Guimaraes *et al.*, 2011). Après le prélèvement et la fragmentation de chaque couche, un score entre 1 (sol très friable sans structure) et 5 (sol très compact) a été attribué à chaque couche en fonction de la forme, de la taille, de la facilité à briser les agrégats des différentes couches (Brauman & Thoumazeau, 2020).

Indice de santé de sol (ISS)

La dernière étape de la caractérisation de la santé du sol a consisté à déterminer l'indice de santé du sol (ISS) dont la méthodologie a été définie par Obriot *et al.* (2016) et Thoumazeau *et al.* (2019). En effet, l'ISS permet d'apprécier la santé du sol selon la pratique culturale agricole mise en place. Le principe est d'agréger différents indicateurs de qualité du sol en un score soit 0 soit 1 en s'aidant de leur contribution respective dans une analyse multivariée de type ACP. La première étape consiste à calculer les scores (S_i), pour ce faire tout part du tableau des résultats des indicateurs mesurés notamment POXC, VESS, Lamina, AggSoil, AggSurf, Beerkan et SituResp. Pour les indicateurs POXC, AggSoil, AggSurf, Beerkan et SituResp, la plus haute valeur expérimentale est considérée comme la meilleure. Ainsi, chaque valeur est divisée par la plus haute valeur ($S_i = a/a_{\max}$). Pour les indicateurs VESS et Lamina, quand la valeur est plus grande que l'optimum $S_i = a_{\text{opt}}/a$, lorsqu'elle est plus petite que l'optimum ($S_i = a/a_{\text{opt}}$). La seconde étape consiste à calculer les contributions de chaque indicateur aux différentes dimensions de l'ACP (W_i) ; $W_i = \sum \lambda_j * f_j$. λ_j est la contribution d'un indicateur à la dimension j et f_j la variance expliquée par la dimension j . Enfin, SQI est calculé ; pour cela, chaque score S_i est multiplié par le W_i de l'indicateur correspondant. La somme est ensuite faite et un SQI par indicateur est obtenu. La somme des SQI de tous les indicateurs pour chaque individu constitue l'indice de santé de sol.

2.2.4.2. Analyses statistiques

L'ensemble des données relatives aux analyses physico-chimiques et aux propriétés fonctionnelles des sols a été analysé avec le logiciel R et R-studio. Après avoir vérifié la normalité du modèle résiduel et l'homoscédasticité des résidus de variance, des ANOVA ont été exécutées. Cela a été suivi par les comparaisons de moyenne post-hoc, en utilisant le test de Tuckey. Après avoir étudié chaque indicateur de qualité du sol séparément, une analyse en composante principale (ACP) a été faite dans le but de mettre en relation l'ensemble des variables selon la parcelle d'étude. L'ensemble des indicateurs Biofunctool liés aux fonctions dynamiques du carbone et au maintien de la structure du sol, a été calculé avec la règle suivante (Tableau IX) : la plus haute valeur expérimentale est considérée comme la meilleure à l'exception de VESS et Lamina. Par ailleurs, une valeur élevée de POXC était signe d'une forte teneur en carbone labile dans le sol. Concernant l'indicateur VESS, le score 2,6 a été considéré comme l'optimum.

Tableau IX: Décision pour la normalisation des indicateurs Biofunctool

Loi appliquée au score normalisé	Indicateurs Biofunctool
Le plus est le mieux	AggSurf, AggSoil, Beerkan, SituResp, POXC
Comparaison avec un optimum	VESS (optimum = 2,6) et Lamina (optimum = 0,05)
AggSurf : agrégats de surface ; AggSoil : agrégats de profondeur ; Beerkan : infiltration de l'eau dans le sol ; SituResp : respiration basale du sol ; POXC : pool labile de carbone organique du sol ; VESS : structure d'un bloc de sol et Lamina : activité mésofaune et la petite macrofaune	

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Description des systèmes de culture des ignames de sous-bois dans les zones agroécologiques de production de la Côte d'Ivoire

3.1.1.1. Proportions des systèmes de cultures associant l'igname de sous-bois sur l'ensemble des régions enquêtées

Les proportions des systèmes de cultures pratiqués sur l'ensemble des régions enquêtées sont présentées sur la figure 25. Le système cacaoyer-igname occupe la plus grande proportion (54 %), suivi de l'association anacardier-igname (28 %). Quant aux systèmes caféier-igname, arbres fruitiers-igname, palmier à huile-igname et hévéa-igname, leurs proportions sont très faibles (<10 %).

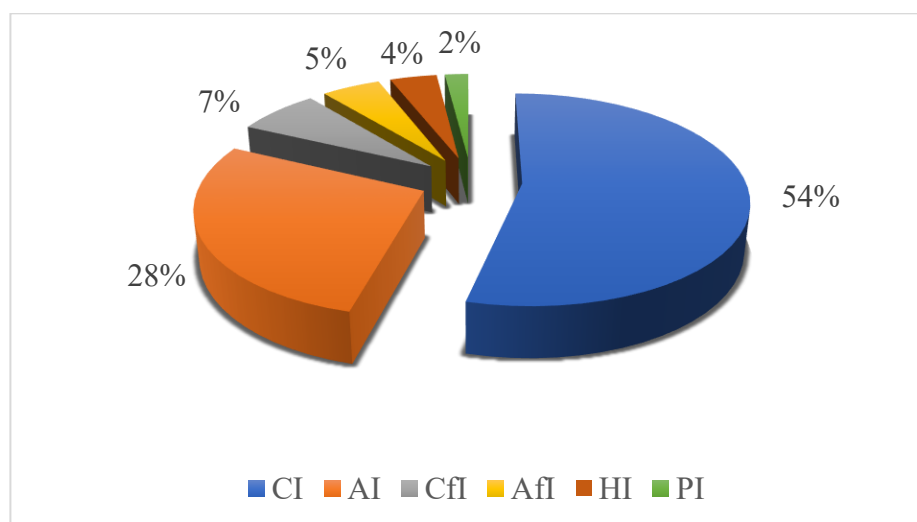


Figure 25 : Proportions des systèmes de culture associant les ignames de sous-bois pratiqués dans les régions d'études

CI : Cacaoyer-igname ; AI : Anacardier-igname ; Cfl : Caféier-igname ; Afl : Arbres fruitiers-igname ; HI : Hévéa-igname ; PI : palmier à huile-igname

3.1.1.2. Répartition des systèmes pratiqués par région enquêtée

La proportion des systèmes de cultures de l'igname de sous-bois dans chaque région d'étude est présentée à la figure 26. Dans les régions enquêtées, un producteur peut mettre en pratique plus d'un système de culture. Le système cacaoyer-igname est dominant dans les régions du Centre/Centre-Est, de l'Ouest et du Sud-Ouest avec des proportions respectives de 70 %, 94,44 % et 93,75 %, tandis que dans la région Est, c'est l'association anacarde-igname qui présente la proportion (96,55 %) la plus élevée. Quant au système hévéa-igname, sa proportion (16,67 %) est plus élevée que celle des systèmes caféier-igname, palmier-igname et

arbres fruitiers-igname avec des proportions de 13,89 %, 0 % et 2,78 % à l'Ouest de la Côte d'Ivoire.

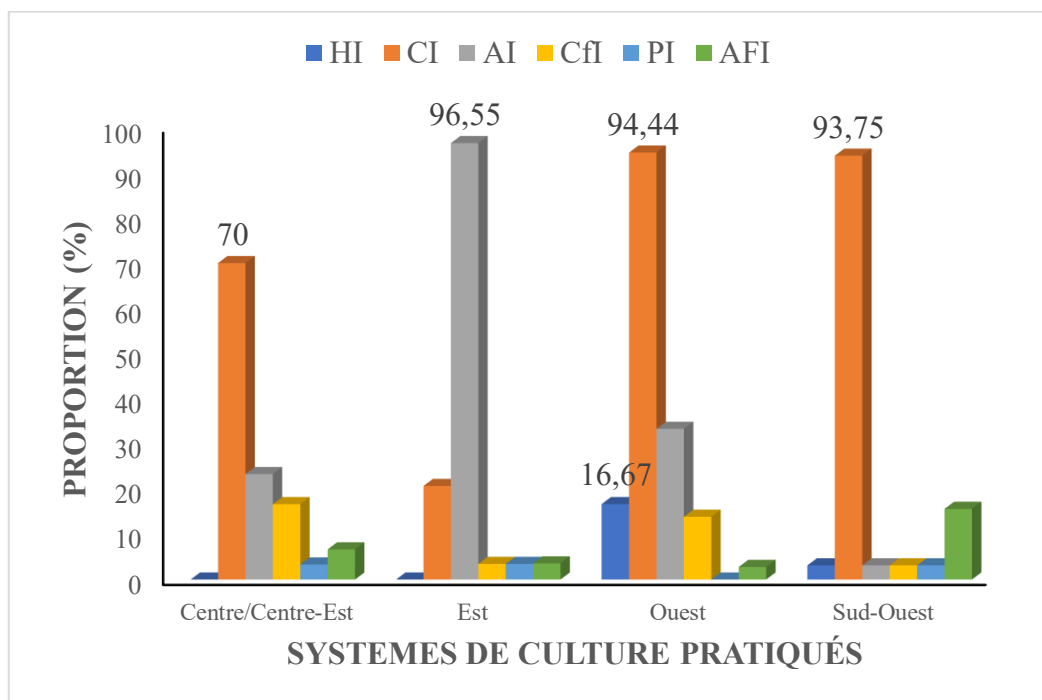


Figure 26 : Proportions des systèmes de culture pratiqués par zone d'étude

HI: Hévéa-igname; CI: Cacaoyer-igname; AI: Anacardier-igname; Cfi: Caféier-igname; PI: Palmier-igname; AFI: Arbre fruitier-igname

3.1.1.3. Ages des cultures pérennes associées à l'igname de sous-bois

L'âge des cultures pérennes en association avec les ignames de sous-bois est présenté dans le tableau X. Ces âges varient selon les systèmes. En moyenne, l'âge des arbres est de 20,13 ans pour les cacaoyers, 12,85 ans pour les anacardiens, 7,63 ans pour les hévéas, 30,97 pour les caféiers et 29 ans pour les palmiers à huiles. L'analyse par région indique qu'au niveau du système cacaoyer-igname, l'association des ignames de sous-bois est pratiquée dans de vieilles cacaoyères (25,30 ans au Sud-Ouest et 21,75 à l'Est) ou des plantations adultes (15,71 ans au Centre/Centre-Est et 17,76 à l'Ouest). Quant au système anacardier-igname, l'association des ignames est observée dans des vieux vergers anacardiens (21 ans à l'Est), des plantations adultes (12,60 ans au Centre/Centre-Est) ou plus jeunes (8 et 9,81 ans à l'Ouest). En ce qui concerne le système hévéa-igname, les ignames de sous-bois sont cultivées en association avec les jeunes hévéas (5,25 ans au Sud-Ouest) ou à maturité (10 ans à l'Ouest) dans les plantations éclairées. L'association des ignames de sous-bois est pratiquée dans les vieilles plantations de caféiers (28,40 ans au Centre et 47 ans au Sud-Ouest) ou des plantations adultes (17,50 ans à l'Ouest). Pour ce qui est du système palmier à huile-igname, les ignames

de sous-bois sont cultivées en association avec les palmiers âgés (50 ans au Centre) ou plus jeunes (8 ans au Sud-Ouest).

Tableau X : Ages des cultures pérennes associées à l'igname de sous-bois par région

Régions	Âges des cultures pérennes associées à l'igname (ans)					
	Cacaoyers	Anacardiens	Hévéas	Caféiers	Palmier	Arbre fruitiers
Centre/Centre-Est	15,71	12,60	-	28,40	50,00	-
Est	21,75	21,00	-	-	-	-
Ouest	17,76	9,81	10,00	17,50	-	-
Sud-Ouest	25,30	8,00	5,25	47,00	8,00	-
Moyenne	20,13	12,85	7,63	30,97	29,00	-

3.1.1.4. Superficie des cultures pérennes

Les superficies des cultures pérennes en association avec les ignames de sous-bois sont indiquées dans le tableau XI. Les superficies sont variables selon les systèmes et les régions enquêtées. Les superficies moyennes occupées par le système cacaoyer-ignames sont de 2,85 ha contre 4,18 ha et 4,10 ha respectivement pour les systèmes anacardier-igname et hévéa-igname. Quant aux systèmes caféier-igname, palmier-igname et arbre fruitier-igname, ils enregistrent respectivement des superficies de 1,38 ha, 0,5 ha et 2,25 ha. Les plus grandes superficies des systèmes sont observées au Sud-Ouest pour le cacaoyer-igname (3,75 ha), à l'Est pour l'anacardier-igname (6,61 ha), à l'Ouest pour l'hévéa-igname (6,10 ha) et au Centre pour le caféier-igname (2,40 ha).

Tableau XI : Superficies des cultures pérennes associées aux ignames de sous-bois dans les régions enquêtées

Régions	Superficie des cultures pérennes associées à l'igname (ha)					
	Cacaoyers	Anacardiens	Hévéas	Caféiers	Palmier	Arbre fruitiers
Centre/Centre-Est	2,52	3,80	-	2,40	0,50	-
Est	2,25	6,61	-	-	-	-
Ouest	2,88	2,31	6,33	0,75	-	-
Sud-Ouest	3,74	4,00	1,87	1,00	0,50	2,25
Moyenne	2,85	4,18	4,10	1,38	0,50	2,25

3.1.1.5. Types de sols

Sur la base des réponses des producteurs, les systèmes de cultures d'ignames de sous-bois ont été répartis selon les types de sols (Figure 27). En dehors du système palmier-ignames pratiqué exclusivement sur un sol sableux, les autres systèmes sont en majorité pratiqués sur des sols gravillonnaires. En effet, les systèmes cacaoyers-ignames, anacardiens-ignames, hévéas-ignames, caféiers-ignames et arbres fruitiers-ignames sont pratiqués sur des sols gravillonnaires. Toutefois ils se retrouvent également sur des sols sableux mais à faible proportion.

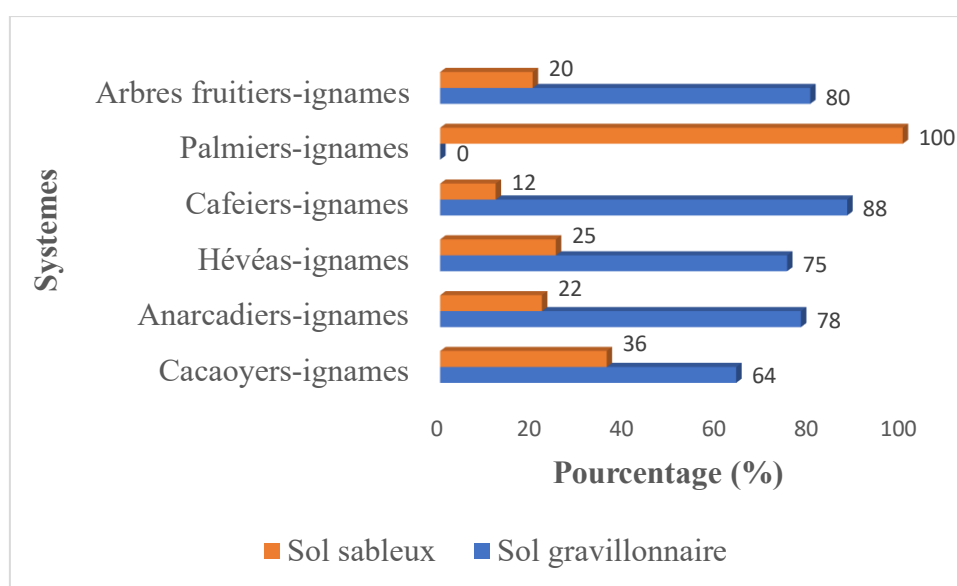


Figure 27 : Types de sols utilisés pour les associations avec les ignames de sous-bois

3.1.1.6. Position topographique des exploitations

Les positions topographiques des systèmes de cultures à base d'igname de sous-bois sont présentées à la figure 28. Ces systèmes sont majoritairement situés sur les plateaux en comparaison aux positions mi-versant et bas-versant.

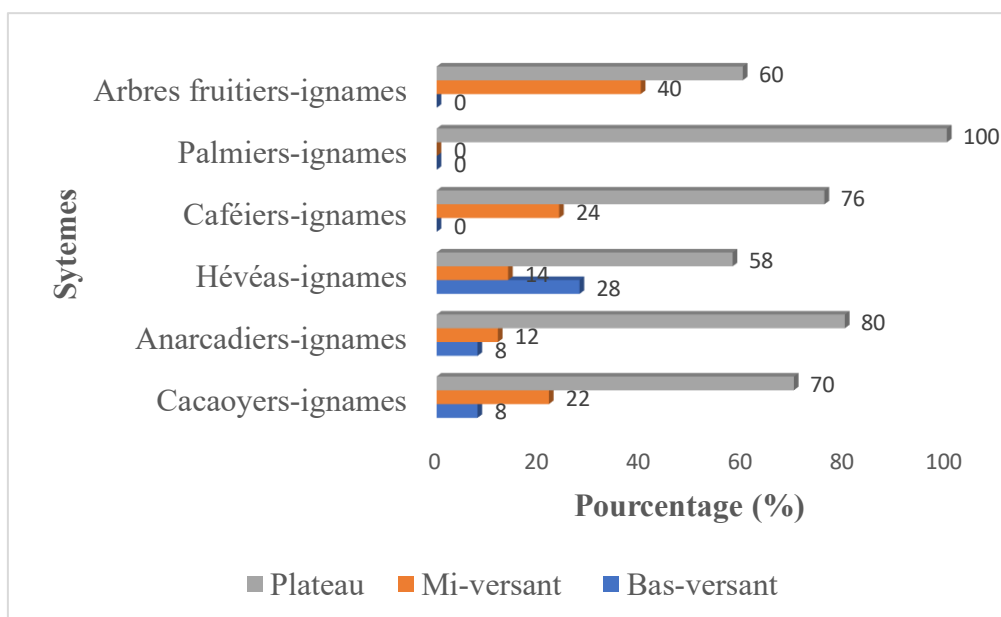


Figure 28 : Position topographique des sols des cultures associées à l'igname de sous-bois

3.1.1.7. Cultivars d'ignames de sous-bois cultivées

Les cultivars d'ignames de sous-bois cultivées par les producteurs sont présentés dans le tableau XII. Il existe une très grande diversité (22 accessions) et plusieurs noms vernaculaires sont attribués à ces ignames. En moyenne, les plus cultivées sont le Cocoassié blanc (29 %), le Cocoassié rouge (15 %), le Cocoassié jaune (8,50 %), le Bacoué (7,75 %), le Soukpataloa (7 %) et le Bolodja (5,25 %). Au Centre-Est, 19 accessions ont été identifiées à l'exception de Cocomisé, Gnaron bolor et Kpossoko. Dans cette région, les ignames de sous-bois les plus cultivées sont le Cocoassié blanc (20 %), le Cocoassié jaune-violet (11 %), le Cocoassié rouge (8 %), le Cocoassié assobailai, le Soukpataloa et le Bolodja avec des proportions respectives de 7 %. Au Sud-Ouest, les ignames de sous-bois les plus cultivées sont le Cocoassié blanc (25 %), le Soukpataloa (21 %), le Cocoassié rouge (18 %) et le Cocoassié ble (12 %). À l'Est le Cocoassié blanc et le Bacoué sont présents en forte proportion respectivement 31 % et 19 %. Enfin à l'Ouest le Cocoassié blanc (40 %) et le Cocoassié rouge (21 %) sont les plus dominants.

Tableau XII : Proportions de quelques ignames de sous-bois dans les localités enquêtées

N° de l'accession	Noms vernaculaires des ignames de sous-bois	Proportion (%)				
		Centre-Est	Sud-Ouest	Est	Ouest	Moyenne
1	Akakli	1	0	0	0	0,25
2	Bacoué	3	0	19	9	7,75
3	Bolodja	7	0	14	0	5,25
4	Cocoassié assobailai	7	0	0	0	1,75
5	Cocoassié blanc	20	25	31	40	29,00
6	Cocoassié ble	2	12	0	0	3,50
7	Cocoassié jaune	6	5	14	9	8,50
8	Cocoassié jaune-violet	11	0	0	0	2,75
9	Cocoassié noir	3	0	0	6	2,25
10	Cocoassié okloue	5	0	9	0	3,50
11	Cocoassié oufoue	3	4	0	0	1,75
12	Cocoassié rouge	8	18	13	21	15,00
13	Cocoassié violet	3	2	0	0	1,25
14	Cocomisé	0	0	0	14	3,50
15	Dapa	4	0	0	0	1,00
16	Foufoue akassi	3	0	0	0	0,75
17	Gnaron bolor	0	2	0	0	0,50
18	Kouadio kouadio	4	0	0	0	1,00
19	Kounougbe	1	4	0	0	1,25
20	Kpossoko	0	7	0	0	1,75
21	Soukpataloa	7	21	0	0	7,00
22	Wawa	2	0	0	1	0,75
Total		100	100	100	100	100

3.1.1.8. Cycle de culture et période de récolte des principales ignames de sous-bois cultivées sous les cultures pérennes

Le tableau XIII présente les principales ignames de sous-bois cultivées sous les cultures pérennes ainsi que leurs cycles de production. Les ignames Cocoassié blanc sont associées aux cacaoyers, aux anacardiens, aux hévéas, aux caféiers, aux palmiers à huiles et aux arbres fruitiers. Les ignames Cocoassié rouge sont associées à quatre cultures pérennes dont le cacao, l'anacarde, l'hévéa et le café. Cocoassié jaune est quant à elle associée aux cacaoyers et aux caféiers. L'igname Bacoué est généralement associée aux cacaoyers et aux hévéas tandis que Soukpataloa et Bolodja sont respectivement associées aux cacaoyers et aux anacardiens.

L'association des ignames de sous-bois aux cultures pérennes a une plus longue durée de cycle avec le cacaoyer, l'hévéa et le caféier (12 mois) tandis que la durée varie de 8 à 12 mois avec le palmier à huile, l'anacarde et les arbres fruitiers. Les récoltes démarrent pour toutes

les ignames au mois Août et particulièrement pour Bacoué en Septembre et prennent fin entre Octobre et Janvier.

Tableau XIII: Cycles et périodes de récolte des principales variétés d'ignames de sous-bois cultivées en association

Ignames cultivées	Cultures associées	Durée du cycle (mois)	Période de récolte
Cocoassié Blanc	Cacao	12	Août à Janvier
	Anacarde	8 à 12	Août à Octobre
	Hévéa	12	Août à Octobre
	Café	12	Août à Janvier
	Palmier à huile	6 à 8	Juin à Aout
	Arbres fruitiers	8 à 12	Août à Octobre
Cocoassié Rouge	Cacao	12	Août à Janvier
	Anacarde	8 à 12	Août à Octobre
	Hévéa	12	Août à Octobre
	Café	12	Août à Janvier
Cocoassié Jaune	Cacao	12	Août à Janvier
	Café	12	Août à Janvier
Bacoué	Cacao	12	Septembre à Janvier
	Hévéa	12	Septembre à Janvier
Soukpataloa	Cacao	8	Août à Janvier
Bolodja	Anacarde	8 à 11	Août à Janvier

3.1.1.9. Itinéraire technique cultural des ignames de sous-bois

Les opérations intervenant dans la culture des ignames de sous-bois sont présentées pour les trois systèmes pratiqués en Côte d'Ivoire (Tableau XIV). Il s'agit du système cacaoyer-igname et anacardier-igname les plus répandus et du système hévéa-igname objet de notre étude et figurant parmi les systèmes les moins répandus.

En culture d'ignames sous les hévéas, le défrichement est manuel (100 % des producteurs). Le semis des ignames se fait par buttage (70 % des producteurs) ou en semis direct (30 % des producteurs). Le désherbage se fait manuellement (100 % des producteurs). Les traitements chimiques sont utilisés par 42,86 % des producteurs pour la protection de leurs cultures tandis que, la majorité (57,14 %) ne fait aucun traitement. Alors que certains producteurs apportent l'engrais chimique (42,86 %), d'autres ne font aucun apport d'engrais (57,14 %) dans leurs exploitations.

Au niveau des systèmes d'association des ignames aux cacaoyers et anacardiers, le défrichement est manuel (100 % des producteurs de cacao et 97,44 % des producteurs d'anacarde). Le semis des ignames se fait par buttage (82,24 % des producteurs de cacao et 100

% des producteurs d'anacarde). L'entretien des cultures est réalisé par désherbage manuel (91,21 % des producteurs de cacao et 92,50 % des producteurs d'anacarde). Pour la protection des cultures, le producteur ne fait aucun traitement chimique (80,11 % en cacaoculture et 80 % en culture d'anacarde). Il en est de même pour la fertilisation, 87 % des cacaoculteurs ainsi que 85 % des producteurs d'anacarde ne font aucun apport d'engrais.

Tableau XIV: Itinéraires de culture des ignames de sous-bois selon les systèmes pratiqués

Opérations culturales	Modalités	Systèmes (%)		
		Hévéa- ignames	Cacao- igname	Anacarde- igname
Préparation sol	Défrichage manuel	100,00	100,00	97,44
	Désherbage chimique	0,00	0,00	0,00
	Aucun	0,00	0,00	2,56
Semis ignames	Buttage	70,00	82,24	100,00
	Semis direct	30,00	15,89	0,00
	Creusage fosse	0,00	1,87	0,00
Entretien cultures	Désherbage manuel	100,00	91,21	92,50
	Désherbage chimique	0,00	8,79	2,50
	Aucun	0,00	0,00	5,00
Protection cultures	Traitement chimique	42,86	15,29	17,50
	Traitement biologique	0,00	3,50	2,50
	Traitement mixte	0,00	1,10	0,00
	Aucun	57,14	80,11	80,00
Fertilisation	Apport engrais (NPK/Urée)	42,86	13,00	15,00
	Apport compost	0,00	0,00	0,00
	Aucun	57,14	87,00	85,00

3.1.1.10. Provenance des semences d'igname de sous-bois

La provenance des semences d'ignames de sous-bois utilisées par les producteurs est présentée à la figure 29. Ainsi, 40 % des producteurs utilisent les semences qui proviennent des têtes d'ignames conservées au champ. Les semences conservées en fosse au champ ou au village sont utilisées par 20 % des producteurs et celles des autres sources, par 17 % des producteurs.

Très peu de producteurs (7 % à 9 %) se servent du bouturage de tige aérienne, des semences issues des ignames achetées sur le marché et celles provenant des tubercules d'igname conservés au village.

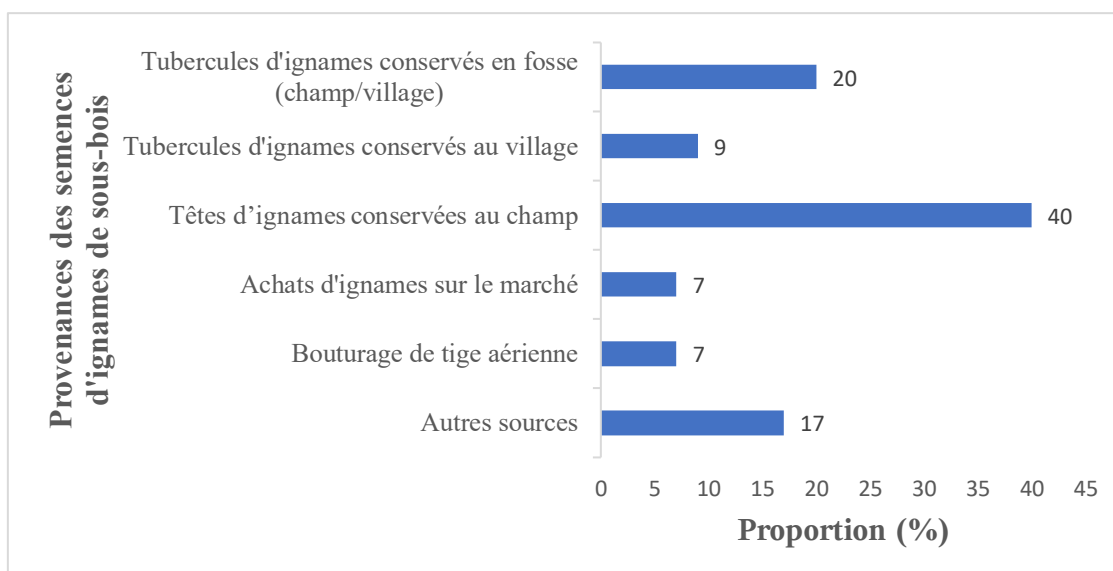


Figure 29 : Provenance des semences d'ignames de sous-bois

3.1.1.11. Densités et rendements des ignames de sous-bois associées aux cultures pérennes

3.1.1.11.1. Densités des ignames de sous-bois

Les densités d'ignames de sous-bois associées aux cultures pérennes sont présentées dans le tableau XV. En moyenne, les producteurs réalisent 42,71 buttes/ha dans le système cacaoyer-igname, 30,20 buttes/ha au niveau du système anacardier-igname et 74,15 buttes/ha pour le système hévéa-igname. À l'Ouest, la densité d'association des ignames est plus faible sous les hévéas que sous les cacaoyers et les anacardiers alors qu'au Sud-Ouest la densité d'association des ignames est plus élevée sous les hévéas. Il faut cependant noter une forte variabilité de densité entre les régions au niveau du système hévéa-igname (4,71 buttes/ha à l'Ouest et 143,59 buttes/ha au Sud-Ouest).

Tableau XV: Densités d'ignames de sous-bois des systèmes cacao-igname, anacarde-igname et hévéa-igname

Zones	Densités d'ignames de sous-bois associées aux cultures pérennes (buttes/ha)		
	Cacaoyers	Anacardiers	Hévéas
Centre/Centre-Est	58,17	24,32	-
Est	23,89	31,13	-
Ouest	48,13	52,85	4,71
Sud-Ouest	40,64	12,50	143,59
Moyenne	42,71	30,20	74,15

3.1.1.11.2. Rendements des ignames de sous-bois

Le Tableau XVI présente les informations sur la production des ignames de sous-bois selon les systèmes de culture pratiqués.

Les résultats montrent que pour les trois systèmes que sont hévéa-igname, cacaoyer-igname et anacardier-igname, le nombre moyen de tubercules par butte est de trois et le poids moyen d'un tubercule est de 12 kg. Aucune différence statistique n'a été observée entre les systèmes de culture ($P > 0,05$). Pour ce qui est du rendement, les résultats révèlent que le rendement moyen en igname de sous-bois est plus élevé avec le système de culture hévéa-igname (2 669,40 kg/ha) vu la densité moyenne de semis qui est de 74,15 buttes/ha, en comparaison avec les systèmes cacaoyer-igname (1 537,56 kg/ha) et anacardier-igname (1 087,20 kg/ha) qui enregistrent respectivement des densités de 42,71 buttes/ha et 30,20 butte/ha.

Tableau XVI : Production des ignames de sous-bois selon les systèmes de culture

Paramètres	Systèmes de culture d'igname de sous-bois			<i>P</i>
	Hévéa-igname	Cacaoyer-igname	Anacardier-igname	
Densité de semis des ignames/ha	74,15 ± 5,04 ^a	42,71 ± 3,14 ^b	30,20 ± 4,00 ^c	0,0001
Nombre de tubercules/butte	3,00 ± 1,58 ^a	3,00 ± 1,35 ^a	3,00 ± 1,08 ^a	0,6940
Poids du tubercule (kg/tubercule)	12,00 ± 3,79 ^a	12,00 ± 2,60 ^a	12,00 ± 1,87 ^a	0,8104
Rendement (kg/ha)	2 669,40 ± 1154,73 ^a	1 537,56 ± 1218,28 ^b	1 087,20 ± 926,15 ^b	0,0001

Dans chaque ligne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

3.1.1.12. Conservation des ignames de sous-bois

Les différents modes de conservation des ignames de sous-bois sont présentés à la figure 30. De manière générale la conservation des ignames de sous-bois se fait en fosses au champ ou au village. En effet, 83 % des producteurs enquêtés conservent leurs ignames en fosse. 7 % des producteurs pratiquent le stockage sur claies au champ et 6 % le stockage à l'air libre. Très peu de producteurs (2 %), conservent leurs ignames dans des magasins ou dans des greniers.

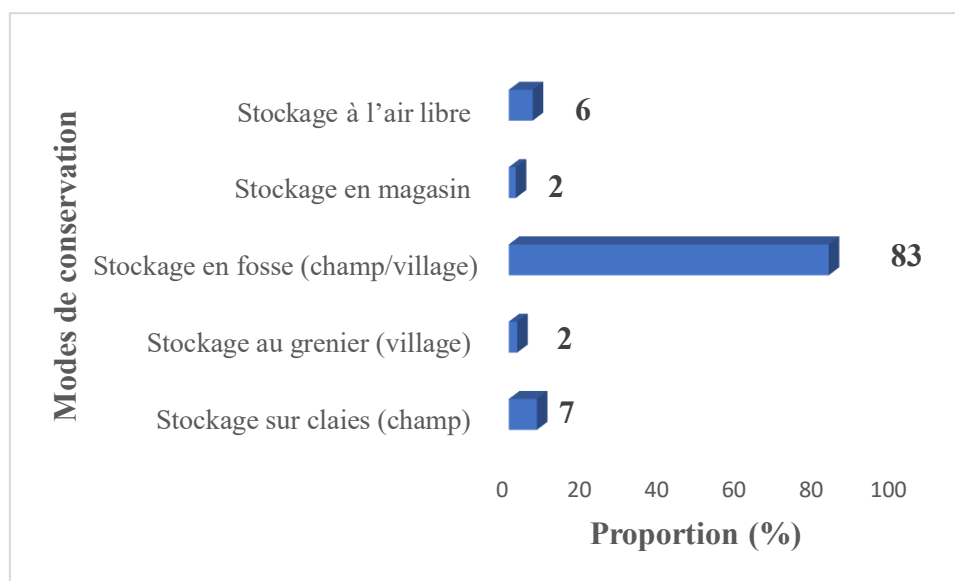


Figure 30 : Modes de conservation des ignames de sous-bois

3.1.1.13. Commercialisation des ignames de sous-bois

Les lieux de commercialisation et les prix de vente des ignames de sous-bois sont consignés dans le tableau XVII. Sur les marchés, l'enquête a révélé que ce sont les femmes des producteurs qui assurent la commercialisation des ignames de sous-bois produits par leurs époux (100 %). Les lieux de vente des producteurs sont situés aux abords des champs (30,71 % des producteurs), sur le marché hebdomadaire du village (42,52 %), sur les marchés hebdomadaires (23,62 %) ou permanents (3,15 %) en milieu urbain. Sur les marchés, les ignames de sous-bois sont vendues par tas (3 à 5 tubercules/tas). Les prix pratiqués sont généralement de 3000 F CFA pour le tas de 3 tubercules et 5 000 F CFA pour le tas de 5 tubercules. Le poids du tubercule varie de 9 à 15 kg, soit 12 kg en moyenne par tubercule. Le prix d'un kilogramme d'igname de sous-bois est donc de 83,33 F CFA.

Tableau XVII : Lieux de commercialisation et prix de vente des ignames de sous-bois

Genre	Proportion (%)
Homme	0
Femme	100
Lieux de vente	Proportion (%)
Abords des champs	30,71
Marchés hebdomadaires du village	42,52
Marchés hebdomadaires urbain	23,62
Marchés permanant urbain	3,15
Nombre de tubercule et poids moyen	Prix de vente (F CFA)
3 tubercules de 12 kg en moyenne	3 000
5 tubercules de 12 kg en moyenne	5 000

3.1.1.14. Contraintes en culture d'ignames de sous-bois

Dans le tableau XVIII sont présentées les contraintes rencontrées par les producteurs d'ignames de sous-bois. Selon les producteurs enquêtés, diverses contraintes existent en culture d'ignames de sous-bois.

Au niveau de la culture des ignames, il y a l'indisponibilité des semences, l'assèchement des tiges, les attaques des insectes et des animaux. Certains producteurs ont indiqué que les feuilles grimpantes des ignames auraient une action néfaste sur le développement des cacaoyers. Il existe également le vol des ignames au champ et les effets néfastes des changements climatiques, surtout le manque de pluies.

Au niveau de la gestion des semences, la conservation des semences est difficile à l'air libre. Selon les producteurs, les têtes des ignames conservées au champ comme semences se décomposent très vite.

Au niveau de la consommation, les producteurs ont indiqué une dégradation de la qualité des ignames après trois jours de conservation. En effet, après la récolte, le goût de l'igname change avec le temps de conservation. L'igname devient également fibreuse et impropre à la consommation, alors les ignames de sous-bois perdent leur valeur marchande et ne sont plus commercialisables.

Tableau XVIII : Contraintes rencontrées en culture d'ignames de sous-bois

Contraintes rencontrées	
Culture des ignames	Indisponibilité des semences
	Assèchement des tiges
	Attaques des insectes et des animaux
	Action néfaste des feuilles grimpantes des ignames de sous-bois sur le développement des cacaoyers
	Vol des ignames au champ
	Effets néfastes des changements climatiques
	Manque de pluies
Gestion des semences	Conservation difficile des semences
	Décomposent rapide des semences
Consommation	Dégradation de la qualité des ignames après trois jours de conservation
	Igname fibreuse
	Perte de valeur marchande

3.1.2. Effet du système agroforestier hévées matures-ignames de sous-bois sur la croissance et la production des ignames

3.1.2.1. Effet de l'hévéa du clone GT 1 sur la croissance et la production des ignames de sous-bois

3.1.2.1.1. Effet de l'accession d'igname sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance des différentes accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1 sont présentées dans le tableau XIX. Il est ressorti de ce tableau que l'ensemble des paramètres étudiés a été influencé par les accessions d'igname ($P < 0,05$).

Les témoins ont présenté les meilleurs résultats, avec un taux de levée de 94,44 % pour Bacoué et 88,89 % pour Soukpataloa, ainsi qu'un délai de levée plus court et une apparition plus rapide de la première feuille après la levée. Par contre, les ignames associées aux hévées ont enregistré des taux de levée plus faibles (66,67 % pour Bacoué et 70,83 % pour Soukpataloa) tout en présentant les plus petites valeurs de surface spécifique foliaire en saison sèche et de vitesse de croissance de la tige. Toutefois, le taux de levée de Bacoué est statistiquement identique à celui de Soukpataloa.

Sous les hévées, l'accession Bacoué a présenté un délai de levée et un délai d'apparition de la première feuille après levée plus importants que ceux de Soukpataloa. Les valeurs enregistrées ont été respectivement 58,18 jours et 11,71 jours pour Soukpataloa tandis que Bacoué a enregistré 179,19 jours et 42,88 jours. Aussi, Bacoué a enregistré les diamètres au collet et les vitesses de croissance de tige les plus élevés (respectivement 11,18 mm et 12,68 cm/sem). En ce qui concerne le taux de levée, la surface spécifique foliaire en saison sèche, les résultats ont montré que les variétés Bacoué et Soukpataloa ont obtenu des valeurs statistiquement identiques.

Tableau XIX : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différentes accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1

Accessions	Paramètres						
	TL (%)	DL (jr)	DAPFAL (jr)	DC (mm)	SSFp (cm ² /g)	SSFs (cm ² /g)	Vcr (cm/sem)
Bacoué (Témoin)	94,44 ± 13,61 ^a	62,26 ± 52,65 ^b	17,53 ± 13,28 ^b	10,49 ± 2,43 ^a	128,00 ± 9,27 ^c	183,00 ± 26,67 ^b	5,79 ± 2,48 ^b
Soukpataloa (Témoin)	88,89 ± 17,22 ^a	48,44 ± 14,20 ^b	8,67 ± 2,77 ^b	8,57 ± 2,14 ^b	303,00 ± 60,62 ^b	168,50 ± 43,95 ^b	5,59 ± 2,26 ^b
Bacoué sous hévéa	66,67 ± 25,82 ^b	179,19 ± 90,39 ^a	42,88 ± 21,16 ^a	11,18 ± 1,72 ^a	518,50 ± 154,06 ^a	343,00 ± 59,00 ^a	12,68 ± 3,88 ^a
Soukpataloa sous hévéa	70,83 ± 18,82 ^b	58,18 ± 23,99 ^b	11,71 ± 5,14 ^b	6,70 ± 1,93 ^c	341,50 ± 35,64 ^b	328,50 ± 67,40 ^a	6,98 ± 1,29 ^b
<i>P</i>	0,0489	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine

3.1.2.1.2. Effet du mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois

Dans le tableau XX sont enregistrées les valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames de sous-bois semées sous GT 1. Les résultats ont montré que le mode de semis n'a pas eu d'effet sur le diamètre au collet ($P = 0,4395$). Ainsi, les valeurs ont varié de 8,53 mm à 9,70 mm. Pour ce qui concerne les autres paramètres, les témoins (Trou et butte) ont enregistré les valeurs les plus élevées au niveau du taux de levée. Ils ont par ailleurs obtenu les plus faibles délais de levée et d'apparition de la première feuille de même que les plus faibles valeurs de surface spécifique foliaire (saison sèche et pluvieuse) et de vitesse de croissance de la tige. Cependant, aucune différence n'a été observée entre le mode de semis dans une butte et celui dans un trou. De même sous les hévéas, les ignames semées dans les trous ont enregistré des valeurs similaires à celles semées dans des buttes pour l'ensemble des paramètres.

3.1.2.1.3. Effet de l'interaction entre l'accession et le mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois

Les résultats présentés dans le tableau XXI ont montré l'effet de l'interaction accession*mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois. Les résultats obtenus ont montré que l'interaction accession*mode de semis a une influence sur les paramètres étudiés ($P < 0,05$). Les interactions des témoins Bacoué*butte, Bacoué*trou, Soukpataloa*butte et Soukpataloa*trou ont enregistré les plus grandes valeurs au niveau du taux de levée. Elles ont par ailleurs obtenu les plus petits délais de levée et d'apparition de la première feuille.

Hormis des témoins, les interactions Bacoué*butte, Bacoué*trou, Soukpataloa*butte et Soukpataloa*trou ont enregistré des taux de levée statistiquement identiques. Ces taux ont varié de 58,33 % à 83,33 %. Aussi, pour tous les paramètres étudiés, Bacoué semée dans une butte a enregistré des valeurs similaires à Bacoué dans un trou. Il en est de même pour l'accession Soukpataloa. Cependant, les accessions Bacoué semées dans les buttes et les trous sous les hévéas ont enregistré les plus grandes valeurs au niveau du délai de levée (respectivement 149,57 et 202,22 jours), du délai d'apparition de la première feuille (respectivement 34,42 et 44,49 jours), du diamètre au collet (10,16 mm pour la butte et 11,96 mm pour le trou), de la surface spécifique foliaire en saison de pluie et de la vitesse de croissance de la tige comparativement à Soukpataloa (respectivement 13,16 et 13,05 cm/sem).

Tableau XX: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames de sous-bois semées sous GT 1

Modes de semis	Paramètres						
	TL (%)	DL (jr)	DAPFAL (jr)	DC (mm)	SSFp (cm ² /g)	SSFs (cm ² /g)	Vcr (cm/sem)
Butte (Témoin)	88,89 ± 17,22 ^a	45,33 ± 14,04 ^b	14,00 ± 10,31 ^b	9,70 ± 2,69 ^a	218,00 ± 117,38 ^b	169,50 ± 44,95 ^b	5,81 ± 2,12 ^b
Trou (Témoin)	94,44 ± 13,61 ^a	65,21 ± 51,68 ^b	12,47 ± 11,07 ^b	9,42 ± 2,30 ^a	213,00 ± 91,34 ^b	182,00 ± 25,59 ^b	5,58 ± 2,67 ^b
Butte sous hévéa	58,33 ± 20,41 ^b	101,00 ± 87,35 ^a	23,00 ± 19,35 ^a	8,53 ± 2,45 ^a	475,50 ± 184,93 ^a	335,00 ± 39,27 ^a	9,85 ± 3,59 ^a
Trou sous hévéa	79,17 ± 18,82 ^b	128,53 ± 90,42 ^a	29,63 ± 23,48 ^a	9,12 ± 3,24 ^a	384,50 ± 68,06 ^a	336,50 ± 81,28 ^a	9,81 ± 1,69 ^a
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0001	0,4395	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée ; **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine

Tableau XXI : Valeurs moyennes de l'interaction accession et mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois semées sous GT 1

Paramètres	Interaction accession d'igname*mode de semis								P
	Bacoué (Témoin)		Soukpataloa (Témoin)		Bacoué sous hévéa		Soukpataloa sous hévéa		
	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	
TL (%)	88,89 ± 19,25 ^a	100,00 ± 0,00 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	58,33 ± 28,87 ^b	75,00 ± 25,00 ^{ab}	58,33 ± 14,43 ^b	83,33 ± 14,43 ^{ab}	0,0001
DL (jr)	44,78 ± 14,48 ^b	78,00 ± 69,11 ^b	45,89 ± 14,43 ^b	51,00 ± 14,34 ^b	149,57 ± 102,23 ^a	202,22 ± 78,20 ^a	52,43 ± 23,98 ^b	62,20 ± 24,41 ^b	0,0004
DAPFAL (jr)	18,44 ± 12,93 ^b	16,70 ± 14,24 ^b	9,56 ± 3,75 ^b	7,78 ± 1,67 ^b	34,43 ± 22,43 ^a	49,44 ± 18,74 ^a	11,57 ± 1,81 ^b	11,80 ± 6,70 ^b	0,0001
DC (mm)	10,47 ± 3,03 ^a	10,51 ± 1,90 ^a	8,93 ± 2,19 ^{ab}	8,21 ± 2,17 ^{ab}	10,17 ± 1,51 ^a	11,96 ± 1,50 ^a	6,90 ± 2,12 ^b	6,57 ± 1,90 ^b	0,0001
SSFp (cm ² /g)	126,00 ± 5,29 ^c	130,00 ± 13,23 ^c	310,00 ± 95,00 ^b	296,00 ± 4,00 ^{bc}	632,00 ± 108,00 ^a	405,00 ± 95,00 ^a	319,00 ± 19,00 ^b	364,00 ± 36,00 ^b	0,0001
SSFs (cm ² /g)	207,00 ± 7,00 ^{ab}	159,00 ± 31,00 ^b	132,00 ± 28,00 ^b	205,00 ± 7,00 ^{ab}	364,00 ± 36,00 ^a	322,00 ± 78,00 ^a	306,00 ± 6,00 ^a	351,00 ± 99,00 ^a	0,0001
Vcr (cm/sem)	5,92 ± 2,13 ^b	5,67 ± 3,19 ^b	5,69 ± 2,40 ^b	5,49 ± 2,27 ^b	12,30 ± 5,78 ^a	13,05 ± 3,22 ^a	7,40 ± 1,87 ^b	6,56 ± 1,14 ^b	0,0001

Dans chaque ligne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée ; **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine

3.1.2.1.4. Effet de l'accession d'igname sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1 sont présentées dans le tableau XXII. Il est ressorti de ce tableau qu'à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base en saison pluvieuse qui n'a pas été influencé par l'accession ($P = 0,9050$), tous les autres paramètres ont enregistré des probabilités inférieures à 0,05 ($P < 0,05$). Les ignames Bacoué témoins ont enregistré des valeurs identiques à celles de Soukpataloa témoins pour tous les paramètres étudiés. La production des deux années des témoins est supérieure à celle de Bacoué et Soukpataloa sous les hévéas. Sous les hévéas, seul le cycle de production a été influencé par l'accession d'igname. L'accession Bacoué a enregistré un cycle plus long (338,27 jours) que celui de Soukpataloa (244,29 jours). Aussi, la production de Bacoué a augmenté de la première année à la seconde année (respectivement 9,92 et 52,08 kg/ha). Il en est de même pour l'accession Soukpataloa (respectivement 14,26 et 39,06 kg/ha).

3.1.2.1.5. Effet du mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis sous les hévéas du clone GT 1 sont présentés dans le tableau XXIII. Les résultats ont indiqué une différence significative ($P < 0,05$) entre les témoins et les modes butte et trou sous les hévéas à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base en saison de pluie ($P = 0,9650$). Pour tous les paramètres présentés, les deux modes de semis ont enregistré des valeurs statistiquement identiques sous hévéas ou non.

Tableau XXII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous GT 1

Accessions	Paramètres						
	Ψ_{b_p} (MPa)	Ψ_{m_p} (MPa)	Ψ_{b_s} (MPa)	Ψ_{m_s} (MPa)	Cycle (jr)	Prod A1 (kg/ha)	Prod A2 (kg/ha)
Bacoué (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,27 \pm 0,02^{ab}$	$-0,19 \pm 0,10^b$	$-2,35 \pm 0,28^b$	$240,59 \pm 44,81^b$	$11\ 050,00 \pm 4100,00^a$	$28\ 875,00 \pm 15725,00^a$
Soukpataloa (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,32 \pm 0,07^b$	$-0,23 \pm 0,00^b$	$-2,31 \pm 0,13^b$	$242,45 \pm 54,28^b$	$13\ 550,00 \pm 6650,00^a$	$24\ 550,00 \pm 8550,00^a$
Bacoué sous hévéa	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,23 \pm 0,04^a$	$-0,13 \pm 0,04^a$	$-1,12 \pm 0,12^a$	$338,27 \pm 93,29^a$	$9,92 \pm 4,34^b$	$52,08 \pm 3,10^b$
Soukpataloa sous hévéa	$-0,12 \pm 0,04^a$	$-0,25 \pm 0,03^a$	$-0,14 \pm 0,05^a$	$-1,16 \pm 0,13^a$	$244,29 \pm 51,67^b$	$14,26 \pm 12,40^b$	$39,06 \pm 11,78^b$
<i>P</i>	0,9050	0,0309	0,0434	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

Tableau XXIII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis sous GT 1

Modes de semis	Paramètres						
	Ψ_{b_p} (MPa)	Ψ_{m_p} (MPa)	Ψ_{b_s} (MPa)	Ψ_{m_s} (MPa)	Cycle (jr)	Prod A1 (kg/ha)	Prod A2 (kg/ha)
Butte (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,31 \pm 0,06^b$	$-0,19 \pm 0,10^b$	$-2,43 \pm 0,16^b$	$237,62 \pm 44,95^b$	$13\ 825,00 \pm 6475,00^a$	$23\ 000,00 \pm 6650,00^a$
Trou (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,27 \pm 0,04^{ab}$	$-0,23 \pm 0,00^b$	$-2,23 \pm 0,21^b$	$244,69 \pm 53,15^b$	$10\ 750,00 \pm 4200,00^a$	$30\ 425,00 \pm 15925,00^a$
Butte sous hévéa	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,25 \pm 0,04^a$	$-0,12 \pm 0,04^a$	$-1,17 \pm 0,09^a$	$297,23 \pm 97,94^a$	$14,26 \pm 12,40^b$	$45,88 \pm 12,40^b$
Trou sous hévéa	$-0,12 \pm 0,04^a$	$-0,23 \pm 0,02^a$	$-0,15 \pm 0,04^a$	$-1,12 \pm 0,14^a$	$282,26 \pm 81,00^a$	$9,92 \pm 4,34^b$	$45,26 \pm 9,30^b$
<i>P</i>	0,9650	0,0307	0,0484	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

3.1.2.1.6. Effet de l'interaction accession mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les résultats relatifs à l'effet de l'interaction entre l'accession d'igname et le mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois ont été présentés dans le tableau XXIV. Ces résultats ont indiqué que tous les paramètres étudiés ont été influencés par l'interaction ($P < 0,05$) à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base durant la saison sèche et pluvieuse. En dehors des témoins, les deux accessions semées selon les deux modes trou et butte ont obtenu des valeurs similaires pour tous les paramètres étudiés. L'accession Bacoué semée en butte et en trou sous les hévéas présente un cycle de production plus élevé (respectivement 347,86 jours et 329,88 jours) que celui de Soukpataloa (respectivement 244 jours et 245 jours).

3.1.2.2. Effet de l'hévéa du clone IRCA 41 sur la croissance et la production des ignames de sous-bois

3.1.2.2.1. Effet de l'accession d'igname sur la levée et la croissance des ignames sous-bois

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance des accessions d'ignames ont été présentées dans le tableau XXV. Tous les paramètres étudiés ont été influencés par les accessions d'igname ($P < 0,05$).

Pour les témoins, les valeurs du taux de levée ont été de 94,44 % et 88,89 % respectivement pour Bacoué ainsi que Soukpataloa. Celles des autres paramètres notamment le délai de levée et le délai d'apparition de la première feuille ont été respectivement de 48,44 jours et 8,67 jours pour Soukpataloa tandis qu'ils ont été de 62,26 jours et 48,44 jours pour Bacoué. L'accession Bacoué associée aux hévéas a enregistré un taux de levée de 58,33 %, inférieur à celui du témoin. Il en est de même pour l'accession Soukpataloa qui a enregistré un taux de levée de 66,67 % sous les hévéas.

Sous les hévéas, l'accession Bacoué a présenté un délai de levée et un délai d'apparition de la première feuille plus longs que celui de Soukpataloa. Les valeurs enregistrées ont été respectivement 205,43 jours et 39,64 jours pour Bacoué tandis que Soukpataloa a enregistré 79,69 jours et 11,44 jours. Aussi, Bacoué a enregistré les diamètres au collet et les vitesses de croissance de tige les plus élevés (respectivement 9,58 mm et 9,94 cm/sem). En ce qui concerne le taux de levée, la surface spécifique foliaire en saison sèche, les résultats ont montré que les variétés Bacoué et Soukpataloa ont obtenu des valeurs statistiquement identiques.

Résultats et discussion

Tableau XXIV : Valeurs moyennes de l'interaction entre l'accession et le mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois semées sous GT 1

Paramètres	Accession d'igname*mode de semis								<i>P</i>
	Bacoué (Témoin)		Soukpataloa (Témoin)		Bacoué sous hévéa		Soukpataloa sous hévéa		
	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	
Ψ _{b_p} (MPa)	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,10 ± 0,00 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	0,0759
Ψ _{m_p} (MPa)	-0,26 ± 0,03 ^a	-0,37 ± 0,03 ^b	-0,24 ± 0,03 ^a	-0,27 ± 0,06 ^a	-0,24 ± 0,06 ^a	-0,26 ± 0,02 ^a	-0,23 ± 0,01 ^a	-0,28 ± 0,02 ^a	0,0001
Ψ _{b_s} (MPa)	-0,14 ± 0,05 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	-0,14 ± 0,05 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	-0,10 ± 0,00 ^a	-0,16 ± 0,13 ^a	-0,16 ± 0,04 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	0,1023
Ψ _{m_s} (MPa)	-2,22 ± 0,33 ^b	-2,39 ± 0,15 ^b	-2,23 ± 0,06 ^b	-2,23 ± 0,06 ^b	-1,19 ± 0,13 ^a	-1,14 ± 0,07 ^a	-1,06 ± 0,08 ^a	-1,18 ± 0,18 ^a	0,0001
Cycle	237,94 ± 47,78 ^b	243,85 ± 42,55 ^b	251,44 ± 58,80 ^b	231,38 ± 48,10 ^b	347,86 ± 85,78 ^a	329,88 ± 104,54 ^a	244,00 ± 48,87 ^b	245,00 ± 64,11 ^b	0,0001
Prod A1(kg/ha)	8500,0 ± 2600,0 ^b	13575,0 ± 4025,0 ^{ab}	19175,0 ± 3500,0 ^a	7925,0 ± 1900,0 ^b	8,06 ± 3,72 ^c	11,16 ± 4,96 ^c	20,46 ± 15,50 ^c	8,06 ± 3,72 ^c	0,0001
Prod A2(kg/ha)	17675,0 ± 3325,0 ^b	40075,0 ± 15150,0 ^a	28325,0 ± 3825,0 ^{ab}	20750,0 ± 11175,0 ^b	52,70 ± 3,10 ^c	51,46 ± 3,72 ^c	39,06 ± 15,50 ^c	39,06 ± 9,30 ^c	0,0001

Dans chaque ligne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

Résultats et discussion

Tableau XXV: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différentes accessions d'ignames de sous-bois semées sous IRCA 41

Accessions	Paramètres						
	TL (%)	DL (jr)	DAPFAL (jr)	DC (mm)	SSFp (cm ² /g)	SSFs (cm ² /g)	Vcr (cm/sem)
Bacoué (Témoin)	94,44 ± 13,61 ^a	62,26 ± 52,65 ^b	17,53 ± 13,28 ^{ab}	10,49 ± 2,43 ^a	128,00 ± 9,27 ^b	183,00 ± 26,67 ^b	5,79 ± 2,48 ^b
Soukpataloa (Témoin)	88,89 ± 17,22 ^a	48,44 ± 14,20 ^b	8,67 ± 2,77 ^b	8,57 ± 2,14 ^{ab}	303,00 ± 60,62 ^a	168,50 ± 43,95 ^b	5,59 ± 2,26 ^b
Bacoué sous hévéa	58,33 ± 30,28 ^b	205,43 ± 99,37 ^a	39,64 ± 20,08 ^a	9,58 ± 1,71 ^a	450,50 ± 66,00 ^a	327,50 ± 42,18 ^a	9,94 ± 3,56 ^a
Soukpataloa sous hévéa	66,67 ± 20,41 ^b	79,69 ± 51,89 ^b	11,44 ± 2,73 ^b	5,93 ± 2,58 ^b	338,00 ± 73,21 ^a	312,00 ± 34,22 ^a	6,54 ± 1,16 ^b
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée ; **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine

3.1.2.2.2. Effet du mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames sous-bois semées sous IRCA 41 sont présentées dans le tableau XXVI. Les résultats ont montré que les témoins (Trou et butte) ont enregistré des valeurs élevées de taux de levée respectivement 88,89 % pour la butte et 94,44 % au niveau du trou. Les délais de levée et d'apparition de la première feuille après la levée ont été plus courts que sous les hévées. Les témoins ont par ailleurs obtenu les plus faibles valeurs de surface spécifique foliaire (saison sèche et pluvieuse) et de vitesse de croissance de la tige. Cependant, aucune différence n'a été observée entre le mode de semis dans une butte et celui dans un trou. De même sous les hévées, les ignames semées dans les trous ont enregistré des valeurs similaires à celles semées dans des buttes pour l'ensemble des paramètres.

3.1.2.2.3. Effet de l'interaction entre l'accession et le mode de semis des ignames sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois

Les résultats présentés dans le tableau XXVII ont montré les valeurs de l'interaction accession*mode de semis sur la levée et la croissance des ignames de sous-bois. Les résultats obtenus ont montré que l'interaction accession*mode de semis a une influence sur les paramètres étudiés ($P < 0,05$). Les interactions des témoins Bacoué*butte, Bacoué*trou, Soukpataloa*butte et Soukpataloa*trou ont enregistré les plus grandes valeurs au niveau du taux de levée. Elles ont par ailleurs obtenu les délais de levée et d'apparition de la première feuille les plus courts.

Hormis des témoins, les interactions Bacoué*butte, Bacoué*trou, Soukpataloa*butte et Soukpataloa*trou ont enregistré des taux de levée statistiquement identiques. Ces taux ont varié de 50 % à 75,00 %. Aussi, pour l'ensemble des paramètres étudiés, Bacoué semée dans une butte a enregistré des valeurs similaires à Bacoué dans un trou. Il en est de même pour l'accession Soukpataloa. Toutefois, les accessions Bacoué semées dans les buttes et les trous ont enregistré les plus grandes valeurs au niveau du délai de la levée (respectivement 241,13 et 157,83 jours), du délai d'apparition de la première feuille après la levée (respectivement 44,88 et 27,33 jours), du diamètre au collet (9,57 mm pour la butte et 9,59 mm pour le trou), de la surface spécifique foliaire en saison de pluie et de la vitesse de croissance de la tige (respectivement 9,87 et 10,01 cm/sem) comparativement à Soukpataloa.

Résultats et discussion

Tableau XXVI: Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents modes de semis des ignames de sous-bois semées sous IRCA 41

Modes de semis	Paramètres						
	TL (%)	DL (jr)	DAPFAL (jr)	DC (mm)	SSFp (cm ² /g)	SSFs (cm ² /g)	Vcr (cm/sem)
Butte (Témoin)	88,89 ± 17,22 ^a	45,33 ± 14,04 ^b	14,00 ± 10,31 ^b	9,70 ± 2,69 ^a	218,00 ± 117,38 ^b	169,50 ± 44,95 ^b	5,81 ± 2,12 ^b
Trou (Témoin)	94,44 ± 13,61 ^a	65,21 ± 51,68 ^b	12,47 ± 11,07 ^b	9,42 ± 2,30 ^a	213,00 ± 91,34 ^b	182,00 ± 25,59 ^b	5,58 ± 2,67 ^b
Butte sous hévéa	62,50 ± 26,22 ^b	177,20 ± 100,89 ^a	21,13 ± 22,91 ^a	7,92 ± 2,79 ^b	410,00 ± 117,04 ^a	326,00 ± 49,93 ^a	8,14 ± 2,01 ^a
Trou sous hévéa	62,50 ± 26,22 ^b	99,53 ± 84,12 ^{ab}	18,07 ± 13,81 ^a	7,34 ± 2,99 ^b	378,50 ± 54,92 ^a	313,50 ± 22,54 ^a	8,34 ± 2,24 ^a
<i>P</i>	0,0035	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée ; **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine

Résultats et discussion

Tableau XXVII: Valeurs moyennes de l'interaction entre l'accession d'igname et le mode de semis sur la croissance des ignames de sous-bois semées sous IRCA 41

Paramètres	Accession d'igname*mode de semis								P
	Bacoué (Témoin)		Soukpataloa (Témoin)		Bacoué sous hévéa		Soukpataloa sous hévéa		
	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	
TL (%)	88,89 ± 19,25 ^a	100,00 ± 0,00 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	88,89 ± 19,25 ^a	66,67 ± 38,19 ^b	50,00 ± 25,00 ^b	58,33 ± 14,43 ^b	75,00 ± 25,00 ^b	0,0001
DL (jr)	44,78 ± 14,48 ^b	78,00 ± 69,11 ^b	45,89 ± 14,43 ^b	51,00 ± 14,34 ^b	241,13 ± 77,77 ^a	157,83 ± 111,58 ^a	104,14 ± 70,86 ^{ab}	60,67 ± 18,75 ^b	0,0001
DAPFAL (jr)	18,44 ± 12,93 ^b	16,70 ± 14,24 ^b	9,56 ± 3,75 ^b	7,78 ± 0,67 ^b	48,88 ± 16,64 ^a	27,33 ± 18,51 ^a	10,86 ± 1,35 ^b	11,89 ± 3,48 ^b	0,0001
DC (mm)	10,47 ± 3,03 ^a	10,51 ± 1,90 ^a	8,93 ± 2,19 ^{ab}	8,21 ± 2,17 ^{ab}	9,57 ± 1,68 ^a	9,59 ± 1,91 ^a	6,05 ± 2,68 ^b	5,84 ± 2,66 ^b	0,0001
SSFp (cm²/g)	126,00 ± 5,29 ^b	130,00 ± 13,23 ^b	310,00 ± 95,00 ^{ab}	296,00 ± 4,00 ^{ab}	502,00 ± 4,00 ^a	399,00 ± 54,00 ^a	318,00 ± 94,00 ^a	358,00 ± 58,00 ^a	0,0001
SSFs (cm²/g)	207,00 ± 7,00 ^{ab}	159,00 ± 1,00 ^b	132,00 ± 28,00 ^b	205,00 ± 7,00 ^{ab}	354,00 ± 46,00 ^a	301,00 ± 15,00 ^a	298,00 ± 42,00 ^a	326,00 ± 24,00 ^a	0,0001
Vcr (cm/sem)	5,92 ± 2,13 ^b	5,67 ± 3,19 ^b	5,69 ± 2,40 ^b	5,49 ± 2,27 ^b	9,87 ± 3,68 ^a	10,01 ± 4,18 ^a	6,41 ± 1,37 ^b	6,66 ± 1,33 ^b	0,035

Dans chaque ligne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **TL** : Taux de levée ; **DL** : Délai de levée ; **DAPFAL** : Délai d'apparition de la première feuille après la levée ; **DC** : Diamètre au collet ; **SSFs** : Surface spécifique foliaire en saison sèche ; **SSFp** : Surface spécifique foliaire en saison pluvieuse ; **Vcr** : Vitesse de croissance de la tige ; **sem** : Semaine.

3.1.2.2.4. Effet de l'accession d'igname sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous les hévéas IRCA 41 sont présentées dans le tableau XXVIII. Il est ressorti de ce tableau qu'à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base en saison pluvieuse qui n'a pas été influencé par l'accession ($P = 0,9050$), tous les autres paramètres ont enregistré des probabilités inférieures à 0,05. Les ignames Bacoué témoins ont enregistré des valeurs identiques à celles de Soukpataloa témoins pour tous les paramètres étudiés. La production des deux années des témoins est supérieure à celle de Bacoué et Soukpataloa sous les hévéas. Sous les hévéas, seul le cycle de production a été influencé par l'accession d'igname. L'accession Bacoué a enregistré un cycle plus long (352,27 jours) que celui de Soukpataloa (245,88 jours). Aussi, la production de Bacoué a augmenté de la première année à la seconde année (respectivement 9,30 et 35,96 kg/ha). Il en est de même pour l'accession Soukpataloa (respectivement 9,92 et 37,20 kg/ha).

3.1.2.2.5. Effet du mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les résultats présentés dans le tableau XXIX ont montré les valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis. Ces résultats ont indiqué une différence significative ($P < 0,05$) entre les témoins et les modes butte, trou sous les hévéas à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base en saison de pluie et du cycle de production ($P > 0,05$). La production des témoins butte et trou a été plus grande (respectivement 13 825 kg/ha et 10 750 kg/ha) que celle des deux modes de semis sous les hévéas (respectivement 9,92 kg/ha et 9,30 kg/ha) durant la première année. Il en est de même à la deuxième année. Aussi, pour tous les paramètres présentés, le mode de semis en butte a enregistré les mêmes valeurs que celles dans un trou aussi bien au niveau des témoins que sous les hévéas.

Résultats et discussion

Tableau XXVIII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des accessions d'ignames de sous-bois semées sous IRCA 41

Accessions	Paramètres						
	Ψ_{b_s} (MPa)	Ψ_{m_s} (MPa)	Ψ_{b_p} (MPa)	Ψ_{m_p} (MPa)	Cycle (jr)	Prod A1 (kg/ha)	Prod A2 (kg/ha)
Bacoué (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,27 \pm 0,02^b$	$-0,19 \pm 0,10^b$	$-2,35 \pm 0,28^b$	$240,59 \pm 44,81^b$	$11\ 050,00 \pm 4100,00^a$	$28\ 875,00 \pm 15725,00^a$
Soukpataloa (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,32 \pm 0,07^b$	$-0,23 \pm 0,00^b$	$-2,31 \pm 0,13^b$	$242,45 \pm 54,28^b$	$13\ 550,00 \pm 6650,00^a$	$24\ 550,00 \pm 8550,00^a$
Bacoué sous hévéa	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,23 \pm 0,04^a$	$-0,17 \pm 0,04^a$	$-1,12 \pm 0,11^a$	$352,00 \pm 72,65^a$	$9,30 \pm 3,10^b$	$35,96 \pm 9,30^b$
Soukpataloa sous hévéa	$-0,12 \pm 0,04^a$	$-0,25 \pm 0,02^a$	$-0,16 \pm 0,10^a$	$-1,14 \pm 0,05^a$	$245,88 \pm 46,70^b$	$9,92 \pm 4,34^b$	$37,20 \pm 8,68^b$
<i>P</i>	0,9050	0,0447	0,0001	0,0001	0,0023	0,0003	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

Tableau XXIX : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire et de la production des ignames de sous-bois semées selon les différents modes de semis sous IRCA 41

Modes de semis	Paramètres						
	Ψ_{b_p} (MPa)	Ψ_{m_p} (MPa)	Ψ_{b_s} (MPa)	Ψ_{m_s} (MPa)	Cycle (jr)	Prod A1 (kg/ha)	Prod A2 (kg/ha)
Butte (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,31 \pm 0,06^b$	$-0,19 \pm 0,10^a$	$-2,43 \pm 0,16^b$	$237,62 \pm 44,95^a$	$13\ 825,00 \pm 6475,00^a$	$23\ 000,00 \pm 6650,00^a$
Trou (Témoin)	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,27 \pm 0,04^{ab}$	$-0,23 \pm 0,00^b$	$-2,23 \pm 0,21^b$	$244,69 \pm 53,15^a$	$10\ 750,00 \pm 4200,00^a$	$30\ 425,00 \pm 15925,00^a$
Butte sous hévéa	$-0,13 \pm 0,05^a$	$-0,24 \pm 0,02^a$	$-0,18 \pm 0,06^a$	$-1,18 \pm 0,07^a$	$295,56 \pm 76,12^a$	$9,92 \pm 4,34^b$	$40,30 \pm 8,68^b$
Trou sous hévéa	$-0,12 \pm 0,04^a$	$-0,24 \pm 0,04^a$	$-0,15 \pm 0,08^a$	$-1,08 \pm 0,08^a$	$275,76 \pm 76,95^a$	$9,30 \pm 3,10^b$	$32,86 \pm 7,44^b$
<i>P</i>	0,8750	0,0001	0,0001	0,0001	0,1038	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

3.1.2.2.6. Effet de l'interaction accessions mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois

Les résultats relatifs à l'effet de l'interaction entre l'accession et le mode de semis des ignames sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames de sous-bois ont été présentés dans le tableau XXX. Ces résultats ont indiqué que tous les paramètres étudiés ont été influencés par l'interaction ($P < 0,05$) à l'exception du potentiel hydrique foliaire de base durant la saison sèche et pluvieuse. Durant la saison sèche le potentiel hydrique foliaire de base a varié de -0,37 MPa à -0,22 MPa. En saison des pluies, les valeurs ont varié de -0,13 MPa à -0,10 MPa. En dehors des témoins, les deux accessions semées selon les deux modes trou et butte ont obtenu des valeurs similaires pour tous les paramètres étudiés.

3.1.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques des clones GT 1 et IRCA 41

3.1.3.1. Clone GT 1 d'hévéa

3.1.3.1.1. Effet du système agroforestier hévéas matures du GT 1-ignames de sous-bois sur la croissance, la production et l'encoche sèche des hévéas matures

L'effet du système hévéa mature-igname sur la croissance, la production et l'encoche sèche des hévéas matures du clone GT 1 a été présenté dans le tableau XXXI. Le système n'a eu aucun effet significatif sur les accroissements de circonférence et sur la production de caoutchouc ($P < 0,05$).

Les accroissements de circonférences ont varié de 1,20 cm.an⁻¹ à 1,53 cm.an⁻¹. Les hévéas témoins qui n'ont pas été associés aux ignames de sous-bois ont donné des accroissements moyens annuels (1,52 cm.an⁻¹) statistiquement identiques à ceux des autres traitements où les hévéas ont été associés aux ignames de sous-bois.

Il en est de même pour la production de caoutchouc. Les productions moyennes annuelles de caoutchouc par arbre et par saignée ont varié de 114,52 g.a⁻¹.s⁻¹ à 130,32 g.a⁻¹.s⁻¹. Les productions moyennes annuelles de caoutchouc ont également varié de 4031 kg.ha⁻¹.an⁻¹ à 4587 kg.ha⁻¹.an⁻¹.

Pour ce qui est du taux d'encoche sèche, les résultats ont montré qu'à l'exception du traitement 2 (hévéa associé à l'igname Bacoué plantée dans une butte), dont le taux d'encoche sèche a été le plus élevé (0,63 %), tous les autres traitements ont présenté des taux d'encoches sèches statistiquement identiques à celui du témoin. Le taux d'encoche sèche est resté très faible sur l'ensemble de la parcelle.

Résultats et discussion

Tableau XXX : Valeurs moyennes de l'interaction entre accession d'igname et mode de semis sur le potentiel hydrique foliaire et la production des ignames sous IRCA 41

Paramètres	Accessions d'igname*modes de semis								P
	Bacoué (Témoin)		Soukpataloa (Témoin)		Bacoué sous hévéa		Soukpataloa sous hévéa		
	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	Butte	Trou	
Ψb _p (MPa)	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,10 ± 0,00 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	-0,13 ± 0,06 ^a	0,0759
Ψm _p (MPa)	-0,25 ± 0,03 ^a	-0,37 ± 0,03 ^b	-0,24 ± 0,02 ^a	-0,27 ± 0,06 ^a	-0,22 ± 0,01 ^a	-0,26 ± 0,02 ^a	-0,24 ± 0,06 ^a	-0,28 ± 0,02 ^a	0,0140
Ψb _s (MPa)	-0,19 ± 0,08 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	-0,12 ± 0,12 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	-0,17 ± 0,06 ^a	-0,16 ± 0,13 ^a	-0,18 ± 0,04 ^a	-0,23 ± 0,00 ^a	0,4539
Ψm _s (MPa)	-2,39 ± 0,15 ^b	-2,48 ± 0,19 ^b	-2,23 ± 0,06 ^b	-2,22 ± 0,33 ^b	-1,16 ± 0,08 ^a	-1,20 ± 0,07 ^a	-1,13 ± 0,03 ^a	-1,03 ± 0,09 ^b	0,0392
Cycle	237,94 ± 47,78 ^b	243,85 ± 42,55 ^b	251,44 ± 58,80 ^b	231,38 ± 48,10 ^b	341,83 ± 80,90 ^a	372,33 ± 61,78 ^a	239,73 ± 46,40 ^b	257,17±49,37 ^b	0,0001
Prod A1(kg/ha)	8500,0 ± 2600,0 ^b	13575,0 ± 4025,0 ^{ab}	19175,0 ± 3500,0 ^a	7925,0 ± 1900,0 ^b	8,06 ± 3,72 ^c	10,54 ± 3,72 ^c	11,16 ± 4,96 ^c	8,06 ± 3,72 ^c	0,0024
Prod A2(kg/ha)	17675,0 ± 3325,0 ^b	40075,0 ± 15150,0 ^a	28325,0 ± 3825,0 ^{ab}	20750,0 ± 11175,0 ^b	39,06 ± 9,30 ^c	32,86 ± 9,30 ^c	41,54 ± 9,30 ^c	32,86 ± 7,44 ^c	0,0015

Dans chaque ligne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Ψ_b** : Potentiel hydrique foliaire de base ; **Ψ_m** : Potentiel hydrique foliaire de midi ; **s** : Saison sèche ; **p** : Saison pluvieuse ; **Prod** : production ; **A1** : Année 2 ; **A2** : Année 2 ; **ha** : hectare

Tableau XXXI: Accroissements moyens annuels de circonférence, production et taux d'encoche sèche des hévéas du clone GT 1

Traitements	Paramètres			
	Accroissement (cm.an ⁻¹)	Production de caoutchouc (g.a ⁻¹ .s ⁻¹)	Production de caoutchouc (kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Taux d'encoche sèche (%)
0. Hévéa témoin	1,52 ± 0,80 ^a	130,32 ± 48,90 ^a	4587,00 ± 1721,18 ^a	0,14 ± 0,06 ^b
1. Hévéa associé à l'igname Bacoué dans un trou	1,20 ± 1,05 ^a	114,52 ± 50,02 ^a	4031,00 ± 1760,66 ^a	0,11 ± 0,08 ^b
2. Hévéa associé à l'igname Bacoué dans une butte	1,47 ± 0,91 ^a	121,89 ± 42,04 ^a	4290,00 ± 1479,63 ^a	0,63 ± 0,42 ^a
3. Hévéa associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	1,43 ± 0,59 ^a	124,10 ± 53,10 ^a	4368,00 ± 1868,93 ^a	0,11 ± 0,06 ^b
4. Hévéa associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	1,53 ± 0,51 ^a	127,58 ± 57,32 ^a	4490,00 ± 2017,30 ^a	0,12 ± 0,06 ^b
<i>P</i>	0,4730	0,0745	0,0745	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Cm.an⁻¹** : Centimètre par an ; **g.a⁻¹.s⁻¹** : Gramme par arbre par saignée ; **kg.ha⁻¹.an⁻¹** : Kilogramme par hectare (fixé à 400 arbres) et par année ; **%** : Pourcentage

3.1.3.1.2. Effet du système hévéas matures du GT 1-ignames de sous-bois sur le potentiel hydrique foliaire (Ψ)

Les valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_b) et de midi (Ψ_m) en saison sèche et pluvieuse des hévéas du clone GT 1 sont mises en évidence dans le tableau XXXII. Pendant la saison sèche, l'analyse statistique a révélé qu'il n'existe aucune différence significative aussi bien pour le potentiel hydrique foliaire de base que pour celui de midi ($P > 0,05$). Le Ψ_b a varié de -0,23 MPa à -0,17 MPa et celui de midi de -2,09 MPa à -1,24 MPa. En saison pluvieuse, l'analyse a révélé une absence de différence significative du potentiel de midi ($P = 0,1457$) tandis qu'au niveau du potentiel hydrique de base les traitements 2 et 3 (hévéa associé à l'igname Bacoué planté dans une butte et Soukpataloa dans un trou) ont enregistré des valeurs plus élevées (-0,10 MPa).

3.1.3.1.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur le profil physiologique du latex des hévéas du clone GT 1

3.1.3.1.3.1. Taux moyens d'extraits secs (ExS %) et teneurs moyennes en saccharose

Les taux moyens d'extrait sec du latex des hévéas, de même que les teneurs moyennes en saccharose, sont consignés dans le tableau XXXIII.

Au début de l'expérimentation, les taux moyens d'extraits secs du latex des hévéas, ont varié de 46,22 % à 47,54 %. Le témoin a un taux d'extraits secs (47,24 %) statistiquement identique à celui des hévéas associés aux ignames de sous-bois (47,04 %).

En fin d'expérience, les traitements 1 (Hévéas associés aux ignames Bacoué plantées dans un trou), 2 (Hévéas associés aux ignames Bacoué plantées dans une butte) et 4 (Hévéas associées aux ignames Soukpataloa plantées dans une butte) ont subi une légère augmentation du taux d'extraits secs tandis que le témoin a enregistré une baisse du taux d'extraits secs. Toutefois, les taux d'extraits secs sont restés très élevés et aucune différence significative n'a été perçue entre le taux du témoin et celui des autres traitements ($P = 0,5828$).

Pour ce qui est de la teneur en saccharose, au début de l'essai, la teneur des hévéas témoins, n'a pas été discriminée des autres traitements ($P = 0,8406$).

En fin d'expérience, il y a eu une augmentation de la teneur en saccharose des hévéas non associés aux ignames (T0), des hévéas associés aux ignames Bacoué plantées dans un trou (T1) et des hévéas associés aux ignames Soukpataloa plantées dans un trou (T3). Les hévéas associés aux ignames Bacoué plantées dans un trou ont présenté une teneur en saccharose très élevée (12,77 m.mol.l⁻¹), statistiquement supérieure à celle des autres traitements. Cependant, les traitements 1, 3 et 4 ont donné des teneurs en saccharose identiques à celle du témoin.

Résultats et discussion

Tableau XXXII : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_b) et de midi (Ψ_m) des hévéas du clone GT 1 en saisons sèche et pluvieuse

Traitements	Paramètres			
	Ψ_{b_s} (MPa)	Ψ_{m_s} (MPa)	Ψ_{b_p} (MPa)	Ψ_{m_p} (MPa)
0. Hévée témoin	$-0,20 \pm 0,06^a$	$-2,09 \pm 0,13^a$	$-0,17 \pm 0,06^b$	$-1,34 \pm 0,06^a$
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	$-0,17 \pm 0,09^a$	$-1,40 \pm 0,93^a$	$-0,11 \pm 0,09^{ab}$	$-1,14 \pm 0,55^a$
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	$-0,23 \pm 0,05^a$	$-1,48 \pm 0,82^a$	$-0,10 \pm 0,07^a$	$-1,38 \pm 0,15^a$
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	$-0,17 \pm 0,09^a$	$-1,24 \pm 1,05^a$	$-0,10 \pm 0,08^a$	$-1,15 \pm 0,55^a$
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	$-0,21 \pm 0,06^a$	$-1,81 \pm 0,58^a$	$-0,16 \pm 0,07^b$	$-1,44 \pm 0,09^a$
<i>P</i>	0,2521	0,0646	0,0411	0,1457

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Ψ_b : Potentiel hydrique foliaire de base ; Ψ_m : Potentiel hydrique foliaire de midi ; *s* : Saison sèche ; *p* : Saison pluvieuse

Tableau XXXIII: Taux moyens annuels d'extraits secs du latex et teneur moyenne en saccharose des hévéas du clone GT 1

Traitements	Paramètres			
	ExS _{de} (%)	ExS _{fe} (%)	Sac _{de} (m.mol.l ⁻¹)	Sac _{fe} (m.mol.l ⁻¹)
0. Hévée témoin	$47,23 \pm 1,34^a$	$44,93 \pm 0,4^a$	$5,59 \pm 2,64^a$	$6,1 \pm 2,69^b$
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	$46,22 \pm 2,19^a$	$46,72 \pm 1,12^a$	$6,69 \pm 2,08^a$	$12,77 \pm 7,24^a$
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	$47,35 \pm 1,96^a$	$50,86 \pm 9,27^a$	$5,34 \pm 2,40^a$	$5,17 \pm 1,72^b$
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	$47,05 \pm 2,28^a$	$44,55 \pm 0,71^a$	$4,03 \pm 1,77^a$	$5,90 \pm 2,69^b$
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	$47,54 \pm 4,29^a$	$51,59 \pm 7,65^a$	$6,37 \pm 3,32^a$	$4,53 \pm 1,30^b$
<i>P</i>	0,9875	0,5828	0,8406	0,0481

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **ExS** : Extrait sec ; **Sac** : Saccharose ; **de** : Début d'essai ; **fe** : Fin d'essai ; **ExS** > **43** = Taux d'extraits secs très élevé ; **38** < **ExS** < **43** = Taux d'extraits secs élevé ; **33** < **ExS** < **38** = Taux d'extraits secs moyen ; **29** < **ExS** < **33** = Taux d'extraits secs faible ; **ExS** ≤ **29** = Taux d'extraits secs très faible ; **Sac** > **12** = Teneur en saccharose très élevée ; **9** < **Sac** < **12** = Teneur en saccharose élevée ; **6** < **Sac** < **9** = Teneur en saccharose moyenne ; **4** < **Sac** < **6** = Teneur en saccharose faible ; **Sac** ≤ **4** = Teneur en saccharose très faible

3.1.3.1.3.2. Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols des hévéas GT 1

Les teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols des hévéas du clone GT 1 sont enregistrées dans le tableau XXXIV

Les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les hévéas témoins et les hévéas associés aux ignames de sous-bois pour les teneurs moyennes en phosphore inorganique au début de l'expérimentation ($P = 0,1452$).

À la fin de l'expérience, aucune différence significative n'est relevée entre le témoin et les autres traitements ($P = 0,2642$).

Au début de l'essai, les teneurs en groupements thiols du latex des hévéas ont varié de 0,49 à 1,03 m.mol.l⁻¹ en fonction des traitements. Aucune différence significative n'a été enregistrée entre la teneur en thiols du témoin et celle des hévéas associés aux ignames de sous-bois ($P = 0,7522$).

En fin d'expérimentation, les teneurs en thiols ont varié de 0,55 à 0,76 m.mol.l⁻¹. Toutefois, l'analyse statistique a révélé qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements ($P = 0,8973$).

3.1.3.2. Clone IRCA 41 d'hévéa

3.1.3.2.1. Effet de l'association hévéas matures de l'IRCA 41-ignames de sous-bois sur la croissance, la production et l'encoche sèche des hévéas matures

Les accroissements moyens annuels de circonférence, la production de même que le taux d'encoche sèche des hévéas du clone IRCA 41 sont présentés dans le tableau XXXV. L'association n'a eu aucun effet significatif sur l'ensemble des paramètres mesurés ($P > 0,05$) à l'exception de la production. Les accroissements moyens annuels de circonférence ont varié de 2,19 cm.an⁻¹ à 2,61 cm.an⁻¹. Les hévéas témoins ont enregistré des valeurs similaires à celles des hévéas associés. En ce qui concerne la production, celle de Soukpataloa dans une butte a été plus élevée que celle du trou respectivement 91,05 g.a⁻¹.s⁻¹ contre 80,67 g.a⁻¹.s⁻¹ et 3204 kg.ha⁻¹.an⁻¹ contre 2839 kg.ha⁻¹.an⁻¹. Les taux d'encoches sèches ont varié de 3,03 % à 4,87 %. Ces taux ont été faibles sur l'ensemble de la parcelle.

Tableau XXXIV : Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols du clone GT 1

Traitements	Paramètres			
	Pi _{de} (m.mol.l ⁻¹)	Pi _{fe} (m.mol.l ⁻¹)	R-SH _{de} (m.mol.l ⁻¹)	R-SH _{fe} (m.mol.l ⁻¹)
0. Hévée témoin	14,66 ± 2,03 ^a	20,33 ± 0,57 ^a	0,93 ± 0,56 ^a	0,55 ± 0,27 ^a
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	21,05 ± 5,02 ^a	27,93 ± 3,65 ^a	0,54 ± 0,29 ^a	0,68 ± 0,10 ^a
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	33,05 ± 8,53 ^a	21,73 ± 5,77 ^a	0,49 ± 0,23 ^a	0,55 ± 0,12 ^a
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	19,61 ± 9,20 ^a	20,83 ± 3,28 ^a	0,86 ± 0,54 ^a	0,65 ± 0,38 ^a
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	15,49 ± 7,36 ^a	23,37 ± 1,90 ^a	1,03 ± 0,71 ^a	0,76 ± 0,25 ^a
<i>P</i>	0,1452	0,2642	0,7522	0,8973

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Pi** : Phosphore inorganique ; **R-SH** : Teneur en thiols ; **de** : Début d'essai ; **fe** : Fin d'essai ; **Pi** > **25** = Teneur en phosphore inorganique très élevée ; **20** < **Pi** < **25** = Teneur en phosphore inorganique élevée ; **15** < **Pi** < **20** = Teneur en phosphore inorganique moyenne ; **10** < **Pi** < **15** = Teneur en phosphore inorganique faible ; **Pi** ≤ **10** = Teneur en phosphore inorganique très faible ; **R-SH** > 0,9 = Teneur en thiols très élevée ; 0,80 < **R-SH** < 0,90 = Teneur en thiols élevée ; 0,60 < **R-SH** < 0,80 = Teneur en thiols moyenne ; 0,50 < **R-SH** < 0,60 = Teneur en thiols faible ; **R-SH** ≤ 0,50 = Teneur en thiols très faible

Tableau XXXV: Accroissements moyens annuels de circonférence, production et taux d'encoche sèche des hévéas du clone IRCA 41

Traitements	Paramètres			
	Accroissement (cm.an ⁻¹)	Production de caoutchouc (g.a ⁻¹ .s ⁻¹)	Production de caoutchouc (kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Taux d'encoche sèche (%)
0. Hévée témoin	2,32 ± 0,90 ^a	85,64 ± 31,70 ^{ab}	3014,00 ± 1115,64 ^{ab}	3,03 ± 0,75 ^a
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	2,19 ± 1,10 ^a	85,11 ± 28,40 ^{ab}	2995,00 ± 999,39 ^{ab}	3,84 ± 3,23 ^a
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	2,36 ± 1,00 ^a	83,30 ± 29,64 ^{ab}	2932,00 ± 1043,27 ^{ab}	4,68 ± 3,06 ^a
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	2,61 ± 1,60 ^a	80,67 ± 33,82 ^b	2839,00 ± 1190,22 ^b	3,08 ± 1,49 ^a
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	2,31 ± 1,70 ^a	91,05 ± 40,10 ^a	3204,00 ± 1411,10 ^a	4,87 ± 3,21 ^a
<i>P</i>	0,2126	0,0326	0,0326	0,8792

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Cm.an⁻¹** : Centimètre par an ; **g.a⁻¹.s⁻¹** : Gramme par arbre par saignée ; **kg.ha⁻¹.an⁻¹** : Kilogramme par hectare (fixé à 400 arbres) et par année ; **%** : Pourcentage

3.1.3.2.2. Effet de l'association hévéas matures de l'IRCA 41-igname de sous-bois sur le potentiel hydrique foliaire (Ψ) des hévéas

Dans le tableau XXXVI sont présentés les résultats du potentiel hydrique foliaire de base et de midi pendant les saisons sèches et pluvieuses. Durant la saison sèche, l'analyse statistique a montré une absence de différence significative entre les traitements au niveau du potentiel hydrique foliaire de base ($P = 0,2905$) ; ce qui n'a pas été le cas pour le potentiel hydrique foliaire de midi ($P = 0,0335$). Les traitements 2 et 3 ont été enregistrés respectivement -1,91 MPa et -1,97 MPa. Au cours de la saison pluvieuse, l'analyse a révélé qu'il n'existe aucune différence significative entre les différents traitements de l'étude pour ce qui est du potentiel hydrique foliaire de base ainsi que celui de midi ($P > 0,05$). Les valeurs de potentiel hydrique foliaire de midi sont plus faibles que celles de base. Aussi, en saison sèche les valeurs sont plus faibles qu'en saison des pluies.

3.1.3.2.3. Effet du système agroforestier hévéas matures-ignames de sous-bois sur le profil physiologique du latex du clone IRCA 41

3.1.3.2.3.1. Taux moyens d'extraits secs et teneur moyenne en saccharose

Les résultats concernant les taux moyens d'extraits secs ainsi que les teneurs moyennes en saccharose ont été consignés dans le tableau XXXVII. Au début de l'expérimentation, les taux d'extraits secs ont présenté une variation comprise entre 43,76 % et 46,77 %. Le témoin a présenté un taux d'extraits secs (ExS) statistiquement identique à celui des autres traitements 1, 2, 3 et 4 où l'hévéa est associé aux ignames de sous-bois. En fin d'expérience, aucune différence significative n'est perçue entre le taux d'extraits secs du témoin et celui des autres traitements ($P = 0,7682$).

Pour ce qui est de la teneur moyenne en saccharose, le témoin au début de l'essai a présenté une teneur qui n'a pas différé de celle des autres traitements (T1, T2, T3 et T4).

En fin d'expérience, il y a eu une augmentation de la teneur en saccharose de tous les traitements y compris celle du témoin. Aucune différence statistique n'a été enregistrée entre les teneurs en saccharose des traitements ($P = 0,6543$).

Tableau XXXVI : Valeurs moyennes du potentiel hydrique foliaire de base et de midi des hévées du clone IRCA 41

Traitements	Paramètres			
	Ψ_{bs} (MPa)	Ψ_{ms} (MPa)	Ψ_{bp} (MPa)	Ψ_{mp} (MPa)
0. Hévée témoin	$-0,13 \pm 0,03^a$	$-2,14 \pm 0,16^b$	$-0,11 \pm 0,02^a$	$-1,32 \pm 0,12^a$
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	$-0,15 \pm 0,07^a$	$-2,06 \pm 0,20^b$	$-0,12 \pm 0,03^a$	$-1,31 \pm 0,12^a$
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	$-0,14 \pm 0,05^a$	$-1,91 \pm 0,16^a$	$-0,12 \pm 0,03^a$	$-1,16 \pm 0,35^a$
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	$-0,15 \pm 0,05^a$	$-1,97 \pm 0,26^a$	$-0,12 \pm 0,03^a$	$-1,25 \pm 0,14^a$
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	$-0,18 \pm 0,06^a$	$-2,03 \pm 0,11^{ab}$	$-0,10 \pm 0,01^a$	$-1,25 \pm 0,16^a$
Moyenne Hévée + Igname	$-0,15 \pm 0,06$	$-1,99 \pm 0,36$	$-0,11 \pm 0,02$	$-1,24 \pm 0,19$
Moyenne générale	$-0,14 \pm 0,05$	$-2,07 \pm 0,26$	$-0,11 \pm 0,02$	$-1,28 \pm 0,16$
<i>P</i>	0,2905	0,0337	0,2283	0,314

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Ψ_b : Potentiel hydrique foliaire de base ; Ψ_m : Potentiel hydrique foliaire de midi ; *s* : Saison sèche ; *p* : Saison pluvieuse

Tableau XXXVII : Taux moyens d'extraits secs et teneur moyenne en saccharose des hévées du clone IRCA 41

Traitements	Paramètres			
	ExS _{de} (%)	ExS _{fe} (%)	Sac _{de} (m.mol.l ⁻¹)	Sac _{fe} (m.mol.l ⁻¹)
0. Hévée témoin	$46,77 \pm 2,44^a$	$55,24 \pm 3,76^a$	$9,73 \pm 6,90^a$	$19,90 \pm 12,06^a$
1. Hévée associé à l'igname Bacoué dans un trou	$45,91 \pm 4,11^a$	$58,80 \pm 1,87^a$	$9,89 \pm 1,46^a$	$27,77 \pm 6,30^a$
2. Hévée associé à l'igname Bacoué dans une butte	$46,66 \pm 0,82^a$	$52,95 \pm 9,31^a$	$7,36 \pm 3,81^a$	$23,20 \pm 13,30^a$
3. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	$43,76 \pm 1,72^a$	$55,82 \pm 2,55^a$	$6,12 \pm 1,49^a$	$33,53 \pm 1,59^a$
4. Hévée associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	$45,19 \pm 7,31^a$	$57,60 \pm 0,99^a$	$8,19 \pm 3,19^a$	$21,50 \pm 11,01^a$
<i>P</i>	0,9378	0,7682	0,85	0,6543

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **ExS** : Extrait sec ; **Sac** : Saccharose ; **de** : Début d'essai ; **fe** : Fin d'essai ; **ExS** > **43** = Taux d'extraits secs très élevé ; **38** < **ExS** < **43** = Taux d'extraits secs élevé ; **33** < **ExS** < **38** = Taux d'extraits secs moyen ; **29** < **ExS** < **33** = Taux d'extraits secs faible ; **ExS** ≤ **29** = Taux d'extraits secs très faible, **Sac** > **12** = Teneur en saccharose très élevée ; **9** < **Sac** < **12** = Teneur en saccharose élevée ; **6** < **Sac** < **9** = Teneur en saccharose moyenne ; **4** < **Sac** < **6** = Teneur en saccharose faible ; **Sac** ≤ **4** = Teneur en saccharose très faible

3.1.3.2.3.2. Teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols

Le tableau XXXVIII a présenté les teneurs moyennes en phosphore inorganique et en thiols du latex des hévéas IRCA 41. Les résultats ont montré qu'il n'y a pas eu de différence significative entre les différents traitements pour les teneurs moyennes en phosphore inorganique au début de l'expérimentation ($P = 0,7192$).

À la fin de l'expérience, il a été noté une augmentation de la teneur en phosphore inorganique de tous les traitements à l'exception de celui du traitement 1. Toutefois, les traitements ont présenté des teneurs statistiquement identiques ($P = 0,1363$).

Concernant la teneur moyenne en thiols, les résultats obtenus en début d'essai ont indiqué que le traitement témoin (T0) a présenté une concentration moyenne en thiols (R-SH) comparable à celle observée dans les traitements associant l'hévéa à l'igname ($P = 0,3702$). Les teneurs en thiols ont varié entre $0,29 \text{ m.mol.l}^{-1}$ et $0,70 \text{ m.mol.l}^{-1}$. En fin d'expérimentation, l'analyse statistique a révélé qu'il n'existe toujours pas de différence significative entre les traitements ($P = 0,6157$).

Résultats et discussion

Tableau XXXVIII: Teneurs moyennes en phosphore inorganique du latex des hévéas du clone IRCA 41

Traitements	Paramètres			
	Pi _{de} (m.mol.l ⁻¹)	Pi _{fe} (m.mol.l ⁻¹)	R-SH _{de} (m.mol.l ⁻¹)	R-SH _{fe} (m.mol.l ⁻¹)
0. Hévéa témoin	14,66 ± 6,64 ^a	25,97 ± 3,74 ^a	0,41 ± 0,12 ^a	0,63 ± 0,31 ^a
1. Hévéa associé à l'igname Bacoué dans un trou	23,40 ± 10,02 ^a	20,63 ± 2,39 ^a	0,49 ± 0,14 ^a	0,64 ± 0,42 ^a
2. Hévéa associé à l'igname Bacoué dans une butte	15,55 ± 6,65 ^a	19,07 ± 2,19 ^a	0,64 ± 0,30 ^a	0,38 ± 0,17 ^a
3. Hévéa associé à l'igname Soukpataloa dans un trou	13,39 ± 3,75 ^a	28,20 ± 3,18 ^a	0,29 ± 0,10 ^a	0,64 ± 0,22 ^a
4. Hévéa associé à l'igname Soukpataloa dans une butte	17,75 ± 9,60 ^a	25,73 ± 5,68 ^a	0,70 ± 0,31 ^a	0,84 ± 0,17 ^a
<i>P</i>	0,7192	0,1363	0,3702	0,6157

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **Pi** : Phosphore inorganique ; **de** : Début d'essai ; **fe** : Fin d'essai ; **Pi** > **25** = Teneur en phosphore inorganique très élevée ; **20** < **Pi** < **25** = Teneur en phosphore inorganique élevée ; **15** < **Pi** < **20** = Teneur en phosphore inorganique moyen ; **10** < **Pi** < **15** = Teneur en phosphore inorganique faible ; **Pi** ≤ **10** = Teneur en phosphore inorganique très faible, **R-SH** : Teneur en thiols ; **R-SH** > 0,9 = Teneur en thiols très élevée ; 0,80 < **R-SH** < 0,90 = Teneur en thiols élevée ; 0,60 < **R-SH** < 0,80 = Teneur en thiols moyenne ; 0,50 < **R-SH** < 0,60 = Teneur en thiols faible ; **R-SH** ≤ 0,50 = Teneur en thiols très faible

3.1.4. Impact du système hêvéas matures-ignames de sous-bois sur les paramètres hydrodynamiques, physico-chimique et fonctionnels sols

3.1.4.1. Profil pédologique et types de sols

Les caractéristiques morphologiques des sols étudiés ont été présentées suivant différents profils.

- Le profil 1 (latitude 6° 48' 58.59" N et longitude : 6° 26' 46.32" W), ouvert en haut-versant sur la parcelle du clone GT 1 a présenté cinq horizons (Figure 31), du haut vers le bas :
- Horizon A₁₁, allant de 0 - 9 cm de profondeur, sol frais, humifère, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4), structure grumeleuse, texture sablo-argileuse (5 - 10 % argile), très poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition diffuse par la couleur.
- Horizon A₁₂, de 9 - 23 cm de profondeur, frais, humifère, brun rougeâtre (5 YR 4/4), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (10 - 15 % argile), très poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition progressive.
- Horizon A₃, de 23 - 38 cm de profondeur, frais, peu humifère, brun rougeâtre (5 YR 4/4), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (15 - 20 % argile), poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition progressive.
- Horizon B₁₁, de 38 - 67 cm de profondeur, frais, peu humifère, rouge jaunâtre (5 YR 4/6), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (25 - 35 % argile), poreux, quelques rares racines (mm), drainage interne moyen, transition diffuse.
- Horizon B₁₂, de 67 - 100 cm de profondeur, frais, peu humifère, rouge jaunâtre (5 YR 5/6), structure polyédrique sub-anguleuse, texture argilo-sableuse (35 - 45 % argile), poreux, rares racines (mm), drainage interne moyen.

Type de sol : Ferralsol

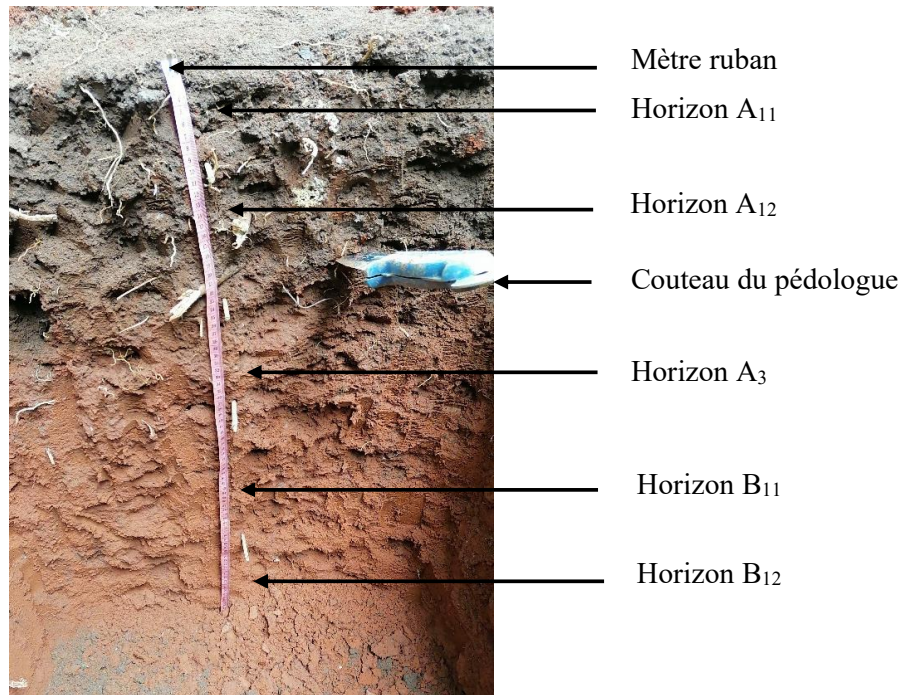


Figure 31: Types de sols observés dans la toposéquence de la parcelle d'hévéas du clone GT 1

- Le profil 2 (latitude : 6° 48' 58.5" N et longitude : 6° 26' 30.78" W) ouvert en mi-versant supérieur sur la parcelle du clone IRCA 41 a présenté quatre horizons (Figure 32). Enumérées du haut vers le bas nous avons :
- Horizon A₁, de 0 - 7 cm de profondeur, frais, humifère, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3), structure grumeleuse, texture argilo-sableuse (10 - 15 % argile), très poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition diffuse par la couleur.
- Horizon A₃, de 7 - 15 cm de profondeur, frais, humifère, brun rougeâtre (5 YR 4/4), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (15 - 25 % argile), poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition progressive.
- Horizon B₁₁, de 15 - 57 cm de profondeur, frais, peu humifère, brun rougeâtre (5 YR 4/4), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (25 - 35 % argile), poreux, peu nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, drainage interne moyen, transition diffuse par la couleur
- Horizon B₁₂, de 57 - 100 cm de profondeur, frais, peu humifère, rouge jaunâtre (5 YR 4/6), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (35 - 45 % argile), poreux, quelques rares racines (mm), drainage interne moyen, transition diffuse

Type de sol : Sol ferrallitique typique modal

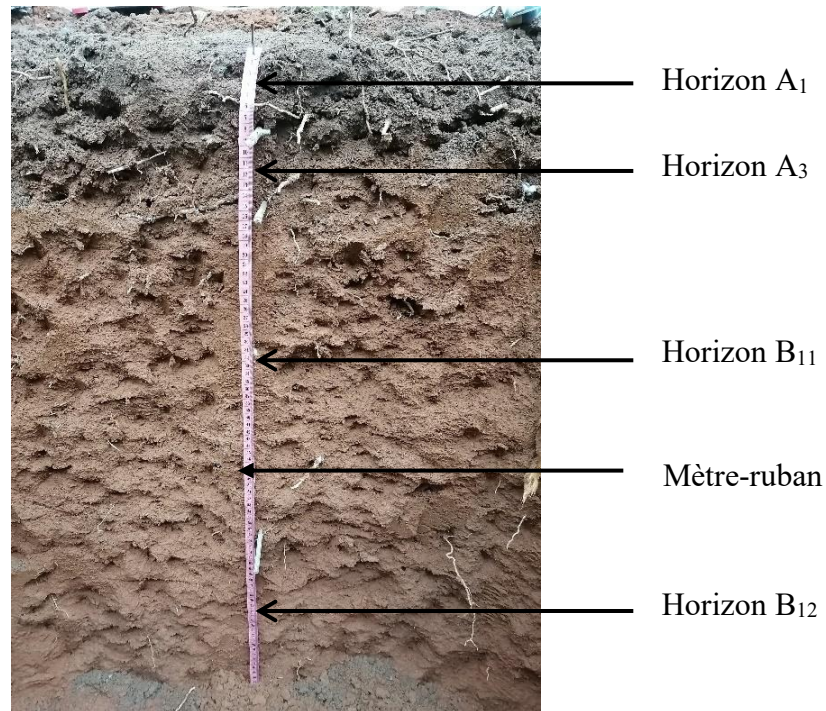


Figure 32 : Types de sols observés dans la toposéquence de la parcelle d'hévéa du clone IRCA 41

- Le profil 3 (latitude : 6° 48' 45.42" N et longitude : 6° 26' 38.6" W) ouvert en mi-versant supérieur sur la parcelle pure d'igname a présenté quatre horizons (Figure 33) :
- Horizon A₁, de 0 - 10 cm de profondeur, sec, humifère, brun rougeâtre foncé (5 YR 4/4), structure grumeleuse, texture sablo-argileuse (5 % argile), très poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition diffuse par la couleur.
- Horizon A₃, de 10 - 23 cm de profondeur, frais, humifère, rouge jaunâtre (5 YR 5/6), structure polyédrique sub-angulaire, texture sablo-argileuse (10 - 15 % argile), très poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, bon drainage interne, transition progressive.
- Horizon B₁₁, de 23 - 39 cm de profondeur, frais, peu humifère, rouge jaunâtre (5 YR 5/8), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (20 - 35 % argile), poreux, nombreuses racines (dm à mm) à orientation préférentielle subhorizontale, drainage interne moyen, transition progressive par la couleur.
- Horizon B₁₂, de 39 - 100 cm de profondeur, frais, peu humifère, rouge jaunâtre (5 YR 5/8), structure polyédrique sub-angulaire, texture argilo-sableuse (35 - 45 % argile), poreux, quelques rares racines (mm), drainage interne moyen, transition diffuse.

Type de sol : Sol ferrallitique typique modal

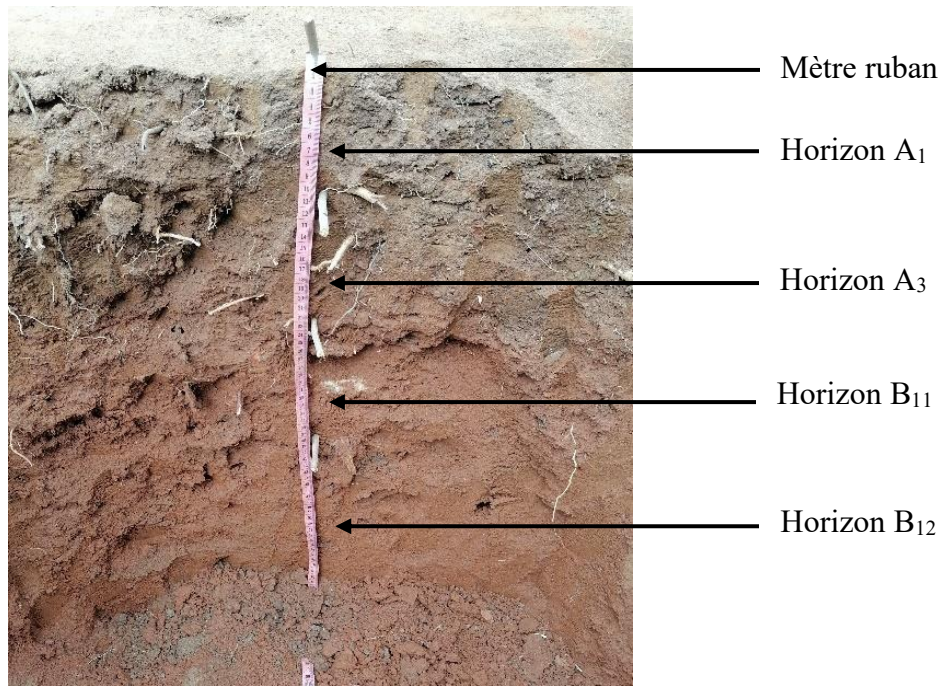


Figure 33: Types de sols observé dans la toposéquence de la monoculture d'igname

3.1.4.2. Paramètres hydrodynamiques du sol

3.1.4.2.1. Perméabilité hydraulique à saturation

Les valeurs des mesures d'infiltration présentées à la figure 34 ont été comprises dans une fourchette de 30 à 60 mm/h. Ces valeurs de perméabilité obtenues ont témoigné une différence significative entre les parcelles d'hévéa et la parcelle d'igname pure ($P = 0,0439$). Les sols étudiés ont présenté une perméabilité modérée (30,58 mm/h) sur la parcelle réservée à la mise en place de l'igname en culture pure et une perméabilité assez bonne pour les sols sous les hévéas du clone GT 1 ($K=50,58$ mm/h) et du clone IRCA 41 ($K = 60,39$ mm/h).

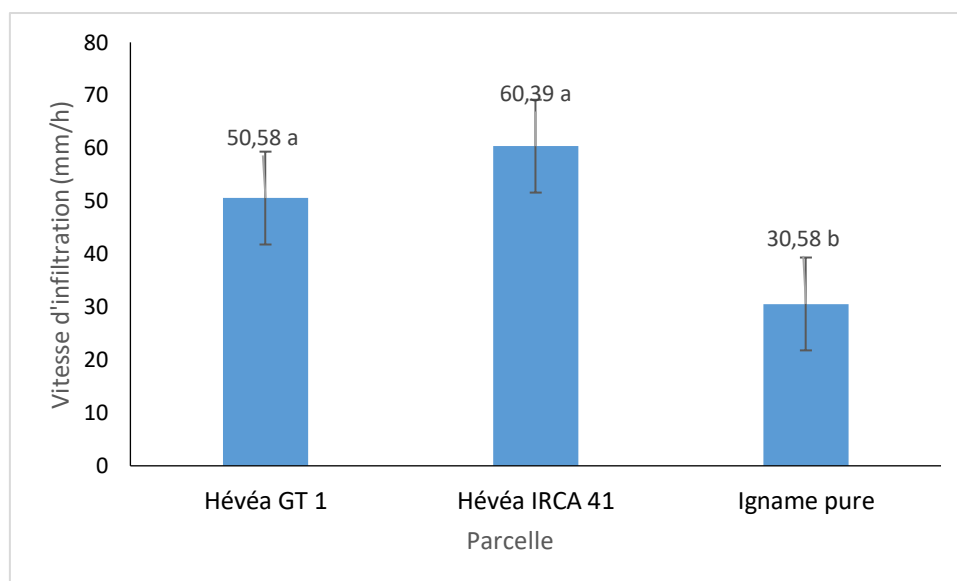


Figure 34 : Vitesse d'infiltration de l'eau dans les 20 premiers cm des sols selon le couvert végétal

3.1.4.2.2. Teneurs en éléments grossiers (Eg %) des sols

La fraction grossière du sol est constituée par les éléments dont la taille est supérieure à 2 mm. Les résultats de l'étude montrent que la charge moyenne en éléments grossiers des sols étudiés a varié entre 0,73 % et 9,6 % (Figure 35). Elle a été inférieure à 10 % quel que soit le type d'occupation des sols (hévéa ou igname pure) et le niveau de profondeur des sols (0-20 et 20-40 cm).

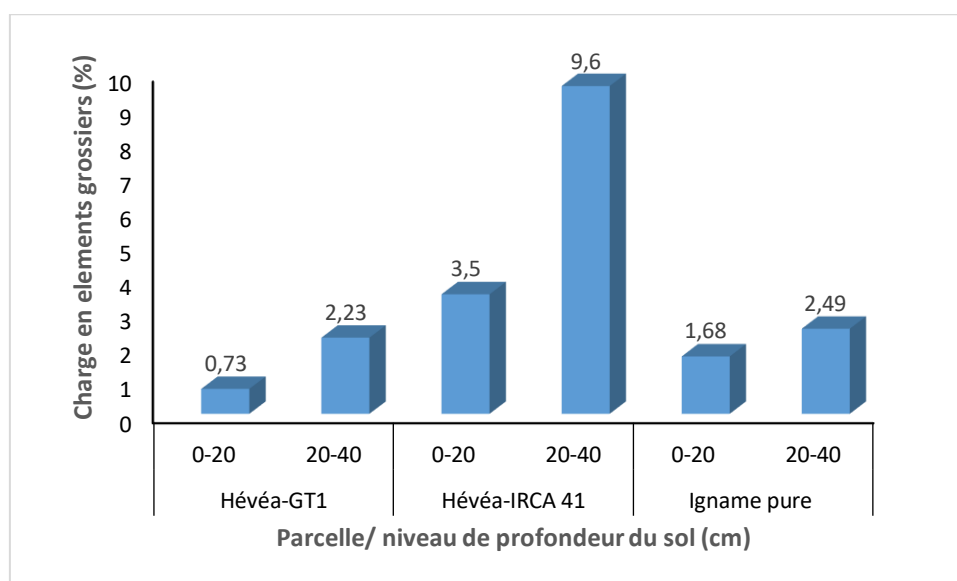


Figure 35 : Distribution de la charge en éléments grossiers des sols des hévéas GT 1 et IRCA 41 et du sol de la monoculture d'igname de sous-bois en fonction de la profondeur

3.1.4.2.3. Distribution de la densité apparente (Da) des sols

Les valeurs de densité apparente (Da) obtenues ont varié de 1,37 à 1,56 g/cm³ suivant l'utilisation des sols et les niveaux de profondeur (Figure 36). La densité a varié de 1,43 à 1,46 g/cm³ sous les hévéas du clone GT 1 ; de 1,37 à 1,54 g/cm³ sous les hévéas du clone IRCA 41 et de 1,5 à 1,56 g/cm³ sur le sol de la parcelle d'igname pure.

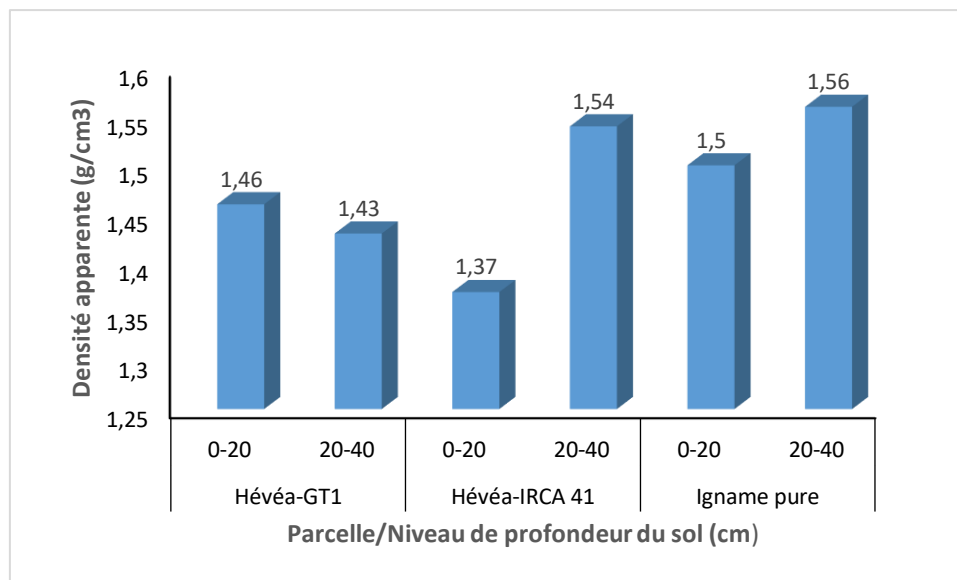


Figure 36: Densités apparentes des sols étudiés

3.1.4.2.4. Capacité de stockage et réserve utile en eau des sols

Une variation du CSE de 5,47 à 7,84 mm a été observée à la figure 37. Ces valeurs obtenues de capacité de stockage en eau ont été très faibles (CSE globalement inférieure à 11 mm). La distribution de la réserve utile en eau (RU) des sols selon l'utilisation et le niveau de profondeur a également été présentée. Les valeurs de la RU obtenues ont été comprises entre 2,4 et 3,9 mm d'eau. Elles ont été globalement très faibles (RU < 75 mm) sur l'ensemble des parcelles.

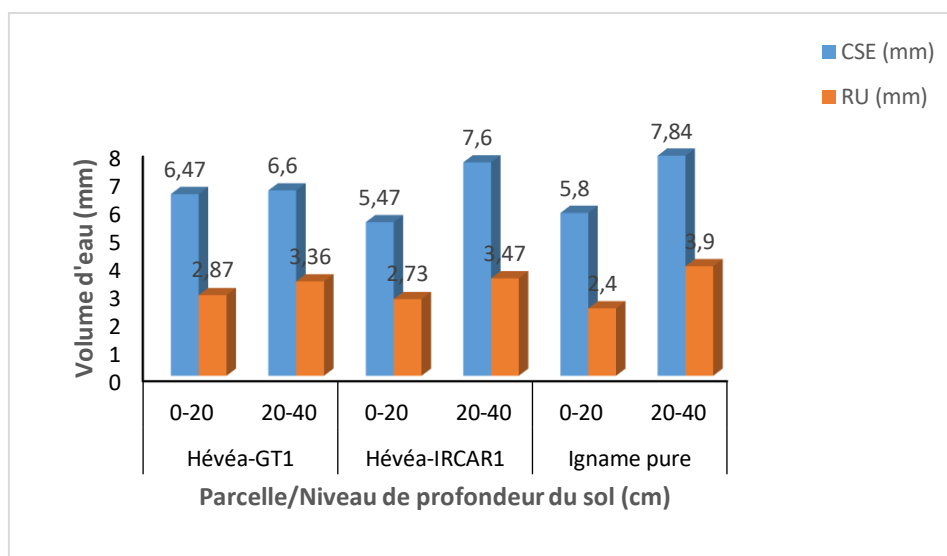


Figure 37: Capacité de stockage en eau et de la réserve utile des sols étudiés

CSE: Capacité de stockage en eau; RU: Réserve utile

3.1.4.3. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Les caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm des sols des trois parcelles expérimentales (GT 1, IRCA 41 et la parcelle pure d'igname constituée des accessions Bacoué et Soukpataloa) au début et à la fin de l'essai sont présentées dans le tableau XXXIX.

Il ressort de ce tableau que sous les hévéas GT 1, l'ensemble des paramètres étudiés n'a pas été influencé par l'essai ($P > 0,05$) à l'exception du phosphore assimilable ($P = 0,0011$) qui a enregistré une augmentation à la fin de l'essai ($33,59 \text{ g.kg}^{-1}$). Le pH n'a pas varié après l'expérimentation, il est resté très acide ($\text{pH} = 5,08$). De même que le pH, les autres paramètres n'ont pas varié il s'agit notamment du carbone, de l'azote, du rapport carbone azote, de la matière organique et des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^{+}).

Sous IRCA 41, aucune différence significative a existé avant et après l'essai ($P > 0,05$) pour les paramètres que sont le pH, le carbone, l'azote, le rapport carbone azote, la matière organique et les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Au niveau du phosphore assimilable, il y a une augmentation de la valeur en fin d'expérimentation ($104,87 \text{ g.kg}^{-1}$). Tandis qu'il est enregistré une diminution du potassium.

En culture pure d'igname de sous-bois, aucune variation significative n'est enregistrée du début à la fin de l'expérimentation ($P > 0,05$) pour l'ensemble des paramètres étudiés à l'exception du phosphore assimilable et du potassium qui ont enregistré une augmentation à la fin de l'essai ($P < 0,05$).

3.1.4.4. Caractéristiques physico-chimiques des feuilles d'ignames et d'hévéas

Les caractéristiques physico-chimiques des feuilles d'ignames et d'hévéas ont été présentées dans le tableau XL. L'analyse a révélé qu'il n'existe aucune différence statistique entre les traitements ($P > 0,05$) au niveau de l'azote (N). Les valeurs ont varié de 2,79 à 3,47 g.kg⁻¹. En ce qui concerne les autres indicateurs notamment, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, l'analyse a montré l'existence d'une différence statistique par traitement ($P < 0,05$). Au niveau des feuilles d'hévéas, celles des hévéas IRCA 41 en culture pure ont présenté plus de phosphore (0,26 mg/kg), de calcium et de magnésium que les autres traitements. Quant aux feuilles d'ignames prélevées en culture, elles ont enregistré des teneurs en phosphore, en potassium, en calcium et en magnésium identiques aux feuilles des ignames associées aux hévéas des clones GT 1 et IRCA 41

Tableau XXXIX: Proportions des éléments chimiques dans les sols étudiés

Parcelles	Traitements	pH eau	C (g.kg ⁻¹)	N (g.kg ⁻¹)	C/N	MO (g.kg ⁻¹)	P.ass (g.kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
GT 1	T1av	5,07 ± 0,10 ^a	1,06 ± 0,10 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	11,78 ± 0,10 ^a	1,70 ± 0,10 ^a	17,23 ± 0,10 ^b	1,14 ± 0,10 ^a	0,74 ± 0,10 ^a	0,36 ± 0,10 ^a
	T1ap	5,17 ± 0,10 ^a	0,97 ± 0,10 ^a	0,08 ± 0,10 ^a	12,12 ± 0,10 ^a	1,64 ± 0,10 ^a	25,84 ± 0,10 ^a	0,74 ± 0,10 ^a	0,46 ± 0,10 ^a	0,58 ± 0,10 ^a
	T2av	5,05 ± 0,26 ^a	1,15 ± 0,09 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	12,77 ± 1,08 ^a	1,83 ± 0,17 ^a	18,73 ± 0,04 ^b	0,80 ± 0,31 ^a	0,52 ± 0,21 ^a	0,22 ± 0,09 ^b
	T2ap	5,08 ± 0,46 ^a	1,15 ± 0,09 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	12,77 ± 1,74 ^a	1,92 ± 0,16 ^a	33,59 ± 12,48 ^a	0,74 ± 0,20 ^a	0,44 ± 0,12 ^a	0,22 ± 0,11 ^b
	<i>P</i>	0,2778	0,8523	0,0603	0,5430	0,2161	0,0011	0,2347	0,4370	0,0001
IRCA 41	T1av	4,77 ± 0,10 ^a	1,43 ± 0,10 ^a	0,12 ± 0,10 ^a	11,91 ± 0,10 ^a	2,71 ± 0,10 ^a	31,95 ± 0,10 ^b	0,84 ± 0,10 ^a	0,54 ± 0,10 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
	T1ap	4,90 ± 0,10 ^a	1,17 ± 0,10 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	11,70 ± 0,10 ^a	1,98 ± 0,10 ^a	37,90 ± 0,10 ^b	0,69 ± 0,10 ^a	0,39 ± 0,10 ^a	0,16 ± 0,01 ^b
	T2av	5,05 ± 0,61 ^a	1,28 ± 0,16 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	12,80 ± 0,92 ^a	2,31 ± 0,26 ^a	48,00 ± 0,77 ^b	1,07 ± 0,19 ^a	0,69 ± 0,12 ^a	0,38 ± 0,23 ^a
	T2ap	4,78 ± 0,15 ^a	1,35 ± 0,09 ^a	0,11 ± 0,02 ^a	12,27 ± 2,29 ^a	2,16 ± 0,14 ^a	104,87 ± 7,64 ^a	0,67 ± 0,10 ^a	0,38 ± 0,07 ^a	0,18 ± 0,04 ^b
	<i>P</i>	0,3054	0,4960	0,7577	0,9991	0,3425	0,0012	0,1098	0,8343	0,0037
Igname pure	T1av	4,80 ± 0,29 ^a	1,20 ± 0,10 ^a	0,11 ± 0,10 ^a	10,90 ± 0,10 ^a	2,11 ± 0,02 ^a	241,00 ± 1,63 ^b	0,75 ± 0,10 ^a	0,39 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^b
	T1ap	4,40 ± 0,01 ^a	1,06 ± 0,10 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	10,60 ± 0,10 ^a	1,74 ± 0,08 ^a	334,63 ± 27,10 ^a	0,53 ± 0,10 ^a	0,36 ± 0,01 ^a	0,38 ± 0,02 ^a
	<i>P</i>	0,8523	0,4370	0,5523	0,6587	0,2475	0,0011	0,2161	0,6033	0,0277

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **pH** : Potentiel hydrogène, **C** : Carbone, **N** : Azote, **C/N** : Rapport carbone azote, **MO** : Matière organique, **Ca** : Calcium, **Mg** : Magnésium, **K** : Potassium **T1** : Hévéas non associés aux ignames de sous-bois (GT 1, IRCA 41) ; **T2** : Ignames de sous-bois Bacoué et Soukpataloa associées aux hévéas matures (GT 1, IRCA 41) ; **T1l** : Ignames de sous-bois Bacoué et Soukpataloa en monoculture ; **av** : Avant l'expérimentation ; **ap** : Après l'expérimentation

Tableau XL: Proportions des éléments chimiques dans les feuilles d'ignames et d'hévéas

Spécifications	Traitements	Paramètres				
		N	P (mg/kg)	K	Ca	Mg
Feuilles d'ignames	Culture pure (témoin)	2,79 ± 0,29 ^a	0,16 ± 0,01 ^b	1,76 ± 0,77 ^{ab}	1,28 ± 0,06 ^{ab}	0,27 ± 0,02 ^{ab}
	GT 1	3,27 ± 0,24 ^a	0,15 ± 0,02 ^b	1,15 ± 0,14 ^b	1,22 ± 0,05 ^{ab}	0,27 ± 0,01 ^{ab}
	IRCA 41	3,40 ± 0,29 ^a	0,24 ± 0,06 ^{ab}	1,57 ± 0,10 ^{ab}	1,20 ± 0,04 ^{ab}	0,27 ± 0,01 ^{ab}
Feuilles d'hévéas	GT 1 témoin	2,95 ± 0,12 ^a	0,14 ± 0,02 ^b	2,14 ± 0,46 ^a	1,34 ± 0,22 ^{ab}	0,27 ± 0,01 ^{ab}
	GT 1 associé	3,14 ± 0,38 ^a	0,17 ± 0,05 ^b	1,30 ± 0,28 ^{ab}	0,88 ± 0,18 ^c	0,20 ± 0,04 ^b
	IRCA témoin	3,46 ± 0,77 ^a	0,26 ± 0,03 ^a	1,30 ± 0,20 ^{ab}	1,57 ± 0,06 ^a	0,35 ± 0,02 ^a
	IRCA associé	2,98 ± 0,96 ^a	0,21 ± 0,07 ^{ab}	1,60 ± 0,39 ^{ab}	1,09 ± 0,31 ^b	0,24 ± 0,06 ^{ab}
<i>P</i>		0,1970	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. **N** : Azote, **Ca** : Calcium, **Mg** : Magnésium, **K** : Potassium

3.1.4.5. Indicateurs Biofunctool

Dans le tableau XLI a été présentée la moyenne des différents indicateurs Biofunctool selon les mesures effectuées sous les hêvéas témoins ou associés aux ignames de sous-bois et celles prises en culture pure d'igname (témoin). Il est constaté une différence significative ($P < 0,05$) des traitements au niveau de tous les indicateurs Biofunctool mesurés. La culture pure d'igname a enregistré les plus petites valeurs d'agrégats de surface (AggSurf), de profondeur (AggSoil), d'infiltration de l'eau dans le sol (Beerkan), de la structure d'un bloc de sol (VESS) et de la respiration basale du sol (SituResp). Elle a par contre obtenu les plus grandes valeurs de pool labile de carbone organique du sol (POXC) et d'activité mésofaune de même que la petite macrofaune (Lamina).

3.1.4.6. Impact du système hêvéa-igname sur les propriétés fonctionnelles du sol

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) intégrant sept indicateurs du sol, a montré que l'état des sols a été influencé par le système de culture pratiqué (Figure 38). Les deux premiers axes mis ensemble permettent d'observer 55,52 % de variabilité des données analysées avec 32,31 % sur l'axe 1 et 23,21 % pour l'axe 2. L'ACP a permis de différencier les parcelles d'hêvéa où les ignames de sous-bois sont associées ou non à l'hêvéa de la parcelle pure d'igname. Cette dernière est caractérisée (T5 : parcelle d'igname témoin) par 3 indicateurs que sont la structure d'un bloc de sol (VESS), l'activité mésofaune de même que la petite macrofaune du sol (Lamina) et le pool labile de carbone organique du sol (POXC), tandis que les parcelles d'hêvéa où les ignames de sous-bois sont associées ou non à l'hêvéa (T1, T2, T3 et T4) se caractérisent par les 4 autres indicateurs : la respiration basale du sol (SituResp), les agrégats de surface et de profondeur (AggSurf, AggSoil) et l'infiltration de l'eau dans le sol (Beerkan).

Tableau XLI: Score normalisé (Si) de l'hévéa ou de l'igname en condition de culture pure ou en association sur les indicateurs de la qualité des sols

Traitements	Paramètres						
	AggSurf	AggSoil	Beerkan	VESS	SituResp	POXC	Lamina
GT 1-témoin	0,95 ± 0,03 ^a	0,99 ± 0,02 ^a	0,29 ± 0,21 ^b	0,74 ± 0,01 ^b	0,26 ± 0,17 ^b	0,82 ± 0,08 ^b	0,70 ± 0,10 ^{ab}
GT 1 Igname	0,99 ± 0,02 ^a	0,99 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,09 ^b	0,80 ± 0,03 ^{ab}	0,35 ± 0,39 ^{ab}	0,83 ± 0,17 ^b	0,60 ± 0,20 ^b
IRCA 41-témoin	0,94 ± 0,07 ^a	0,97 ± 0,03 ^a	0,59 ± 0,36 ^{ab}	0,89 ± 0,13 ^a	0,48 ± 0,45 ^a	0,92 ± 0,09 ^a	0,70 ± 0,10 ^{ab}
IRCA 41 Igname	0,99 ± 0,02 ^a	0,99 ± 0,02 ^a	0,79 ± 0,19 ^a	0,83 ± 0,11 ^{ab}	0,22 ± 0,07 ^b	0,88 ± 0,14 ^{ab}	0,50 ± 0,10 ^c
Igname-témoin	0,81 ± 0,31 ^b	0,95 ± 0,02 ^b	0,29 ± 0,15 ^b	0,74 ± 0,06 ^b	0,03 ± 0,03 ^c	1,00 ± 0,00 ^a	0,80 ± 0,20 ^a
<i>P</i>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0239	0,0001	0,0003	0,0077

Dans chaque colonne, les valeurs accompagnées par les mêmes lettres pour chaque paramètre désigné ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls ; AggSurf : agrégats de surface ; AggSoil : agrégats de profondeur ; Beerkan : infiltration de l'eau dans le sol ; VESS : structure d'un bloc de sol ; SituResp : respiration basale du sol ; POXC : pool labile de carbone organique du sol et Lamina : activité mésofaune et la petite macrofaune

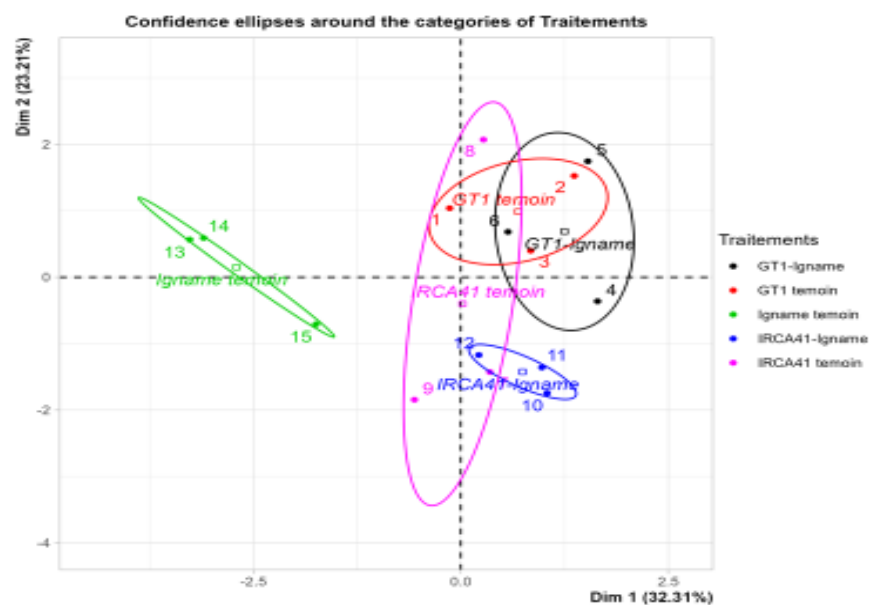


Figure 38: Analyse en Composantes Principales des indicateurs de la santé des sols

3.1.4.7. Indice global de la santé des sols dans le système agroforestier hévée-igname

L'indice de maintien de la structure des sols et de la dynamique du carbone des traitements a été présenté à la figure 39. La santé des sols n'a pas significativement varié d'un traitement à un autre ($P = 0,2845$). Elle est statistiquement identique aussi bien dans l'association culturale (igname-hévée mature), en culture pure d'hévée qu'en culture pure d'igname.

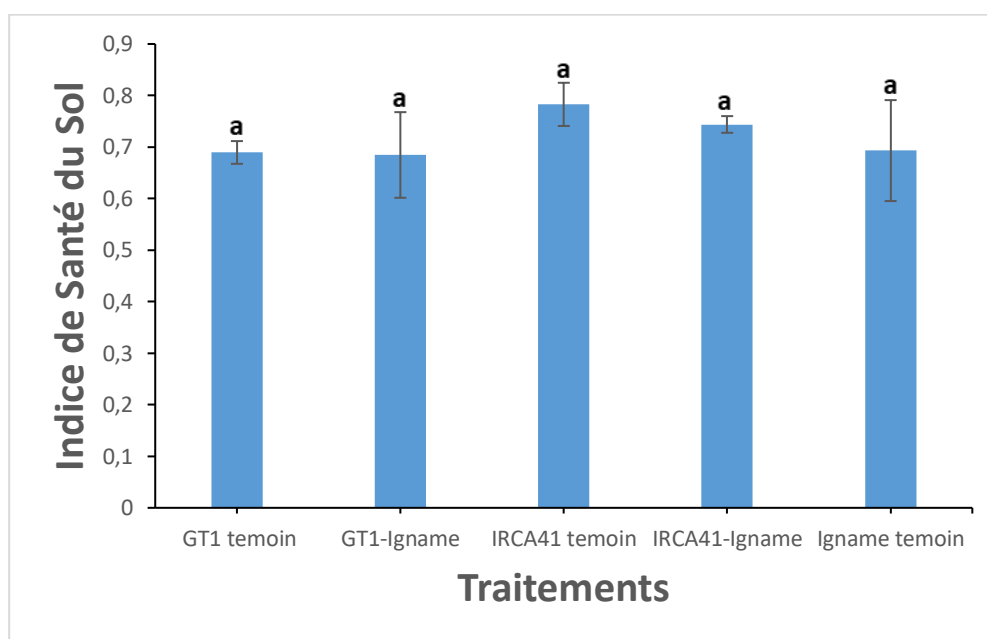


Figure 39: Indice global de la santé des sols

3.2. Discussion

3.2.1. Description des systèmes de culture des ignames de sous-bois dans les zones agroécologiques de production de la Côte d'Ivoire

Les systèmes de culture des ignames de sous-bois observés dans les régions visitées ont été l'association des ignames de sous-bois avec les cacaoyers (54 %), les anacardiens (28 %), les caféiers (7 %), les arbres fruitiers (5 %), les hévéas (4 %) et les palmiers à huile (2 %). Ce résultat pourrait s'expliquer d'une part, par les habitudes agricoles adoptées par les producteurs. En effet, les premiers agriculteurs qui ont introduit ces ignames en Côte d'Ivoire, les cultivaient déjà en association avec des espèces pérennes. Ainsi, ces pratiques actuelles traduisent donc une volonté de perpétuer une logique culturelle approuvée, transmise d'une génération à une autre. Par ailleurs, cette étude a permis de mettre en évidence six systèmes agroforestiers différents, un résultat qui est au-dessus de ceux obtenus par Ruf (2010) au Ghana, où l'association des ignames de sous-bois était essentiellement observée sous les cacaoyers. Surement parce que les vergers de cacaoyer sont les plus répandus avec les plus grandes surfaces cultivées. Cette différence pourrait s'expliquer par une curiosité agricole plus marquée chez les planteurs ivoiriens, qui expérimentent différentes associations en fonction des espèces pérennes disponibles sur leurs parcelles. D'autre part, la présence de plusieurs systèmes pourrait s'expliquer par les avantages agroécologiques et économiques qu'ils offrent. Sur le plan technique, les cultures pérennes fournissent un ombrage utile et facilitent le tuteurage naturel des ignames, réduisant ainsi les besoins en tuteurs externes. Aussi, sur le plan économique, ces associations permettent de diversifier les sources de revenus, en combinant cultures vivrières (igname) et de rente (cacao, anacarde, etc.). En effet, l'association des cultures annuelles aux arbres inclut plusieurs avantages dont le revenu généré par la vente des deux produits, le contrôle des mauvaises herbes et la sécurité alimentaire pour les ménages (Balogoun *et al.*, 2014). Ces systèmes de cultures agroforestiers pourraient par conséquent représenter une voie prometteuse pour renforcer la sécurité alimentaire, comme le suggèrent les travaux de Maliki (2013) et de Cornet (2015).

Les travaux ont révélé par ailleurs que la proportion du système cacaoyer-igname a été la plus élevée suivie du système anacardier-igname. Ces résultats corroborent ceux de Kouakou *et al.* (2019) qui stipulent qu'au Cameroun comme en Côte d'Ivoire, l'association cacaoyer-igname est la plus fréquente. De tels résultats pourraient s'expliquer par le fait que le cacaoyer et l'anacardier soient plus aptes à favoriser un développement optimal des ignames vu que les arbres ne sont pas de très grande taille. Ainsi, les ignames de sous-bois cultivées sous ces

derniers, par leurs tiges, capteraient le maximum de rayonnement lumineux afin de réaliser leurs photosynthèses. Cependant, les systèmes qui combinent les hévéas aux ignames de sous-bois ont été les moins répandus. Ce résultat pourrait s'expliquer, d'une part, par l'origine même de cette igname. En effet, introduite du Ghana, l'igname de sous-bois y était traditionnellement cultivée sous couvert de cacaoyers et les bénéfices pour les producteurs étaient largement reconnus (Ruf, 1995). Cette pratique, bien ancrée dans les habitudes agricoles, s'est perpétuée au fil du temps à travers une transmission intergénérationnelle des savoirs. D'autre part, la quasi-absence de son association avec l'hévéa pourrait résulter de plusieurs facteurs ; une certaine appréhension de cette pratique, un manque d'information ou encore la réticence des producteurs à compromettre la performance de leur culture principale. En effet, les producteurs pourraient redouter que les opérations culturales liées à la mise en place de l'igname, notamment la confection des buttes ou des trous, n'endommagent les racines superficielles des hévéas. Ils pourraient aussi craindre une éventuelle transmission de maladies de l'igname vers l'hévéa, ce qui pourrait réduire la production de latex. En réalité, cette méfiance s'explique en grande partie par l'absence de références locales. Personne ne leur a encore prouvé que l'association hévéa-igname de sous-bois peut être réalisée sans avoir de danger sur leurs hévéas.

En ce qui concerne l'âge des arbres des cultures pérennes en association avec les ignames de sous-bois, il a été variable selon les systèmes. En moyenne, l'âge des arbres a été de 20,13 ans pour les cacaoyers, 12,85 ans pour les anacardiés et 7,63 ans pour les hévéas. L'association des ignames de sous-bois est pratiquée dans les plantations adultes principalement des cultures pérennes que sont le cacaoyer et l'anacardier. Ces résultats sont conformes à ceux de Hamon *et al.* (1986) qui affirment que les cultivars d'ignames de sous-bois tels que Cocoassié (*D. rotundata*), Cocomisénié (*D. cayenensis*) et Bolodja (*D. cayenensis*) sont en majorité cultivés sous des vergers adultes de cacaoyers et d'anacardiés par les producteurs en Côte d'Ivoire, avec des rendements satisfaisants. Quant aux systèmes hévéa-igname, ils sont pratiqués en général dans les jeunes hévéas. Cela pourrait s'expliquer par le fait que durant cette période, l'hévéa présente un ombrage partiel et une disponibilité en lumière (Ollivier, 2000), ce qui rend propice l'introduction de l'igname. Ces ignames pourront ainsi bénéficier de cette quantité de lumière qui pénètre dans la plantation de sorte à réaliser la photosynthèse et mieux se développer (Adifon *et al.*, 2019). En revanche, dès que l'hévéa atteint la maturité physiologique et entre en production, les producteurs ont tendance à éviter toute culture intercalaire. Cette réticence s'explique d'une part par la crainte d'endommager les racines superficielles, mais également par la densité accrue de la canopée, qui réduit

considérablement la luminosité au sol, limitant ainsi le développement des cultures (Ollivier, 2000).

L'analyse a, par ailleurs, indiqué que les systèmes de cultures d'ignames de sous-bois sont en majorité pratiqués sur des sols gravillonnaires. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que ces sols offrent un milieu léger, drainant et non compact, qui favorise à la fois la croissance du tubercule, la prévention des maladies et surtout la qualité de l'igname récoltée. Nos résultats sont en accord avec ceux de Mollard et Walter (2008) ; pour ces auteurs, les ignames sous-bois poussent difficilement dans un sol compact dont la texture dure et dense freine la croissance.

Les résultats obtenus ont également mis en évidence une grande diversité d'ignames de sous-bois cultivées par les producteurs. Au total, vingt-deux accessions, identifiées sous divers noms vernaculaires, ont été recensées lors des enquêtes. Ce nombre s'avère nettement supérieur à celui rapporté par Hamon *et al.* (1986), qui avaient identifié seulement quelques ignames de sous-bois notamment *Cocoassié*, *Cocomisé*, *Bolodja*, *Assobayéré*, *Issicounbayéré* et *Ya*. De même, Kouakou *et al.* (2019), dans une étude portant sur les systèmes de culture des ignames en Côte d'Ivoire, ont mentionné l'existence de *Cocoassié*, *Cocomisé* et *Bolodja*. La richesse variétale révélée au cours de notre investigation pourrait s'expliquer par le plus large éventail géographique couvert. Contrairement aux précédentes études, ce travail a été mené dans plusieurs zones de production d'ignames de sous-bois, ce qui a permis d'enregistrer une plus grande diversité. Parmi les accessions recensées, les plus cultivées sont : *Cocoassié blanc*, *Cocoassié rouge*, *Cocoassié jaune*, *Bacoué*, *Soukpataloa* et *Bolodja*. Ce choix pourrait être attribué à leurs qualités gustatives appréciées, à leurs rendements élevés, ainsi qu'à leur valeur nutritionnelle. En effet, selon N'Goran *et al.* (2024), les ignames de sous-bois, en particulier *Cocoassié blanc*, constituent des aliments riches en glucides, contribuant de manière significative à la sécurité alimentaire des populations en milieu rural.

Pour ce qui est du cycle de culture des variétés d'ignames de sous-bois associées aux cultures pérennes, il a varié entre 8 et 12 mois. Ces résultats sont en accord avec ceux de Cornet (2015) et Adifon *et al.* (2019). Pour ces auteurs, le cycle de culture de l'igname s'étale sur une période de 8 à 12 mois. Toutefois, pour la même accession, le cycle de production diffère selon la culture pérenne. Ainsi, sous les hévéas le cycle est plus long contrairement à la culture sous palmier à huile et sous les anacardiés. Un tel résultat s'expliquerait par le fait que l'hévéa mature soit un très grand arbre en dessous duquel l'intensité lumineuse est faible, ce qui ralentit le processus de photosynthèse et donc le développement de l'igname. Les résultats ont également révélé que la culture de ces ignames se fait traditionnellement, ne nécessitant aucun

intrant chimique (57 %) ni d'outil mécanique dans le système hévéa-igname. Ce choix pourrait s'expliquer par le fait que chaque année les hévéas produisent une quantité importante de litière par les feuilles mortes et les petites branches (CIRAD, 1992). Cette matière organique, en se décomposant, enrichit naturellement le sol en éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium), améliore la structure du sol et sa capacité de rétention d'eau et stimule la vie microbienne essentielle à la fertilité.

Le semis de ces ignames se fait par buttage au niveau de tous les systèmes étudiés, mais exceptionnellement sous les hévéas, 30 % des producteurs pratiquent en plus le semis direct. En effet, la culture de l'igname sur butte ou billon facilite le drainage et la récolte des tubercules (Cornet, 2015). La densité moyenne d'association des ignames de sous-bois a été plus élevée sous les hévéas (74,15 buttes/ha). En comparaison avec le système hévéa-igname, les densités d'association cacaoyers-ignames (42,71 buttes/ha) et anacardiers-ignames (30,20 buttes/ha) sont moins variables entre les régions. Ces résultats traduisent la non-maitrise des densités d'association des ignames de sous-bois avec les cultures pérennes, surtout pour l'hévéa.

En ce qui concerne la production, les résultats ont indiqué que les systèmes de cultures hévéa-igname, cacaoyer-igname et anacardier-igname ont présenté en moyenne trois tubercules par butte avec un poids moyen de 12 kg par tubercule. Toutefois, les rendements moyens en ignames de sous-bois ont été plus élevés avec le système de culture hévéa-igname (2 669,4 kg/ha) contrairement aux systèmes cacaoyer-igname (1 665,72 kg/ha) et anacardier-igname (1 177,92 kg/ha). Un tel résultat pourrait s'expliquer par la différence qui existe au niveau de la densité de semis des ignames de sous-bois. Cette densité est bien plus élevée sous les hévéas que sous les autres systèmes. Pour ces trois systèmes pratiqués, le rendement de l'igname de sous-bois est supérieur à 1 tonne/ha. Ces résultats impliquent que les ignames de sous-bois pourraient être utilisées pour accroître la production de l'igname en Côte d'Ivoire. Cependant, ce rendement est en dessous de celui enregistré par N'Goran *et al.* (2007). Ces auteurs ont enregistré un rendement moyen en igname de 7 à 12 t/ha avec les ignames en monoculture. Toutefois, ces systèmes agroforestiers sont à améliorer pour une meilleure production de l'igname.

Conclusion partielle

La présente étude a révélé six systèmes agroforestiers incluant les ignames de sous-bois, notamment l'association des ignames de sous-bois aux cacaoyers, aux anacardiés, aux hévéas, aux caféiers, aux arbres fruitiers et aux palmiers. Toutefois, dans ce complexe, les moins représentés sont les associations hévéas avec les ignames de sous-bois. Ces associations sont réalisées dans les jeunes plantations d'hévéa (7,63 ans en moyenne) et quelquefois dans les plantations matures éclaircies dans la région de l'Ouest. Les variétés d'ignames de sous-bois cultivées sont généralement le Cocoassié blanc, le Cocoassié rouge, le Cocoassié jaune, le Bacoué, le Soukpataloa et le Bolodja. Ces ignames de sous-bois sont en majorité cultivées sur des sols gravillonnaires. Les opérations culturales sont généralement manuelles (100 %) sans aucun traitement chimique (57,14 %) et d'apport d'engrais chimiques. Le rendement de ses ignames est faible avec des densités d'association très variables d'une région à une autre. Bien que ce système hévéa-igname soit pratiqué avec les jeunes hévéas, il demeure inexistant dans les plantations matures caractérisées par un ombrage dense. Par ailleurs, les effets d'un tel système sur ses différentes composantes, notamment l'hévéa et l'igname, restent méconnus. Ainsi, la seconde étude sera relative à l'évaluation du système hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres de croissance et de production des ignames.

3.2.2. Impact du système agroforestier hévéa mature-igname de sous-bois sur la croissance et la production des ignames

Plusieurs études ont permis de montrer la possibilité d'introduire certaines espèces vivrières ou pérennes en intercalation avec les hévéas pendant les 3 à 4 premières années de plantation, sans danger pour les plants d'hévéas (Kéli *et al.*, 2005 b). En revanche, les associations incluant les hévéas matures aux espèces cultivées sont peu documentées et conduisent pour la plupart à des échecs à cause de l'importante canopée que développent les hévéas et qui empêche les cultures associées de bien croître et se développer (Thierry, 2005). Cette étude a consisté à associer aux hévéas matures deux accessions de *Dioscorea* sp. qui ont pour particularité de pousser aussi bien sous les arbres et arbustes qu'en monoculture afin d'évaluer leur performance agro-morphologique. De manière globale, les deux accessions d'igname de sous-bois Bacoué et Soukpataloa étudiées, semées dans une butte ou dans un trou, ont eu de meilleures performances en monoculture que sous les hévéas.

Les résultats montrent qu'en monoculture (témoin), Bacoué et Soukpataloa ont enregistré des taux de levée de 94,44 % et 88,89 % respectivement ; ces taux sont proches de ceux obtenus par Sankara (2017) qui a mesuré sur *Dioscorea alata* des taux de germination de

plus de 90 %. Les travaux déjà rapportés par Soro *et al.* (2003) ont montré qu'un taux de levée supérieur à 80 % traduit la bonne santé physiologique des semences. De nos résultats, nous pouvons affirmer que les semences d'ignames de sous-bois utilisées sont de bonne qualité physiologique. Cependant, une variabilité a été observée entre l'accession Bacoué et Soukpataloa pour les caractères agro-morphologiques étudiés. D'abord, la durée de levée entre les deux accessions a varié de 14 jours. Ensuite, le diamètre au collet de Bacoué a été plus important comparé à celui de Soukpataloa. Enfin, la divergence entre les deux accessions a été remarquable dans la date d'apparition de la première feuille. L'accession Soukpataloa a été la première à produire une feuille. Cette variabilité dans les paramètres mesurés suggère que les deux accessions collectées dans deux régions de la Côte d'Ivoire sont différentes. Ces constats sont similaires à ceux de N'Goran (2023) qui en étudiant la diversité agro-morphologique d'une collection de 40 accessions d'ignames de sous-bois dont Soukpataloa et Bacoué a affirmé qu'elles appartiennent à des classes différentes. C'est ainsi que, sur la base des critères morphologiques, Soukpataloa est placée dans la classe 1 caractérisée par des feuilles de couleur vert foncé, la tige recouverte d'épines moyennes recourbées vers le haut, tandis que Bacoué s'inscrit dans la classe 3 avec un feuillage de couleur vert-violacé et une forte densité d'épines. La présence d'une importante diversité principalement pour les paramètres de croissance et de développement au sein du genre *Dioscorea* a déjà été mentionnée par plusieurs auteurs (Siqueira *et al.*, 2012 ; Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2014). Par contre, sur la base de nos observations, les deux accessions n'ont pas montré de différence en ce qui concerne la vitesse de croissance de la tige, la surface spécifique foliaire, le potentiel hydrique foliaire et la production en masse de tubercule par butte ou par trou. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Cornet *et al.* (2005). Selon ces auteurs, les ignames plantées par trouaison à travers le couvert sans buttage ont un rendement qui est réduit de 20 à 40 % comparé à l'igname plantée en butte. Ils estiment par ailleurs que l'absence de travail du sol avant le semis des ignames a probablement gêné la croissance des tubercules. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que pour les deux modes de semis, le sol a été travaillé de manière appropriée. Ces activités de préparation de terrain ont favorisé une croissance adéquate des tubercules. Les ignames semées selon les deux modes de semis n'ont pas présenté de différences notables. Par conséquent, les accessions d'igname de sous-bois étudiées dans cette étude peuvent être semées aussi bien dans les trous que dans les buttes.

Sous les hévéas comme en monoculture, les deux accessions se sont montrées non seulement divergentes pour les caractères mesurés, mais ont eu également une croissance et un développement plus tardifs. Ainsi, les durées de levée des accessions Bacoué (179,19 jours sous

GT 1 et 205,43 jours sous IRCA 41) et Soukpataloa (58,18 jours et 79,69 jours respectivement sous GT 1 et IRCA 41) sous les hévéas matures ont été plus longues qu'en monoculture. Il en est de même pour le délai moyen d'apparition de la première feuille, la vitesse de croissance et la surface spécifique foliaire des ignames qui ont été plus grandes sous les hévéas. Aussi, le taux de levée des ignames a été plus faible comparé au témoin. Ainsi, pour des taux de levée de 94,44 % et 88,89 % en monoculture, sous hévéas GT 1, les taux ont été respectivement de 66,67 % et 70,83 % pour Bacoué et Soukpataloa. Ces taux ont été respectivement de 58,33 % et 66,67 % pour Bacoué et Soukpataloa sous IRCA 41. Ces résultats démontrent que les interlignes des hévéas matures peuvent être valorisées par la culture des plantes de grande consommation comme l'igname. Nos résultats confirment ceux de Kouadio *et al.* (2021) qui ont démontré que les caféiers cultivés en association avec des doubles rangées d'hévéas matures espacées de 33 mètres produisent autant à l'hectare que ceux en culture pure. Le taux de levée des semences d'ignames sous hévéas, bien qu'inférieur à celui obtenu en monoculture, présente des valeurs supérieures à celles de certaines plantes cultivées sous ombrage. Il s'agit notamment de *Cyperus esculentus* qui enregistre un taux de germination de 28,9 % sous ombrage (Dodet, 2006) et du manioc dont le taux de germination est très faible (moins de 5 %) sous ombrage (Adjata *et al.*, 2015). Aussi, la vitesse d'élongation de la tige sous les hévéas a-t-elle été un facteur de grande divergence entre les deux accessions. L'accession Bacoué semée sous les hévéas des clones GT 1 et IRCA 41 a eu une vitesse de croissance de la tige plus élevée. Selon Zoundjiekpon (1993), la vitesse de croissance est un facteur discriminant entre les variétés d'igname et la hauteur est parmi les paramètres morphologiques qui prédit au mieux la performance d'un plant (Boukhari *et al.*, 2013). De ces affirmations, il est possible d'attester de la vigueur et de la performance de Bacoué. L'une des performances présentées également par Bacoué a été un retard considérable dans l'apparition de ses feuilles. Ce retard s'explique par le fait que les réserves nutritives mobilisées par les racines de la plante sont utilisées pour l'élongation de la tige à la recherche de luminosité se trouvant à la cime de l'hévéa (Tousignant & Delore, 2006). L'apparition tardive des feuilles chez Bacoué est un avantage qui lui permet d'atteindre la canopée de l'hévéa, et donc de sortir du sous-bois ombragé avant d'émettre les premières feuilles (Cornet, 2015). Ce caractère est un mécanisme d'adaptation très important pour la culture des ignames dans les hévéas. Une autre stratégie d'adaptation à l'ombrage des accessions étudiées a été le développement des feuilles plus larges qu'en conditions de monoculture. Les larges feuilles leur permettent sous ombrage de capter le maximum de rayons lumineux afin de réaliser la photosynthèse. Cette augmentation de la taille des feuilles sous ombrage a aussi été observée chez *D. alata* (Cornet, 2005). Selon Reddy *et al.* (1989), la surface

spécifique foliaire est connue pour varier selon le stade et les conditions de culture. Lorsque Bacoué est semée sous les hévéas, elle présente un cycle de culture plus long (338,27 et 352 jours respectivement sous GT 1 et IRCA 41) que celui de Soukpataloa (244,29 et 245,88 jours respectivement sous GT 1 et IRCA 41). Toutefois, en monoculture, le cycle de ces deux accessions est quasiment identique. Il semble donc que Bacoué, dans un environnement ombragé, requiert plus de temps pour atteindre la maturité. Ces observations nous conduisent à penser que cette accession est particulièrement plus sensible à l'ombrage créé par les hévéas matures, ce qui prolongerait son cycle de culture sous les hévéas tandis que Soukpataloa fait preuve de plus de tolérance. Nos résultats corroborent ceux décrits par Cornet (2005). En effet, cet auteur souligne qu'il existe une grande variabilité de réponse à l'ombrage selon l'espèce cultivée. Ainsi, *Dioscorea alata* montre une plus grande tolérance à un ombrage partiel de 50 %, ce qui n'est pas le cas pour *Dioscorea rotundata*. De plus, Cornet affirme que l'ombrage impacte particulièrement les premiers stades de développement de l'igname, ce qui entraîne une croissance très lente et par conséquent un allongement du cycle de production.

Malgré tous les mécanismes mis en place sous les hévéas, la production enregistrée avec les accessions Bacoué et Soukpataloa est moins élevée comparativement à celle obtenue en culture pure (témoin). Ce résultat serait imputable au recouvrement des ignames par l'ombrage des hévéas créant une compétition pour la lumière et ralentissant le phénomène de la photosynthèse. Vaillant *et al.* (2005) affirment que la photopériode a un effet sur le développement de l'igname. En effet, elle est l'un des facteurs physiques les plus importants qui influence la tubérisation de l'igname (Dibi *et al.*, 2016) et par ricochet le rendement. La production enregistrée sous les hévéas a augmenté de la première année à la deuxième année passant de 9,92 kg/ha à 52,08 kg/ha chez l'accession Bacoué sous GT 1. Soukpataloa a enregistré une production qui a évolué de 14,26 kg/ha à 39,06 kg/ha. Il en est de même sous IRCA 41. Bien que cette production d'ignames sous les hévéas soit faible, les résultats obtenus après deux années d'expérimentations démontrent que les interlignes des hévéas matures peuvent être occupées par la culture de l'igname. Ainsi, avec le temps, ces ignames s'enracinent et grossissent progressivement.

Conclusion partielle

Cette étude a montré que les ignames de sous-bois, plantées dans une butte ou dans un trou, peuvent croître et se développer sous l'ombrage des hévéas matures. Cette performance est illustrée par un taux de levée supérieur à 58 %. De plus, ces ignames développent divers mécanismes d'adaptation qui favorisent leur développement optimal, notamment par des feuilles plus larges et une évolution rapide de la hauteur des tiges. L'accession Bacoué s'est par ailleurs distinguée par une durée de levée plus longue, une apparition tardive des feuilles et un cycle de culture plus long. Cependant, sa vitesse de croissance a été la plus forte. La production moyenne des ignames de sous-bois a évolué de la première année à la seconde année. Ainsi, l'association de l'igname de sous-bois aux hévéas matures pourrait être recommandée aux hévéaculteurs afin d'augmenter la production de l'igname et par ricochet résoudre le problème d'insécurité alimentaire.

3.2.3. Effet du système agroforestier hévéa mature - igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques des hévéas

Au bout de 24 mois d'expérimentation, les résultats ont révélé que tous les hévéas associés aux ignames de sous-bois (Bacoué et Soukpataloa plantées dans un trou ou dans une butte) ont présenté des accroissements de circonférence statistiquement identiques à ceux des hévéas en culture pure. Les ignames de sous-bois, quel que soit le mode de semis, n'ont donc pas eu d'incidence négative sur la croissance en épaisseur des hévéas. Les résultats obtenus pourraient s'expliquer par la faible densité de plantation des ignames de sous-bois associées aux hévéas (un plant d'igname pour quatre plants d'hévéa). Cette faible densité réduit la compétition entre l'igname et l'hévéa pour la recherche d'éléments nutritifs et n'affecte pas la croissance des hévéas. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kouadio *et al.* (2021). Ces auteurs ont montré que la faible densité des caféiers associés aux hévéas matures, à la distance de 33 m, réduit la compétition pour la lumière et les nutriments pour ces deux composantes (hévéas et caféiers). Cette faible densité des caféiers associée aux hévéas crée un microclimat favorable à la croissance et au développement des hévéas.

Par ailleurs, la production enregistrée chez les hévéas auxquels sont associées les ignames de sous-bois est comparable à celle des hévéas non associés. Cette invariabilité de la production entre les hévéas associés et ceux en culture pure indique que les ignames de sous-bois n'ont eu aucun impact négatif sur la production des hévéas. Cela pourrait être dû à l'âge physiologique de la plantation. En effet, en début d'expérimentation, les parcelles d'hévéa étudiées étaient déjà en production et avaient 5 et 9 années de saignée respectivement pour les

clones IRCA 41 et GT 1. Or, selon Kéli *et al.* (2005 b), à partir de l'année de production, les cultures intercalaires n'impactent plus les hévéas à cause surtout de la densité du feuillage et des racines. Penot (2001) a également confirmé cette hypothèse au cours d'une enquête réalisée auprès des hévéaculteurs. Soixante pour cent des hévéaculteurs ont déclaré que l'association de l'hévéa avec les cultures annuelles en intercalaire ne limite pas la production du caoutchouc. Ces résultats pourraient également être expliqués par les avantages dont bénéficient les hévéas en matière de compétition pour l'eau, les nutriments et la lumière. En effet, ces hévéas plantés depuis 15 années ont des racines bien développées (Wehi, 2012) et profondément ancrées dans le sol (Ribeiro, 2019), leur permettant d'accéder aux réserves d'eau qui se trouvent en profondeur que les ignames, avec leurs racines superficielles (Cornet, 2005), ne peuvent atteindre. Le système racinaire étendu des hévéas favorise aussi l'absorption des nutriments du sol. En revanche, les ignames de sous-bois, avec leurs racines moins profondes, n'ont pas un large accès aux nutriments et ne peuvent donc pas être en compétition directe avec les hévéas pour ces ressources. Les hévéas et les ignames n'exploitent pas les mêmes horizons pour leurs besoins en eau et en nutriments du sol. Enfin, les hévéas, étant des arbres de plus grande taille que les ignames, captent sans aucune difficulté la totalité de la lumière solaire nécessaire à leur photosynthèse, ce qui favorise leur croissance et leur production optimale bien qu'ils soient associés aux ignames. Par ailleurs, la production moyenne de caoutchouc sec par arbre et par saignée a été d'un très bon niveau indépendamment du clone. Les productions enregistrées avec le clone IRCA 41 (production variant de 80,67 à 91,05 g.a⁻¹.s⁻¹ et 2839 à 3204 kg.ha⁻¹.an⁻¹) sont supérieures aux rendements moyens présentés par les travaux d'Atsin (2017). Ces productions varient de 65 à 85 g.a⁻¹.s⁻¹ en saignée descendante quel que soit le clone. De même, la production moyenne annuelle en saignée inversée (123 g.a⁻¹.s⁻¹) est supérieure à celle obtenue par Kouakou (2022) sur les clones GT 1 en saignée inversée qui est de 109 g.a⁻¹.s⁻¹. Ainsi, ces productions élevées de caoutchouc sont très intéressantes pour les producteurs d'hévéa dans la mesure où l'association avec l'igname de sous-bois n'induit pas une baisse de la production, peu importe le système de récolte appliqué.

Les résultats ont, en outre, révélé que les hévéas en culture pure ont enregistré un taux d'encoche sèche identique aux hévéas associés aux ignames de sous-bois. Ce résultat traduit le fait que l'association de l'igname de sous-bois à l'hévéa mature n'entraîne pas l'apparition ou encore la recrudescence de l'encoche sèche. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les ignames de sous-bois semées entre les quatre pieds des hévéas n'ont pas induit de stress à ces hévéas qui entraînerait un quelconque désordre physiologique responsable de la prolifération de l'encoche sèche. En effet, les encoches sèches des hévéas surviennent généralement au cours des

exploitations intensives telles que la surstimulation ou la sursaignée (Soumahin, 2010). Cependant, ce n'est pas le cas dans cette étude puisque les hévéas ont été saignés dans les mêmes conditions. De plus, un stress hydrique, reconnu comme un facteur d'apparition de l'encoche sèche (Jacob *et al.*, 1988 ; Zoh *et al.*, 2023), serait peu probable, étant donné que la compétition pour l'eau serait à l'avantage des hévéas grâce à leur enracinement profond. Les nombreuses racines des hévéas accèdent aux réserves d'eau profondes du sol, minimisant ainsi l'impact des ignames sur les ressources en eau et évitant ainsi un stress hydrique qui induirait une recrudescence de l'encoche sèche. Les taux moyens d'encoche sèche enregistrés en fin d'expérimentation chez les deux clones ont été inférieurs à 5 %. Ce faible taux reflète le bon état de fonctionnement des cellules laticifères qui a priori sont protégées par une bonne disponibilité de sucre intra-laticifère et de R-SH au sein du latex de ces clones (Kouakou, 2022).

En ce qui concerne le potentiel hydrique foliaire, les résultats obtenus, ont montré une absence de différence entre les hévéas en culture pure (témoins) et ceux associés aux ignames. Les potentiels hydriques foliaires de base (Ψ_b) au cours des deux saisons ont varié de -0,23 MPa à -0,10 MPa et ceux de midi de -2,14 MPa à -1,14 MPa. Cette variation entre les potentiels hydriques foliaires de base (Ψ_b) et ceux de midi (Ψ_m) de tous les traitements nous emmène à conclure sur le comportement hydrique des hévéas. Les hévéas étudiés ont un comportement isohydrique. En effet, les variations du potentiel hydrique foliaire sont très faibles au cours de la journée (Soubie, 2007). De plus, les valeurs observées de Ψ_b et Ψ_m pour tous les hévéas (associés ou non aux ignames) attestent une absence de contrainte hydrique. Ces résultats sont en accord avec ceux de Chartzoulakis *et al.* (1999) qui ont montré que chez les plantes stressées le potentiel hydrique des feuilles avant l'aube diminue en dessous de -1,3 MPa. En outre, une étude de Fernandes *et al.* (2018) a également montré que les valeurs de potentiel hydrique en situation de stress hydrique étaient inférieures à -3 MPa à midi. Nos résultats seraient dus à l'humidité du sol qui est homogène sous l'ensemble des hévéas. Ainsi, les hévéas par leurs racines profondes puisent le maximum d'eau dont ils ont besoin dans le sol sans être dérangés par les ignames. Edzang (2023) affirme à cet effet que la racine pivotante de l'hévéa permet un meilleur enracinement de l'arbre et améliore les possibilités d'approvisionnement en eau même pendant la saison sèche. Il n'y a pas de compétition pour l'eau ; par conséquent, les hévéas ne peuvent donc être stressés par la présence des ignames de sous-bois.

Relativement à l'état physiologique des hévéas, les résultats obtenus ont été satisfaisants. Ils ont montré qu'au début et à la fin de l'expérimentation, le taux d'extraits secs, qui est la teneur en caoutchouc du latex, a été supérieur à 43 %. Ce taux est très élevé pour tous les traitements ; ce qui traduit une bonne activité biosynthétique du laticifère (Traoré, 2014 ;

Coulibaly *et al.*, 2018) ainsi qu'une bonne capacité de transfert hydrique de la cellule lors de la saignée (Lacrotte, 1991). Il a été par ailleurs enregistré une augmentation de la teneur en saccharose qui signifie un bon approvisionnement des cellules laticifères et une forte activité de ces cellules (Dusotoit-Coucaud, 2009). De même, les teneurs en phosphore inorganique enregistrées ont été élevées aussi bien au début qu'au terme de l'essai. Ces fortes valeurs en phosphore inorganique indiquent qu'il existe une bonne activité métabolique de la cellule laticifère (Jacob *et al.*, 1988) qui, impliquée dans le catabolisme glucidique (Jacob, 1970), joue un rôle dans les phénomènes de transfert d'énergie. Les valeurs de thiols ont varié de faibles à moyennes en fin d'expérimentation et sont statistiquement identiques pour tous les traitements. L'ensemble des résultats montre que la présence des ignames de sous-bois sous les hévéas matures n'a eu aucun effet négatif sur l'état physiologique des arbres. Ces résultats pourraient s'expliquer par la faible densité à laquelle les ignames ont été associées aux hévéas. Cette faible densité de plantation réduit la compétition avec les hévéas pour l'eau et les nutriments (Kouadio, 2021). Les résultats obtenus ont aussi montré que les accessions d'ignames de sous-bois (Bacoué et Soukpataloa) de même que le mode de semis n'ont pas influencé les paramètres agronomiques, sanitaires et physiologiques des hévéas. Cela voudrait dire que la croissance et le développement des hévéas ainsi que leur état sanitaire et physiologique ne dépendent pas de l'accession d'igname ni même du mode de semis utilisé.

Conclusion partielle

Au terme de l'étude de l'effet de l'association hévéa-igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaires et physiologiques des hévéas, nous pouvons retenir que les ignames de sous-bois (Bacoué et Soukpataloa semées dans un trou ou une butte) n'ont eu aucun effet négatif sur les différents paramètres étudiés. Tous les hévéas (associés ou non aux ignames) ont présenté des accroissements de circonférence similaires. Il en est de même pour la production de caoutchouc et l'encoche sèche. Le taux d'encoche sèche a été très faible, avec des valeurs inférieures à 5 % en cultures associées comme en culture pure d'hévéa. Aussi, les résultats du potentiel hydrique foliaire révèlent une absence de stress hydrique chez tous les hévéas. Enfin, le profil physiologique de tous les hévéas est bien équilibré. Il a été enregistré de très bons taux d'extraits secs, une importante disponibilité en saccharose, une teneur en phosphore inorganique suffisante et une teneur moyenne en groupements thiols, garantissant ainsi un bon fonctionnement des hévéas. Les ignames de sous-bois peuvent être cultivées dans les interlignes des hévéas matures sans aucun inconvénient pour les hévéas. Bien que ce système ne semble exercer aucun impact sur les hévéas, n'induirait-il pas des effets sur les

propriétés fonctionnelles du sol ? Le chapitre suivant sera donc consacré à l'évaluation du système hévéa mature-igname de sous-bois sur les propriétés fonctionnelles du sol

3.2.4. Impact du système hévéa-igname de sous-bois sur le sol

L'étude pédologique réalisée sur les trois parcelles expérimentales a montré que les sols étaient profonds, assez poreux et présentaient de bonnes teneurs en argile en profondeur. Les éléments grossiers au sein des différents horizons ont été rares voire absents. Ces sols sont de type Ferralsol (WRB, 2015) ou ferrallitique typique modal (CPCS, 1967). Ils présentent une structure grumeleuse dans les horizons de surface et polyédrique sub-angulaire en profondeur. En outre, ces sols se caractérisent par une teneur appréciable en argile et par une altération très poussée sur plus d'un mètre de profondeur (sols très profonds). Ce type de sol est propice à la culture de l'hévéa et aussi de l'igname. En effet, selon Kouassi *et al.* (2010), les caractéristiques physiques du sol susceptibles d'être défavorables à la mise en place de l'hévéa sont : la texture légère, la présence d'éléments grossiers, le cuirassement et l'hydromorphie. Aussi, pour Kouakou *et al.* (2005), la culture de l'igname requiert des sols fertiles, bien drainés à texture argilo-sableuse. Par ailleurs, les trois sols étudiés sont potentiellement sensibles à la dégradation chimique du fait de leur faible teneur en argile (Disnar *et al.*, 2007). Ainsi, ils sont plus vulnérables aux pertes par lessivage. En effet, selon Essehi (2019), cette fraction minérale forme avec la matière organique le complexe argilo-humique qui confère au sol une stabilité structurale et une forte capacité de rétention des éléments nutritifs.

Les valeurs de densité apparente (D_a) ont été moyennes (1,43 à 1,46 g/cm³) sous les hévéas du clone GT 1 tandis qu'elles ont été fortes (1,5 à 1,56 g/cm³) au niveau du sol de la parcelle d'igname pure. Ces résultats obtenus avec les $D_a \geq 1,5$ g/cm³, indiquent que ces sols ont une tendance à la compaction en saison sèche. Les valeurs normales de D_a se situent entre 1,2 et 1,5 g/cm³ dans les horizons A des sols cultivés (Brady *et al.*, 2002). Selon Alongo et Kambele. (2013), la densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et indirectement la porosité totale. Pour ces auteurs, lorsque la valeur est élevée ($D_a \geq 1,5$ g/cm³), le sol ne contient pas de pores nécessaires à la croissance des racines, les capacités en eau sont réduites et la circulation des fluides est ralentie. Cette tendance à la compaction sur la parcelle d'igname pure est la résultante des pratiques culturales antérieures sur la D_a . Dans la culture de l'igname, une compaction de la zone de croissance du tubercule et des racines passant de 1,1 à 1,3 et 1,6 g/m³ de sol diminue fortement le rendement (Ferguson et Gumbs, 1976 ; Cornet, 2005). Les faibles valeurs de densité apparente enregistrées sous les hévéas traduisent une bonne aération de ces sols (N'Guessan *et al.*, 2015).

Les valeurs de K (vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols) obtenues, présentent un sol de bonne perméabilité sous les deux parcelles d'hévéa des clones GT 1 et IRCA 41 (respectivement $K = 50,58$ mm/h et $K = 60,39$ mm/h) et d'une perméabilité modérée sur la parcelle d'igname pure (30,58 mm/h). Ces résultats pourraient traduire le fait qu'il y ait une bonne infiltration de l'eau sous les hévéas contrairement à la parcelle de l'igname pure. Les résultats sont en accord avec ceux d'Ilstedt *et al.* (2016). Ces auteurs ont révélé que les paysages avec un certain couvert arboré peuvent emmagasiner plus d'eau que les paysages sans arbres. Aussi, Pasiecznick et Reij (2021) ont montré dans une étude réalisée au Burkina Faso, comment les arbres améliorent la collecte de l'eau à la surface des sols et réduisent le ruissellement.

Concernant la teneur en éléments grossiers (Eg %) des sols, les résultats révèlent que la charge moyenne en éléments grossiers des sols étudiés a varié de 0,73 % à 9,6 %. Elle est inférieure à 10 % quelles que soient l'utilisation du sol (hévéa ou igname pure) et le niveau de profondeur (0-20 et 20-40 cm). Ces éléments grossiers sont de nature minéralogique diverse. La fraction grossière du sol est constituée par les éléments dont la taille est supérieure à 2 mm. Ce sont soit des minéraux ou débris de roche résistants à l'altération, soit des formations pédologiques indurées (Boa, 1989). Lorsque les éléments grossiers sont abondamment présents dans les sols (teneur volumique ≥ 50 %), ils pourraient constituer une contrainte physique et hydrique de mise en valeur agricole des sols, notamment pour l'hévéa et pour l'igname. En effet, au-delà de 50 % (poids pondéral), les éléments grossiers réduisent la quantité de terre fine et par conséquent entraînent la baisse de la capacité de rétention en eau des sols.

Les valeurs obtenues de capacité de stockage en eau ainsi que celles de la réserve utile sont très faibles sur l'ensemble des trois parcelles. Cela implique que peu d'eau sera disponible pour la croissance des ignames sur ces sols. En effet, la réserve utile en eau représente la quantité d'eau maximale que le sol peut retenir sur une épaisseur donnée et restituer aux plantes pour leur croissance. La connaissance de la réserve utile en agronomie permet de gérer l'irrigation des cultures, d'estimer une potentialité d'une culture en vue de calculer un besoin en azote ou de quantifier la perte de production générée par la sécheresse dans des contextes où le déficit hydrique est le principal facteur limitant (Laurent & Hinsinger, 2022).

Les résultats du pH montrent que le sol est très acide sur l'ensemble des traitements avec des valeurs oscillant entre 4,77 et 5,07. Il est peu pourvu en matières organiques avec une très faible teneur en azote (N). Selon Nangah *et al.* (2012), à des faibles valeurs de pH, il pourrait se produire dans le sol, de nombreux phénomènes néfastes à la croissance végétale comme la diminution de la nitrification, la déficience en phosphore, la faible mobilité des polluants organiques et la grande disponibilité de certains métaux lourds. Cette acidité est donc

responsable de la faible décomposition de la matière organique. Compagnon (1986) affirme que l'hévéa est une plante rustique capable de s'adapter aux valeurs de pH acide comprises entre 5 et 6,5 et enregistre une croissance satisfaisante. Néanmoins, l'igname est exigeant sur la qualité physique des sols qui doivent être meubles, perméables, profonds, riches en matières organiques et de pH compris entre 5 et 7 (Janssens, 2001). Une autre étude souligne l'importance de l'azote dans le sol et dans une moindre mesure, de K et P (Obigbesan, 1977). Relativement à la matière organique, Brevik (2013) affirme qu'une carence en matière organique réduit la capacité de rétention en eau, conduisant ainsi à une diminution de la disponibilité en nutriment. Le rapport C/N est un indicateur de l'activité biologique des sols qui renseigne sur le degré d'évolution de la matière organique, l'activité biologique et le potentiel de fourniture de l'azote dans le sol. Ainsi, d'après Genot *et al.* (2009), ce rapport est un indicateur de la qualité de la matière organique dans le sol. Un bon rapport carbone azote (compris entre 10,60 et 12,77) a été enregistré en fin d'expérimentation. Cela voudrait dire qu'il y a une bonne activité biologique sur ces sols. En effet, lorsque le rapport C/N est compris entre 10 et 12, il y a une bonne décomposition de la matière organique. À l'opposé, lorsque $C/N < 10$, il indique une minéralisation rapide de la matière organique qui, à court terme, devient déficitaire (Bouvier *et al.*, 2012). En ce qui concerne les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^{+}), les valeurs enregistrées ont été très élevées pour tous les traitements. Ces fortes teneurs en bases échangeables signifieraient que ces sols sont propices à la culture de l'igname. Nos résultats corroborent ceux des auteurs Ohiri et Nwokoye (1983). Pour ces auteurs, les sols convenant mieux à la culture de l'igname se distinguent par leur capacité d'échange cationique plus élevée et un potentiel nutritionnel plus important, principalement pour Ca, Mg et K.

L'Analyse en Composante Principale intégrant sept indicateurs Biofunctool a permis de différencier les parcelles d'hévéa où les ignames de sous-bois sont associées ou non à l'hévéa de la parcelle pure d'igname. En effet, les parcelles d'hévéa où les ignames de sous-bois sont associées ou non à l'hévéa favorisent une meilleure infiltration de l'eau. Cela s'explique par la présence des hévéas qui créent une meilleure aération du sol par leurs racines et aussi par l'activité intense des organismes du sol, notamment les vers de terre. En effet, selon Theunis (2021), ces organismes encore appelés ingénieurs du sol modifient la structure du sol, en particulier sa porosité et son agrégation. Ainsi, grâce à leurs galeries plus grosses, ils créent de la macroporosité, favorisant ainsi l'infiltration de l'eau, la pénétration des racines et l'aération du sol. De plus, dans ce même environnement règne une activité microbiologique et une activité de la mésofaune du sol plus intense. La litière des hévéas et l'humidité générée par l'effet des hévéas créent un microclimat qui favorise l'activité des organismes du sol. Ces organismes

creusent des galeries à travers le sol et permettent ainsi une meilleure aération et un passage de l'eau (Bachelier, 1971). Viaud *et al.* (2019 ; 2021) confirment cette assertion dans le cadre de leurs projets AgForward-promotion des pratiques agroforestières pour favoriser le développement rural en Europe. Quant à la parcelle d'igname pure, l'ACP a révélé qu'elle se distingue des parcelles d'hévéa par une amélioration de la dynamique du carbone (POXC). Cette présence de carbone est probablement due à la jachère qui existait bien avant l'établissement de la culture de l'igname. En effet, la jachère est considérée comme une période temporaire de non-activité culturale permettant une restauration de la fertilité des sols (Manlay & Masse, 1998). Ainsi, cette ancienne jachère posséderait certainement quelques éléments minéraux, notamment le carbone accumulé dans le sol. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Manlay & Masse (1998) qui ont montré qu'une période de jachère vieille de 10 ans séquestre près de 25t/h^{-1} de carbone supplémentaire dans le sol.

L'évaluation de la santé des sols à travers l'outil Biofunctool dans le système agroforestier associant l'hévéa à l'igname de sous-bois a présenté que quelques différences. Toutefois ces différences ne sont pas significatives entre la santé du sol en culture pure d'hévéa, en culture pure d'igname et la santé du sol dans l'association hévéa-igname. Ces résultats pourraient s'expliquer d'une part par la durée de l'expérimentation qui a été de deux années. Cette durée de l'essai serait assez courte. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kadidia (2020), qui a montré que trois années d'étude n'ont pas été suffisantes pour influencer la santé du sol avec les quatre itinéraires agronomiques qu'il a étudiés. Ainsi, il a suggéré une durée plus longue, voire cinq ans pour espérer marquer une différence. D'autre part ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les sols étudiés présentent des propriétés intrinsèques qui sont relativement stables notamment en termes de texture, de pH, de carbone et d'azote. Ces éléments contribuent à réduire la variation environnementale entre les systèmes. Ainsi, l'introduction de l'igname sous les hévéas ne pourrait pas entraîner des modifications marquées pour affecter les fonctions biologiques des sols évalués. Aussi, les résultats pourraient s'expliquer par le fait que les ignames semées sous les hévéas n'ont pas entraîné de maladies racinaires ou foliaires pouvant conduire à une modification ou un dysfonctionnement des éléments constitutifs du sol. Ces résultats pourraient également être dus à la faible quantité de litières présentes sous les hévéas au moment des mesures. Ainsi, la matière organique issue de la décomposition des feuilles des hévéas durant cette période n'était certainement pas présente en quantité suffisante pour marquer une différence avec la parcelle d'igname pure qui aurait accumulé une importante quantité d'éléments minéraux durant la période de jachère (Adamou *et al.*, 2010). Par ailleurs, Floret *et al.* (1993) affirment que la jachère permet une reconstitution

de la matière organique et restaure les propriétés physico-chimiques des sols. Ainsi, la jachère sur laquelle l'igname de sous-bois a été semée avait du potentiel qui avoisinait celui du sous-bois des hévées. Pour terminer, ces résultats pourraient également être expliqués par le fait que l'indice de santé du sol étudié ne considérait que deux fonctions Biofunctool sur trois, notamment celles du maintien de la structure du sol et de la dynamique du carbone. La différence entre ces sols pouvait se situer au niveau de la troisième fonction qui est le cycle des nutriments constitué d'éléments minéraux ou organiques dont les plantes ont besoin pour croître. Ainsi, les travaux de Yaméogo (2023) ont-ils montré que la dynamique de carbone ne diffère pas d'un sol à un autre, contrairement au cycle des nutriments. Ainsi, une meilleure disponibilité a été observée sous le houppier de la haie qu'au centre des parcelles. Il est donc important d'évaluer les trois fonctions Biofunctool car elles fournissent des informations très importantes qui doivent être intégrées dans les évaluations de la santé des sols (Brauman & Thoumazeau, 2020). Les différences, bien qu'elles ne soient pas significatives, indiquent que l'association des ignames de sous-bois aux hévées a favorisé la réduction du ruissellement, l'amélioration de la vie du sol (microorganismes et macrofaune), la disponibilité en eau et en nutriments. Cette association a éventuellement augmenté la capacité de stockage du carbone dans le sol (Peter *et al.*, 2018). L'association hévées igrname n'a donc pas affecté négativement la fonctionnalité des deux fonctions Biofunctool étudiées.

Conclusion partielle

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du système agroforestier associant l'hévée et l'igname de sous-bois sur la santé du sol. Les données pédologiques obtenues et présentées montrent que les sols décrits sont de type ferrallitique typique modal et se caractérisent par une bonne profondeur et une teneur appréciable en argile. Ces sols ont très peu d'éléments grossiers et ont une tendance à la compaction. Ils sont donc, du point de vue morphologique, favorables à la culture de l'igname de sous-bois et de l'hévée. L'évaluation de la santé des sols à travers l'outil Biofunctool a montré une santé du sol quasiment identique en culture pure d'hévée, en culture pure d'igname et dans l'association hévée-igname.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Cette étude a été réalisée afin de contribuer à la sécurité alimentaire des populations par l'accroissement de la production de l'igname. Pour ce faire, quatre objectifs spécifiques ont été définis et les résultats ont été présentés en quatre parties :

- ✓ La première partie décrit les systèmes de cultures des ignames de sous-bois dans les zones agroécologiques en Côte d'Ivoire ;
- ✓ La deuxième partie évalue la croissance et la production des ignames issues du système agroforestier igname de sous-bois hévéas matures ;
- ✓ La troisième partie montre l'effet de l'association hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaire et physiologiques de l'hévéa ;
- ✓ La quatrième partie détermine l'impact du système agroforestier hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnels des sols.

Il faut noter que le manque d'informations et de connaissances sur les systèmes de culture des ignames de sous-bois constitue une entrave à la mise en place d'une quelconque association culturale à base d'igname de sous-bois. Les résultats présentés dans la première partie du travail ont donc permis de répondre à cette préoccupation. En effet, ces résultats ont montré que les systèmes de culture pratiqués sont l'association des ignames de sous-bois aux cacaoyers, aux anacardiers, aux hévéas, aux caféiers, aux arbres fruitiers et aux palmiers. Parmi ces systèmes, les principaux sont les systèmes de culture des ignames sous les cacaoyers et les anacardiers. Les ignames de sous-bois cultivées sont généralement le Cocoassié blanc, le Cocoassié rouge, le Cocoassié jaune, le Bacoué, le Soukpataloa et le Bolodja avec un cycle de production qui varie de 8 à 12 mois. En ce qui concerne le système de culture hévéa-igname, il est principalement pratiqué au stade des jeunes hévéas et moins au stade des hévéas matures. Ainsi, la seconde étude évalue-t-elle le système de culture hévéa mature-igname de sous-bois sur les paramètres de croissance et de production des ignames.

Les résultats ont montré une croissance identique des ignames des accessions Bacoué et Soukpataloa semées sous les hévéas des clones GT 1 et IRCA 41. Cependant, la durée de la levée des ignames de même que le délai d'apparition de la première feuille après la levée sont plus lents et le rendement est inférieur à celui observé en monoculture d'igname (igname en culture pure). Le taux de levée obtenu sous les hévéas matures est supérieur à 58 %. Ces ignames de sous-bois, semées dans une butte ou dans un trou, peuvent croître et se développer sous l'ombrage des hévéas matures. Elles développent ainsi divers mécanismes d'adaptation qui favorisent leur développement optimal, notamment par des feuilles plus larges et par une élongation rapide de la tige. L'accession Bacoué s'est montrée plus performante que

Soukpataloa en termes de vitesse de croissance de la tige, de hauteur de tige et de diamètre au collet. L'accession Bacoué semée sous les hévéas des clones GT 1 et IRCA 41 a présenté une plus grande vitesse de croissance de la tige. L'accession Bacoué a un cycle de production de 338,27 et 352 jours respectivement sous GT 1 et IRCA 41 tandis que l'accession Soukpataloa enregistre 244,29 et 245,88 jours respectivement sous GT 1 et IRCA 41. Cependant, en monoculture ces deux accessions ont la même durée de cycle de production. La production moyenne d'igname de sous-bois sous les hévéas des clones GT 1 et IRCA 41 a augmenté de la première à la seconde année. Sous GT 1, Bacoué et Soukpataloa ont enregistré respectivement 52,08 kg/ha et 39,06 kg/ha à la deuxième année. La production de Bacoué et Soukpataloa sous IRCA 41 à la seconde année a été respectivement 35,96 et 37,20 kg/ha. Ainsi, ce travail suggère d'associer les ignames de sous-bois aux hévéas matures en utilisant un dispositif de 9 m x 18 m, ce qui correspond à une densité de semis de 62 pieds d'igname à l'hectare.

En ce qui concerne la troisième partie de l'étude qui vise à évaluer l'effet du système agroforestier hévéa-igname de sous-bois sur les paramètres agronomiques, sanitaires et physiologiques de l'hévéa, l'étude a permis de montrer que tous les hévéas (associés ou non aux ignames) ont présenté des accroissements de circonférence similaires. Il en est de même pour la production de caoutchouc et de l'encoche sèche. Le taux d'encoche sèche a été très faible avec des valeurs inférieures à 5 %. L'association de l'hévéa mature à l'igname est vivement à encourager puisque les hévéas associés expriment une bonne résistance au syndrome d'encoche sèche et une absence de stress hydrique. Enfin, le profil physiologique de tous les hévéas est bien équilibré. Sous les canopées des clones GT 1 et IRCA 41 d'hévéa, l'association culturale avec l'igname de sous-bois n'a pas impacté négativement l'état physiologique des hévéas. En effet, le profil physiologique des hévéas a été caractérisé par de très bons taux d'extrait sec, une importante disponibilité en saccharose, une teneur en phosphore inorganique suffisante et la régénération des groupements thiols garantissant ainsi un bon fonctionnement physiologique des hévéas.

Pour finir, les résultats présentés dans la quatrième partie ont montré que les sols décrits sur les différentes parcelles sont favorables du point de vue morpho-physique à la culture de l'igname de sous-bois. Les perméabilités respectives de 50,58 mm/h et 60,39 mm/h enregistrées sous les systèmes hévéa-igname révèlent une bonne infiltration de l'eau sous ces systèmes. L'association hévéa-igname de sous-bois n'a aucune incidence négative sur les propriétés physico-chimiques, hydrodynamiques et fonctionnelles du sol.

Ainsi, de manière générale, les résultats obtenus au terme de cette étude permettent de confirmer les différentes hypothèses.

- ✓ les systèmes de culture des ignames de sous-bois sont connus ;
- ✓ les ignames de sous-bois sont capables de croître et de se développer sous les hévéas matures ;
- ✓ les ignames de sous-bois peuvent être cultivées dans les interlignes des hévéas matures sans aucun inconvénient sur les hévéas ;
- ✓ Les ignames de sous-bois cultivées dans les interlignes des hévéas matures sont sans dommage sur les caractéristiques physico-chimiques et fonctionnelles des sols.

Les ignames de sous-bois semées sous les hévéas pourront être utilisées pour contribuer à la sécurité alimentaire des populations. Toutefois, cette contribution sera durable si des études complémentaires sont menées. Ainsi convient-il de/d :

- poursuivre l'étude avec différents clones d'hévéas, à différents stades de leur maturité dans d'autres zones agroécologiques de production de l'hévéa ;
- explorer la diversité des ignames de sous-bois et trouver d'autres accessions élites qui pourraient être efficacement associées aux hévéas ;
- évaluer l'effet de l'association hévéa-igname sur le développement et la prolifération des maladies racinaires et également foliaires ;
- évaluer la rentabilité économique de l'association hévéa-igname de sous-bois

RÉFÉRENCES

- Adamou I., Chimène A.F., Robert N. & Mama N. (2010). Impact de la gestion de la matière organique sur le statut minéral des sols et des récoltes dans les savanes soudano-guinéennes de Ngaoundéré, Cameroun. Communication dans un congrès, Avril 2009, Garou, Cameroun, 10 p.
- Adifon F. H., Yabi I., Vissoh P., Balogoun I., Dossou J. & Saïdou A. (2019). Écologie, systèmes de culture et utilisations alimentaires des ignames en Afrique tropicale : synthèse bibliographique. *Cahiers Agricultures*, 28 (22) : 1-11.
- Adjata K.D., Tchaniley L., Banla E., Tchansi K.K., Gumedzoe Y.M.D. (2015). Etude des conditions de germination des grains de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) obtenues par sélection génétique, *Tropicultura*, 33 (3) : 218-225.
- Adjiri O.A., Aka N., Soro T.D., Affessi A.C, Konaté D. & Soro N. (2018). Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa : impacts sur la santé et implications dans le développement régional. *Astee-technique sciences méthodes*, 12 : 89-114.
- Adolphe M.G. (2008). Etude de l'efficacité d'un système d'approvisionnement et de distribution des ignames précoces kponan à travers le circuit Bouna-Bondoukou-Abidjan en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Sciences économiques et de Gestions, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 219 p.
- Adou D.L. (2012). L'économie de plantation et la dynamique de peuplement dans la région du Haut-Sassandra. Thèse unique de doctorat en géographie, UFR IGT, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 286 p.
- Adou K.E., N'guetta A.S.P., Kouassi A., Kanko C., Yao-Kouamé A., Sokouri D.P. & Coulibaly M.Y. (2010). Caractérisation agromorphologique et identification de quelques populations de *Lippia multiflora*, une Verbénacée sauvage. *Journal of Applied Biosciences*, 37 : 2441-2452.
- Adoukonou-Sagbadja H., Missihoun A.A., Sedah P., Dagba R.A., Kinhogbe G., Ahanhanzo C. & Agbangla C. (2014). Variabilité génétique des accessions d'igname *Dioscorea alata* L. introduite au Bénin à partir des Iles du Sud-Pacifique. *Journal of Applied Biosciences*, 73 : 5966-5978.
- AFNOR (1999). La qualité des sols ; normes NF X 31 et normes ISO. Essai proctor normal, Paris, (France), 2 : 408-566
- Ahoba A. (2011). Evaluation de quelques caractéristiques dendrométriques de trois clones d'*Hevea brasiliensis* Muell.Arg. (PR 107, PB 86, GT 1). *Agronomie Africaine*, 23 (3) : 227-236.

- Aka N., Bamba S.B., Soro G. & Soro N. (2013). Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropicale humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 16 : 31- 52.
- Akakpo R. (2018). Etude de la domestication et de l'adaptation de l'igname (*Dioscorea spp*) en Afrique par des approches génomiques. Thèse de Doctorat, biologie, Université Paris-Saclay (Paris, France), 173 p.
- Alongo S.& Kambele F. (2013). Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani (R.D.Congo). *Annales de l'Institut Facultaires des Sciences Agronomiques de Yangambi*, 1 : 197-214.
- ANRPC (2024). The Association of Natural Rubber Producing Countries. Annual report (Indonésie), 47 p.
- APROMAC (2018). Production de matériel végétale d'hévéa. Guide du Conseillé Agricole de l'hévéa tome I, Côte d'Ivoire, 6 p.
- APROMAC (2021). Statistiques - APROMAC. <https://apromac.ci/statistiques/>. Consulté le 12 juin 2021.
- APROMAC (2024). La Côte d'Ivoire désormais troisième producteur mondial de caoutchouc naturel. www.apromac.ci. Consulté le 23 septembre 2024.
- Ashwell G. (1957). Colorimetric analysis of sugar. *Methods in enzymology*, 3 : 75-105.
- Assa A. (2005). Précis de pédologie. Collection Sciences. Editions Universitaire de Côte d'Ivoire. Université de Cocody-Abidjan, (Côte d'Ivoire), 100 p.
- Assocle S. (2024). Côte d'Ivoire : hausse de 10 % de la production de cultures vivrières en 2023. <https://www.agenceecofin.com/agro/2406-119728-cote-d-ivoire-hausse-de-10-de-la-production-de-cultures-vivrieres-en-2023>. Consulté le 04 Juillet 2025.
- Atangana A., Khasa D., Changs S. & Degrande A. (2014). Tropical Agroforestry, 1^{ère} édition, Dordrecht, Springer, (Pays-Bas), 380 p.
- 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 cultivé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Science de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 164 p.
- Bachelier G. (1971). La vie animale dans le sol. Déterminisme de la faune des sols, *ORSTOM*, Paris, (France) : 1-82.

- Baco M.N., Tostan S., Mongbo R., Biaou G. & Lescure J.P. (2007). Igname, plante alimentaire commerciale et culturelle au Nord Benin. *Annales des sciences agronomiques du Benin*, 9 (2) : 49-67.
- Baize D & Jabiol B. (1995). Guide pour la description des sols. Edition INRA, Paris, 1 : 375 p.
- Bakayoko Y., Kouakou A.M., Ehounou A.E., Essis B.S., N’Zué B., Kouassi A.B., N’Guetta A.S-P. & Adebola P. (2019). Effet de la période de pollinisation manuelle sur la fructification de l’igname (*Dioscorea rotundata* Poir ; Dioscoreaceae) en Côte d’Ivoire. *European Scientific Journal*, 15 (27) : 1857-7881.
- Ballo E.K. (2019). Effet des 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, agrophysiologie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guède (Daloa, Côte d’Ivoire), 170 p.
- Balogoun I., Saïdou A., Ahoton E. L., Amadji I.G., Ahohuendo C.B., Adebo I. B., Babatounde S., Chougourou D., Adoukonou-sagbadja H. & Ahanchede A. (2014). Caractérisation des systèmes de production à base d’anacardier dans les principales zones de culture au Benin. *Agronomie africaine*, 26 (1) : 9-22.
- Bamba F. (2024). Performances agronomiques des systèmes agroforestiers traditionnels à base de *Hevea brasiliensis* Muell.Arg (Euphorbiaceae) à Daloa (Centre-Ouest de la Côte d’Ivoire). Mémoire de Master, Amélioration des ressources agricoles, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d’Ivoire), 53 p.
- Bandi M.M., Mahimba M.B., Minengu J.D., Khasa D.P. & Mbe-Mpie P.M. (2020). Opportunités et défis de l’agroforesterie dans et en périphérie de la réserve de biosphère de Luki au Kongo central en République Démocratique du Congo. *Revue Africaine d’Environnement et d’Agriculture*, 3 (1) : 23-31.
- Barima Y.S.S., Kouakou A.T.M., Bamba I., Sangne Y.C., Godron M., Andrieu J.& Bogaert J. (2016). Cocoa crops are destroying the forest reserves of the classified forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast). *Global Ecology Conservation*, 8 : 85-98.
- Bélangier N. (2017). Classification des systèmes agroforestiers en milieux tempérés et tropicaux. <https://www.google.com/search?q=Classification+des+syst%C3%A8mes+agroforestier+s+en+milieux+temp%C3%A9r%C3%A9+et+tropical>. Consulté le 01 Novembre 2024.
- Bergh K., Orozco P., Gugerty M. K. et Anderson C.L. (2012). Yam Value Chain: Nigeria. *Evans School Policy Analysis and Research (EPAR)*, 207: 1-28.

- Besse P. (1993). Identification des clones cultivés et analyse de la diversité génétique chez *Hevea brasiliensis* par RFLP. Thèse de Doctorat, Science, Université Paris-Sud (Paris, France), 130 p.
- Boa D. (1989). Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires : cas de Booro-Borotou (région de Touba, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de 3^{ème} cycle, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 126 p.
- Boukhari E.M.E., Gmira N. & Brhadda N. (2013). Effet des traitements physiques sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) en pépinière forestière au Maroc. *Geologie, Ecologie Tropicale*, 37 (2) : 177-190.
- Bouvier E., Gazeau G., Jammes D., Leclerc B. & Nouet Y. (2012). Les sols vivants : adapter les apports organiques au sol, rapport, Marseille (France), 8 p.
- Boyne A.F. & Ellman G.L. (1972). A methodology for analysis of tissue sulphydryl components. *Analytical. Biochemistry*, 46 : 639-653.
- Brady N.C. & Weil R. (2002). The nature and properties of soils, 13th Edition, New Jersey (Etats-Unis), Prentice Hall, New Jersey (Etats-Unis) 54, 249 p.
- Brauman A. & Thoumazeau A. (2020). Biofunctool[®] : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol. *Etude et gestion des sols*, 27 : 289-303.
- Brevik E. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture*, 3 (3) : 398-417.
- Bricas N., EL Moussahoui N., Kayode P., Nindjin C., Orkwor G. & Hounhouigna J. (2003). La consommation et les critères de qualité des ignames dans les villes du Bénin, de la Côte d'Ivoire et du Nigeria. Séminaire international "Post-récolte et consommation des ignames : réduction des pertes et amélioration de la qualité des produits pour les marchés africains", Cerna-UNB, 16-20 juin 2003, Cotonou, Benin, 20 p.
- Brindoumi A.K.J. (2010). L'état et la filière caoutchouc naturel de la Côte d'Ivoire : 1953-1999. Thèse de Doctorat, Sciences historiques, UFR des sciences des hommes et de la société, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 584 p.
- Brou E. (1982). Commerce et société en base Côte d'Ivoire : de l'économie précoloniale à l'économie de marché. Thèse de doctorat, Université paris VII (Paris, France), 574 p.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Habilitation à diriger des recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 212 p.

- Brzozowska-Hanower., Cretin H., Hanower P. & Michel P. (1979). Variation du pH entre compartiments vacuolaire et cytoplasmique au sein du latex d'*Hevea brasiliensis*, influence saisonnière et action du traitement par l'Ethrel, générateur d'éthylène. Répercussion sur la production et l'apparition d'encoche sèche. *Physiologie.Végétale*, 17 : 851-857.
- Chapuset T., Gnagne M., Legnate H., Koffi E. & Clement-demange A. (2000). Les champs des clones à grandes échelles en Côte d'Ivoire, situation en 1999. Rapport Sea n° 01/2000-A mars 2000, Côte d'Ivoire, 20 p.
- Chartzoulakis K., Patakas A. & Bosabalidis A. (1999). Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 42 :113-120.
- Chrestin H. (1984). Le compartiment vacuo-lysosomal (les lutoïdes) du latex d'*Hevea brasiliensis*, son rôle dans le maintien de l'homéostasie et dans les processus de sénescence des cellules laticifères. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technique de Languedoc (Montpellier, France), 551 p.
- CIRAD (1992). Evaluation de la relation entre processus biologiques et fertilité dans les plantations d'hévéas. Rapport IRCA-CIRAD, Abidjan, Côte d'Ivoire, 78 p.
- CIRAD (1993). Recueil de fiches de clones d'hévéa. Edition *CIRAD Cultures pérennes*, Montpellier, France, 20 p.
- Clairon M., Zinsou C. (1980). Etude de plantation échelonnée d'igname (*Dioscorea alata*, cv. « Lupias ») : effet du vieillissement du tubercule sur la croissance et le développement de la plante. In « *L'igname* », Séminaire international, Pointe-à-pitre, Edition INRA, Guadeloupe, Paris 125-141.
- Clément-Demange A., Chapuset T., Legnaté H., Costes E., Doumbia A., Obouayeba S. & Nicolas D. (1997). Wind damage: the possibilities of an integrated research for improving the prevention of risks and the resistance of clones in Rubber tree. In : Symposium on Physiological and molecular aspects of the breeding of *Hevea brasiliensis*. IRRDB, Penang, Malaisie, 6-7 Novembre 1995, 182-199.
- Clement-Demange.A. (2001). HEVEA : Expérimentation clonale et choix de clones adaptés au développement de l'hévéaculture au Cambodge. Mission au Cambodge 4-17 mars 2001, Cirad-cp Programme Hévéa. CP_SIC 1356, 116 p.
- Codron C. & Cogliastro A. (2022). Avantages de l'agroforesterie en contexte de changements climatiques. Rapport de formation, Québec (Canada), 9 p.

- Compagnon P. (1986). Le caoutchouc naturel. Edition. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris (France), 595 p.
- Cornelissen L., Van-Der H.M., Poorter H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51 : 335-380.
- Cornet D. (2005). Étude du fonctionnement physiologique d'un couvert végétal d'igname (*Dioscorea alata* L.). Mémoire d'étude approfondie en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 116 p.
- Cornet D. (2015). Influence des premiers stades de croissance sur la variabilité du rendement parcellaire de deux espèces d'igname (*Dioscorea* spp.) cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Sciences Agronomiques et Écologiques, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement : AgroParisTech, (Paris, France), 174 p.
- Cornet D., Amadji F., Dossou R.A., Maliki R., Vernier P. (2005). Intérêts des légumineuses herbacées pour une production durable d'igname en Afrique de l'Ouest. Rapport de projet, Bénin, 11 p.
- Coulibaly B., Konan D., Traoré S. & Obouayeba S. (2022). Évaluation de la capacité de séquestration de carbone par une plantation d'hévéa en Côte d'Ivoire. Rapport d'étape N°6, Abidjan (Côte d'Ivoire), 55 p.
- Coulibaly G.A. (2004). Recensement national de l'agriculture, rapport d'analyse de données, Côte d'Ivoire, 90 p.
- Coulibaly L.F., Traoré M.S. & Kouamé N.M.T. (2018). Incidence des fortes fréquences de stimulation hormonale sur deux régimes de saignée descendante du clone PB 215 : Faible (d6) et modéré (d4), au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Europeen Scientific Journal*, 14 : 499-516.
- Coursey D.G. (1972). The civilizations of the yam: interrelationships of man and yams in Africa and the Indo-Pacific region. *Archaeology and Physical Anthropology in oceania*, 7 (3): 215-233
- CPCS (1967). Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, Laboratoire des Geologie-Pedologie ENSA Grignon. Mimeo, (Paris, France), 96 p.
- Craufurd P.Q., Summerfield R.J., Asiedu R. & Vara P.V. (2001). Dormancy in Yams. *Experimental Agriculture*, 37 : 147-181.
- Cretin H. & Bangratz J. (1983). Une activité enzymatique endogène (NAD(P)H) dépendante responsable de la dégradation peroxydative des organismes membranaires et de la

- coagulation précoce ou *in situ* du latex d'*Hevea brasiliensis*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 293 (3) : 101-106.
- Dapoigny L., Robin P., Raynal-Lacroix C & Fleury A. (2020). Relation entre la vitesse relative de croissance et la teneur en azote chez la laitue (*Lactuca sativa* L.). Effets de l'ombrage et du niveau de l'alimentation minérale. *Agronomie*, 16 (9) : 529-539.
- Déa G.B., Carron M.P., Koffi E.K., Keli J.Z., Leconte A. & Drenou C. (2000). Intégration de la culture *in vitro* dans la recherche pluridisciplinaire pour l'amélioration de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 12(1) : 11-21.
- Dégras L. (1986). L'igname, plante à tubercule tropicale. Technique Agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose (Paris, France), 408 p.
- Déon M. (2012). Importance de la cassiicoline en tant qu'effecteur de la *Corynespora* Leaf Fall (CLF) chez l'hévéa : développement d'outils pour le contrôle de la maladie. Thèse de Doctorat, UFR sciences de la vie, sante, agronomie, environnement, Université Blaise Pascal (Auvergne, Fance), 198 p.
- Dian K., Maturin K O., Gnagne M Y., Gabla R O., Dufrene E.S., OCHS R & Saugier B. (2016). Photosynthèse et productivité du palmier à huile en liaison avec les facteurs climatiques. *Oléagineux*, 45 (8-9) : 345-355.
- Dibi K.B.E. (2011). Performances agronomiques de vitroplants des clones PB 260, PR 107, PB 280, IRCA 18 et RRIM 600 d'hévéas (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg., Euphorbiaceae). Thèse de Doctorat, agrophysiologie, UFR Biosciences, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 207 p.
- Dibi K.B.E., Kouakou A.M., Camara B., N'Zue B. & Zohouri G.P. (2016). Inventaire des méthodes de production de semenceaux d'igname (*Dioscorea* spp) : une revue de la littérature. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29 (1) :4496-4514.
- Diby C.J.H., Koffi Y.S. & Assi-Kaudjhis P.J. (2017). Impacts environnementaux de l'hévéa dans le département d'Aboisso, Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 13 (29) : 91-108.
- Diby N. L. (2005). Etude de l'élaboration du rendement chez deux espèces d'igname (*Dioscorea* spp.). Thèse Unique de Doctorat, UFR des sciences de la terre et des ressources minières, Université Felix Houphouët Boigny (Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire), 114-122.
- Disnar J.R. & Bruand A. (2007). La matière organique des sols (MOS) : un héritage difficile mais fructueux. *Géochronique*, 104 : 20-21.

- Dodet M. (2006). Diversité génétique et phénologie de *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae) pour une gestion intégrée de l'espèce dans les cultures de haute lande. Thèse de Doctorat, écologie, UFR environnement, Université de Bourgogne, France, 225 p.
- Dossounon B.E. (2023). Traits fonctionnels foliaires de quelques ligneux fourragers (*Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*, *Sclerocaria birrea* et *Ziziphus mauritiana*) dans la zone du Ferlo au Sénégal. Mémoire de Master en Agroforesterie, Ecologie et Adaptation. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 54 p.
- Doumbia S., Toure M. & Mahyao A. (2006). Commercialisation de l'igname en côte d'Ivoire : état actuel et perspectives d'évolution. *Cahiers Agricultures*, 15 (3) : 273-277
- Dumont R. (1987). Production de l'igname, notes techniques, fiches culturelles. IDESSA/ DCV, Bouaké, Côte d'Ivoire, 31 p.
- Dumont R., Dansi A.A., Vernier P. & Zoundjihékpon J. (2005). Biodiversité et domestication des ignames en Afrique de l'Ouest. Pratiques traditionnelles conduisant à *Dioscorea rotundata* Poir. Coll. Repères CIRAD-IPGRI (Montpellier, France), 120 p.
- Dumont R., Hamon P. & Seignobos C. (1994). Les ignames au Cameroun, culture annuelle, Cirad-Ca/Ed. Cirad, (Montpellier, France), 1-80.
- Dumont R., Letourmy P et Kouakou A. (1997). Influence de la fertilisation chimique sur l'aptitude de la conservation des ignames en Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*, 6 (2): 107-114.
- Dusotoit-Coucaud A. (2009). Caractérisations physiologique et moléculaire des transporteurs de sucres et de polyols des cellules laticifères chez *Hevea brasiliensis*, en relation avec la production de latex. Thèse de Doctorat, Physiologie et biologie moléculaire végétale, Ecole doctorale Sciences de la vie et de la santé, Université Blaise Pascal, France, 345 p.
- Edzang A.C.E. (2023). Biomécanique de l'hévéa des plantations : sensibilité à la casse au vent. Thèse de Doctorat, Matériaux génie-civil, Ecole doctorale sciences pour l'ingénieur de Clermont-Ferrand, Université Clermont Auvergne, France, 139 p.
- Elabo A.A.E. (2009). Recherche de marqueurs biochimiques et protéiques pour la sélection de clone à fort potentiel de production de caoutchouc chez l'hévéa : *Hevea brasiliensis* Mull. arg. (Euphorbiaceae), Thèse de Doctorat, Génétique et amélioration des plantes, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 129 p.
- Elrick D.E., Parkin G.W., Reynolds W.D. & Fallow D.J. (1995). Analysis of early-time and steady state single-ring infiltration under falling head conditions. *Water Resources Research*, 31 : 1883-1893.

- Ennin S.A., Dapaah H.K. & Asafu-Agyei J.N. (2003). Land preparation for increased sweet potato production in Ghana. Presented at the paper presented at the 13th Symposium of the International Society For Tropical Root Crops (ISTRC-World Branch), Held from 10th-14th November 2023, at Arusha, Tanzania, 14 p.
- Eponon E.C, Snoeck D., Konaté Z., Kassin K.E., Camara M., Legnaté H. & Koné D. (2019). Caractérisation de la fertilité des sols dans les zones de production de café (*Coffea spp.*) en (Côte d'Ivoire). *Journal de recherche des sciences agricoles et forestières*, 7 (2): 15-24.
- Eschbach J. M., Roussel D., Sype H. V.D., Jacob J. L. & D'Auzac J. (1984). Relationships between yield and clonal physiological characteristics of latex from *Hevea brasiliensis*. *Physiologie Végétale*, 22 : 295-304.
- Essehi J.L. (2019). Valorisation agronomique des déchets de ferme par compostage pour l'amélioration de la croissance végétative en pépinière en sac de *Hevea Brasiliensis* Muell. arg. (Euphorbiaceae) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, pédologie, UFR des sciences de la terre et des ressources minières, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 235 p.
- Eza S.S. & Ballo Z. (2022). Déterminants de la fixation des prix de l'igname Kponan sur les marchés de Côte d'Ivoire. *Repères et perspectives économiques*, 6 (1) : 170-191.
- FAO. (2022). Gestion Durable des Forêts (GDF) Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Agroforesterie. <https://www.fao.org/agroforestry>. Consulté le 30/11/2022
- Fasinimirin J.T. & Reichert J.M. (2011). Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* crantz) production in the tropics. *Soil Tillage Research*, 113 : 1-10.
- Ferguson T.U. & Gumbs F.A. (1976). Effect of soil compaction on leaf number and area, and tuber yield of white Lisbon yam. In *Proceedings fourth Symposium of International Society of Tropical Root Crops*. Cock J., Macintyre R., Graham M., editors. CIAT, Cali, Colombia IDRC, 89-93.
- Fernandes R. D., Cuevas M. V., Diaz-Espejo A. & Hernandez-Santana V. (2018). Effects of water stress on fruit growth and water relations between fruits and leaves in a hedgerow olive orchard. *Agricultural Water Management*, 210 : 32-40.
- FIRCA. (2013). Maladies et ravageurs de l'hévéa. FIRCA/APROMAC-Guide du conseiller agricole hévéa Tome 4, document interne, Abidjan (Côte d'Ivoire), 94 p.
- FIRCA. (2022). Mise en place et entretien des cultures immatures d'hévéa. Guide du conseiller agricole tome 2, 56 p.

- Floret C., Pontanier R. & Serpantie G. (1993). La jachère en Afrique Tropicale, UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. France, 96 p. <https://coillink.org/20.500.12592/1jwsxkp>. Consulté le 15 Octobre 2024.
- Gbodjé J-F. A. (2021). Expansion de l'hévéaculture et risque d'insécurité alimentaire dans le département de LAKOTA (Sud-Ouest Ivoirien). *Revue espace géographique et société marocaine*, 45/46 : 53-68.
- Genot V., Colinet G., Brahy. & Bock L. (2009). L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4-sol1) de « l'état de l'environnement wallon 2006-2007 ». *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(1) : 121-138.
- GEPPA (1981). Synthèse des travaux de la commission de cartographie 1971-1981.
- Gnanglè C.P., Glèlè K.R., Assogbadjo A.E., Vodounnon S., Afouda Y.J. & Sokpon N. (2011). Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 8 : 27-40.
- Goenaga R. & Irizarry H. (1994). Accumulation and partitioning of dry matter in water yam. *Agronomy Journal*, 86 : 1083-1087.
- Gohet E. (1996). La production de latex par Hevea brasiliensis relations avec la croissance. Influence de différents facteurs: origine clonale, stimulation hormonale, réserves hydrocarbonées. Thèse de Doctorat, physiologie végétale et développement, Ecole Doctorale Biologie des Systemes intégrés, Agronomes, Environnement, Université Montpellier II, France, 350 p.
- Gordon A.M., Newman S.M. & Coleman B.R.W. (2018). Temperate Agroforestry Systems, 2nd Edition, Edition, Gordon A.M., Newman S.M. & Coleman B.R.W, Canada, 6 p.
- Goudou S.C. (1995). La mosaïque de l'igname : aspects épidémiologiques au Burkina Faso et variabilité du virus. Thèse de Doctorat, Physiologie, Ecole doctorale Biologie des systèmes intégrés-agronomie-environnement, Université de Montpellier II, France, 164 p.
- Guei N.K.R. (2020). Caractérisation moléculaire et phénotypique des bactéries symbiotiques et associatives isolées des nodules du pois bambara [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.]. Thèse de Doctorat, Microbiologie des sols et biologie moléculaire, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 289 p.
- Guimaraes R.M.L., Ball B.C. & Tormena C.A. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil use manage*, 27 : 395-403.

- Hallé F. & Martin R. (1968). Etude de la croissance rythmique chez l'Hevea (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg. Euphorbiacées). *Andansonnia*, 2 (8) : 475-503.
- Hamon P., Hamon S., & Touré B. (1986). Les ignames cultivées du complexe *Discorea cayenensis-rotundata* de Côte d'Ivoire : Inventaire et description des cultivars traditionnel. *ORSTOM*, 51, Abidjan, Côte d'Ivoire, 67 p.
- Hassine B.H., Aloui T., Gallali T., Bouzid T., EL Amri S. & Ben Hassen R. (2008). Evaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivées en zones sub humides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agro solution*, 19 (2): 17 p.
- Herrick J., Whitford W., de Soyza A., Van zee J., Havstad K., Seybold C. & Walton M. (2001). Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44 : 27-35.
- Hgaza V.K., Diby L.N., Tie T.B., Tschannen A., Aké S., Assa A. & Frossard E. (2011). Growth and distribution of roots of *Dioscorea alata* L. do not respond to mineral fertilizer application. *The Open Plant Science Journal*, 5: 14-22.
- Hong L.T., Wong A.H.H. & Ho Y.F. (1999). Durability of rubber wood (*Hevea Brasiliensis*), Rubber wood processing and utilisation, SIM HC (ed.), Kepong (Gnana), 43-55.
- Huttel C. & Reversat J. (1967). Biomasse végétale et productivité primaire de la forêt ivoirienne. *Revue Ecole Application*, 29 : 203-228.
- Idumah F.O., Owombo P.T. & Ighodaro U.B. (2014). Economics of Yam Production under Agroforestry System in Sapoba Forest Area, Edo State, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 4 (6) : 440-445.
- Ilstedt U., Bargués A.T., Bazié H.R., Bayala J., Verbeeten E., Nyberg G., Sanou J., Benegas L., Murdiyarso D., Laudon H., Sheil D. & Malmer A. (2016). Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropic. *Scientific Reports*, 6 : 21930.
- INS. (2016). Rapport d'activité de l'INS, Institut National de la Statistique, Abidjan (Côte d'Ivoire), 11 p.
- INS. (2022). Rapport sur la situation des ODD, prenant en compte les personnes vulnérables et le genre en Côte d'Ivoire, 2017-2020, Abidjan (Côte d'Ivoire), 85 p.
- Jacob J.L. (1970). Particularité de la glycolyse et de sa régulation au sein de latex d'*Hevea brasiliensis*. *Physiologie Végétale*, 8 : 395-411.
- Jacob J.L., D'Auzac J., Prevot J.C & Serier J.B. (1995). Une usine à caoutchouc naturel : l'hévéa. *La recherche*, 276 : 538-545.
- Jacob J.L., Lacrotte R., Serres E. & Roussel D. (1987). Les paramètres physiologiques du latex *Hevea brasiliensis*, document interne CNRA, Abidjan (Côte d'Ivoire), 41 p.

- Jacob J.L., Prévôt J.C. & Lacrotte R. (1994). L'encoche sèche chez *Hevea brasiliensis*. Rapport CIRAD-CP, (Montpellier, France), 10 p.
- Jacob J.L., Prevot J.C., Roussel D., Lacrotte R., Serres D., D'Auzac J., Eschbach J.M. & Omont H. (1989). Yield-limiting factors, latex physiological parameters, Latex Diagnosis and clonal typology. Physiology of Rubber Tree Latex. *CRC. Press Floride*, 470 p.
- Jacob J.L., Prevot J.-C. & D'Auzac J. (1982). Physiological activators of invertase from *Hevea brasiliensis* latex. *Phytochemistry*, 21 : 851-853.
- Jacob J.L., Serres E., Prevot J.C., Lacrotte R., Clément V.A., Eschbach J.M. & D'Auzac J. (1988). Mise au point du diagnostic latex. *Agritop*, 12 : 97-118.
- Janssens O. (2001). Fairness perceptions as a moderator in the curvilinear relationships between job demands, and job performance and job satisfaction. *Academy of Management Journal*, 44 : 1039-1050.
- Kadidia M.T. (2020). Performance agronomique et santé du sol dans divers itinéraires agronomiques lors de la transition biologique en grandes cultures au Québec. Mémoire de maîtrise, Biologie végétale, Université de Laval (Québec, Canada), 65 p.
- Kambiré B., Kambiré S. & AKA A.G. (2017). Impact de l'agression paysanne du parc national de la Comoé : une analyse par la cartographie des paysages. *Revue de géographie de l'Université de Ouagadougou*, 6 (2) : 87-106.
- Kassi N.J., Kouassi H.R. & Yongo D.O. (2012). Analyse de la flore de la forêt classée de Sanaimbo à Bongouanou-Dimbokro (Cote d'Ivoire). *International Journal Biological and Chemical Science*, 6 (5) : 2139-2148.
- Kéli Z.J., Assiri A.A. & Zara A.N. (2005 b). Associations culturelles à base de plantes pérennes en Côte d'Ivoire : Bilan et perspectives. *Sciences et nature*, 2 (2) : 193-207.
- 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. Rapport de la Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement-Direction des innovations et des systèmes d'information CNRA, Abidjan (Côte d'Ivoire), 2 p.
- Kéli Z.J., Omont H., Assiri A.A., Boko K.A.M.C., Obouayeba S., Déa G.B. & Doumbia A. (2005 a). Associations culturelles à base d'hévéa : Bilan de 20 années d'expérimentations en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 17 (1) : 1-71.
- Koffi A. (2023). Caractérisation agro-pédologique et cartographie de l'aptitude culturelle des sols de nouvelles zones de production hévéicole en Côte d'Ivoire : cas des départements de Man, Toumodi et Prikro. Thèse de Doctorat, Agro-pédologie UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 209 p.

- Koffi A., Soro D., Diomandé M., Konan D., Essehi J.L. & Obouayeba S. (2021). Physico-chemical Characterization of the Soils of New Heveicolate Localities of Côte d'Ivoire : Case of the Departments of Man (West) and Toumodi Centre. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 7 (2) : 11-21.
- Koffié B.C.Y. & Kra K.S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody/Abidjan/Côte d'Ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 : 9 p.
- Koua S.H., Cuolibaly N.A.M.D. & Alloue B.W.A.M. (2018). Caractérisation des vergers et des maladies de cacao de la Côte d'Ivoire : cas des départements d'Abengourou, Divo et Soubré. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 35 (3) : 5706 -5714.
- Kouacou F.C. (2019). Impact de l'autoroute du Nord sur la ville de Toumodi. Doctorat en Géographie Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, Laboratoire de Recherche Espace, Système et Prospective. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, 2521-2125.
- Kouadio Y.D.M. (2021). Caractérisation des systèmes de production impliquant l'hévéa dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire : Etude des performances agro-économiques de l'association permanente hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) - caféier (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). Thèse de Doctorat, UFR Agroforesterie, Agriculture et Foresterie Tropicale, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire), 226 p.
- Kouadio Y.D.M., Kouassi K.H., Bahan F.M. & Keli Z.J. (2021). Impact de l'association Hevea-Caféier sur la production sur la production des deux spéculations. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 47 (3) : 8497-8505.
- Kouakou A.M. (2010). Diversité génétique des ignames *Dioscorea alata* L. (Dioscoreaceae) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Génétique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 120 p.
- Kouakou A.M., Yao G.F., Dibi K.E.B., Adolphe M., Lopez-Montes A., Essis B.S., N'zue B., Kouamé B., Adebola P.O., Asfaw A. & Asiedu R. (2019). Yam cropping system in Côte d'Ivoire: current practices and constraints. *European Scientific Journal*, 15 (30) : 278-300.
- Kouakou A.M., Zaouri G.P., Dumont R. & Yapi G.V. (2005). Bien cultiver l'igname en Côte d'Ivoire, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). 4 p.
- Kouakou N.K.P (2022). Contribution de la saignée inversée à l'amélioration de la productivité des clones d'hévéas (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Euphorbiaceae) en Côte d'Ivoire.

- Thèse de Doctorat, Agrophysiologie, UFR Sciences de la nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 154 p.
- Kouamé F.N. & Zoro-Bi I. (2010). Nouveau découpage de la zone de forêt dense humide de la Côte d'Ivoire. *Science et nature*, 7 (2) : 177-194.
- Kouassi A.E. (2010). Etude comparée de l'efficacité des extraits aqueux de graines de neem (*Azadirachta indica* Juss) et de feuilles d'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) dans la lutte contre les insectes du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). Mémoire de technicien agricole, Agriculture générale, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, école supérieure d'agronomie (Yamoussoukro, Cote d'Ivoire), 52 p.
- Kouassi B.A.C.D. (2019). Analyse des déterminants du choix et de l'adoption de variétés améliorées de riz : cas des zones de Gagnoa et de Korhogo en côte d'ivoire. Mémoire de fin de cycle, Diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles, Economie et Gestion des Entreprises Agricoles. Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Ecole Supérieure d'Agronomie (Yamoussoukro, Cote d'Ivoire), 104 p.
- Kouassi Y.F., Angui K.T.P. & Savane I. (2010). Influence de quelques fractions d'éléments grossiers sur l'humidité du sol à la capacité au champ sous culture intensive, au Sud de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 15 : 127-138.
- Koulibaly T. (2014). Développement de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire : menaces ou opportunités pour les autres vivrières. Etude de cas des secteurs hévéicoles de Daloa et d'Abengourou. Mémoire de fin de cycle, Diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles, Agro-économie, Ecole Supérieure d'Agronomie, Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (Yamoussoukro, Côte d'Ivoire), 64 p.
- Krishnakumar A.K. & Potty S.N. (1992). Nutrition de l'hévéa. *Developments in crop science*, 23 : 239-262.
- Lacrotte R. (1991). Etude des relations entre la teneur en sucres du latex et la production. Approche de mécanismes du chargement de saccharose des laticifères d'*Hevea brasiliensis* Muell.Arg. Thèse de Doctorat, Université des sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier (France), 266 p.
- Larivière P.A. (2007). Compétition racinaire pour l'espace entre la végétation herbacée et des jeunes arbres de différents stades de succession. Mémoire de maîtrise en Biologie, Université du Québec, Montréal (Canada), 62 p.
- Lassabatère L., Angulo-Jaramillo R., Soria Ugalde J.M., Cuenca R., Braud L. & Haverkamp R. (2006). Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments BEST, *Soil Science Society of America Journal*, 70 : 521 p.

- Laurent F. & Hinsinger P. (2022). Réservoir en eau du sol utilisable par les cultures. Guide d'estimation, Edition Arvalis, Paris (France), 102 p.
- Le Guen T. (2004). Le développement agricole et pastoral du Nord de la Côte d'Ivoire : problèmes de coexistence. Les cahiers d'Outre-Mer. Éditeur : *Presses Universitaire de Bordeaux*, 4 : 226-227.
- Lehi M.I. (2022). Contribution à l'amélioration de la productivité des clones d'hévéa (*hevea brasiliensis* Muell. Arg) : détermination de la relation croissance végétative-production de caoutchouc. Thèse de Doctorat, Agrophysiologie, Centre d'Excellence Africain en Changement Climatique, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 236 p.
- Ligban R., Gone L.D., Kamagaté B., Saley M.B. & Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimique et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (1) : 38-47.
- Lynen F. (1969). Biochemical problems of rubber synthesis. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaya*, 21 (4) : 389-406.
- Maliki R. (2013). Gestion de la fertilité des sols pour une meilleure productivité dans les systèmes de culture à base d'igname au Bénin. Thèse de Doctorat unique, ès-sciences agronomiques, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin, 265 p.
- Maliki R., Sinsin B. & Floquet A. (2012). Evaluating yam-based cropping systems using herbaceous legumes in the savannah transitional agro-ecological zone of Benin. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36 : 1-21.
- Mamadou O.L.Y., Kumar D., Diouf M., Nautiyal S. & Diop T. (2014). Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (1) : 46-56.
- Manlay R. & Masse D. (1998). Dynamique du carbone dans le cycle culture-jachère en Afrique de l'Ouest. ORSTOM, Dakar (Sénégal), 15 p.
- Marion B. (2024). Impact de la taille des particules de caoutchouc du latex d'*Hevea brasiliensis* sur leurs propriétés aux interfaces fluides et en feuilles de caoutchouc sec. Thèse de Doctorat, matière molle et science des matériaux, Université de Rennes, France, 309 p.
- Martin J.P. (1970). L'hévéa, cours ENSA, Abidjan (Côte d'Ivoire), 53 p.

- Meless A.S. (2016). Enjeux socio-économiques et contraintes liés à l'hévéaculture en pays adjukru dans la région de Dabou (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12 (35) : 431-450.
- Milford G.F.J., Paardekooper E.C. & Ho C.Y. (1969). Latex Vessels plugging its importance to yield and clonal behaviour. *Journal Rubber Research Institut. Malaya*, 21 : 274-282.
- Milhorance C., Roberto D.H., Kouadio R. & Tano K.P. (2024). Dynamiques institutionnelles relatives à la conservation et la restauration des sols et paysages post-forestiers en Côte d'Ivoire, CIRAD, Montpellier (France), 76 p.
- MINAGRI. (2010). Annuaire des statistiques agricoles. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Abidjan, 73 p.
- Mohammad A. & Flowers T.H. (2004). Evaluation of Kjeldahl digestion method. *Journal of Research Science*, 15 : 159-179.
- Monner (1974). Le complexe agro-industriel d'hévéa », in Annales de l'Université d'Abidjan, Série G (géographie), tome VI, 225-227.
- Mollard E. & Walter A. (2008). Les buttes à igname au Vanouatou, Agricultures singulières, IRD édition, (Paris, France), 1-7.
- N'Dri K.M-T. & Gnahoua M.J. (2008). Arbres et lianes spontanés alimentaires du département de Gagnoa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Bois et forêts des tropiques*, 298 (4) : 65-75.
- N'Goran A.L. (2023). Caractérisation morphologique des ignames de sous-bois. Mémoire de master, Amélioration de la production agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 62 p.
- N'Goran K.E., Zohouri P.G., Yoro R.G., Kouakou M.A., Assa A. & Asiedu R. (2007). Revue bibliographique sur la gestion de la fertilité des sols cultivés en igname en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19 (3) : 281-288.
- N'Goran K.D. (2024). 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. Thèse de Doctorat, agrophysiologie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 195 p.
- N'Goran M.F., Digbeu D.Y., Yoro R.G., Kouamé K.B., Soumahin E.F. & Koko A.C. (2024). Composition nutritive des ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa et le cacao à Gonaté dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 18 (10) : 35-41.

- N'Gue B.T., Mbairanodji A., Njualement D. (2007). Guide des techniques de production et de conservation de l'ignames (*Dioscorea* spp). Rapport PNDRT, Yaoundé (Cameroun), 31 p.
- N'Guessan A.A. (2022). Caractérisation agromorphologique du système agroforestier Hévée-Teck à Toumodi, Centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master, Amélioration des Ressources Agricoles, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 69 p.
- N'Guessan K.A., Diarrassouba N., Alui K.A., Nangha K.Y., Fofana I.J. & Yao-kouamé A. (2015). Indicateurs de dégradation physique des sols dans le Nord de la Côte d'Ivoire : cas de Boundiali et Ferkessédougou. *Afrique Science*, 11 (3) : 115-128.
- Nadarajah M., Abeysinghe A., Dayaratne W. C. & Thermalingam R. (1973). Potentialities of rubber seed collection and its utilization in *Sri Lanka*. *Sri Lanka Bulletin*, 8 (1) : 9-21.
- Nangah K.Y., Yao-Kouame A., Yao G.F., Kouakou Y.K.N., Alui K.A & Savane I. (2012). Attributs physico-chimiques et contraintes de la productivité agricole des sols du site manganésifère de Lauzoua (Guitry) en Côte d'Ivoire. *Journal of applied Biosciences*, 50 : 3459-3467.
- Ndoutoumou P., Nguema A.S., Ondo J.A., Bourobou D., Nkoume F. & Nkodo. (2017). Contribution à une meilleure estimation des productions théoriques de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*. Muell. Arg.) sur la base des données climatiques au Sud-Ouest Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 120 : 12018-12026.
- Ndoutoumou P.N., Ovono P.O., Azi A.S., Mouketou A.M., Omeme E.V. & Nkodo F. (2016). Incidence des fluctuations climatiques sur la production de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) dans la zone côtière du Cameroun. *Afrique Science*, 12 (1) : 345-356.
- Nyabyenda P. (2005). Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Presse agronomique de Gembloux, Belgique, 221 p.
- Obigbesan G.O. (1977). Investigations on Nigeria Root and tuber crops: Response of cassava cultivars to potassium fertilizer in western Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 89: 23-27.
- Obouayeba S. & Boa D. (1993). Fréquence et repos annuel de saignée d'*Hevea brasiliensis*, clone PB 235, dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Cahier Agriculture*, 2 (6) : 387-393.
- Obouayeba S. (1991). Cultures vivrières intercalaires des jeunes hévéas en milieu villageois du Sud-est de la Côte d'Ivoire. *Systèmes Agricoles en Afrique*, 1(2) :21-32.
- Obouayeba S. (2005). Contribution à la détermination de la maturité physiologique de l'écorce pour la mise en saignée d'hévéa *brasiliensis* Muell.Arg. (Euphorbiaceae) : Norme

- d'ouverture. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 225 p.
- Obouayeba S. (2009). Saignée de faible intensité appliquée au clone d'*Hevea brasiliensis* PB 217 pour pallier à une pénurie et/ou une cherté de la main d'œuvre saigneur. Fiche technique CNRA, Abidjan (Côte d'Ivoire), 6 p.
- Obouayeba S., Atsin G.J.O., Soumahin E.F., Iqbal S.M.M., Essehi J.L & Obouayeba A.P. (2016). Efficient latex harvesting technologies at the opening of *Hevea brasiliensis* moderate metabolism clone GT 1 in Côte d'Ivoire. *Journal Rubber Reseach*, 19 (1) : 53-70.
- Obouayeba S., Boa D., Ake S. & Lacote R. (2002). Influence of age and girh at opening on growth and productivity of hevea. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 15 (1) : 66-71.
- Obouayeba S., Boa D., Gohet E., Dian K., Ouattara N. & Keli J. (2000). Dynamics of vegetative growth of *Hevea brasiliensis* in the determination of tapping norms. *Journal Rubber Reseach*, 3 (1) : 53-62.
- Obouayeba S., Kouadio B., Soumahin E.F., Elabo A.A.E., Dea G.B., Nguessan A.E.B., Kouamé C., Zhéhi B. & Keli Z.J. (2015). Natural rubber-based intercropping systems in Côte d'Ivoire : a review of forty years of work. *Rubber Science*, 28 (3) : 211-226.
- Obriot F., Stauffer M., Goubard Y., Cheviron N., Peres G., Eden M., Revallier A., Vieublé-Gonod L. & Houot S. (2016). Multi-criteria indices to evaluate the effects of repeated organic amendment applications on soil and crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232 : 165-178.
- Ocho L.A. (1999). Valorisation de la graine d'hévéa (*Hevea brasiliensis*) : Production, caractérisation physico-chimique de la graine d'hévéa et efficacité alimentaire du tourteau chez le poulet de chair et la pondeuse. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 108 p.
- Ohiri A.C & Nwokoye J.U (1983). Soil physical and chemical properties suitable for yam (*Dioscorea rotundata*) production in southeastern Nigeria. In : *Shideler FS, Rincon H editors. proceedings of the 6th Symposium of International Society of Ttropical Root Crops*, Lima (Peru) : 618 p.
- OIPR (Office Ivoirien des Parcs et Réserves). (2006). Plan d'aménagement et de gestion du Parc National de Taï, Côte d'Ivoire, 110 p.

- Okoma K.M. (2008). Etude de la sensibilité au syndrome de l'encoche sèche chez *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). Thèse de Doctorat, URF Biosciences, Université de Cocody, Cote d'Ivoire, 161 p.
- Okoma K.M., Dian K., Obouayeba S., Elabo A., Gnagne M., Koffi E., Soumahin F., Doumbia S & Keli J. (2011). Bien diagnostiquer l'encoche sèche chez l'hévéa en Côte d'Ivoire. CNRA, Fiche hévéa N°2, 2 p.
- Okoma K.M., Dian K., Soumahin E.F., Elabo A.A., Doumbia S., Obouayeba S. & Keli Z.J. (2016). Agricultural practices in Côte d'Ivoire and apparition and development of tapping panel dryness in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *International Journal Agricultural Sciences*, 6 (7) : 74-80.
- Ollivier I. (2000). L'hévéa en association avec les cultures pérennes, fruitières ou forestières dans les agroforêts de type simple ou complexe. Synthèse bibliographique, 18 p
- ONU. (2023). Habitat Côte d'Ivoire. Rapport pays, une meilleure qualité de vie pour tous dans un monde en urbanisation. 12 p.
- Onwueme I.C. (1973). The sprouting process in yam (*Dioscorea* spp.) tuber pieces. *Journal of Agricultural Science*, 81 : 375-379.
- Onwueme I.C. (1976). Performance of yam (*Dioscorea* spp) setts planted without water. *Journal of Agricultural Science*, 87 : 413-415.
- Pasiecznik N. & Reij C. (2021). Restauration des terres arides de l'Afrique. Tropenbos International, Ede, Pays-Bas, 292 p.
- Pawlett M., Hannan J.A. & Knox J.W. (2021). Redefining soil health. *Microbiology*, 167 (1) : 1-3
- Penot E. & Ollivier I. (2009). L'hévéa en association avec les cultures pérennes, fruitières ou forestières : quelques exemples en Asie, Afrique et Amérique latine. *Bois et forêt des tropiques*, 301 (3) : 67-82.
- Penot E.M. (2001). Stratégies paysannes et évolution des savoirs : l'hévéaculture agroforestière indonésienne. Thèse de Doctorat, Formation doctorale : Economie du développement agricole, agro-alimentaire et rural, Université de Montpellier I, France, 144 p.
- Peter L., Graciela M., Jonathan D. (2018). Biodiversité et carbone organique des sols : entretenir les zones arides, rapport de recherche, Gland, Suisse, 32 p.
- Pouzet D. (1985). L'igname. Montpellier (France): IRAT-CIRAD, 10 p.
- Reddy V.R., B. Acock D. N. Baker, Acock M. (1989). Seasonal leaf area-leaf weight relationship in the cotton canopy. *Agronomy Journal*, 81 : 1-4.

- Ribeiro S. (2019). Rôle de la cassiicoline dans l'interaction compatible *Hevea brasiliensis*/ *Corynespora cassiicola* : vers la sélection assistée par effecteur : Biologie végétale. Génétique des plantes. Thèse de Doctorat, physiologie et Génétique moléculaire, Université de Clermont Auvergne, France, 251 p.
- Rodrigo V.H.L., Iqbal S.M.M. & Dharmakeerthi R.S. (2011). Potential for rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) cultivation in the Eastern Province of Sri Lanka. *Journal Natural Science Foundation Sri Lanka*, 39 (4) : 403-411.
- Ruf F. (1995). Booms et crises du cacao : les vertiges de l'or brun. Karthala-CIRAD-SAR, Paris (France), 459 p.
- Ruf F. (2010). Les Baoulés ne sont pas des oiseaux pour manger du riz. Alimentation, migrations, et écologie du Sud-Ouest Ivoirien. *Anthropology of food*, (7) : 1-21.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C.A. (2009). Rapport National sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture : République de Côte d'Ivoire, 63 p.
- Sankara W. D. (2017). Effets de différents types de fertilisation et de travail du sol sur le rendement de l'igname (*Dioscorea alata* L.) dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur des sciences de l'environnement et du développement rural, Agronomie, Université Ollaga 1, Burkina Faso, 53 p.
- Schultes R.E. (1990). A brief taxonomic view of the genus *Hevea*. Kuala Lumpur, Malaisie, *MRRDB Monograph* 14 : 60 p.
- Seghieri J. & Harmand J-M. (2019). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Edition Quae, Versailles (France), 252 p.
- Simien A. (2005). Caractérisation socio-économique et modélisation des exploitations hévéicoles du Sud de la Thaïlande. Stage Thématique et méthodologie de 2^{ème} année, CIRAD-TERA, 78 p.
- SIPH. (2025). La production. www.siph.groupe-sifca.com/caoutchouc-naturel/la-production. Consulté le 29 mai 2025.
- Siqueira M.V., Dequigiovanni G., Corazon-Guivin M.A., Feltran J.C. & Veasey E.A. (2012). DNA fingerprinting of water yam (*Dioscorea alata*) cultivars in Brazil based on microsatellite markers. *Horticultura brasileira*, 30 : 653-659.
- Snoeck D., Lacote R., Kéli Z.J., Doumbia A., Chapuset T., Jagoret P. & Gohet E. (2013). Association of hevea with other tree crops can be more profitable than hevea monocrop during first 12 years. *Industrial Crops and Products*, 43 : 578-586.
- Sobulo R.A. (1972). Studies on white Yam (*Dioscorea rotundata*) I Growth analysis. *Experimental Agriculture*, 8 : 99-106.

- Soro D., Dao D., Carsky R., Asiedu R., Tra T.B., Assa A. & Girardin O. (2003). Amélioration de la production de l'igname à travers la fertilisation minérale en zone savane de côte d'ivoire. *Agronomie Africaine* (numéro spécial, Atelier National sur l'igname d'octobre 2001), 4 : 39- 46.
- Soubie R. (2007). Réponses fonctionnelles de la végétation ligneuse Nord-Sahélienne de la variabilité des disponibilités hydriques : cas du Gourma Malien. Diplôme d'étude Supérieur, Université Paul Sabatier (Toulouse, France), 67 p.
- Soumahin E.F. (2010). Optimisation des systèmes d'exploitation en hévéaculture par la réduction des intensités de saignée. Thèse de Doctorat, Physiologie végétale, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 208 p.
- Soumahin E.F., Elabo A.A.E., Okoma K.M., Atsin G., Dick A.E. & Obouayeba S. (2014). Yield response of low frequency upward tapping by increasing the tapping cut length in *Hevea brasiliensis* (clone GT 1) in south Eastern Côte d'Ivoire. *Rubber Science*, 27 : 193-201.
- Soumahin E.F., Sey J., Tonessia D.C., Kouadio Y.J. & Obouayeba S. (2022). Assessment of tapping quality in rubber tree cultivation in Côte d'Ivoire : case of Yamoussoukro, Tiassale and Anguededou plantations. *International Journal of Advanced Research*, 10 (8) : 592-604.
- Staton T., Walters R.J., Smith J. & Girling R.D. (2019). Evaluating the effects of integrating trees into temperate arable systems on pest control and pollination. *Agriculture Systems*, 176.
- Stefano A. & Jacobson M.G. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems : a meta-analysis. *Agroforestry Systems*, 92 (2): 285-299.
- Suja, G., V. M. Nair And J. Sreekumar, (2003). Influence of organic manures, nitrogen and potassium on nutrient uptake and nutrient-use efficiency of white yam (*Dioscorea rotundata*) intercropped in coconut (*Cocos nucifera*) garden. *Indian Journal of Agronomy*, 48 (3) : 168-171.
- Taussky H.H. & Shorr E. (1953). A micro colorimetric method for the determination of inorganic phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*, 202 : 675-685.
- Thaler P. (2013). Saigner sans tuer, ou la récolte durable du caoutchouc. *Quatre-temps*, 36 (4) : 25-28.
- Thanh D.K. & Thuy K.T. (2003). Hevea clonal typology : latex physiological parameter and clonal grouping by principal component analysis. In : *Proceedings of the International Workshop on Exploitation technology*, India 179-190.

- Theunis L. (2021). Les vers de terre, ces alliés indispensables d'une terre saine. *Daily science*. <https://dailyscience.be/07/12/2021/les-vers-de-terre-ces-allies-indispensables-dune-terre-saine/>. Consulté le 05 avril 2024
- Thierry M. (2005). Adapter la conduite des plantations d'hévéa à la diversité des exploitations villageoises (Etude de cas au Cameroun) : Thèse de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon (France), 302 p.
- Thoumazeau A., Bessou C., Renevier M.S., Trap J., Maeichal R., Mareschal L., Decaëns T., Bottinelli N., Jaillard B., Chevallier T., Suvannang N., Sajjaphan K., Thaler P., Gay F., Brauman A. (2019). Biofunctool : a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A : concept and validation of the set of indicators. *Ecological Indicators*, 97 : 100-110.
- Thoumazeau A., Gay F., Alonso P., Suvannang N., Phongjinda A., Panklang P., Chevallier T., Bessou C. & Brauman A. (2017). SituResp : A time and cost-effective method to assess basal soil respiration in the field. *Applied Soil Ecology*, 121 : 223-230.
- Tiama D., Kaboré B., Nanema K.R., Dabiré M. & Sawadogo N. (2018). Systèmes de culture et caractérisation paysanne des ignames de Passoré au Burkina Fasso. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 38 (2) : 203-211.
- Tié B.T. (1985). Etat comparé des sols dérivés de sables tertiaires sous monocultures de longue durée dans la région d'Anguédédou (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Faculté de Sciences et Technologies, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 100 p.
- Tousignant M-E. & Delore M. (2006). Connaitre le fonctionnement de la plante pour mieux gerer son environnement. Rapport de conférence présentée lors de l'Ohio International Short Course, Université de Géorgie, Etats-Unis, 3 p.
- Traoré K.M. & Tamboura A.T. (2024). Cartographie des vulnérabilités aux risques d'inondation dans la ville de Issia (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Internationale du Chercheur*, 5 (2) : 855-878.
- Traoré M.S. (2014). Effets de différentes fréquences annuelles de stimulation éthylénique sur les paramètres agro physiologiques des clones d'*Hevea brasiliensis* Müll. Arg. (*Euphorbiaceae*), PB 235, PB 260, GT 1 et PB 217 cultivés au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Felix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 195 p.
- Traoré M.S., Dick E.A., Elabo A.E.A., Soumahin E.F., Assi E.G.M., Atsin O.G.J., Alle Y.J., N'Guessan A.E.B., Kouamé C. & Obouayeba S. (2014). Effets de différentes fréquences annuelles de stimulation éthylénique sur les paramètres agrophysiologiques et de

- sensibilité à l'encoche sèche d'*Hevea brasiliensis* au Sud-Est de la Côte d'Ivoire : cas des clones PB 235 et PB 260 de la classe d'activité métabolique rapide. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 8 (3) :956-974.
- Treche S. & Guion P. (1979). Etude des potentialités nutritionnelles de quelques tubercules tropicaux au Cameroun : I. Influence de la maturité à la récolte. *Revue Science et Technique*, 1 : 55-71.
- Tupy J. & Primot L. (1976). Control of carbohydrate metabolism by ethylene in latex vessels of *Hevea brasiliensis* Mull, Arg. *Biologie Plant*, 18 : 373-384.
- Vaillant V., Bade P. & Constant C. (2005). Photoperiod affects the growth and development of yam plantlets obtained by in vitro propagation. *Biologie Plant*, 49 : 355-359
- Van De Sype H. (1984). The dry cut syndroms of *Hevea brasiliensis*, evolution, agronomical, and physiological aspects. C. R. Coll. Physiol. Amel. Hevea, Ed., IRCA-CIDRAD, Montpellier, France, 249-271.
- Vawa O.S.T., Seri S.P., Gnonhouiri G P., Adiko A. & Otchoumou. (2021). Effet de application des endomycorhizes en replantation annuelle de bananier sur deux nematodes 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.
- Viaud V. & Kunnemann T. (2021). Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 305 p.
- Viaud V. & Thomas Z. (2019). Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation pour l'action. *Sciences Eaux & Territoires*, 30 : 32-37.
- Voko B.D.R., Nandjui J., Séry D.J-M., Fotso B., Niamke S. & Zézé A. (2013). Abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities associated with cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) rhizosphere in Abengourou, East Côte d'Ivoire. *Journal of Environmental Natural and Ecology*, 5 (11) : 360-370.
- Wahounou P.J., Coulibaly B., Gnonhouiri G.P. & Adiko A. (2017): Teak (*Tectonagrandis*) decay associated with *Verticillium* sp. And *Fomes* sp. Within reforestation areas in Côte d'Ivoire. *Journal of Tropical Forest Science*, 29 (3) : 363–370.
- Wall D.H., Bradford M.A., John M.G.S., Trofymow J.A., Behan-Pelletier V., Bignell D.E., Dangerfield J.M., Parton W.J., Rusek J., Voigt W., Wolters V., Gardel H.Z., Ayuke F.O., Bashford R., Beljakova O.I., Bohlen P.J., Brauman A., Flemming S., Henschel J.R., Johnson D.L., Jones T.H., Kovarova M., Kranabetter J.M., Kutny L., Lin K.C., Maryati

- M., Masse D., Pokarzhevskii A., Rahman H., Sabara M.G., Salamon J.A., Swift M.J., Varela A., Vasconcelos H.L., White D. & Zou X. (2008). Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology*, 14: 2661-2677.
- Wehi Z.A. (2012). Itinéraire technique de l'établissement d'une plantation d'hévéa. Rapport de stage, Man (Côte d'Ivoire), 28 p.
- Weil R.R., Islam I.R., Stine M.A., Gruver J.B. & Samson-liebig S.E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 3-17.
- WRB (2015). Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014, Mise à jour 2015. Systeme international de classification des sols pour nommer les sols et elaborer des legendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde. N° 106, FAO, Rome, Italie, 216 p.
- Yaméogo N. (2023). Evaluation de l'effet des aménagements bocagers de l'ONG terre verte sur la santé à l'aide de l'outil Biofunctool : cas du périmètre de Tankouri au Nord-Ouest du Burkina Faso. Mémoire de Master, Georessources, Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso, 46 p
- Yao J.J. (2023). Influence de la qualité du compost sur la production et la santé de deux variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* L., (Solanaceae)) cultivées à Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, agrophysiologie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 183 p.
- Yao J.J., Kouassi N.J., Grogga N. & Yatty K.J. (2022). Effet de la fertilisation organique sur la production de deux variétés de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivées en conditions semi-contrôlées à Daloa, Centre-Ouest, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 21 (6) :92-101.
- Yao K.A.P., Waounou P.J., Diallo A.H. (2018). Evaluation de l'efficacité de fongicides au laboratoire contre *Corynespora Cassiicola*, agent causal de la maladie « Corynespora Leaf Fall » de l'hévéa en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14 (18) : 1857-7881.
- Yao K.T., Oga M., Kouadio K.E., Fouché O., Ferriere G. & Pernelle C. (2014). Rôle hydrogéologique des linéaments structuraux en milieu cristallin et cristallophyllien : cas du bassin versant du Sassandra, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 10 (4) : 78-92.
- Yeang H.Y. (2007). Floraison synchrone de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) induite par une forte intensité de rayonnement solaire. *Nouveau phytologue*, 175 (2) : 283-289.

- Yolou M., Zoundjihékpon J., Assala E., Anizehou I. & Akoegninou A. (2015). La floraison des ignames africaines cultivées (*D. cayenensis*, *D. rotundata* et *D. dumetorum*) dans les champs des producteurs du Centre-Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 91: 8480-8492.
- Yoro (1992). La méthode au sable : protocole et utilisation pratique. Note technique. *Cahiers ORSTOM, série Pédologique*, 27 (2) : 365-372.
- Zoh O.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Doumbia A. & N’Goran K.D. (2023). Influence des pratiques agricoles et de la pluviométrie sur la sensibilité à la maladie de l’encoche sèche de l’hévéa dans trois zones de productions hévéicoles de la Côte d’Ivoire. *Journal of Animal and plant sciences*, 58 (1) : 10636-10651.
- Zoundjihekpon J. (1993). Biologie de la reproduction et génétique des ignames cultivées de l’Afrique de l’Ouest, *Dioscorea cayenensis-rotundata*. Thèse de Doctorat d’Etat, Université de Cocody, Côte d’Ivoire, 344 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Origines des accessions collectées

N°	ACCESSIONS	LOCALITE
01	Cocoassié 1	Bondoukou
02	Bacoué 1	Bondoukou
03	Brodja 1	Bondoukou
04	Bacoué 2	Bondoukou
05	Cocoassié 2	Bondoukou
06	Cocomisé 1	Bondoukou
07	Cocomisé 2	Bondoukou
08	Brodja 2	Bondoukou
09	Bacoué 3	Bondoukou
10	Bacoué 4	Bondoukou
11	Cocoassié 3	Bondoukou
12	Cocoassié Ouffoué1	Diegonefla
13	Cocoassié Ouffoué 2	Diegonefla
14	Kpossoko	Diegonefla
15	Kounougbe 1	Diegonefla
16	Cocoassié Ouffoué 3	Gagnoa
17	Cocoassié Blé	Gagnoa
18	Soukpataloa1	Gagnoa
19	Cocoassié Okloue	Gagnoa
20	Cocoassié Blanc 1	Gagnoa
21	Soukpataloa 2	Brouadji
22	Kounougbe 2	Brouadji
23	Cocoassié Jaune 1	Brouadji
24	Soukpataloa 3	Sayo 1
25	Cocoassié Jaune 2	San Pedro
26	Cocoassié Blanc 2	San Pedro
27	Cocoassié Blanc 3	Oupogo
28	Cocoassié Rouge	Oupogo
29	Cocoassié Jaune-Violet	Sayo 1
30	Soukpataloa 4	Sayo 1
31	Foufoue Akassi	Sayo 1
32	Cocomisé 3	Ahorosso
33	Cocoassié Jaune 3	Akobakabo
34	Cocoassié Blanc 4	Kasse
35	Cocoassié Violet 2	Akobakabo
36	Cocomisé 4	Dimbokro
37	Cocoassié 4	Dimbokro
38	Cocoassié Jaune 4	Dimbokro
39	Cocoassié 5	Dimbokro
40	Cocoassié 6	Dimbokro
41	Cocoassié Violet 3	Kasse

Source : N’Goran (2023) ; les chiffres qui accompagnent les accessions permettent de différencier les différentes accessions collectées.

Annexe 2 : Enquête sur la culture des ignames de sous-bois

Questionnaire Producteur Igname de sous-bois en Côte d'Ivoire

ZONES D'ENQUÊTES :

OUEST

☐ Daloa ☐ Issia

CENTRE/CENTRE EST ☐ Yamoussoukro ☐ Toumodi ☐ Dimbokro
☐ Bongouanou

SUD-OUEST ☐ Gagnoa ☐ Soubre ☐ Méagui ☐ San-Pédro

EST ☐ Abengourou ☐ Bouna

TAILLE ECHANTILLON : 30 producteurs/zone dans 4 zones, soit 120 producteurs

INTRODUCTION ET CONSENTEMENT DE L'ENQUÊTE

Bonjour et merci de nous accorder un peu de temps pour échanger avec vous. Je travaille pour le compte de [L'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa] dans le cadre d'une enquête sur la culture de l'igname de sous-bois en association aux cultures pérennes telles que le cacao, l'anacarde ou l'hévéa en Côte d'Ivoire. L'objectif est de mieux connaître les systèmes de culture pratiqués à travers les ignames cultivées et les raisons de préférence des variétés, les cycles de production, les associations culturales, les périodes de culture, les itinéraires techniques, les contraintes, les rendements, les modes de conservation et les usages en Côte d'Ivoire.

L'entretien prendra environ 1 heure.

Toutes les informations que vous donnerez resteront confidentielles, donc soyez à l'aise et parlez librement.

CNRA		UJLoG		IRD	
------	--	-------	--	-----	--

[illegible]

SECTION A. CARACTÉRISTIQUES DU MENAGE PRODUCTEUR D'IGNAME

A 1. Pratiques d'association de cultures avec l'igname

Exploitations	Association
Cultures Pérennes	Association avec l'igname
Hévéa	
Cacao	
Anacarde	
Café	
Palmier à huile	
Arbres Fruitiers	
Cultures Vivrières ¹	Association avec l'igname
Manioc	
Plantain	
Riz pluvial	
Mais	
Arachide	
Mil	
Sorgho	
Fonio	
Maraichers (Gombo, piment, etc.)	

Systèmes d'association de cultures avec l'igname rencontrées en Côte d'Ivoire

SECTION B. SYSTÈMES AGROFORESTIERS A BASE D'IGNAMES

B 1. Importance du système de culture d'ignames de sous-bois

B 1.1. Importance du système de culture de l'igname de sous-bois dans la région

Exploitations	Cultures vivrières associées	Existence ¹	Importance ²
Hévéa	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		
Cacao	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		
Anacarde	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		
Café	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		
Palmier à huile	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		
Arbres Fruitiers	Igname		
	Manioc		
	Plantain		
	Riz pluvial		
	Maraichers (Gombo, piment, etc.)		

¹ Cochez si le type d'association est pratiqué et veuillez indiquer le niveau d'importance dans la région

² Niveau d'importance (appréciation du producteur interviewé)

Elevé (plus de 50% des agriculteurs pratiquent ce type d'association dans la région) (code 1)

Moyen (entre 20 et 50% des agriculteurs pratiquent ce type d'association dans la région) (code 2)

Faible (moins de 20% des agriculteurs pratiquent ce type d'association dans la région) (code 3)

B 1.2. Importance du système de culture d'igname de sous-bois dans l'exploitation du ménage

Exploitation/Age	Superficies (ha)	Cultures associées	Pratique culture ¹	Importance ²
Hévéa _____ ans	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		
Cacao _____ ans	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		
Anacarde _____ ans	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		
Café _____ ans	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		
Palmier _____ ans	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		
Arbres Fruitiers	Nb moyen Arbres/ha	Igname (Nb buttes)		
		Manioc		
		Plantain		
		Riz pluvial		
		Maraichers		

¹ Cochez si le type d'association est pratiqué et indiquer le niveau d'importance dans l'exploitation du ménage

² Niveau d'importance (estimation selon le producteur interviewé)

Elevé (plus de 50% de la superficie est occupée par la culture associée dans l'exploitation) (code 1)

Moyen (entre 20 et 50% de la superficie est occupée par la culture associée dans l'exploitation) (code 2)

Faible (moins de 20% de la superficie est occupée par la culture associée dans l'exploitation) (code 3)

B 2. Variétés d'ignames cultivées sous les cultures/arbres

Systèmes pratiqués	Type sol/Position ¹	Variétés ignames ²
Hévéa-Ignames		
Cacao-Ignames		
Anacarde-Ignames		
Café-Ignames		
Palmier-Ignames		
Arbres fruitiers-Ignames		

Légende

¹Type de sol/Position topographique de l'exploitation

- Etat surface du sol (Gravillonnaire (G) ; Non – Gravillonnaire (NG))
- Aspect textural du sol (Sableux ou Sablonneux (S) ; Argileux (A) ; Argilo-Sableux (AS); Sablo-Argileux (SA))
- Position de l'exploitation (Plateau (P) ; Mi- Versant (MV) ; Bas de Versant (BV))

² Variétés d'ignames cultivées en Côte d'Ivoire

B 3. Cycles de culture et périodes de cultures des ignames de sous-bois

Exploitation	Variétés ignames ¹	Cycles (nombre mois)	Période production	Période récolte
Hévéa			à	
			à	
			à	
Cacao			à	
			à	
			à	
Café/Colas			à	
			à	
			à	
Palmier à huile			à	
			à	
			à	
Anacarde			à	
			à	
			à	
Arbres fruitiers			à	
			à	
			à	

B 4. Itinéraires techniques de culture des ignames de sous-bois

Variables	Modalités	Systèmes Agroforestiers		
		Hévéa/Ignome	Cacao/Ignome	Anacarde/Ignome
Opérations culturales				
Préparation du sol	Défrichage manuel			
	Désherbage chimique			
	Aucune préparation			
Mode semis ignames	Buttage			
	Semis direct			
	Autre :			
Entretien des cultures	Désherbage manuel			
	Désherbage chimique			
	Aucun désherbage			
Protection des cultures	Traitements chimiques			
	Traitements biologiques			
	Traitements mixte			
	Aucun traitement			
Fertilisation igname	Apport NPK/Urée			
	Apport Compost			
	Aucun apport engrais			

B 5. Origine des semences d'ignames de sous-bois

Comment obtenez-vous les semences d'ignames de sous-bois ?

- Une partie des ignames conservées en fosse (au champ/village) / ___/
- Une partie des tubercules d'ignames conservés au village / ___/
- Têtes d'ignames conservée au champ / ___/
- Achat sur le marché / ___/
- Bouturage de tiges aériennes / ___/
- Autre source (Précisez)
/ _____

SECTION C. RENDEMENTS, CONSERVATION, USAGES, ACCEPTABILITÉ ET CHAÎNE DE VALEUR DES IGNAME DE SOUS-BOIS

C 1. Rendements, conservation, usages et acceptabilité des ignames de sous-bois

Variables	Modalités	Systèmes Agroforestiers		
		Hévéa/Igname	Cacao/Igname	Anacarde/Igname
Rendements Cultures	Culture de base (kg/ha)			
	Culture associée (Igname) (kg/ha)			
Mode Conservation Ignames	Stockage sur claies (champ)			
	Stockage au grenier (village)			
	Stockage en fosse (champ/village)			
	Stockage en magasin			
	Stockage à l'air libre			
Usages ignames	Consommation du ménage			
	Commercialisation			
	Alimentation du bétail			
	Autre (Précisez)			
Acceptabilité Ignames Par les Utilisateurs	Apprécié par membres du ménage			
	Rejeté par membres du ménage			
	Apprécié dans les restaurants			
	Rejeté dans les restaurants			
	Apprécié par les commerçants			
	Rejeté par les commerçants			

Cochez les réponses en ce qui concerne les modalités de conservation, usages et acceptabilité des ignames de sous-bois

C 2. Chaîne de valeur des ignames de sous-bois

- **Zones de Provenance et destinations des flux d'ignames de sous-bois en comparaison aux autres variétés rencontrées sur les marchés**

Variétés Ignames	Zones de provenance	Lieux de Vente ¹		Destination Acheteurs ²
		Producteur	Commerçant	
Igname sous-bois				

¹ **Lieux** : Au champ (1), Marché hebdomadaire rural (village) (2), Marché hebdomadaire urbain (3), Marché permanent urbain (4)

- **Valeur commerciale des ignames de sous-bois en comparaison aux autres variétés rencontrées sur les marchés**

Variétés Ignames	Période de Vente ¹	Prix de Vente (F CFA/Unité)			Poids moyen (kg) ²	
		kg	Tas	Tubercule	Tas	Tubercule
Igname sous-bois						
		NA				
		NA				
		NA				

¹ Indiquez les mois de vente, ² Estimation de l'enquête ou pesage au marché (à l'aide d'un peson)

SECTION D : CONTRAINTES MAJEURES

Quelles sont les principales difficultés liées à la culture de l'igname de sous-bois ?

Quelles sont les principales difficultés liées à la conservation des semences d'igname de sous-bois ?

Quelles sont les principales difficultés liées à la conservation de l'igname de sous-bois ?

Quelles sont les principales difficultés liées à la commercialisation de l'igname de sous-bois ?

NOUS SOMMES A LA FIN DE L'INTERVIEW

JE VOUS REMERCIE

Annexe 3 : Quelques étapes de la mise en place de l'expérimentation

A : Tubercules d'ignames ; B : Préparation des semences ; C : Butte de semis des ignames ; D ; Trou de semis des ignames ; E : semis d'une igname de sous-bois sous les hévéas

Annexe 4 : Levée d'une igname de sous-bois



Annexe 5 : Association hévéas-ignames de sous-bois



Annexe 6 : Tubercules d'ignames de sous-bois sous hêvéas



PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

ARTICLES

Sey J., Tonessia D.C., Soumahin E.F, Dibi B.E.K. & Dauphin C.C. (2024). Assessment of Agro-morphological Parameters of Two Accessions of Undergrowth Yam (*Dioscorea* sp.) Cultivated in the Inter-rows of Mature Rubber Trees (*Hevea brasiliensis*) in Daloa, Côte d'Ivoire. *Journal of Agricultural Science*, 16 (10) : 1-12.

Sey J., Adolphe M-Y.G., Tonessia D.C., Dibi B.E.K. & Soumahin E.F. (2025). Agronomic Characterisation of Undergrowth Yam (*Dioscorea* sp.,) Farms in Côte d'Ivoire. *International Journal of Advanced Research*, 13 (01) :224-233.

Assessment of Agro-morphological Parameters of Two Accessions of Undergrowth Yam (*Dioscorea* sp.) Cultivated in the Inter-rows of Mature Rubber Trees (*Hevea brasiliensis*) in Daloa, Côte d'Ivoire

Junias Sey¹, Dolou Charlotte Tonessia¹, Eric Francis Soumahin¹, Konan Evrard Brice Dibi²
& Cathy Clermont Dauphin³

¹ Agroforesterie, Laboratoire de l'Amélioration et de la Production Agricole, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

² Programme Racines et Tubercules, Station de Recherche sur les Cultures Vivrières Bouaké, Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

³ UMR Ecologie Fonctionnelle et Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, France

Correspondence: Junias Sey, Laboratoire de l'Amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire. Tel: 225-077-914-1992/070-701-1377. E-mail: juniassey@gmail.com

Received: July 5, 2024

Accepted: August 10, 2024

Online Published: September 15, 2024

doi:10.5539/

URL: <https://doi.org/10.5539/>

Abstract

The valorization of mature rubber tree inter-rows by food crops could solve the problem of food insecurity in rubber tree-growing areas. This study aims to assess the agro-morphological parameters of understory yams sown under mature rubber trees. To this end, a trial was carried out in Daloa on a mature rubber tree plantation and a control plot of sole yam. Two accessions of undergrowth yams, "Bacoué" and "Soupkataloa", were grown in the rubber tree inter-rows and monoculture. The experimental design was a completely randomized block with 15 repetitions. The parameters measured on the yams were emergence rate, specific leaf area (SLA), number of days to emergence, number of days to first leaf, stem height (Ht), crown diameter (CD) and production. The results showed that the accessions tested under rubber trees emerged relatively well, with 66.67% and 70.83% rates for Bacoué and Soupkataloa, respectively. These combined accessions also showed the largest SLAs of 343 cm²/g for Bacoué and 328.5 cm²/g for Soupkataloa during the dry season. However, emergence was late under the rubber trees compared with the yam monoculture. Bacoué emerged 179.19 d after sowing and had its first leaves 42.88 d later, whereas these values were 58.18 d and 11.71 d respectively for Soupkataloa. However, although Bacoué performed better, with an Ht of 825 cm in 70 days and a large CD (11.18 mm), its production was identical to that of Soupkataloa. These results show that undergrowth yams can be combined with mature rubber trees to guarantee food security.

Keywords: agro-morphological parameters, food security, undergrowth yam combined with rubber tree

1. Introduction

Yam, a staple food for populations, occupies an important place in agricultural food production in Côte d'Ivoire, as it alone accounts for 63.72% of the area under food crops (Assiri, 2017). It is the leading food crop in Côte d'Ivoire (Dibi et al., 2014; Kouakou, 2012) with a production of 7.4 million tons in 2018-2019 (FIRCA, 2020). Moreover, yam is the most important source of calories in this country, also making a substantial contribution in terms of protein to the diet (Dibi et al., 2014). It is increasingly becoming a source of income for producers (N'Goran et al., 2007).

Unfortunately, despite this top ranking, national yam production faces several constraints, including declining soil fertility, a scarcity of arable land, increasing pressure from diseases and pests, and a scarcity of seeds, resulting in a decline in national yam production (Kouakou et al., 2019). Indeed, the average yield of 7 to 12 t/ha (N'Goran et al., 2007), is well below the potential of 65 t/ha (Koswal & Kassam, 1978). This drop in yields is prompting farmers to abandon the plots they have just cultivated, in favor of shifting cultivation. This extensive agriculture is performed to the detriment of the forest and damages the ecological balance and, consequently, any

possibility of sustainable development (Kouakou et al., 2019). Furthermore, according to Gnagne et al. (2016), Côte d'Ivoire is facing land saturation in rubber tree-growing areas. Indeed, with the expansion of rubber tree cultivation, rubber tree-growing areas have increased from 74 217 ha in 2002 to 600 000 ha in 2019 (APROMAC, 2020).

Thus, in order to remedy the scarcity of arable land, and the practice of shifting cultivation, this study proposes to valorize the unexploited inter-rows of mature rubber trees. Indeed, these inter-rows make up media that are rich in organic matter. However, given the shade created by mature rubber trees, it is no longer possible to combine them with food crops, for a period over 40 years (Obouayeba et al., 2015). Consequently, given the height of the rubber plants and the extensive canopy they develop at maturity, it is essential to use a certain type of plant that can grow and wrap itself around the trees in search of light for its development. Thus, among the diversity of yams encountered, there are undergrowth yams. These yams are generally combined with cocoa and coffee trees in Côte d'Ivoire and Cameroon (Ocren, 2022). They benefit from the mineral fertilization provided to coffee trees (Dumont et al., 1994).

Our hypothesis is that undergrowth yams are able to grow and develop under mature rubber trees, as they find there an environment favorable to their development. This study, carried out in Daloa, in west central Côte d'Ivoire, aims at assessing the agro-morphological parameters of undergrowth yams cultivated in the inter-rows of mature rubber trees, compared with yams grown in sole cropping.

2. Materials Studied

2.1 Study Area

The study was conducted in west-central Côte d'Ivoire (longitude 6°27' West, latitude 6°53' North), in a plantation located on the Daloa-Issia road, 3 km from the town of Daloa. The department of Daloa has a hot, humid tropical climate (Bamba, 2019). Its average temperature ranges from 24.65 °C to 27.75 °C. The average annual rainfall of 1302 mm over the last 10 years favors sustained plant growth throughout the year. In general, average hygrometry in this locality is around 86%, with a minimum of 56% in December and January (INS, 2014). Daloa's vegetation is characterized by dense, humid forest in the south and savanna woodland in the north. The soil is ferrallitic (Adjiri et al., 2018).

2.2 Plant Material

Two types of plant material were used in this study. The first consisted of two accessions of undergrowth yam (*Discoreae* sp.). Undergrowth yams are called "cocoassié" in the local language. The second consisted of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) clone GT1.

2.2.1 Accessions of Undergrowth Yams

The undergrowth yam accessions used in this study were collected from two regions of Côte d'Ivoire. These included yams with vernacular names Bacoué and Soupkataloa. Bacoué is characterized by violet-green leaves (Figure 1A), a high number of spines (Figure 1B), no flowering and purple flesh (Figure 1C). As for Soupkataloa, it showed dark-green leaves (Figure 2A), medium spines (Figure 2B), flowering and yellow flesh color (Figure 2C). The Bacoué accession was collected in Tanda in eastern Côte d'Ivoire, and the Soupkataloa accession in Soubré in the country's southeast. These included indeterminate-growth varieties, chosen for their high yield (Mlan, 2021; Ocren, 2022), and their ability to adapt to shade (N'Goran, 2023). Yam seeds were stored in a cool, well-ventilated place, away from sun, rain and rodents, until planting (N'Gue et al., 2007).



Figure 1. Characteristics of Bacoué accession

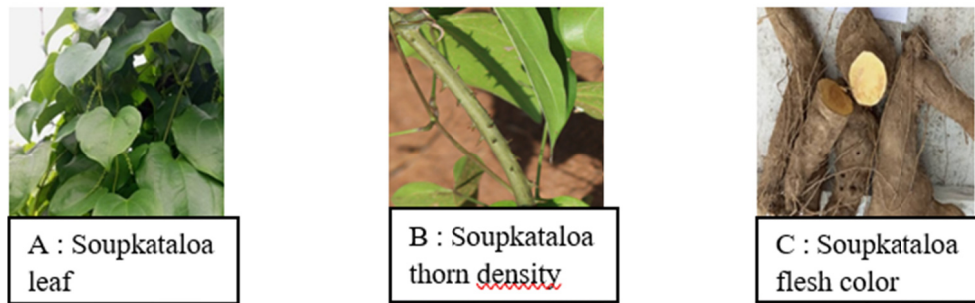


Figure 2. Characteristics of Soupkataloa accession

2.2.2 Rubber Tree Clone

The rubber tree plantation in which this study was carried out was a village plantation consisting of several IRCA 41, PB 217, GT1 and PB 230 monoclonal plots. Within the plantation, the GT1 monoclonal plot was chosen. GT1 is considered the reference clone in Côte d'Ivoire (Essehi, 2019). According to Obouayeba et al. (2000), clone GT1 has moderate radial vegetative growth and is the only clone currently grown in Côte d'Ivoire's 18 rubber tree-growing sectors. Clone GT1 trees selected were those not affected by tapping panel dryness, and having a girth greater than 40 cm at 1.70 m above ground. These trees were planted in 2007 at a density of 555 per hectare (6 m x 3 m) and started being tapped in 2013. At the start of the experiment in 2022, the trees were in the 9th year of downward half-spiral tapping (S/2), while in crop year 2023, the trees were tapped in upward quarter-spiral (S/4U).

3. Methods

3.1 Setting up the Experiment

The experiment was carried out on a total surface area of 1.55 ha. The rubber tree plot, consisting of clone GT1, covered a surface area of 1.5 ha, while the control plot, consisting of sole yam cropping, covered an area of 0.05 ha. The yam accessions were grown in the rubber tree inter-rows at the intersection of four rubber trees. The distance between two yam locations on the same row was 9 m, and the yam planting lines were 18 m apart. Planting density was 62 seeds/ha. In sole yam cropping, the distance between two yam locations on the same row and from one row to another was 2 m. The seeds of both accessions were planted at a depth of 20 cm. The yam seeds underwent no chemical treatment before sowing. The experiment was set up during the rainy season on July 7, 2022. The experimental design was a completely randomized block with four treatments and 15 repetitions. The treatments were as follows:

- (1) Bacoué sown in sole cropping (control 1);
- (2) Soupkataloa sown in sole cropping (control 2);
- (3) Bacoué sown under rubber trees;
- (4) Soupkataloa sown under rubber trees.

3.2 Data Collection

3.2.1 Undergrowth Yam Emergence: Number of Days to Emergence (NDE) and Yam Emergence Rate

The time elapsed for each yam cutting from sowing to stem emergence on the soil surface is the number of days before emergence. Thus, one month after sowing the yams, a weekly survey of emerged cuttings was carried out. The date of stem appearance on the surface of the mound or seed hole was noted for each yam location. The average number of days to emergence was then determined by summing the number of days to emergence of each emerged yam over the total number of emerged yams.

$$ANDE(d) = \frac{\sum(Nde)}{Tnec} \quad (1)$$

where, $\sum Nde$: Sum of the number of days to each cutting emergence; $Tnec$: Total number of emerged cuttings.

Counting the number of emerged cuttings helped estimate emergence rate by the following relationship:

$$ER(\%) = \frac{Nec}{Tnc} \times 100 \quad (2)$$

where, ER: Emergence rate; Nec: Number of emerged cuttings; Tnc: Total number of cuttings sown.

3.2.2 Growth Parameters of Undergrowth Yams

3.2.2.1 Stem Height (Ht)

Seven days after emergence of the yams, the height of the stems was measured using a tape measure. Measurements were taken from the ground to the stem apex over a period of 70 days, at regular weekly intervals. The weekly height values were used to generate a curve of yam stem height depending on time.

3.2.2.2 Morphological Growth Parameters

(1) Number of Days to First Leaf (NDFL)

After the yam cuttings had emerged, a daily survey was carried out. The date of first leaf emergence was noted for each yam location. Then, the average number of days to yam first leaf was determined by summing the number of days to first leaf for each emerged yam over the number of yam plants bearing leaves.

$$\text{ANDFL (d)} = \sum(\text{Ndfl})/\text{Npbl} \quad (3)$$

where, $\sum\text{Ndfl}$: Sum of the number of days to first leaf; Npbl : number of plants bearing leaves.

(2) Crown Diameter (CD)

Seven days after emergence of the yams, the crown diameter of the seedlings was measured. At this stage, the seedling is less fragile and measurements can be taken easily. This measurement was carried out weekly for 84 days using a caliper at the base of the stem, precisely at the separation zone between the root system and the aerial part (Mamadou et al., 2014). Average values were determined by summing the crown diameters of the different yam plants over the total number of yam plants measured. The values were expressed in millimeters (mm).

$$\text{CD (mm)} = \sum(\text{CD})/\text{Npm} \quad (4)$$

where, $\sum\text{DC}$: Sum of crown diameters; Npm : number of plants measured.

(3) Specific Leaf Area (SLA)

Specific leaf area (SLA) measurements were carried out at two different stages, during the rainy season and during the dry season when the plant was in full vegetative growth. Mature, green and healthy leaves were collected for measurement. Measurements were taken on 3 plants per treatment. On each plant, 3 leaves were cut at three levels in the foliage of the plant (bottom, middle and top), then wrapped in newspaper. A total of 9 leaves per treatment were used. Each leaf was then scanned using a scanner. The scanned images were saved in jpg format (Ghoudbane, 2021). The leaf samples were then oven-dried at 60°C for 48 hours. After drying, the leaves were weighed on an electronic precision scale in the laboratory. This weighing operation was carried out to get dry matter (DM) weight. Finally, photofiltre 7 software was used to convert the standard pixel unit of the scanned images into centimeters (cm) in order to get the size references for calculating their surface areas. The surface area of each leaf (LA) was determined using Image J software (Dossounon, 2023) and the specific leaf area (SLA) was calculated from the following relationship:

$$\text{SLA (cm}^2/\text{g)} = \text{LA (cm}^2)/\text{DW (g)} \quad (5)$$

where, LA: Leaf area; DW: Leaf dry weight (Cornelissen et al., 2003).

3.2.3 Yam Production (Prod)

Yam production was determined for each treatment, one year after planting. Harvested tubers were weighed using a scale. Yam production was expressed in kilograms per location (kg/loc). The average value of yam production was then determined by the following relationship:

$$\text{Prod} = \sum(\text{Wtl})/\text{Tnl} \quad (6)$$

where, Prod: Production; Wtl: weight of tubers weighed per location; Tnl: total number of locations.

3.3 Statistical Analysis

The data collected were first entered into Excel 2016 spreadsheet. They were then subjected to an analysis of variance using SAS 9.4 software. Treatment means were compared at 5% probability threshold using the Newman-Keul test.

4. Results

4.1 Undergrowth Yam Emergence

Table 1 shows the results for emergence rate and average number of days to emergence for the different accessions per treatment. Analysis of variance revealed that the emergence rates of the Bacoué and Soupkataloa accessions were statistically different when grown in different environments (under rubber trees and in sole yam cropping (control)) ($P = 0.0489$). The Bacoué accession combined with rubber trees had a lower emergence rate (66.67%) than Bacoué in sole cropping (94.44%). The same applied to the Soupkataloa accession, where Soupkataloa in sole cropping (control) recorded an emergence rate of 88.89%, compared with 70.83% under the rubber trees. However, the emergence rate of Bacoué was similar to that of Soupkataloa, whatever the cropping environment.

As for the number of days to emergence, the analysis showed a significant difference between Bacoué accessions sown under rubber trees and those in sole cropping (control), and between Bacoué and Soupkataloa sown under rubber trees ($P < 0.0001$). The Bacoué accession under rubber trees recorded a high number of days (179 days) compared with the other accessions. The Soupkataloa accession under rubber trees and the Soupkataloa accession in sole cropping showed statistically identical NDE.

Table 1. Emergence rate and average number of days to emergence of accessions per treatment

Treatments	ER (%)	NDE (d)
(1) Bacoué sown in sole cropping (control 1)	94.44±12.43 ^a	62.26±51.24 ^b
(2) Soupkataloa sown in sole cropping (control 2)	88.89±15.72 ^a	48.44±13.8 ^b
(3) Bacoué sown under rubber trees	66.67±23.57 ^b	179.19±87.52 ^a
(4) Soupkataloa sown under rubber trees	70.83±17.18 ^b	58.18±23.27 ^b
F	2.9243	22.3511
P	0.0489	< 0.0001

Note. In each column, the values assigned the same letters for each designated parameter are not statistically different at 5% threshold according to the Newman-Keul test.

ER: Emergence rate; NDE: Number of days to emergence.

4.2 Growth Parameters of Undergrowth Yams

4.2.1 Yam Stem Height Depending on Time

The evolution of stem height of the two yam accessions depending on time is illustrated in Figure 3. All curves show the same pattern. However, the curve for the Bacoué accession sown under rubber trees is higher than the other three curves, with a maximum height of 825 cm at day 70. From day 7 to day 35, the curves for the Bacoué accessions in sole cropping (control 1), Soupkataloa under rubber trees and Soupkataloa in sole cropping (control 2) are merged. From day 35 onwards, the curve for Soupkataloa under rubber trees moves slightly above those for Bacoué and Soupkataloa in sole cropping (control 2), which remain merged until day 70, with a maximum height of 391 cm.

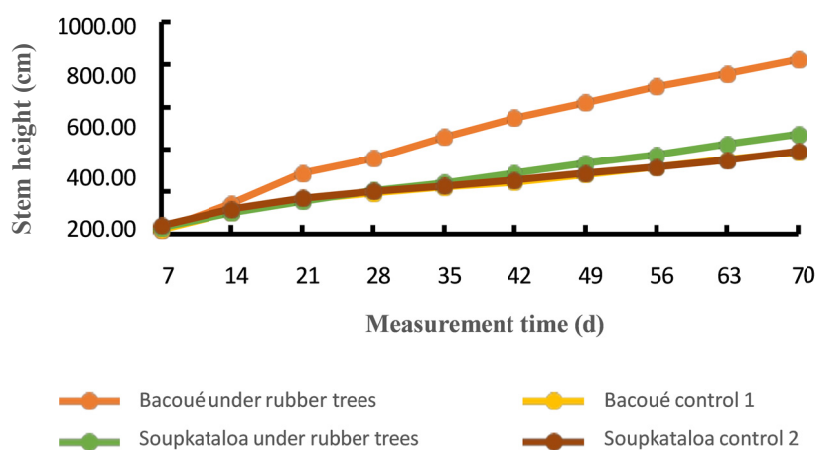


Figure 3. Evolution of stem height depending on time per treatment

4.2.2 Morphological Growth Parameters

The results relating to morphological growth parameters of undergrowth yams are given in Table 2.

With regard to the number of days to first leaf emergence, statistical analysis showed a significant difference between the Bacoué accession sown under rubber trees and that in sole cropping (control 1), and between Bacoué and Soupkataloa sown under rubber trees ($P < 0.0001$). The number of days to leaf emergence was longer in the Bacoué accession sown under rubber trees (42.88 d) than in the Soupkataloa accession sown under rubber trees (11.71 d). Moreover, the control accessions (Bacoué and Soupkataloa) showed the lowest duration to leaf emergence. This recorded duration was statistically identical to that of the Soupkataloa accession under the rubber trees.

In terms of crown diameter, analysis of variance revealed a significant difference between the accessions ($P < 0.0001$). Under rubber trees, the Bacoué accession showed a larger crown diameter (11.18 mm) than Soupkataloa (6.7 mm). Similarly, in sole cropping (control), Bacoué showed a larger crown diameter (10.49 mm) than Soupkataloa (8.57 mm). Bacoué in sole cropping (control 1) reached a crown diameter statistically identical to the one under the rubber trees, while in the Soupkataloa accession the control showed the greatest crown diameter value.

As for yam specific leaf area, analysis of variance revealed that the dry-season specific leaf area of the Bacoué and Soupkataloa accessions were statistically different when grown in different environments ($P < 0.0001$). The highest specific leaf area values were recorded with both accessions under rubber trees. The controls showed the lowest values. For the same cropping environment, Bacoué and Soupkataloa recorded identical specific leaf areas. During the rainy season, Bacoué recorded the highest specific leaf area (518 cm²/g). Moreover, Soupkataloa grown under rubber trees and Soupkataloa in sole cropping gave the same specific leaf areas (341.50 and 303.00 cm²/g, respectively).

Table 2. Morphological growth parameters of two understory yam accessions by treatment

Traitement	NDFLE (d)	CD (mm)	SLAd (cm ² /g)	SLAr (cm ² /g)
(1) Bacoué sown in sole cropping (control 1)	17.53±12.93 ^b	10.49±2.37 ^a	183.00±24.34 ^b	128.00±8.47 ^c
(2) Soupkataloa sown in sole cropping (control 2)	8.67±2.69 ^b	8.57±2.08 ^b	168.50±40.12 ^b	303.00±55.34 ^b
(3) Bacoué sown under rubber trees	42.88±20.49 ^a	11.18±1.66 ^a	343.00±53.86 ^a	518.50±140.64 ^a
(4) Soupkataloa sown under rubber trees	11.71±4.99 ^b	6.70±1.88 ^c	328.50±61.52 ^a	341.50±32.54 ^b
F	22.3511	22.3511	19.3578	21.4108
P	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Note. In each column, the values assigned the same letters for each designated parameter are not statistically different at 5% threshold according to the Newman-Keul test.

NDFLE: Number of days to first leaf emergence; CD: Crown diameter; SLAd: Specific leaf area in dry season; SLAr: Specific leaf area in rainy season.

4.3 Yam Production

Table 3 shows yam production results for the different accessions per treatment. Analysis of variance revealed a significant difference ($P = 0.0000$). The production of the Bacoué and Soupkataloa accessions was low under the rubber trees (0.16 kg/loc and 0.23 kg/loc, respectively), whereas it was higher with the controls (5.42 kg/loc and 5.42 kg/loc, respectively). The results also showed that there was no difference in yam production between Bacoué and Soupkataloa, either in the controls or under the rubber trees.

Table 3. Yam production per treatment

Treatments	Prod (kg/loc)
(1) Bacoué sown as in sole cropping (control 1)	4.42±1.64 ^a
(2) Soupkataloa sown in sole cropping (control 2)	5.42±2.66 ^a
(3) Bacoué sown under rubber trees	0.16±0.07 ^b
(4) Soupkataloa sown under rubber trees	0.23±0.20 ^b
F	22.2729
P	0.0000

Note. Values assigned by the same letters are not statistically different at 5% threshold according to the Newman-Keul test.

Prod: Production.

5. Discussion

Several studies have shown that it is possible to insert certain food crops or perennial species as intercrops with rubber trees during the first 3 to 4 years of planting, without any danger to the rubber plants (Kéli et al., 2005). In contrast, combinations including mature rubber trees with cultivated species are poorly documented and mostly lead to failure due to the heavy canopy developed by the rubber trees, which prevents the combined crops from growing and developing properly (Wibawa & Gunanwa, 1997; Thierry, 2005). This study, carried out in west-central Côte d'Ivoire, aims at combining two *Dioscorea* sp accessions that grow under trees and shrubs as well as in monocropping, and assessing their agro-morphological performance. Overall, the two Bacoué and Soupkataloa accessions studied performed better in monocropping than under rubber trees.

In monocropping, Bacoué and Soupkataloa recorded emergence rates of 94% and 88%, respectively. These rates are close to those of Sankara (2017), who measured germination rates of over 90% on *Dioscorea alata*. These values are also close to those of Bazié (2018), who measured an average germination rate of 93%. Already in 2003, Soro et al. were able to demonstrate that an emergence rate above 80% reflects the good physiological health of seeds. From these results, I can affirm the undergrowth yam seeds used are of good physiological quality. However, variability was observed between the Bacoué and Soupkataloa accessions for the agro-morphological traits studied. Firstly, emergence time between the two accessions varied by 14 days. Secondly, the crown diameter of Bacoué was greater than that of Soupkataloa. Finally, the divergence between both accessions was remarkable at the date of first leaf emergence. This variability in the parameters measured suggests that both accessions collected from two different regions of Côte d'Ivoire are different. These findings are similar to those of N'Goran (2023) who, in studying the agro-morphological diversity of a collection of 40 accessions of undergrowth yams including Soupkataloa and Bacoué, affirmed that they belong to different classes. Thus, Soupkataloa is placed in class 1, characterized by dark-green leaves and a stem covered with medium-sized upward-curving thorns, while Bacoué is in class 3, with violet-green foliage and a high density of thorns. The presence of significant diversity mainly for growth and development parameters within the *Dioscorea* genus has already been mentioned by several authors (Obidiegwu et al., 2009; Azéoun & Dansi, 2010; Siqueira et al., 2012; Adoukonou-Sagbadja et al., 2014). Furthermore, based on these observations, both accessions showed no difference in tuber production.

Under rubber trees, both accessions not only showed divergence in the traits measured, as in monoculture, but also had more delayed growth and development. Thus, emergence duration of the Bacoué and Soupkataloa accessions under mature rubber trees were 179 and 58 days longer, respectively, than in monocropping. The same applies to growth parameters such as average number of days to first leaf emergence, stem height and specific leaf area of yams, which were greater under rubber trees. The emergence rate of the yams also fell compared with the control in sole cropping. While emergence rates were 94% and 88% in monocropping, under

rubber trees the rates were 66% and 70%, for Bacoué and Soupkataloa, respectively. These results show that, contrary to preconceived ideas, the inter-rows of mature rubber trees can be used to grow staple crops such as undergrowth yams. These results confirm those of Kouadio et al (2021), who demonstrated that coffee trees grown in combination with double rows of mature rubber trees spaced 33 meters apart produced as much per hectare as those grown in sole cropping. The seed emergence rate of yams under rubber trees, although lower than those obtained in monocropping, is higher than that of certain plants grown under shade. These include *Cyperus esculentus*, which has a germination rate of 28.9% under shade (Dodet, 2006), and cassava, which has a very low germination rate under shade (Adjata et al., 2015). The height of yam stems under rubber trees was also lower than under sole cropping. The slower growth and development of accessions under rubber trees would be due to the presence of large rubber trees, which through the density of their foliage create a shady microclimate preventing the proper diffusion of light and slowing down the process of yam growth and development. Wibawa and Gunanwa (1997) have shown that the reduction in light intensity due to rubber trees' crown development prevents the proper development of the intercrop. Thiery (2005) has also shown that even in weeds, the shading provided by rubber trees' canopy at a certain level is sufficient to naturally limit weed development. In addition, stem height under the rubber trees was a factor of great divergence between both accessions. The Bacoué accession was taller, with a maximum height of 825 cm at day 70 after emergence, while Soupkataloa recorded a maximum height of 391 cm at the same development stage. According to Zoundjiekpon (1995), growth speed is a factor of divergence between yam varieties, and height is among the morphological parameters that best predict a plant's performance (Boukhari, 2013). From these assertions, I can attest that Bacoué is more vigorous and efficient. One of the performances also showed by Bacoué was a considerable delay in the emergence of its leaves. This delay is explained by the fact that the nutrient reserves mobilized by the plant's roots are used to elongate the stem in search of the light found at the top of the rubber tree (Tousignant & Delorme, 2006). The late emergence of leaves in Bacoué is an advantage that enables it to reach the rubber tree canopy, and thus emerge from the shady undergrowth before generating the first leaves (Cornet, 2015). This trait is a very important adaptation mechanism for growing yams in rubber trees. Another shade adaptation strategy deployed by the accessions studied was the development of wider leaves than under sole cropping conditions. The large leaves allow them to capture more light rays under shade to carry out photosynthesis. This increase in leaf size under shade has also been observed in *D. alata* (Rodriguez, 1997). According to Reddy et al. (1989), specific leaf area is known to vary depending on stage and cultivation conditions. Despite all the mechanisms put in place under the rubber trees, the production recorded with the Bacoué and Soupkataloa accessions is lower compared with yam monocropping. This result could be attributed to the fact that the yams are shaded by the rubber trees, creating competition for light and slowing down photosynthesis. Vaillant et al. (2005) affirm that photoperiod has an effect on yam development. Indeed, it is one of the most important physical factors influencing yam tuberization (Dibi et al., 2016) and, in turn, yield. Although yam production under rubber trees is low, the results of this study show that the inter-rows of mature rubber trees can be valorized by the cultivation of undergrowth yam.

6. Conclusion

This study showed that undergrowth yams Bacoué and Soupkataloa can grow and develop under the shade of mature rubber trees. This remarkable performance is illustrated by an emergence rate of over 66%. In addition, these yams develop various adaptive mechanisms that favor their optimal development, including delayed leaf emergence and the deployment of larger leaves. Compared with the Soupkataloa accession, the Bacoué accession was distinguished by a longer emergence time and a delayed leaf emergence. However, it had the highest stem height. Nevertheless, Bacoué's production was identical to that of Soupkataloa. Thus, the combination of mature rubber trees with undergrowth yam could be recommended to rubber tree farmers in order to increase yam production and, in turn, solve the problem of food insecurity.

References

- Adjata, K. D., Tchaniley, L., Banla, E., Tchansi, K. K., & Gumedzoe, Y. M. D. (2015). Etude des conditions de germination des grains de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) obtenues par sélection génétique. *Tropicultura*, 33(3), 218-225.
- Adjiri, O. A., Aka, N., Soro, T. D., Affessi, A. C., Konaté, D., & Soro, N. (2018). Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa: Impacts sur la santé et implications dans le développement régional. *Astee-Technique Sciences Méthodes*, 12, 89-114. <https://doi.org/10.1051/tsm/201812089>

- Adoukonou-Sagbadja, H., Missihoun, A. A., Sedah, P., Dagba, R. A., Kinhoegbe, G., Ahanhanzo, C., & Agbangla, C. (2014). Variabilité génétique des accessions d'igname *Dioscorea alata* L. introduites au Bénin à partir des Îles du Sud-Pacifique. *Journal of Applied Biosciences*, 73, 5966-5978.
- APROMAC (Association des Professionnels de Caoutchouc Naturel de Côte d'Ivoire). (2020). *Hausse de 25% de la production de caoutchouc en Côte d'Ivoire*. Retrieved from <http://www.commodafrica.com/16-01-2020-hausse-de-25-de-la-production-de-caoutchouc-en-cote-divoire>
- Assiri, K. P., Koutoua, S., & Assi, S. T. (2017). Champignons responsables de pourritures de l'igname *Dioscorea cayenensis-rotundata* variété kponan en post-récolte. *Journal of Applied Biosciences*, 111, 10957-10968. <https://doi.org/10.4314/jab.v11i11.12>
- Azéoun, P. J., & Dansi, A. (2010). Diversité morphologique et génétique des ignames de l'espèce *Dioscorea alata* cultivées au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 67, 9-19.
- Bamba, I., Golou, G. Z., Beh, K., Yao, C. S., & Yao, S. S. B. (2019). Agrosystèmes et conservation de la diversité végétale dans la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Scientific*, 154, 443-457.
- Bazie, H. P. (2018). *Effets de la gestion intégrée de la fertilité des sols sur les paramètres agronomiques et le rendement de l'igname (Dioscorea rotundata Poir) en milieu paysan dans le Centre-Ouest du Burkina Faso* (p. 6, Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Université Nazi Boni).
- Boukhari, M., Gmira, N., & Brhadda N. (2013). Effet des traitements physiques sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne de liège (*Quercus suber* L.) en pépinière forestière au Maroc. *International Journal of Tropical Geology, Geography and Ecology*, 37(2), 177-190.
- Cornelissen, L., Van-Der, H. M., & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335-380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Cornet, D. (2005). Systèmes de cultures associées à base d'igname et gestion des plantes adventice. Revue bibliographique commentée. *Travail réalisé dans le cadre du cours "Analyse et amélioration des cultures associées en régions tropicales", du diplôme d'étude approfondie* (p. 30). Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Cornet, D. (2015). *Influence des premiers stades de croissance sur la variabilité du rendement parcellaire de deux espèces d'igname (Dioscorea spp.) cultivées en Afrique de l'Ouest* (p. 174). L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris, France.
- Dapoigny, L., Robin, P., Raynal-Lacroix, C., & Fleury, A. (2020). Relation entre la vitesse relative de croissance et la teneur en azote chez la laitue (*Lactuca sativa* L). Effets de l'ombrage et du niveau de l'alimentation minérale. *Agronomie*, 16(9), 529-539. <https://doi.org/10.1051/agro:19960901>
- Dibi, K. E. B., Kouakou, A. M., Camara, B., N'zue, B., & Zohouri, G. P. (2016). Inventaire des méthodes de production de semenceaux d'igname (*Dioscorea* spp.): Une revue de la littérature. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(1), 4496-4514.
- Dibi, K., Kouakou, A. M., Yeo, T. J., Fofana, I., N'Zue, B., & Brou, Y. C. (2014). Effects of Planting Modes on Yam (*Dioscorea rotundata*, Poir and *Dioscorea alata* L.) Vine Cuttings for Mini Tubers Production. *International Journal of Sciences*, 3, 1-8.
- Dodet, M. (2006). *Diversité génétique et phénologie de Cyperus esculentus L. (Cyperaceae) pour une gestion intégrée de l'espèce dans les cultures de haute lande* (p. 225, Thèse de Biologie des organismes et des populations, Université de Bourgogne).
- Dossounon, B. E. (2023). *Traits fonctionnels foliaires de quelques ligneux fourragers (Acacia tortilis, Balanites aegyptiaca, Sclerocaria birrea et Ziziphus mauritiana) dans la zone du Ferlo au Sénégal* (p. 54, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Agroforesterie, Ecologie et Adaptation, Université Cheikh Anta Diop de Dakar).
- Dumont, R., Seignobos, C., & Hamon, P. (1994). *Les ignames au Cameroun*.
- Essehi, J. L. (2019). *Valorisation agronomique des déchets de ferme par compostage pour l'amélioration de la croissance végétative en pépinière en sac de Hevea Brasiliensis Muell. arg. (Euphorbiaceae) en Côte*

- d'Ivoire (p. 235, Thèse de l'UFR des sciences de la terre et des ressources minières, spécialité pédologie, Université Félix Houphouët Boigny).
- FIRCA (Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles). (2020). *Les filières banane plantain igname manioc* (p. 24).
- Ghoubane, Z. K. M. (2021). *Analyse spatiale de la surface foliaire spécifique SLA en tant que prédicteur de la distribution de la végétation* (p. 102, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master en Ecologie et Environnement, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila).
- Gnagne, Y. M., Elabo, A. E. E., Wahounou, P. J., & Obouayeba, S. (2016). *Facteurs de marginalité à l'hévéaculture dans l'ancienne boucle du cacao, au Centre-Est de la Côte d'Ivoire* (p. 8). Atelier Regional de International Rubber Research and Development Board (IRRDB) 2016 (Livre des Résumés), Septembre 28-30, 2016, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- INS (Institut National des Statistiques). (2014). *Recensement général de la population et de l'habitat global, Abidjan* (p. 22).
- Kéli, Z. J., Omont, H., Assiri, A. A., Boko, K. A. M. C., Obouayeba, S., Déa, G. B., & Doumbia, A. (2005). Associations culturelles à base d'hévéa: Bilan de 20 années d'expérimentations en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 17(1), 37-52. <https://doi.org/10.4314/aga.v17i1.1656>
- Kouadio, Y. D. M., Kouassi, K. H., Bahan, F. M., & Keli, Z. J. (2021). Impact de l'association Hevea-Caféier sur la production sur la production des deux spéculations. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 47(3), 8497-8505. <https://doi.org/10.35759/JANmPISci.v47-3.1>
- Kouakou, A. M., Yao, G. F., Dibi, K. E. B., Adolphe, M., Lopez-Montes, A., Essis, B. S., ... Asiedu, R. (2019). Yam cropping system in Côte d'Ivoire: current practices and constraints. *European Scientific Journal*, 15(30), 278-300. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p278>
- Kouakou, A. M., Zohouri, G. P., Dibi, K. E., N'Zué, B., & Foua, B. (2012). Émergence d'une nouvelle variété d'igname de l'espèce *Dioscorea alata* L., La C18 en Côte D'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 57, 4151-4158.
- Kowal, J. M., & Kassam, A. H. (1978). *Agricultural ecology of savanna: A case study of West Africa* (p. 403). Oxford: Clarendon Press; New York: Oxford University Press.
- Mamadou, O. L. Y., Kumar, D., Diouf, M., Nautiyal, S., & Diop, T. (2014). Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 46-56. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i1.5>
- Mlan, K. S. (2021). *Les ignames de sous-bois* (p. 1). Communication Personnelle.
- N'Goran, A. L. (2023). *Caractérisation morphologique des ignames de sous-bois* (p. 62, Mémoire présenté pour l'obtention de master, Amélioration des cultures agricole, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa).
- N'Goran, K. E., Zohouri, P. G., Yoro, R. G., Kouakou, M. A., Assa, A., & Asiedu, R. (2007). Revue bibliographique sur la gestion de la fertilité des sols cultivés en igname en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19(3), 281-288. <https://doi.org/10.4314/aga.v19i3.1725>
- N'Gue, B. T., Mbairanodji, A., & Njualet, D. (2007). *Guide des techniques de production et de conservation de l'ignames (Dioscorea spp.)* (p. 31). Rapport PNDRT, Yaoundé.
- Obidiegwu, J. E., Asiedu, R. E. E., Ene-Obong, E. E., Muoneke, C. O., & Kolesnikova-Allen, M. (2009). Genetic characterization of some water yam (*Dioscorea alata* L.) accessions in West Africa with simple sequence repeats. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3&4), 634-638. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10568/90348>
- Obouayeba, S., Boa, D., Gohet, E., Dian, K., Ouattara, N., & Keli, J. (2000). Dynamics of vegetative growth of *Hevea brasiliensis* in the determination of tapping norms. *Journal of Rubber Research*, 3(1), 53-62.
- Obouayeba, S., Kouadio, B., Soumahin, E. F., Elabo, A. A. E., Dea, G. B., Nguessan, A. E. B., ... Keli Z. J. (2015). Natural rubber-based intercropping systems in Côte d'Ivoire: A review of forty years of work. *Rubber Science*, 28(3), 211-226.
- Ocren, A. A. A. D. (2022). *Caractérisations socio-économiques des producteurs et agronomiques des exploitations de l'igname de sous-bois (Dioscorea sp., "cocoassé") au centre de la Côte d'Ivoire* (p. 63,

- Mémoire présenté pour l'obtention de master, Amélioration des cultures agricole, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa).
- Reddy, V. R., Acock, B., Baker, D. N., & Acock, M. (1989). Seasonal leaf area-leaf weight relationship in the cotton canopy. *Agronomy Journal*, 81, 1-4. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100010001x>
- Rodriguez, W. M. (1997). *Crop physiology of the greater yam (Dioscorea alata L.)* (p. 151).
- Sankara, W. D. (2017). *Effets de différents types de fertilisation et de travail du sol sur le rendement de l'igname (Dioscorea alata L.) dans le Sud-Ouest du Burkina Faso* (p. 53, Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur des sciences de l'environnement et du développement rural, option, Agronomie, Université Ollaga IPr Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso).
- Siqueira, M. V. B. M., Dequigiovanni, G., Corazon-Guivini, M. A., Feltran, J. C., & Veasey, E. A. (2012). DNA fingerprinting of water yam (*Dioscorea alata* L.) cultivars in Brazil based on microsatellite markers. *Horticultura Brasileira*, 30, 653-659. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400015>
- Soro, D., Dao, D., Carsky, R., Asiedu, R., Tra, T. B., Assa, A., & Girardin, O. (2003). Amélioration de la production de l'igname à travers la fertilisation minérale en zone savane de côte d'ivoire. *Agronomie Africaine*, 4, 39-46. Retrieved from <https://hal.science/hal-00142975>
- Thierry, M. (2005). *Adapter la conduite des plantations d'hévéa à la diversité des exploitations villageoises (Etude de cas au Cameroun)* (p. 302, Thèse de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, France).
- Tousignant, M.-E., & Delorme, M. (2006). Connaître le fonctionnement de la plante pour mieux gérer son environnement. *Québec Vert* (p. 3).
- Vaillant, V., Bade, P., & Constant, C. (2005). Photoperiod affects the growth and development of yam plantlets obtained by *in vitro* propagation. *Biologie Plantaire*, 49(3), 355-359. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0007-8>
- Wibawa, G., & Gunanwa, A. (1997). *Study of hevea based intercropping system fuctioning effect of farmers cropping system and some socio-economic factors on rubber growth*. STD III Meeting, Sembawa Research Station.
- Zoundjiekpon, J. (1995). *Biologie de la reproduction et génétique des ignames cultivées de l'Afrique de l'Ouest, Dioscorea cayenensis-rotundata*. Paris, ORSTOM.

Acknowledgments

We greatly appreciate the invaluable contributions of the members of the AHISSA team who oversaw the implementation of the project entitled 'Design and Evaluation of an Innovative Agroforestry Hevea/Grass Undergrowth System for Food Security in the Guinean Zone of West Africa'. We would also like to thank the Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Authors Contributions

Doctors TONESSIA Dolou Charlotte and SOUMAHIN Eric Francis were asked to review the article after it had been written. Doctor DIBI Brice Evrad Konan provided us with the undergrowth yam seeds used for the experiment. Doctor CATHY Clermont Dauphin provided some technical equipment for the study. All authors have read and approved the final manuscript.

Funding

This work, which stems from the JEAH AHISSA project, was funded by the Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Competing Interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Informed Consent

Obtained.

Ethics Approval

The Publication Ethics Committee of the Canadian Center of Science and Education. The journal's policies adhere to the Core Practices established by the Committee on Publication Ethics (COPE).

Provenance and Peer Review

Not commissioned; externally double-blind peer-reviewed.

Data Availability Statement

The data supporting this study's findings are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy or ethical restrictions.

Data Sharing Statement

No additional data are available.

Open Access

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.



RESEARCH ARTICLE

AGRONOMIC CHARACTERISATION OF UNDERGROWTH YAM (*DIOSCOREA* SP.) FARMS IN COTE D'IVOIRE

Junias SEY¹, Germain Mah-Yao ADOLPHE², Dolou Charlotte TONESSIA¹, Konan Evrard Brice DIBI³ and Eric Francis SOUMAHIN¹

1. Laboratoire de l'Amélioration et de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) Daloa, Côte d'Ivoire.
2. Programme Systèmes Agraires et Développement Durable, Station Recherche Gagnoa, Centre National de Recherche.
3. Programme Racines et Tubercules, Station de Recherche sur les Cultures Vivrières Bouaké, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Côte d'Ivoire.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 06 November 2024

Final Accepted: 10 December 2024

Published: January 2025

Key words:-

Perennial crops, Undergrowth Yam, Production System, Food security

Abstract

Yam, the staple food of the Ivorian people, is the leading food crop in Côte d'Ivoire. Today, with the expansion of perennial crops, especially rubber, yams face the problem of a scarcity of arable land, which threatens food security. To solve this problem, farmers are increasingly growing undergrowing yams as part of their perennial crops. This study aims to characterize understory yam production systems in Côte d'Ivoire. To do this, data was collected from 127 understory yam producers in four main perennial crop regions (Centre/Centre-East, East, West and South-West). The study showed that the main systems practised are the association of yams with cocoa trees (54%) and cashew trees (28%). The average age of the trees is 20.13 years for cocoa and 12.85 years for cashew. White Cocoassié, Red Cocoassié, Yellow Cocoassié and Bolodja are the undergrowth yam varieties grown. Most of these undergrowing yams are grown on gravelly soils on plateaux. The density of yam associations varies greatly depending on the system. These systems need to be improved to increase yam yields and contribute to food security.

Copyright, IJAR, 2025., All rights reserved.

Introduction:-

In intertropical zones, yam (*Dioscorea* sp.) is an essential food crop and plays a major role in the food security of millions of people (Adeniji et al., 2012; Cornet, 2015). In Côte d'Ivoire in particular, yam is the leading food crop (Dibi et al., 2014; Kouakou, 2012). It plays a major role in agricultural food production, accounting for 63.72% of the area under food crops (FAO, 2010), with production of 7,391,131 t in 2018-2019 (FIRCA, 2020). This production is mainly located in the North-East, Centre and East, above the 8th parallel North, where it is a staple food for the population (N'Goran et al., 2007). Unfortunately, at a national level, yam production is falling as soil fertility declines and cultivable land becomes scarcer (Kouakou et al., 2019). Given this situation, urgent solutions are needed to remedy the situation and improve yam production in Côte d'Ivoire. To this end, Maliki (2013) has developed alternative improved fallow systems and technologies combining shrub and herbaceous legumes. However, adoption of these technologies remains low and very mixed due to technical and socio-cultural constraints

Corresponding Author:-Junias SEY

Address:-Laboratoire de l'Amélioration et de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) Daloa, Côte d'Ivoire.

(Saïdou et al., 2007a and 2007b). In Côte d'Ivoire, undergrowing yams are grown in association with perennial crops (Ocren, 2022). It therefore makes sense to study these perennial crop-undergrowing yam production systems to improve their yields.

Materials and Methods:-

Study area

This study was conducted in Côte d'Ivoire, in 4 regions where yams are grown in association with perennial crops (Figure 1). These were the Centre and Centre-East, South-West, East and West regions. Several towns were visited in these different regions. In the Centre and Centre East, the towns visited were Yamoussoukro, Toumodi, Dimbokro and Bongouanou. In the South-West, Gagnoa, Soubré, Méagui and San-Pédro were selected. Those in the East included Abengourou, Bondoukou and Bouna. In the West, Daloa and Issia were selected (Table 1).

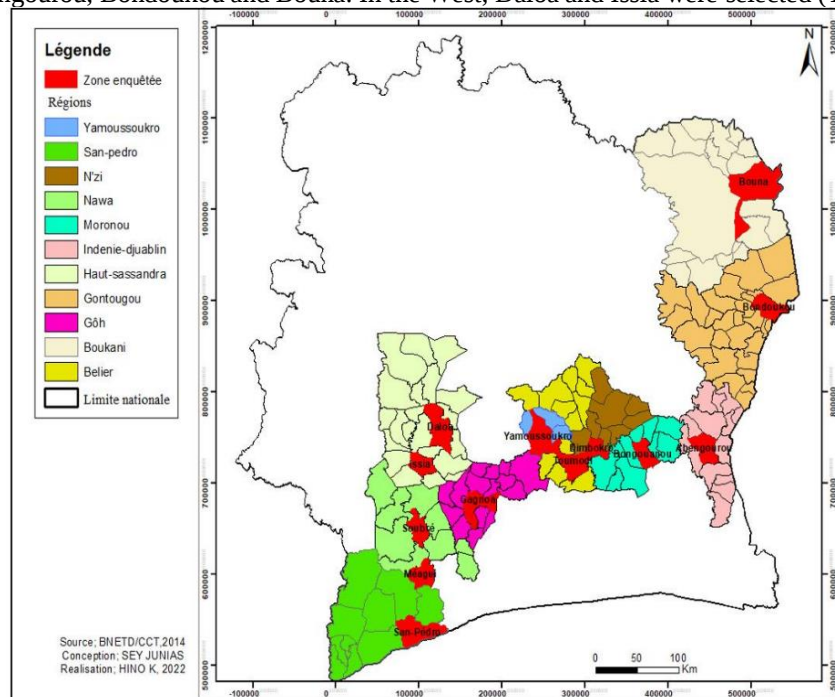


Figure 1:- Survey regions.

Table 1:- Distribution of understorey yam producers in the regions and localities surveyed in Côte d'Ivoire.

Regions	Localities	Number of producers surveyed	Percentage of respondents (%)
Centre/Centre-East	Yamoussoukro, Toumodi, Dimbokro and Bongouanou	30	23.62
East	Abengourou and Bouna	29	22.83
West	Daloa and Issia	36	28.35
South-West	Gagnoa, Soubré, Méagui and San-Pédro	32	25.20
Total	12	127	100

Plant material

The plant material consisted of undergrowth yam accessions.

Methods:-

To carry out this survey, localities were targeted from the outset based on the cardinal axes in each study region. Then, each locality for the study by region was chosen by a systematic random draw from the database of selected localities. The plantations were chosen based on their accessibility in all seasons.

Individual face-to-face interviews with the producers and visual observation of the plantations enabled us to gather information and gain an overall idea of the undergrowth yam production systems. The survey consisted of interviewing the farmers directly, using a questionnaire sheet that had been drawn up in advance.

The questionnaire variables focused on the characteristics of the cropping systems used, in particular the different understory yam-based systems, the areas under perennial crops, the age of the trees, the number of yam mounds, the type of soil, the topographical position of the farms, the yam varieties used, the production cycle of the varieties and the yam harvesting period.

Surveys were carried out both in the fields and in family yards, from 8 a.m. to 6 p.m., by appointment with the producers. The surveys were carried out from March to August 2022.

Statistical analysis

The data collected during the survey were entered in to an Excel spreadsheet and then analysed using STATA 14 softwares. The analysis was based on descriptive statistics (frequency calculations and averages). Charts and curves were produced using this spreadsheet.

Results:-

1.Cropping systems used

The cropping systems used by farmers in all the areas visited were: yams grown in association with cocoa trees (54%), cashew trees (28%), coffee trees (7%), fruit trees (5%), rubber trees (4%) and oil palms (2%) (Figure 2).

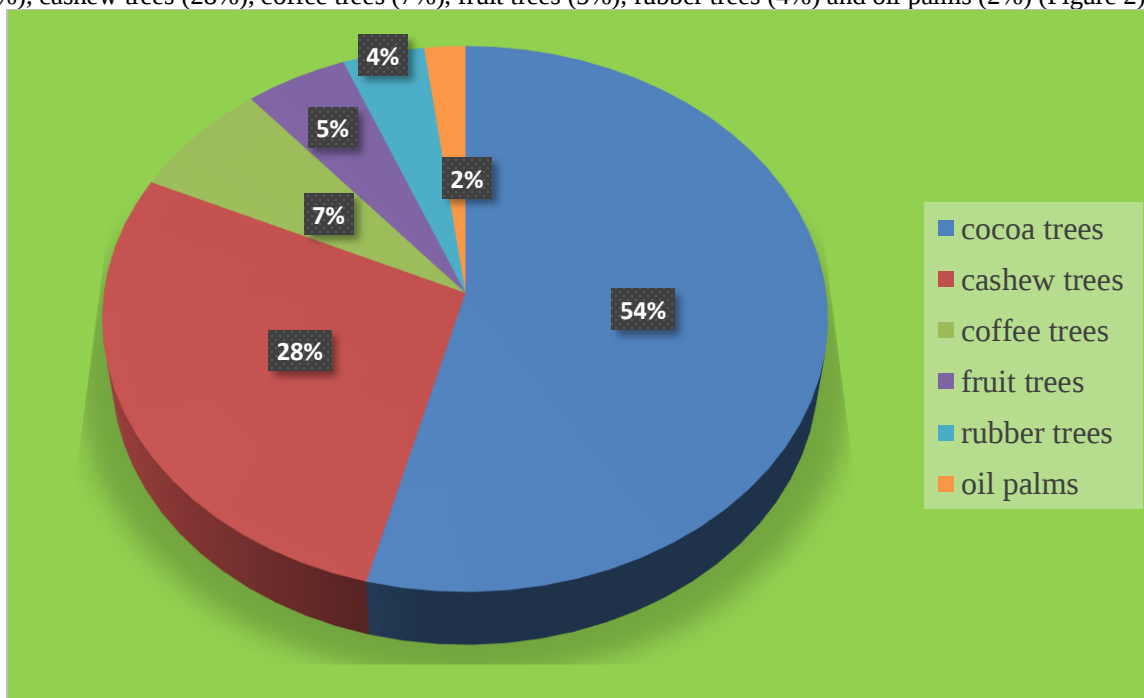


Figure 2:- Yam-based systems practised in Côte d'Ivoire.

Analysis by region shows that the most common cropping systems in Côte d'Ivoire are combining yams with cocoa trees (94.44% of growers in the West, 93.75% in the South-West and 70% in the Centre/Centre-East) and cashew trees (96.55% in the East, 33.33% in the West and 23.33% in the Centre/Centre-East). Moderately practiced cropping systems are the association of yams with coffee trees (16.67% of producers in the Centre/Centre-East and 13.89% in the West), fruit trees (15.63% in the South-West) and rubber trees (16.67% in the West). The least common system is combining yams with palm trees (3.13% in the South-West, 3.33% in the Centre/Centre-East and 3.45% in the East). Combining yams with rubber trees is mainly practised in the West, while cashew nuts are grown more in the East (Figure 3).

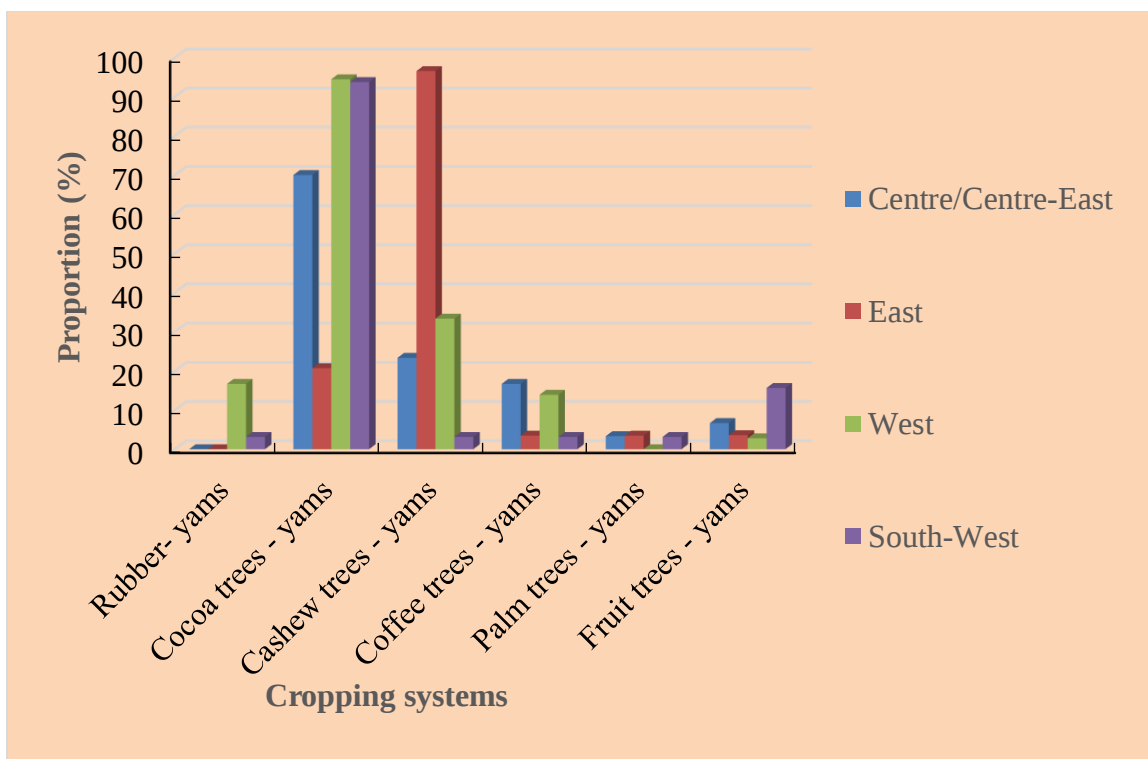


Figure 3:- Proportion of cropping systems practised by study region.

Plantation characteristics

Age of perennial crop trees

The age of perennial crop trees in association with under story yams varies according to the system (Table 2). On average, the trees are 20.13 years old for cocoa trees, 12.85 years old for cashew trees, 7.63 years old for rubber trees, 30.97 years old for coffee trees and 29 years old for palm trees. Analysis by region shows that in the cocoa-yam system, the association of undergrowing yams is practised in old cocoa plantations (25.30 years in the South-West and 21.75 years in the East) or mature plantations (15.71 years in the Centre/Centre-East and 17.76 years in the West). In the cashew-yams system, yams are grown in old cashew orchards (21 years in the East), mature plantations (12.6 years in the Centre/Centre-East) or younger plantations (8 and 9.81 years in the West). In the rubber-yam system, undergrowing yams are grown in association with young rubber trees (5.25 years old in the South-West) or mature yams (10 years old in the West). For coffee trees, undergrowing yams is practised in old coffee plantations (47 years in the South-West and 28.40 in the Centre/Centre-East) or mature plantations (17.50 years in the West). In the palm-yams system, undergrowing yams are grown in association with young palm trees (8 years old in the South-West) or old palm trees (50 years old in the Centre/Centre-East).

Table 2:-Tree ages in understory yam cropping systems.

Age of perennial crop trees (years)						
Systems/Regions	Rubber-yams	Cocoa trees - yams	Cashew trees - yams	Coffee trees - yams	Palm trees - yams	Fruit trees - yams
Centre/Centre-East	-	15.71	12.60	28.40	50.00	-
East	-	21.75	21.00	-	-	-
West	10.00	17.76	9.81	17.50	-	-
South-West	5.25	25.30	8.00	47.00	8.00	-
Average	7.63	20.13	12.85	30.97	29.00	-

Area under perennial crops and density of associations of yams in the understorey

Table 3 shows that the area under perennial crops and the density of yam associations vary according to the systems and regions surveyed. With an average area of 4.10 ha for rubber, farmers planted 337.37 mounds of yams in the

undergrowth, giving an association density of 74.15 mounds/ha. In the cocoa trees-yam system, the average density of association of yams with cocoa trees is 42.71 mounds/ha. With the cashew trees-yams system, the density of yam associations with cashew trees is 30.20 ridges/ha. The coffee trees-yams undergrowth association occupies an average area of 1.38 ha, with a density of 57.96 mounds/ha. The density of the yam-palm association is 40.00 mounds per hectare, with an average area of 0.5 ha. As for fruit trees, the density of yam associated is 27.22 mounds/ha and the area occupied is 2.25 ha. The density of yam associations is higher under the rubber trees. However, the density varies widely between regions (4.71 mounds/ha in the West and 143.59 mounds/ha in the South-West).

Table 3:- Areas under perennial crops and densities of undergrowth yam associations in the regions surveyed

Cropping systems/regions	Rubber-yams	Cocoa trees - yams	Cashew trees - yams	Coffee trees-yams	Palm trees - yams	Fruit trees - yams
Area under perennial crops¹ (ha)						
Centre/Centre-East	-	2.52	3.80	2.40	0.50	-
East	-	2.25	6.61	-	-	-
West	6.33	2.88	2.31	0.75	-	-
South-West	1.87	3.74	4.00	1.00	0.50	2.25
Average	4.10	2.85	4.18	1.38	0.50	2.25
Number of yam mounds¹						
Centre/Centre-East	-	146.60	92.40	63.00	30.00	3.50
East	-	53.75	205.76	-	-	-
West	29.83	138.61	122.09	67.25	-	-
South-West	644.91	152.00	50.00	-	10.00	61.25
Average	337.37	122.74	117.56	65.12	20.00	32.37
Yams density² (No. of mounds/ha)						
Centre/Centre-East	-	58.17	24.32	26.25	60.00	-
East	-	23.89	31.13	-	-	-
West	4.71	48.13	52.85	89.67	-	-
South-West	143.59	40.64	12.50	-	20.00	27.22
Average	74.15	42.71	30.20	57.96	40.00	27.22

¹ Average values, ²Estimated values (Number of ridges/Area of perennial crops)

Source: Survey data, 2022

Types of soil and topographical position of farms

On the basis of the growers' responses, the understorey yam cropping systems were broken down according to soil type and topographical position of the farms. The analysis shows that, apart from the palm-yam system, which is grown only on sandy surface soil, most of the other systems are grown on gravelly soil (Figure 4). In terms of the topographical position of farms, cropping systems are predominantly located on plateaux compared with mid-slope and low-slope positions (Figure 5).

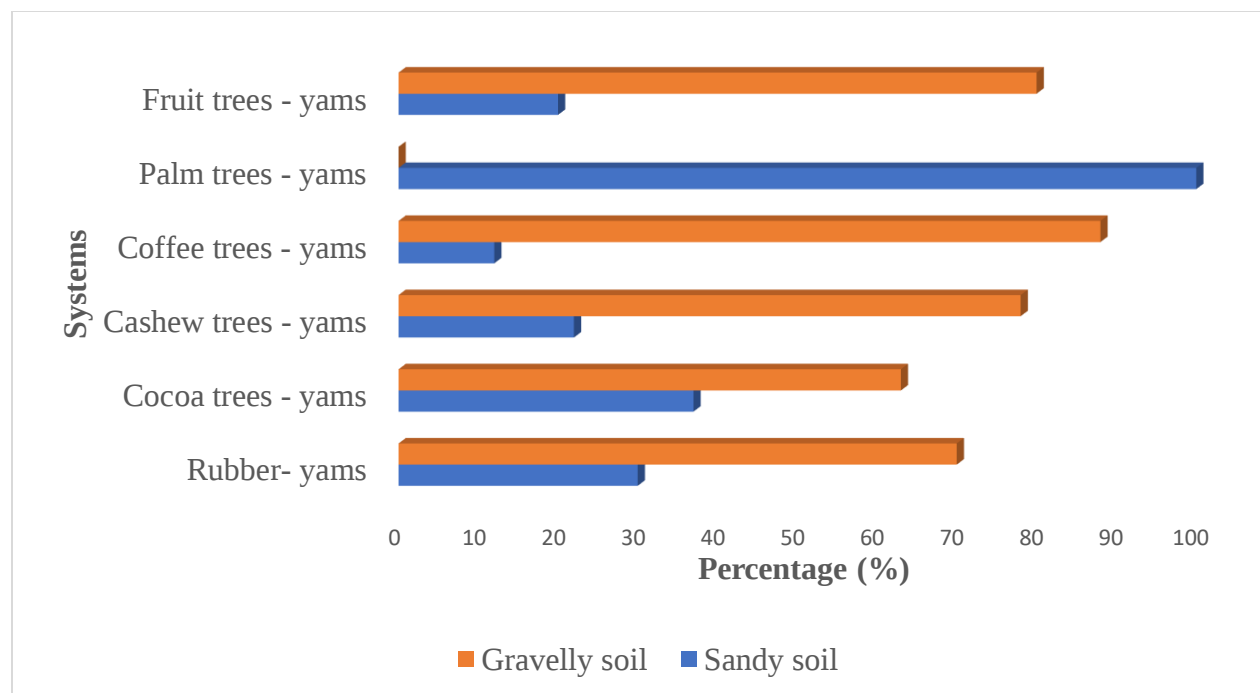


Figure 4: Soil types used for associations with under growth yams

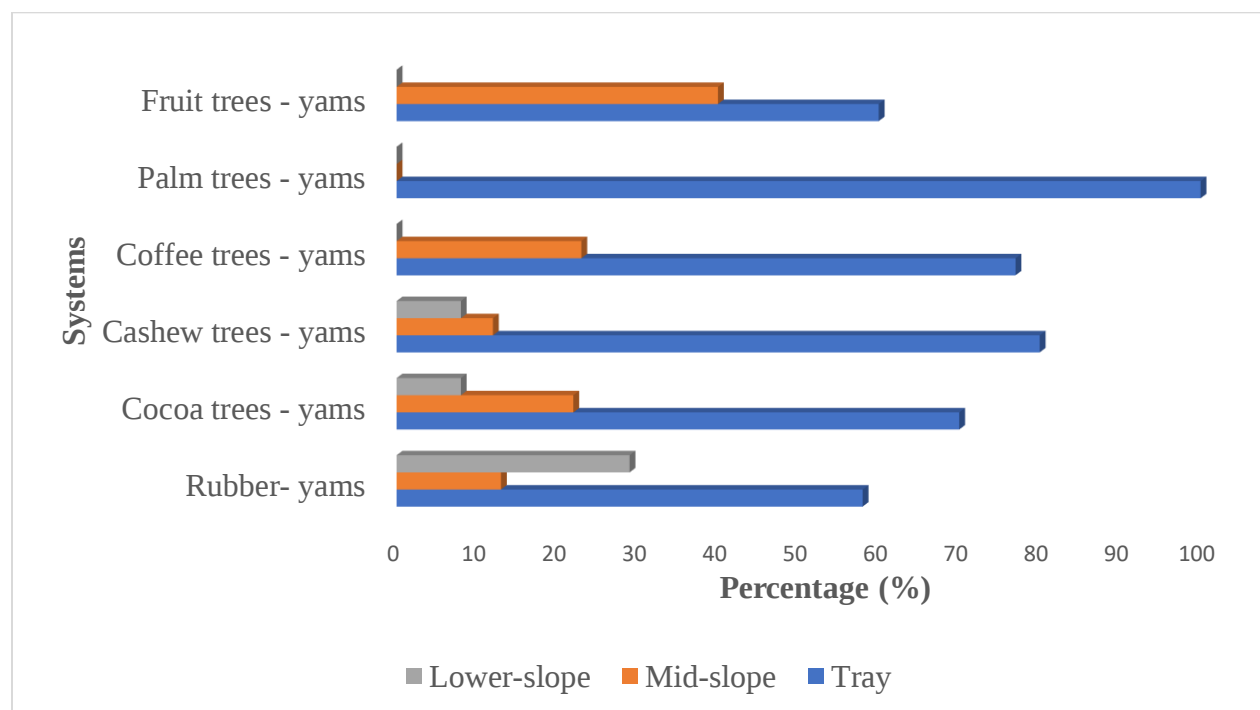


Figure 5:-Topographical position of undergrowth yam farms.

Undergrower yam varieties grown

Table 4 shows the varieties of undergrowth yam grown by producers. There is great diversity (22 varieties) and several vernacular names are given to these yams. The most widely grown are white Cocoassié (29.76%), red Cocoassié (14.88%), yellow Cocoassié (8.30%), Bacoué (7.61%), Soupkataloa (6.92%) and Bolodja (5.19%).

Table 4:-Varieties of undergrowth yam grown.

N°	Undergrowth yam	Percentage (%)
1	Akakli	0.35
2	Bacoué	7.61
3	Bolodja	5.19
4	Cocoassié assobailai	1.73
5	White Cocoassié	29.76
6	Cocoassié ble	3.46
7	YellowCocoassié	8.30
8	Yellow-violet Cocoassié	2.77
9	Black Cocoassié	2.08
10	Cocoassié okloue	3.46
11	Cocoassié oufoue	1.73
12	Red Cocoassié	14.88
13	Cocoassié violet	1.38
14	Cocomisé	3.46
15	Dapa	1.04
16	Foufoue akassi	0.69
17	Gnaranbolor	0.35
18	Kouadio kouadio	1.04
19	Kounougbe	1.38
20	Kpossoko	1.73
21	Soupkataloa	6.92
22	Wawa	0.69

Main varieties of undergrowth yams grown under perennial crops, their production cycle and harvesting period

Table 5 shows the main undergrowth yam varieties grown under perennial crops and their production cycles. White Cocoassié varieties are associated with cocoa, cashew, rubber, coffee, palm and fruit trees. Red Cocoassié varieties are associated with cocoa, cashew, rubber and coffee trees. The yellow Cocoassié variety is associated with cocoa and coffee trees. Bacoué is generally associated with cocoa and rubber trees, while Soupkataloa and Bolodja are associated with cocoa and cashew trees respectively.

The association of undergrowing yams with perennial crops has a longer cycle length with cocoa, rubber, coffee, palm and fruit trees (12 months). The cashew-yam association lasts between 8 and 12 months. Harvests start in August/September and end between October and January.

Table 5:-Harvesting cycles and periods for the main varieties of undergrowing yam grown in association.

Cultivated yam varieties	Associated crops	Cycle length (months)	Harvest period
White Cocoassié	Cocoa	12	August to January
	Cashew nuts	8 to 12	August to October
	Rubber	12	August to October
	Coffee	12	August to January
	Palm	12	August to January
	Fruit trees	12	August to January
Red Cocoassié	Cocoa	12	August to January
	Cashew nuts	8 to 12	August to October
	Rubber	12	August to October
	Coffee	12	August to January
Yellow Cocoassié	Cocoa	12	August to January
	Coffee	12	August to January
Bacoué	Cocoa	12	September to January
	Rubber	12	September to January
Soupkataloa	Cocoa	8	August to January
Bolodja	Cashew nuts	8 to 11	August to January

Discussion:-

The cropping systems observed in the regions visited were the association of undergrowing yams with cocoa trees (54%), cashew trees (28%), coffee trees (7%), fruit trees (5%), rubber trees (4%) and oil palms (2%). These systems are advantageous because they enable farmers to solve the problem of staking, which is essential for good plant growth and yam tuber productivity. In addition, these systems provide diversified food resources, additional income and help restore soil fertility. Maliki (2013) and Cornet (2015), could state that the practice of crop associations enables producers to ensure food security (availability, stability, access and use of different agricultural products), diversify income sources and sustainably manage the soil. Moreover, for Balogoun et al. (2014), the association of annual crops with trees has several advantages, including food security for households, income generated by the sale of both products and weed control. The results also show that the proportion of the cocoa-yam system (54%) is higher than the other systems encountered. Our results corroborate those of Kouakou et al. (2019) who state that in Cameroon as in Côte d'Ivoire, the association of yam with cocoa is the most frequent.

The age of perennial crop trees in association with under growing yams varies from system to system. On average, the trees are 20.13 years old for cocoa trees, 12.85 years old for cashew trees, 7.63 years old for rubber trees, 30.97 years old for coffee trees and 29 years old for palm trees. The association of under growing yams is practised in adult plantations of perennial crops (cocoa, coffee, palm and cashew). According to Hamon et al. (1986), undergrowing yam cultivars such as Cocoassié (*D. rotundata*), Cocomisénié (*D. cayenensis*) and Bolodja (*D. cayenensis*) are mostly grown under adult cocoa, coffee or cashew orchards by farmers in Côte d'Ivoire, with satisfactory yields. As for the rubber-yam systems, they are generally grown in immature rubber trees so that the yams can benefit from a certain amount of light penetrating the plantation to carry out photosynthesis and develop better. Our results are in line with those of Sey et al. (2024), who assert that the presence of large rubber trees, whose dense foliage creates a shady microclimate, prevents the proper diffusion of light and slows down the yam growth and development process.

In addition, among the systems used, the density of yam association is higher under the rubber trees (74.15 mounds/ha). However, this density varied considerably between regions (4.71 mounds/ha in the West and 143.59 mounds/ha in the South-West). Compared with the rubber-yam system, the density of the Cocoa trees-yams association (42.71 buttes/ha) and the cashew-yams association (30.20 buttes/ha) varied less between regions. These results show that the density of yam associations with perennial crops, especially rubber, is not well controlled.

The undergrowth yam cropping systems were broken down according to soil type and the topographical position of the farms. The analysis showed that, apart from the palm-yam system, which is grown on sandy or sandy topsoil, most of the other systems are grown on gravelly soils. These results show that yam tolerates and adapts to a diversity of soils. Our results are in line with those of Cornet (2005), who states that yam is tolerant of a wide range of soils. However, it prefers light, deep, well-drained soils with a sandy loam or sandy loam texture. Furthermore, Kouakou (2005) states that a sandy-clay texture on the 0-20 cm fringe is favourable to yam cultivation. In terms of the topographical position of farms, cropping systems are predominantly located on plateaux compared with mid-slope and low-slope positions. This could be explained by the fact that staple crops generally prefer flat or gently sloping ground. This is particularly the case for cocoa (Kouamé, 2007) and rubber (APROMAC, 2018; Essehi, 2019). As for yam, a secondary crop, it can only adapt to the environment in which it is grown. Adifon et al. (2019) showed that 26.70% of farmers in north-west Benin and 47.10% in central Benin grow yams in lowlands, flood plains and riverbeds, building large mounds a metre or more high to protect the tubers from hydromorphy.

The results also revealed that there is a huge diversity of undergrowth yams cultivated by growers (22 varieties). Vernacular names were given to these yams. Our results are in line with those obtained by N'Goran (2023). Indeed, the author discovered a diversity of undergrowth yams, notably 40 accessions in Côte d'Ivoire, and studied their agromorphological diversity. The most widely grown undergrowth yam varieties are white Cocoassié, red Cocoassié, yellow Cocoassié, Bacoué, Soupkataloa and Bolodja. This choice could be justified by the taste quality and high yields of these yams.

The production cycle of undergrowth yam varieties associated with perennial crops varies between 8 and 12 months. Our results are in line with those of Cornet (2015) and Adifon et al. (2019). For these authors, the yam production cycle extends over a period of 8 to 12 months. The results presented show that under growth yam harvests start in August/September and end between October and January. Our results are more or less identical to those obtained by

Kouakou et al. (2005) for early yams. Harvests are spread out from July to September for the first harvest and from December to January for the second harvest.

Conclusion:-

The study revealed that the cropping systems practised are the association of yams in the undergrowth with rubber trees, cocoa trees, cashew trees, coffee trees, palm trees and fruit trees. Among these systems, the main ones are yam cropping systems under cocoa and cashew trees, which are widespread in the West, South-West and Centre/Centre-East for cocoa trees, and in the East, West and Centre/Centre-East for cashew trees. The coffee-yam association is more widespread in the Centre/Centre-East, while the fruit tree-yams association is more prevalent in the South-West. The association of undergrowing yams with rubber trees is much more widespread in the West region. The average age of trees associated with undergrowing yams is 20.13 years for cocoa trees, 12.85 years for cashew trees, 7.63 years for rubber trees, 30.97 years for coffee trees and 29 years for palm trees. The undergrowth yam varieties grown are generally white Cocoassié, red Cocoassié, yellow Cocoassié, Bacoué, Soupkataloa and Bolodja. These undergrowth yams are mostly grown on gravelly soils and the farms are located on plateaux with very variable densities. These systems, which combine yams with perennial crops, therefore need to be improved to increase yam yields and contribute to food security in rural and urban areas.

Acknowledgements:-

The authors would like to thank the Institut de Recherches pour le Développement (IRD) France for all the technical and financial support provided for this study as part of the IRD's Jeune Equipe Associée (JEAI).

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this article.

References:-

1. Adeniji, OB., Adebayo, CO. & Ajayi, OP. (2012). Analysis of marketing margin of yam in selected rural areas of Niger State, Nigeria. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review*, 1(3): 58-62.
2. Adifon, FH., Yabi, I., Vissoh, P., Balogoun, I., Dossou, J. & Saïdou, A. (2019). Écologie, systèmes de culture et utilisations alimentaires des ignames en Afrique tropicale : synthèse bibliographique. *Cahiers Agricultures*, 28(22): 11 p. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019022>.
3. APROMAC (2018). Production de matériel végétale d'hévéa Guide du Conseillé Agricole de l'hévéa tome I, 6 p.
4. Balogoun, I., Saïdou, A., Ahoton, EL., Amadji, IG., Ahohuendo, CB., Adebo, IB., Babatounde, S., Chougourou, D., Adoukonou-sagbadja, H. & Ahanchede, A. (2014). Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie africaine*, 26(1) : 9-22.
5. Cornet, D. (2005). Etude du fonctionnement physiologique d'un couvert végétal d'igname (*Dioscorea alata* L.). Mémoire d'étude approfondie en sciences agronomique et ingénierie biologique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 116 p.
6. Cornet, D. (2015). Influence des premiers stades de croissance sur la variabilité du rendement parcellaire de deux espèces d'igname (*Dioscorea* spp.) cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Science Agronomiques et écologiques, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement : AgroParisTech, (Paris, France), 174 p.
7. Dibi, K., Kouakou, AM., Yeo, TJ., Fofana, I., N'Zue, B. & Brou, YC. (2014). Effects of Planting Modes on Yam (*Dioscorea rotundata*, Poir and *Dioscorea alata* L.) Vine Cuttings for Mini Tubers Production. *International Journal of Sciences*, 3: 1-8.
8. Essehi, JL. (2019). Valorisation agronomique des déchets de ferme par compostage pour l'amélioration de la croissance végétative en pépinière en sac de *Hevea Brasiliensis* Muell. arg. (Euphorbiaceae) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, pédologie, UFR des sciences de la terre et des ressources minières, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 235 p.
9. FIRCA. (2020). Les filières banane plantain, igname, manioc. 24 p.
10. Hamon, P., Hamon, S. & Touré, B. (1986). Les ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* de Côte d'Ivoire : Inventaire et description des cultivars traditionnel. ORSTOM, 51, Abidjan, Côte d'Ivoire, 67 p.
11. Kouakou, AM., Zaouri, GP., Dumont, R. & Yapi, GV. (2005). Bien cultiver l'igname en Côte d'Ivoire, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). 4 p.
12. Kouakou, AM., Zohouri, GP., Dumont, R. & Gnaore, V. (2005). Bien cultiver l'igname en Côte d'Ivoire. En ligne. Consulté le 29 mai 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.yumpu.com/fr/document/view/17413977/bien-cultiver-ligname-en-cote-divoire-erails>.

13. Kouakou, AM., Zohouri, GP., Dibi, KE., N'Zué, B., Foua bi. (2012). Émergence d'une nouvelle variété d'igname de l'espèce *Dioscorea alata* L., la C18 en Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences, 57 : 4151-4158.
14. Kouakou, AM., Yao, GF., Dibi, KEB., Adolphe, M., Lopez-Montes, A., Essis, BS., N'zue, B., Kouamé, B., Adebola, PO., Asfaw, A. & Asiedu, R. (2019). Yam cropping system in Côte d'Ivoire: current practices and constraints. European Scientific Journal, 15(30): 278-300.
15. Kouamé, SAK. (2007). Mise en place et entretien des productions végétales et/ ou animales : cas du cacao. Mémoire online. Institut National Felix Houphouët Boigny de Yamoussoukro (école supérieure d'agronomie) ; Ingénieur des techniques agricoles. <https://www.memoireonline.com> consulté le 21/02/2024
16. Maliki, R. (2013). Gestion de la fertilité des sols pour une meilleure productivité dans les systèmes de culture à base d'igname au Bénin. Thèse de Doctorat unique, ès-sciences agronomiques, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin, 265 p.
17. N'Goran, AL. (2023). Caractérisation morphologique des ignames de sous-bois. Mémoire de master, Amélioration de la production agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire). 62 p.
18. N'Goran, KE., Zohouri P.G., Yoro R.G., Kouakou M.A., Assa A. & Asiedu R. (2007). Revue bibliographique sur la gestion de la fertilité des sols cultivés en igname en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine, 19(3) : 281-288.
19. Ocren, AAAD. (2022). Caractérisations socio-économiques des producteurs et agronomiques des exploitations de l'igname de sous-bois (*Dioscorea* sp., "Cocoassié") au Centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de master, Amélioration de la production agricole, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire). 63 p.
20. Saïdou, A., Adjei-Nsiah, S., Kossou, D., Sakyi-Dawson, O. & Kuyper, TW. (2007a). Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin. Cahiers Agricultures, 16(5) : 405-412.
21. Saïdou, A., Tossou, R., Kossou, D., Sambieni, S., Richards, P. and Kuyper, TW. (2007b). Land tenure and sustainable soil fertility management in Benin. International Journal of Agricultural Sustainability, 5(2-3): 195-212.
22. Sey, J., Tonessia, DC., Soumahin, EF., Dibi, KEB., Dauphin, CC. (2024). Assessment of Agro-morphological Parameters of Two Accessions of Undergrowth Yam (*Dioscorea* sp.) Cultivated in the Inter-rows of Mature Rubber Trees (*Hevea brasiliensis*) in Daloa, Côte d'Ivoire. Journal of Agricultural Science, 16(10): 101-112.

COMMUNICATIONS

1.Sey J., Tonessia D.C. & Soumahin E.F. (2023). Influence de l'hévéa sur le développement des ignames de sous-bois dans un système agroforestier hévéa-ignames à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. *Colloque International de l'Agroforesterie Tropicale* (CIAT), 13-15 Décembre 2023, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire).

2.Sey J., Tonessia D.C. & Soumahin E.F. (2025). Evaluation des paramètres agromorphologiques de deux accessions d'igname de sous-bois (*Dioscorea* sp) cultivées dans les interlignes des hévéas (*Hevea brasiliensis*) matures à Daloa en Côte d'Ivoire. *2^{eme} Journées Scientifiques Internationales en Nutrition et Sciences des Aliments* (JSINSA 2025), 19-21 Février 2025, Université Abdou Moumouni (Niamey, Niger).

DISTINCTIONS

1. Cette thèse a obtenu le premier prix du concours international « Ma Thèse en 180 secondes » édition 2022 de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire).

2. Cette thèse a également remporté le prix national du concours international « Ma Thèse en 180 secondes » édition 2022 de l'Institut Français (Abidjan, Côte d'Ivoire).

3. Cette thèse a représenté la Côte d'Ivoire à Montreal au Canada à la finale internationale du concours international « Ma Thèse en 180 secondes » édition 2022 organisée par l'ACFAS et l'AUF (Montreal, Canada).

Résumé

L'expansion massive de l'hévéaculture en Côte d'Ivoire a conduit à une indisponibilité de terres cultivables pour les cultures vivrières, contribuant ainsi à une insécurité alimentaire. Pour y remédier, une étude d'évaluation d'un système hévéa-igname de sous-bois a été entreprise de 2021 à 2024. L'objectif de l'étude était de contribuer à la sécurité alimentaire dans les zones hévéicoles de Côte d'Ivoire. Cette étude a débuté par une enquête dans quatre zones (Centre, Est, Ouest et Sud-Ouest) afin de décrire les systèmes de culture des ignames de sous-bois. Elle a été suivie d'une expérimentation à Daloa qui visait à évaluer les performances agromorphologiques, physiologiques et la santé des sols dans le système hévéa-igname de sous-bois. Ainsi, deux accessions d'ignames de sous-bois Bacoué et Soukpataloa ont été semées à la fois en monoculture et dans les interlignes des hévéas matures des clones GT 1 et IRCA 41. Les paramètres mesurés sur les ignames comprenaient le taux de levée, le délai de levée et la production. Sur les hévéas, l'accroissement de circonférence, le taux d'encoche sèche, la production et le profil physiologique ont été mesurés. Il ressort des enquêtes que les principaux systèmes pratiqués sont les associations des ignames aux cacaoyers (54 %) et aux anacardiés (24 %). Les ignames de sous-bois les plus cultivées sont le Cocoassié blanc, rouge et jaune, le Bacoué, le Soukpataloa et le Bolodja. Les résultats expérimentaux ont révélé que les accessions Bacoué et Soukpataloa, ont présenté une croissance identique sous GT 1 et IRCA 41. Les taux de levée ont atteint 66,67 % pour Bacoué et 70,83 % pour Soukpataloa sous les hévéas GT 1, contre 58,33 % et 66,67 % respectivement sous IRCA 41, des taux inférieurs à ceux de la monoculture (94,44 % et 88,89 %). La levée a été plus tardive sous les hévéas avec l'accession Bacoué. Sous GT 1, Bacoué a levé en 179,19 jours, cette durée était de 205,43 jours sous IRCA 41. Soukpataloa sous les hévéas a enregistré des valeurs comparables à la monoculture (48,44 pour la levée). Toutefois, les deux accessions ont enregistré des productions d'ignames similaires qui ont augmenté de la première à la seconde année. À la deuxième année, elles ont atteint 52,08 kg/ha pour Bacoué et 39,06 kg/ha pour Soukpataloa sous GT 1, contre 35,96 kg/ha et 37,20 kg/ha respectivement sous IRCA 41. En ce qui concerne les hévéas, les traitements associant ignames de sous-bois et hévéas ont présenté une production et un accroissement de circonférence identiques à ceux des hévéas témoins. Le taux d'encoche sèche a été très faible avec des valeurs inférieures à 5 %. En fin d'expérimentation, tous les hévéas ont montré un profil physiologique bien équilibré. L'association hévéa-igname de sous-bois n'a eu aucune incidence négative sur les sols. Bien au contraire, ces derniers sont caractérisés par une meilleure infiltration de l'eau, donc favorisent le maintien de la structure du sol. Cette étude montre qu'il est possible d'accroître la production des ignames sous les hévéas matures sans toutefois nuire à ces derniers.

Mots-clés : système agroforestier, hévéa, igname de sous-bois, production d'igname, sécurité alimentaire, Côte d'Ivoire

Summary

The massive expansion of rubber cultivation in Côte d'Ivoire has led to a shortage of arable land for food crops, contributing to food insecurity. To address this issue, an evaluation study of a rubber-yam understory system was conducted from 2021 to 2024. The objective of the study was to contribute to food security in rubber-growing areas of Côte d'Ivoire. The study began with a survey in four areas (Central, East, West, and Southwest) to describe the cultivation systems for undergrowth yams. This was followed by an experiment in Daloa to evaluate the agromorphological and physiological performance and soil health in the rubber-undergrowth yam system. Two accessions of Bacoué and Soukpataloa undergrowth yams were sown both in monoculture and in the inter-rows of mature rubber trees of the GT 1 and IRCA 41 clones. The parameters measured on the yams included emergence rate, emergence time, and yield. For the rubber trees, circumference growth, dry notch rate, production, and physiological profile were measured. Surveys show that the main systems practiced are associations of yams with cocoa trees (54%) and cashew trees (24%). The most commonly cultivated undergrowth yams are white, red, and yellow Cocoassié, Bacoué, Soukpataloa, and Bolodja. The experimental results revealed that the Bacoué and Soukpataloa accessions showed identical growth under GT 1 and IRCA 41. Germination rates reached 66.67% for Bacoué and 70.83% for Soukpataloa under GT 1 rubber trees, compared to 58.33% and 66.67% respectively under IRCA 41, which are lower than those in monoculture (94.44% and 88.89%). Emergence was later under rubber trees with the Bacoué accession. Under GT 1, Bacoué emerged in 179.19 days, compared to 205.43 days under IRCA 41. Soukpataloa under rubber trees recorded values comparable to monoculture (48.44 for emergence). However, both accessions recorded similar yam yields, which increased from the first to the second year. In the second year, they reached 52.08 kg/ha for Bacoué and 39.06 kg/ha for Soukpataloa under GT 1, compared to 35.96 kg/ha and 37.20 kg/ha, respectively under IRCA 41. With regard to rubber trees, treatments combining undergrowth yams and rubber trees showed production and circumference growth identical to that of the control rubber trees. The dry notch rate was very low, with values below 5%. At the end of the experiment, all rubber trees showed a well-balanced physiological profile. The combination of rubber trees and undergrowth yams had no negative impact on the soil. On the contrary, the soil was characterized by better water infiltration, which helped maintain its structure. This study shows that it is possible to increase yam production under mature rubber trees without harming the trees.

Keywords: agroforestry system, rubber tree, understory yam, yam production, food security, Côte d'Ivoire