



UNIVERSITÉ
JEAN LOROUGNON GUÉDÉ

UFR AGROFORESTERIE

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNÉE : 2023-2024

N° D'ORDRE :

112

CANDIDATE

Nom : ZOH

Prénoms : Olivia Dominique

THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Phytopathologie

**Contribution à la lutte intégrée
contre l'encoche sèche de l'hévéa
(*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.,
Euphorbiaceae) en Côte d'Ivoire**

JURY

Président : M. SORO Dogniméton, Professeur Titulaire, Université Jean
Lorougnon GUÉDÉ (UJLoG)

Directrice : Mme. TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon GUÉDÉ (UJLoG)

Rapporteur : Mme. KOFFI Ahébé Marie Hélène, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon GUÉDÉ (UJLoG)

Examineur : M. OBOUAYEBA Samuel, Directeur de Recherche, Centre
National de Recherche Agronomique (CNRA)

Examineur : M. SOKO Dago Faustin, Maître de Conférences, Université
Jean Lorougnon GUÉDÉ (UJLoG)

**Soutenue publiquement
le 30 novembre 2024**

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	i
DÉDICACE.....	viii
REMERCIEMENTS	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xiii
LISTES DES TABLEAUX.....	xvi
LISTE DES FIGURES	xx
LISTE DES ANNEXES	xxiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS	6
1.1. GÉNÉRALITÉS SUR L’HÉVÉA ET SA CULTURE	37
1.1.1. Origine et distribution	37
1.1.2. Systématique.....	37
1.1.3. Biologie.....	37
1.1.4. Écologie	39
1.1.5. Utilisations de l’hévéa	39
1.2. FACTEURS CLIMATIQUES EN RAPPORT AVEC LA CULTURE DE L’HÉVÉA..	40
1.2.1. Pluviométrie.....	40
1.2.2. Température.....	40
1.2.3. Hygrométrie et ensoleillement	40
1.2.4. Vents.....	41
1.3. ITINÉRAIRE TECHNIQUE DE LA CULTURE DE L’HÉVÉA.....	41
1.3.1. Choix des clones à planter	41
1.3.2. Choix et préparation du terrain.....	41
1.3.3. Dispositif et densité de plantation	42
1.3.4. Fertilisation.....	42
1.4. FONCTION LATICIGÈNE ET PRODUCTION DU CAOUTCHOUC NATUREL ...	43
1.4.1. Anatomie du tronc de l’hévéa	43
1.4.2. Physiologie de l’alimentation et partition métabolique des assimilats photosynthétiques.....	44

1.4.3. Latex.....	45
1.4.4. Paramètres physiologiques du latex en rapport avec la production	46
1.4.4.1. Extrait sec du latex.....	46
1.4.4.2. Saccharose.....	46
1.4.4.3. Phosphore inorganique	47
1.4.4.4. Composés ou groupements thiols.....	47
1.4.5. Typologie clonale de fonctionnement métabolique du système laticigène	47
1.4.5.1. Clones à métabolisme lent	48
1.4.5.2. Clones à métabolisme intermédiaire.....	48
1.4.5.3. Clones à métabolisme rapide.....	48
1.4.6. Facteurs limitants de la production de caoutchouc	49
1.4.6.1. Écoulement du latex de l'hévéa	49
1.4.6.2. Régénération du latex.....	49
1.4.7. Saignée d'une plantation d'hévéa	50
1.4.7.1. Profondeur de saignée.....	51
1.4.7.2. Longueur de l'encoche de saignée	51
1.4.7.3. Direction d'exploitation de l'écorce	52
1.4.7.4. Consommation de l'écorce.....	52
1.4.7.5. Fréquence et nombre de saignées par an.....	53
1.4.7.6. Conduite de panneau de saignée.....	53
1.4.8. Stimulation hormonale de la production de l'hévéa	53
1.5. PRINCIPAUX BIOAGRESSEURS DE L'HÉVÉA.....	54
1.5.1. <i>Corynespora</i> sp.	55
1.5.2. <i>Fomes</i> sp.....	56
1.5.3. Loranthaceae	58
1.6. ENCOCHE SÈCHE, PROBLEMATIQUE EN HÉVÉACULTURE	59
1.6.1. Historique	59
1.6.2. Quelques approches définitionnelles	60
1.6.3. Types d'encoche sèche	60
1.6.4. Symptômes visuels et histocytologiques de l'encoche sèche	61
1.6.5. Principales causes de l'encoche sèche de l'hévéa.....	62
1.6.5.1. Causes liées aux facteurs génétiques et physiologiques	63
1.6.5.2. Causes liées aux facteurs phénologiques.....	63

1.6.5.3. Causes liées à la stimulation.....	63
1.6.5.4. Causes liées aux fréquences de saignée.....	64
1.6.5.5. Causes liées aux facteurs climatiques	65
1.6.5.6. Causes liées aux facteurs pédologiques.....	65
1.6.5.7. Causes liées aux facteurs anthropiques.....	65
1.6.5.8. Causes liées aux bioagresseurs.....	66
1.6.6. Incidence économique de l’encoche sèche de l’hévéa.....	66
1.6.7. Forces et faiblesses de la gestion de l’encoche sèche en Côte d’Ivoire	67
1.7.1. Définitions	67
1.7.2. Importance de la stimulation éthylénique dans la lutte intégrée contre l’encoche sèche de l’hévéa	68
1.7.3. Importance du couteau de saignée dans la lutte intégrée contre l’encoche sèche de l’hévéa.....	69
1.7.4. Importance de la fertilisation minérale dans la lutte intégrée contre l’encoche sèche de l’hévéa	70
1.7.5. Importance du gel de <i>Aloe vera</i> dans la lutte intégrée contre l’encoche sèche de l’hévéa.....	71
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	43
2.1. PRÉSENTATION DES ZONES D’ÉTUDE.....	44
2.1.1. Zones d’enquêtes et de collecte des données	44
2.1.2. Zones d’expérimentations	45
2.2. MATÉRIEL.....	46
2.2.1. Matériel végétal.....	46
2.2.2. Matériel biologique	48
2.2.3. Matériel chimique.....	48
2.2.4. Matériel technique	48
2.3. MÉTHODES	49
2.3.1. État des lieux du syndrome de l’encoche sèche de l’hévéa à travers les principales zones de production de Côte d’Ivoire.....	49
2.3.1.1. Enquête sur les pratiques agronomiques des plantations agro-industrielles.....	50
2.3.1.2. Évaluation des pratiques agronomiques susceptibles d’influencer la sensibilité à l’encoche sèche de l’hévéa.....	51

2.3.1.3. Évaluation des facteurs biologiques susceptibles d'influencer la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa.....	53
2.3.2. Étude de l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	54
2.3.2.1. Collecte des données pluviométriques	54
2.3.2.2. Exploitation des données pluviométriques	54
2.3.2.3. Relation entre les données pluviométriques et la sensibilité à l'encoche sèche	55
2.3.3. Évaluation de l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa	55
2.3.3.1. Effet des faibles doses de stimulation sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	55
2.3.3.2. Effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa.....	59
2.3.3.3. Effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	63
2.3.4. Test d'efficacité du gel de <i>Aloe vera</i> sur la restauration des encoches « malades » des hévéas.....	71
2.3.4.1. Mise en place de l'essai sur le test d'efficacité du gel de <i>Aloe vera</i>	71
2.3.4.2. Récolte des feuilles de <i>Aloe vera</i>	73
2.3.4.3. Processus d'extraction du gel	73
2.3.4.4. Suivi et collecte des données sur le test d'efficacité du gel de <i>Aloe vera</i>	74
2.3.5. Traitement et analyse statistique des données	74
2.3.5.1. Analyse des données d'enquêtes et de collecte de données	75
2.3.5.2. Analyse des données pluviométriques	75
2.3.5.3. Analyse des données d'expérimentation.....	76
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	78
Chapitre 1. État des lieux du syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production en Côte d'Ivoire.....	79
1.1. Introduction	79
1.2. Résultats	79
1.2.1. Caractéristiques des parcelles d'hévéas visitées	79
1.2.1.1. Dispositifs de plantation recensés lors des enquêtes	79
1.2.1.2. Type de clone inventorié au cours des enquêtes	80
1.2.1.3. Différentes classes d'activité métabolique des clones d'hévéa.....	81
1.2.1.4. Types de couteau de saignée recensés lors des enquêtes	81
1.2.1.5. Orientation de saignée et longueur d'encoche de saignée recensées au cours des enquêtes...82	

1.2.1.6. Types de panneau de saignée répertoriés au cours des enquêtes	83
1.2.1.7. Nature de l'écorce des différents clones d'hévéa recensés	84
1.2.1.8. Différentes durées de récolte du latex des clones d'hévéa	84
1.2.1.9. Doses et fréquences de stimulation appliquées dans les différentes plantations visitées	85
1.2.2. Évaluation de l'effet des pratiques agronomiques sur la sensibilité à l'encoche sèche	85
1.2.2.1. Influence du dispositif de plantation sur la sensibilité à l'encoche sèche	86
1.2.2.2. Influence du clone sur la sensibilité à l'encoche sèche	87
1.2.2.3. Influence du métabolisme clonal sur la sensibilité à l'encoche sèche	89
1.2.2.4. Influence du couteau de saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche	90
1.2.2.5. Influence de l'orientation de la saignée et de la longueur d'encoche saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche	90
1.2.2.6. Influence des panneaux de saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche	91
1.2.2.7. Influence de la nature de l'écorce sur la sensibilité à l'encoche sèche	91
1.2.2.8. Influence de la durée de récolte du latex sur la sensibilité à l'encoche sèche	92
1.2.2.9. Influence de la fréquence de stimulation éthylénique sur la sensibilité à l'encoche sèche	95
1.2.2.10. Corrélation entre la longueur d'encoche malade et la pratique agronomique évaluée	96
1.2.3. Évaluation de l'effet des facteurs biologiques sur la sensibilité à l'encoche sèche	98
1.2.3.1. Influence du bioagresseur <i>Corynespora</i> sp. sur la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche	98
1.2.3.2. Influence du bioagresseur <i>Fomes</i> sp. sur la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche	99
1.2.3.3. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche	100
1.2.3.4. Corrélation entre les longueurs d'encoche malade et les différents facteurs biologiques recensés	101
1.3. Discussion	103
1.4. Conclusion partielle	109
Chapitre 2. Étude de l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	110
2.1. Introduction	110
2.2. Résultats	110
2.2.1. Analyse de l'évolution pluviométrique mensuelle de 1987 à 2020	110
2.2.2. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à Zagné	111
2.2.3. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à San-Pedro	112

2.2.4. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à Anguédédou	114
2.2.5. Variation de la sensibilité à l'encoche sèche en relation avec les totaux pluviométriques de 1987 à 2020	115
2.2.6. Corrélation entre les longueurs d'encoche malade, la zone de culture et la pluviométrie	116
2.3. Discussion.....	117
2.4. Conclusion partielle.....	119
Chapitre 3. Évaluation de l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa	120
3.1. Introduction	120
3.2. Résultats	120
3.2.1. Effet des faibles doses de stimulation sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	120
3.2.1.1. Longueurs d'encoche malade induites par les différentes doses de stimulation chez le clone d'hévéa GT1	120
3.2.1.2. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différentes doses de stimulation chez le clone d'hévéa GT1.....	122
3.2.1.3. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différentes doses de stimulation	123
3.2.1.4. Relation entre les différents paramètres évalués	124
3.2.2. Effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa	125
3.2.2.1. Longueurs d'encoches malades induites par les différents couteaux de saignée chez le clone d'hévéa IRCA 331	125
3.2.2.2. Paramètres de qualité de saignée des différents couteaux.....	127
3.2.2.3. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents couteaux de saignée.....	128
3.2.2.4. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différents couteaux de saignée.....	129
3.2.2.5. Relation entre les différents paramètres évalués	129
3.2.3. Effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa...130	
3.2.3.1. Caractéristiques chimiques des sols sous hévéa avant et après la fertilisation minérale	130
3.2.3.2. Effet de la fertilisation sur la nutrition minérale des hévéas.....	134
3.2.3.3. Longueurs d'encoche malade induites par les différents traitements de fertilisation.....	136

3.2.3.4. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents traitements de fertilisation	138
3.2.3.5. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différents traitements de fertilisation	139
3.2.3.6. Relation entre les différents paramètres évalués	140
3.3. Discussion.....	142
3.4. Conclusion partielle.....	150
Chapitre 4. Test d'efficacité du gel de <i>Aloe vera</i> sur la restauration des encoches « malades » des hévéas.....	151
4.1. Introduction	151
4.2. Résultats	151
4.2.1. Longueurs d'encoches malades induites par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i>	151
4.2.2. Accroissements moyens trimestriels de circonférence induits par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i>	153
4.2.3. Productions moyennes induites par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i>	153
4.2.4. Relation entre les différents paramètres évalués	154
4.3. Discussion.....	156
4.4. Conclusion partielle.....	158
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	164
RÉFÉRENCES	170
ANNEXES	186

DÉDICACE

Maman Nathou, c'est cette surprise que papa Omer et moi t'avons réservé durant ces cinq dernières années après mon Master.

Nous espérons très sincèrement que tu seras honorée en lisant cette thèse !!!

À

la grande famille ZOH,

recevez l'expression de mon profond amour !

REMERCIEMENTS

Me voici enfin à l'heure de témoigner toute ma gratitude aux personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail. Mais par où commencer ? Après cinq années de recherche, il y a tellement de personnes à remercier que je ne voudrais en oublier aucune.

Tout d'abord, je tiens à remercier Madame ADOHI KROU Viviane, Professeur Titulaire en Physique, Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ, pour avoir autorisé mon inscription au sein de l'institution qu'elle dirige.

Je dis également un grand merci à Monsieur SORO Dogniméton, Professeur Titulaire en Agro-Pédologie, Vice-Président chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation Technologique de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ pour tout l'effort consenti à la planification de ma formation. Aussi, voudrais-je vous remercier d'avoir accepté de présider mon jury de thèse. Professeur, je retiendrai votre rigueur scientifique, vos critiques constructives et votre constante sollicitude à mon égard malgré votre statut élevé.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Monsieur KONÉ Issiaka, Professeur Titulaire en Sociologie des organisations, Vice-Président chargé de la Programmation, de la Planification et des Relations Extérieures de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ pour ses encouragements et sa disponibilité.

J'adresse mes sincères remerciements à Madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Phytopathologie, Directrice de l'UFR Agroforesterie et Directrice scientifique de cette thèse. Madame, vous avez su me donner ma chance. En plus de m'avoir choisie, vous m'avez fait confiance, boostée et aidée à dépasser mes limites depuis la Licence jusqu'au Doctorat. Les mots me manquent pour vous témoigner toute ma reconnaissance. À l'aube de ces huit années passées ensemble, je retiendrai votre grand intérêt pour le travail bien fait, votre abnégation, votre rigueur scientifique, vos encouragements et vos conseils qui m'ont beaucoup apporté tant sur le plan professionnel que social. Merci de tout cœur Madame !

À Monsieur KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences en Microbiologie et Sécurité Alimentaire, Vice-directeur de l'UFR Agroforesterie, je témoigne toute ma gratitude pour ses conseils avisés et son appui inestimable dans la finalisation de ce travail.

Je souhaite également remercier le FIRCA-FCIAD d'avoir co-financé ce travail à travers le projet « Amélioration de la qualité de la saignée en hévéaculture par l'utilisation d'un couteau de saignée innovant » (Contrat N°1968 FIRCA/UJLoG/FADCI-FCIAD/2019-AV01). Je profite de l'occasion pour remercier Monsieur SOUMAHIN Éric Francis, Maître de Conférences en Agro-Physiologie, Responsable du parcours Bioressources et Agronomie de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ et Coordonnateur dudit projet. Docteur, je vous appelle affectueusement « mon papa » à dessein. Merci énormément à vous et à toute l'équipe du projet. Vous m'avez permis de réaliser mon rêve. Merci de m'avoir introduite parmi les géants du secteur hévéicole en Côte d'Ivoire. Merci d'avoir orienté ce travail jusqu'à son terme. Merci de votre disponibilité, votre rigueur scientifique, votre soutien et vos remarques pertinentes.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les membres du conseil scientifique de l'UFR Agroforesterie pour leur engagement et leur expertise qui ont été déterminants dans l'avancement de ce projet de thèse.

À Monsieur AYOLIÉ Koutoua, Professeur Titulaire en Agro-Physiologie, Directeur du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, j'exprime toute ma reconnaissance pour son accompagnement et ses conseils avisés dans la finalisation de cette thèse. Je reste très impressionnée par l'accueil chaleureux et l'honneur que vous me faites à chaque sollicitation.

À Monsieur KOUAKOU Tanoh Hilaire, Professeur Titulaire en Agro-Physiologie de l'Université Nangui ABROGOUA, je témoigne toute ma gratitude pour avoir accepté d'instruire cette thèse. Cher Professeur, recevez à travers ces lignes mes remerciements pour votre contribution inestimable à l'amélioration de la qualité de ce document.

Ma reconnaissance va, en outre, particulièrement à l'endroit de Madame KOFFI Ahébé Marie Hélène, Maître de Conférences en Phytopathologie de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ et rapportrice de cette thèse pour le temps et l'attention consacrés à l'examen de mon document. Sachez que vos commentaires constructifs et vos suggestions ont grandement contribué à enrichir mon travail et à affiner ma réflexion.

Je tiens aussi sincèrement à remercier Messieurs OBOUAYEBA Samuel, Directeur de Recherche en Agro-Physiologie du Centre National de Recherche Agronomique et SOKO Dago Faustin, Maître de Conférences en Phytopathologie de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ d'avoir accepté d'examiner ma thèse. Chers Maîtres, votre expertise est précieuse et j'apprécie énormément votre soutien dans cette étape cruciale de mon parcours académique. Merci encore pour votre engagement et votre contribution à ma recherche.

À Monsieur TRA Bi Crolaud Sylvain, Maître de Conférences en Entomologie Agricole de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ, j'adresse mes vifs remerciements pour la précieuse aide dans l'analyse statistique de mes données. J'ai particulièrement apprécié votre capacité à clarifier des concepts complexes et à m'accompagner dans l'interprétation des résultats.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Monsieur VOKO Bi Rosin Rodrigue, Maître de Conférences en Microbiologie des sols de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ, pour l'aide précieuse dans mes démarches administratives. Votre assistance a été inestimable et a contribué à faciliter le processus parfois complexe.

À tout le personnel enseignant de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ, je témoigne toute ma reconnaissance pour les conseils, les orientations et le soutien.

Au personnel administratif et technique, je dis un grand merci pour les encouragements et tous les services rendus.

Je voudrais également adresser toute ma gratitude à Monsieur YACÉ Charles-Emmanuel, Directeur Général de la société Exploitation Agricole Téhui (EXAT), Président du Conseil d'Administration de l'APROMAC. Vous m'avez grandement ouvert les portes de votre société pour y mener mes expérimentations tout en contribuant financièrement aux travaux de cette thèse. Alors, recevez mes sincères remerciements pour tout, Monsieur le Directeur Général !

À Monsieur DOUMBIA Amadou, Directeur du Développement Agricole de la société EXAT, je témoigne toute ma reconnaissance pour avoir introduit ma demande de stage auprès de la Direction Générale. Monsieur le Directeur, merci pour la confiance accordée dans la gestion de la plantation durant toute la période de mon stage. Merci également pour votre soutien et pour vos orientations pertinentes dans l'exécution des différentes expérimentations de cette thèse.

Je remercie également Monsieur YAO Boué, Directeur des Plantations de Tropical Rubber Côte d'Ivoire (TRCI), de m'avoir accueillie dans sa structure afin de réaliser mes enquêtes et collectes de données. En qualité de membre de l'équipe du projet financé par le FIRCA-FCIAD, vous m'avez permis d'accéder à d'importantes données qui ont considérablement contribué à la rédaction de cette thèse et je vous en remercie énormément.

Je dis un merci spécial à Monsieur KOTO Benoît, Directeur Général de la Société Civile et Agricole du Sud-Ouest (SCASO). Merci Monsieur de m'avoir ouvert les portes de votre société pour y collecter mes données. Merci pour vos conseils, vos orientations et votre grande disponibilité.

Je tiens également à remercier Monsieur BAYALA Jacques, Directeur du site de la Compagnie Hévécicole du Cavally (CHC) pour avoir autorisé la réalisation de mes enquêtes au sein des plantations de la CHC. Merci Monsieur pour votre hospitalité. Merci d'avoir mobilisé tous vos moyens pour me faciliter l'accès à vos sites.

Par ailleurs, je tiens vivement à remercier tous les assistants de plantations, chefs secteurs d'encadrements agricoles, chefs de site, contrôleurs de saignée, chefs d'équipe et saigneurs des sociétés EXAT, TRCI, SCASO et CHC qui ont fortement contribué à l'exécution de ce travail. J'adresse une mention spéciale à Monsieur N'GUESSAN Kouadio Fulgence. Merci Monsieur d'avoir été aussi disponible pour moi. Que Dieu vous bénisse abondamment ! Aussi, voudrais-je remercier Madame KONAN Akissi Agnès pour sa sollicitude et son aide inestimable durant tout mon séjour à EXAT.

À tous les étudiants de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ, je dis un grand merci pour les conseils et les encouragements. Merci surtout pour votre mobilisation qui m'a valu d'être Lauréate Nationale du concours international « *Ma thèse en 180 secondes* » édition 2021. Je suis également reconnaissante envers mes devanciers et l'ensemble des étudiants de la Promotion Agriculture et Foresterie. Je remercie également ma cadette KOUADIO N'Gbé Ange Emmanuella pour ses encouragements et son hospitalité à chaque fois que j'ai séjourné à Daloa. Je remercie particulièrement DATÉ Kouadio Miezan Gaston, DAGO Augustin, KOFFI Antoine, N'GORAN Koffi Désiré, DAGNOGO Bêh Siaka, JOSEPH Kouamé Kouassi James et KOFFI Konan Jean Mathias pour leurs conseils dans l'analyse de mes données d'étude.

Je ne saurai oublier Monsieur TRAORÉ Kalifa. Très cher, je te remercie du plus profond de mon cœur pour ta disponibilité et ton aide précieuse lors de mes courses. Ta générosité me touche vraiment. Tu es une grande source de bénédiction pour ma vie.

Aux grandes familles ZOH, LEAN, ZAHO et KOSSA, je tiens à exprimer ma profonde gratitude. Votre soutien, votre patience, vos encouragements et vos prières ont vraiment été de taille. Dieu vous a exaucé et me voilà au terme de cette belle aventure. Recevez donc toute ma reconnaissance, chers miens !

À tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et que j'ai omis de citer, recevez ici l'expression de ma profonde gratitude et que toute la Gloire de nos vies revienne au Dieu Tout-Puissant, Amen !!!

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

LISTE DES SIGLES

ANOVA	:	Analyse de Variance
ANRPC	:	Association of Natural Rubber Producing Countries
APROMAC	:	Association des Professionnels Caoutchouc Naturel de Côte d'Ivoire
ATP	:	Adénosine 5'-Triphosphate
CEC	:	Capacité d'échange cationique
CEP	:	Acide chloro-2-éthylphosphonique
CHC	:	Compagnie Hévéicole de Cavally
CIRAD	:	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DRC	:	Dry Rubber Content
EXAT	:	Exploitation Agricole Téhui
FCIAD	:	Fonds Compétitif pour l'Innovation, l'Agriculture et le Développement
FIRCA	:	Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles
GIM 777	:	Nom d'un couteau de saigné recensé à Anguédédou
GRIEPE	:	Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Ecologie du Paysage et en Environnement
GT1	:	Gondang Tapen 1 (clone d'hévéa)
INPHB	:	Institut National Polytechnique Houphouët Boigny
IRCA	:	Institut de Recherche sur le Caoutchouc en Afrique
IRD	:	Institut de Recherche pour le Développement
KCl	:	Chlorure de potassium
PIB	:	Produit Intérieur Brut
RRIC	:	Rubber Research Institute of Ceylan
RRIM	:	Rubber Research Institute of Malaysia
SAPH	:	Société Africaine de Plantation d'Hévéa
SCASO	:	Société Civile Agricole du Sud-Ouest
SODEXAM	:	Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique
SOGB	:	Société de Grand-Béréby

TRCI	:	Tropical Rubber Côte d'Ivoire
UJLoG	:	Université Jean Lorougnon GUÉDÉ

LISTE DES ABREVIATIONS

0/y	:	Zéro application de stimulant par an
10m/12	:	Saignée dix mois sur douze
2,4-D	:	Acide 2,4 dichlorophénoxyacétique
6/y	:	Six applications de stimulant par an
Accr _{moy}	:	Accroissement moyen annuel de circonférence
arbres.ha ⁻¹	:	Arbres par hectare
Circ _n	:	Circonférence des arbres de la campagne en cours
cm.an ⁻¹	:	Centimètre par an
cm.3mois ⁻¹	:	Centimètre par trois mois
cmol.kg ⁻¹	:	Centimole par kilogramme
C.T	:	Coefficient de transformation
d3, d4, d6	:	Saignée tous les 3 jours, tous les 4 jours, tous les 6 jours
d1, d2, d3 6d/7	:	Saignée tous les jours, tous les 2 jours, tous les 3 jours, 6 jours sur 7
ET2.5 %	:	Ethéphon concentré à 2,5 %
g.a ⁻¹ .an ⁻¹	:	Gramme par arbre et par an
H ⁺	:	Ion hydrogène
kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹	:	Kilogramme par hectare par an
LEM	:	Longueur d'Encoches Malades
MDL	:	Micro Diagnostic Latex
M.F	:	Matière fraîche de caoutchouc
Mg ²⁺	:	Ion magnésium
mm.an ⁻¹	:	Millimètre par an
Muell. Arg.	:	Muller Argoviensis
MO	:	Matière Organique du sol
Na ⁺	:	Ion sodium
NPK	:	Azote, Phosphore et Potassium
Nt	:	Azote total
PA	:	Pâte Appliquée

P.ass	:	Phosphore assimilable
PB	:	Prang Besar (clone d'hévéa)
PCa ₃	:	Phosphore tricalcique
Pi	:	Phosphore inorganique
R-SH	:	Composés thiols
S/2, S/4	:	Saignée descendante en demi-spirale, quart spirale
S/2 d5	:	Saignée descendante en demi-spirale tous les cinq jours
SAA	:	Spectrophotomètre d'absorption atomique

LISTES DES TABLEAUX

Tableau I. Échelle de notation des longueurs d'encoche malade relevées dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou.....	52
Tableau II. Nombres d'arbres saignés traités par les différentes doses d'Éthéphon	56
Tableau III. Nombres d'hévéas utilisés pour les différents couteaux de saignée.....	60
Tableau IV. Consommation minimale et maximale d'écorce recommandée en fonction de la fréquence et de l'orientation de la saignée	63
Tableau V. Nombre d'arbres utilisés par traitement et par niveau topographique pour évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée.....	64
Tableau VI. Différents traitements et quantités d'engrais simples épandues dans les interlignes des plantations d'hévéas mature du clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée	68
Tableau VII. Nombres d'hévéas utilisés pour évaluer l'effet du gel de <i>Aloe vera</i> sur la restauration des encoches « malades » du clone d'hévéa PB 260 en 9 ^{ème} année de saignée ...	72
Tableau VIII. Nombre des parcelles visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	79
Tableau IX. Proportion de parcelles utilisant les différents dispositifs de plantation recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	80
Tableau X. Origine, Superficie et nombre de parcelles des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	80
Tableau XI. Proportion de parcelles en fonction des différentes classes d'activité métabolique des clones d'hévéas recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	81
Tableau XII. Proportion de parcelles saignées par les différents couteaux recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	82
Tableau XIII. Proportion de parcelles en fonction de l'orientation de saignée et de la longueur d'encoche de saignée répertoriées dans les plantations visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	83
Tableau XIV. Position, hauteur et nombre de parcelles utilisant les différents panneaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	83
Tableau XV. Proportion de parcelles utilisant les différents types d'écorce inventoriées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	84
Tableau XVI. Proportion de parcelles en fonction des différentes durées de récolte du latex des hévéas recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	84

Tableau XVII. Proportion de parcelles en fonction des différentes doses de stimulation adoptées dans les plantations d'hévéas visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	85
Tableau XVIII. Proportion de parcelles en fonction des différentes fréquences de stimulation appliquées dans les plantations d'hévéas visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	85
Tableau XIX. Longueurs d'encoche malade des plantations d'hévéas des zones de Zagné, San-Pedro et Anguédédou	86
Tableau XX. Longueurs d'encoches malades des clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	87
Tableau XXI. Longueurs d'encoche malade des clones des différentes classes métaboliques	89
Tableau XXII. Longueurs d'encoche malade induites par les différents couteaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	90
Tableau XXIII. Longueurs d'encoche malade en fonction de la direction de la saignée et de la longueur d'encoche saignée	90
Tableau XXIV. Longueurs d'encoche malade en fonction du panneau de saignée.....	91
Tableau XXV. Longueurs d'encoches malades en fonction de la nature de l'écorce saignée.	92
Tableau XXVI. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d'encoches malades et les différents paramètres agronomiques	97
Tableau XXVII. Influence du <i>Corynespora</i> sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa à travers les trois zones de culture	98
Tableau XXVIII. Influence de <i>Corynespora</i> sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	98
Tableau XXIX. Influence de <i>Fomes</i> sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa à travers les trois zones de culture	99
Tableau XXX. Influence de <i>Fomes</i> sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	100
Tableau XXXI. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa à travers les trois zones de culture	101
Tableau XXXII. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité à l'encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	101
Tableau XXXIII. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d'encoche malade et les principaux bioagresseurs de l'hévéa	102
Tableau XXXIV. Évolution mensuelle des pluies de 1987 à 2020	111

Tableau XXXV. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d'encoche malade, la zone de culture et la pluviométrie	116
Tableau XXXVI. Longueurs d'encoche malade moyennes induites par les différents traitements de stimulation chez le clone GT1 en 1 ^{ère} année de saignée après 27 mois d'expérimentations	122
Tableau XXXVII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents traitements de stimulation chez le clone GT1 en 1 ^{ère} année de saignée après 27 mois d'expérimentations	123
Tableau XXXVIII. Productions moyennes de caoutchouc sec du clone GT1 en 1 ^{ère} année de saignée après 27 mois de stimulation	124
Tableau XXXIX. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude	125
Tableau XL. Longueurs d'encoche malade moyennes induites par les différents couteaux de saignée chez le clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée après 27 mois d'expérimentations	126
Tableau XLI. Paramètres de qualité de saignée induits par les différents couteaux chez le clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée après 27 mois d'expérimentation	127
Tableau XLII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents couteaux de saignée chez le clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée après de 27 mois d'expérimentations	128
Tableau XLIII. Productions moyennes de caoutchouc du clone IRCA 331 après 27 mois de saignée avec les différents couteaux	129
Tableau XLIV. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude	130
Tableau XLV. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques des couches 0 - 20 cm et 20 - 40 cm des sols de la parcelle expérimentale du domaine hévéicole de la société EXAT (San-Pedro) avant et après les épandages d'engrais	132
Tableau XLVI. Valeurs moyennes des teneurs en éléments minéraux des feuilles d'hévéas du clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée au début et à la fin de l'essai	135
Tableau XLVII. Longueurs d'encoche malade moyennes induites par les différents apports d'engrais simples chez le clone IRCA 331 après 19 mois d'expérimentations	137

Tableau XLVIII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents apports d'engrais simples chez le clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée après 27 mois d'expérimentation.....	139
Tableau XLIX. Productions moyennes annuelles de caoutchouc du clone IRCA 331 après 19 mois d'épandage d'engrais simples.....	140
Tableau L. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude ..	141
Tableau LI. Longueurs d'encoche malade moyennes induites par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i> chez le clone PB 260 de septembre à novembre 2023	152
Tableau LII. Accroissements moyens trimestriels de circonférence induits par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i> chez le clone PB 260 en 9 ^{ème} année de saignée de septembre à décembre 2023	153
Tableau LIII. Productions moyennes de caoutchouc sec du clone PB 260 après traitement avec le gel de <i>Aloe vera</i> de septembre à décembre 2023	154
Tableau LIV. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude	155

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plantation, fleurs, fruits, et graines de <i>Hevea brasiliensis</i>	38
Figure 2. Anatomie du tronc d'un hévéa mature	43
Figure 3. Répartition métabolique des assimilats hydrocarbonés chez <i>Hevea brasiliensis</i>	45
Figure 4. Saignée de l'hévéa	51
Figure 5. Application d'une stimulation sur l'encoche de saignée et le panneau de renouvellement d'un hévéa	54
Figure 6. Différents symptômes des attaques de <i>Corynespora cassicola</i> sur l'hévéa	56
Figure 7. Différentes attaques du <i>Fomes lignosus</i>	57
Figure 8. <i>Tapinanthus bangwensis</i> (Loranthaceae) feuillé et en inflorescence.....	59
Figure 9. Hévéas atteints d'encoche sèche	61
Figure 10. Craquelures et desquamations du panneau de saignée.....	62
Figure 11. Différentes zones d'étude.....	45
Figure 12. Plantation d'hévéa.....	47
Figure 13. Feuilles matures de <i>Aloe vera</i>	48
Figure 14. Mode de collecte des données à l'échelle parcellaire et clonale utilisé au cours de l'évaluation des pratiques agronomiques des plantations agro-industrielles des zones de prospection	52
Figure 15. Échelle de notation de 0 à 6 des longueurs d'encoche malade des hévéas relevées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	53
Figure 16. Quelques paramètres d'identifications des principaux bioagresseurs de l'hévéa ...	54
Figure 17. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet des doses de stimulation à base d'Éthéphon sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa GT1 en 1 ^{ère} année de saignée	57
Figure 18. Différents couteaux de saignée utilisés au cours de l'expérimentation pour évaluer leur effet sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée.....	59
Figure 19. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée.....	61
Figure 20. Sondage des différentes profondeurs de saignée en vue d'évaluer l'effet des couteaux de saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée.....	62

Figure 21. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée	65
Figure 22. Prélèvement des échantillons de sol.....	69
Figure 23. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet du gel de <i>Aloe vera</i> sur la restauration des encoches « malades » du clone d'hévéa PB 260 en 9 ^{ème} année de saignée ...	72
Figure 24. Gel de <i>Aloe vera</i> recueilli dans des contenants en plastique.....	73
Figure 25. Différents couteaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou.....	82
Figure 26. Longueurs d'encoche malade (%) des différents dispositifs de plantation recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou	86
Figure 27. Longueurs d'encoche malade des six clones recensés à Zagné	88
Figure 28. Longueurs d'encoche malade des huit clones recensés à San-Pedro.....	88
Figure 29. Longueurs d'encoche malade des cinq clones recensés à Anguédédou	89
Figure 30. Longueurs d'encoche malade en fonction de la durée de récolte de latex.....	95
Figure 31. Longueurs d'encoche malade en fonction de la fréquence de stimulation	96
Figure 32. Tendances des pluies relevées à Zagné de 1987 à 2020.....	112
Figure 33. Fluctuation des quantités de pluies tombées à Zagné entre 1987 et 2020	112
Figure 34. Tendances des pluies relevées à San-Pedro de 1987 à 2020	113
Figure 35. Fluctuation des quantités de pluies tombées à San-Pedro entre 1987 et 2020.....	113
Figure 36. Rupture de stationnarité relevée à Anguédédou en 2008 par le test de Pettit.....	114
Figure 37. Fluctuation des quantités de pluies tombées à Anguédédou entre 1987 à 2020 ...	115
Figure 38. Variation de la longueur d'encoche malade des hévéas en fonction de la pluviométrie annuelle des différentes zones de culture	116
Figure 39. Évolution des longueurs d'encoches malades induites par les différents traitements stimulants chez le clone GT1 en 1 ^{ère} année de saignée pendant 27 mois de stimulation.....	121
Figure 40. Relation entre la production de caoutchouc naturel et les longueurs d'encoche malade des hévéas.....	125
Figure 41. Évolution des longueurs d'encoche malade du clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée pendant 27 mois de saignée avec les différents couteaux	126
Figure 42. Blessures de saignée causées par les différents couteaux de saignée	128
Figure 43. Évolution des longueurs d'encoche malade du clone IRCA 331 en 3 ^{ème} année de saignée pendant 19 mois d'épandage d'engrais simples.....	137

Figure 44. Évolution des longueurs d’encoche malade induites par les différents traitements à base de gel de <i>Aloe vera</i> chez le clone PB 260 en 9 ^è re année de saignée de septembre et décembre 2023	152
Figure 45. Longueurs d’encoche malade régénérées après l’application du gel de <i>Aloe vera</i>	155

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Recommandation de conduite du panneau de saignée de l'hévéa en Côte d'Ivoire pour une fréquence de saignée d4 6d/7 12m/12.....

Annexe 2. Fiche d'enquête.....

Annexe 3. Fiche de relevé encoche sèche pour l'évaluation des pratiques agronomiques.....

Annexe 4. Fiche de relevé encoche sèche pour l'évaluation des facteurs biologiques.....

Annexe 5. Codification internationale des systèmes d'exploitation.....

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'hévéa, de son nom scientifique *Hevea brasiliensis*, est un arbre tropical emblématique de la production de caoutchouc naturel. En effet, 90 % du poids sec du latex de l'hévéa est constitué de particules de caoutchouc ; ce qui confère à l'arbre un fort intérêt économique (Rodrigo *et al.*, 2011 ; Ahoba, 2011). Grâce à ses propriétés d'élasticité et d'imperméabilité, le caoutchouc de l'hévéa est devenu une matière première stratégique pour la fabrication de joints et de supports antisismiques, de gants chirurgicaux, de préservatifs, de gommes, de chaussures, de pneus de véhicules et d'avions, de matelas, de fils élastiques, de ballons et même de produits cosmétiques (Okoma, 2008). Le secteur principal d'utilisation du caoutchouc naturel est le pneumatique avec une consommation de 90 % de la production mondiale (Masson, 2001). À ces bonnes caractéristiques économiques et industrielles, s'ajoutent de bonnes caractéristiques environnementales. En effet, la culture de l'hévéa a également un impact écologique favorable grâce à sa forte capacité de fixation du carbone (Déon, 2012 ; Kouakou, 2022).

Introduite en Côte d'Ivoire en 1951 en vue de la diversification culturelle (Canh, 1999), l'hévéaculture a suscité un enthousiasme sans cesse croissant chez une frange importante de la population. Ainsi, l'hévéa est devenu le 4^{ème} produit d'exportation après le cacao, le pétrole et le palmier à huile (Koffi, 2023). Actuellement, le verger hévéicole ivoirien occupe un peu plus de 700 000 ha de plantation dont 550 000 ha (plantations villageoises et agro-industrielles) sont en saignée (APROMAC, 2023) ; laquelle saignée consiste à faire une entaille au niveau du tronc de l'hévéa tous les trois à six jours ouvrables de la semaine (FIRCA, 2013a). Il s'écoule alors un liquide laiteux appelé latex qui est recueilli et traité pour donner le caoutchouc naturel (Okoma, 2008). La stimulation hormonale, quant à elle, intervient comme la deuxième composante du système de récolte du latex et consiste à traiter l'hévéa avec des substances chimiques génératrices d'éthylène en vue de prolonger la durée d'écoulement du latex après la saignée (Adou, 2018) ; toutes choses qui contribuent à l'augmentation de la production de caoutchouc, faisant de la Côte d'Ivoire le 1^{er} pays producteur africain et le 3^{ème} mondial avec une production de 1,68 millions de tonnes de caoutchouc en 2023 (ANRPC, 2024).

Cependant, il semblerait que cette performance soit plus liée à l'expansion des surfaces cultivées plutôt qu'à la productivité des hévéas. Pour cause, le syndrome de l'encoche sèche sévit dans les exploitations hévéicoles. Se manifestant par un arrêt partiel ou total de l'écoulement du latex après la saignée, cette maladie génère des pertes de production annuelle de plus de 20 000 tonnes et des manques à gagner de l'ordre de six milliards de francs CFA (Okoma *et al.*, 2011a). Grave au plan économique, l'encoche sèche est donc devenue une priorité dans les programmes de recherche en hévéaculture.

Ainsi, plusieurs travaux ont révélé que la maladie de l'encoche sèche est un dysfonctionnement physiologique très complexe causé principalement par la saignée et la stimulation intensives (Okoma, 2008 ; Soumahin, 2010). De plus, d'autres travaux ont montré que les mauvaises pratiques agricoles des hévéaculteurs contribuent pour 60 % à la survenue de la maladie dans les exploitations hévéicoles (Okoma *et al.*, 2009). Par ailleurs, il a été révélé que certains clones d'hévéas semblent être plus sensibles à l'encoche sèche que d'autres du fait de leurs caractéristiques génétiques (Okoma, 2008). Il a, en outre, été prouvé que la sensibilité à la maladie serait amplifiée par les attaques de principaux bioagresseurs de l'hévéa tels que *Fomes* sp., *Corynespora* sp. et les Loranthaceae (Okoma, 2008 ; Soro, 2010 ; Andrew *et al.*, 2021). Le développement de l'encoche sèche pourrait également être influencé par des facteurs pluviométriques et pédologiques d'après les résultats communiqués par Le Roux (1994) et Okoma (2008). Enfin, les travaux de Dian (1997) ont rapporté des taux d'encoche sèche de 9 % et de 12 % respectivement dans les plantations agro-industrielles et villageoises de Côte d'Ivoire. Une décennie plus tard, Okoma *et al.* (2011a) ont, quant à eux, enregistré un taux moyen national d'encoche sèche de 30 % montrant la forte progression de la maladie à travers les plantations hévéicoles.

Toutefois, la question des moyens de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa n'a pas suffisamment été explorée. Les chercheurs se sont limités à prodiguer des mesures préventives contre la maladie et en derniers recours (sorte de lutte curative), à recommander de laisser l'arbre au repos sans le saigner pendant un certain temps (Okoma, 2008). Malheureusement, cette solution paraît assez aléatoire pour le planteur qui ne cherche qu'à maximiser ses revenus. Rappelons que ces mesures préventives (Okoma *et al.*, 2011a) visent essentiellement à :

- choisir des clones sélectionnés par la recherche ;
- planter les arbres à la densité de 555 arbres.ha⁻¹ (dispositif 6 m x 3 m) ;
- privilégier les fréquences de saignée optimale variant de 3 à 6 jours ;
- utiliser des produits stimulants à base d'Éthéphon aux doses de 2,5 % et de 5 % respectivement en saignée descendante et inversée en fonction du régime de stimulation adapté à l'âge des hévéas ;
- éviter les blessures de saignée (saignée profonde en deçà de 1 à 1,5 mm du cambium).

Cette étude se propose donc d'explorer, de manière transversale, la question des méthodes de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa. En effet, la surstimulation a, depuis longtemps, été indexée comme étant en grande partie à l'origine de la survenue de l'encoche sèche de l'hévéa dans les plantations (Okoma, 2008).

Cette préoccupation amène aujourd'hui à prendre en compte, de faibles doses de stimulation hormonale exogène (inférieures à 2,5 % en saignée descendante) en vue de maintenir un bon état physiologique de l'hévéa tout en boostant les niveaux de production.

Par ailleurs, il est connu que l'homme peut agir à travers les paramètres de la production (fréquence de saignée, longueur de l'encoche de saignée, etc.) pour exploiter soit intensément, soit modérément l'hévéa, contrairement aux autres cultures (Soumahin, 2010). À cela, s'ajoutent les contraintes imposées par les couteaux de saignée utilisés dans la récolte du latex. En effet, les couteaux de saignée classiques ou traditionnels (Fauna, GIM 777, Aunain, etc.), largement répandus en Côte d'Ivoire ont des lames aiguisables qui nécessitent un bon affûtage au risque d'induire des blessures de saignée et/ou des surconsommations d'écorces. Or, selon les travaux de Koné (2020), les hévéas présentant des blessures de saignée affichent des taux d'encoche sèche plus élevés au cours du temps. De ce fait, utiliser un couteau de saignée à lame changeable et réglable apparaît comme un palliatif pour la maîtrise de la qualité de saignée des hévéas et la réduction de leur encoche sèche (Sey, 2020 ; Tra, 2022).

En outre, à l'âge adulte (6 ans après le planting), la culture de l'hévéa ne nécessite presque pas d'engrais ni de pesticides (Thaler, 2013). Toutefois, le maintien des activités cellulaires en vue d'un haut rendement de l'hévéa pourrait entraîner un épuisement du sol en éléments nutritifs qui pourrait être préjudiciable à la production ultérieure de caoutchouc naturel si une compensation par la fertilisation n'y est pas assurée (Allé, 2016). Dans la pratique, la filière recommande d'apporter 43 kg.ha.an⁻¹ de potassium (K) aux hévéas matures (FIRCA, 2013b ; FIRCA 2013c). Mais dans la mesure où les applications des engrais simples N-P-K aux plantations matures ont rapporté des résultats satisfaisants (accroissement de circonférence, augmentation de la production de caoutchouc, tolérance aux maladies) dans les études antérieures (Shafar *et al.*, 2012 ; Wijaya, 2013), il convient d'utiliser ces engrais dans une perspective de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa.

Pour finir, la lutte biologique à base d'extraits de végétaux contre l'encoche sèche de l'hévéa est une question de recherche quasi-inexplorée qui mérite d'être abordée dans une perspective de lutte curative. Pour cause, les extraits de végétaux présentent l'avantage de réduire les phénomènes de suroxydation et de survoltage qui apparaissent lors des stress et des pollutions diverses (Marcantoni, 2018). En ce qui concerne le gel de *Aloe vera*, ses effets bénéfiques ont été rapportés sur la santé des plantes cultivés (Castillo *et al.*, 2010). En effet, les travaux de Wilson (2020) ont montré que le gel de *Aloe vera* a été efficace comme biopesticide sur l'aubergine. Le gel a, de plus, été efficace comme matériau d'enrobage des mangues pour empêcher la détérioration microbienne (Dang *et al.*, 2008).

Enfin, le gel de *Aloe vera* contient des élastines qui sont capables de restaurer le bon fonctionnement des cellules (Bruneton, 1999). Il pourrait, de ce fait, contribuer à régler le problème de dysfonctionnement à l'origine de l'arrêt de l'écoulement du latex chez l'hévéa après la saignée.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'augmentation de la production de caoutchouc naturel en Côte d'Ivoire par l'évaluation de plusieurs méthodes de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa. De façon spécifique, il s'agit de :

- faire un état des lieux du syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production de Côte d'Ivoire ;
- étudier l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche ;
- évaluer l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa ;
- tester l'efficacité du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » des hévéas.

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

- les pratiques agronomiques et les facteurs biologiques du milieu de culture permettent d'actualiser les données de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production de Côte d'Ivoire ;
- la pluviométrie affecte l'incidence de la maladie ;
- les faibles doses de stimulation hormonale exogène, l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable et la fertilisation minérale des hévéas matures ont un effet préventif sur l'encoche sèche de l'hévéa ;
- le gel de *Aloe vera* a un effet curatif sur l'encoche sèche de l'hévéa.

Outre l'introduction, la conclusion et les références, le présent travail s'articule autour de trois différentes parties. La première partie présente les généralités sur l'hévéa et les maladies. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés. La troisième partie présente les résultats et leur discussion.

PREMIÈRE PARTIE :
GÉNÉRALITÉS

1.1. GÉNÉRALITÉS SUR L'HÉVÉA ET SA CULTURE

1.1.1. Origine et distribution

Hevea brasiliensis est originaire du bassin amazonien et du haut Orénoque en Amérique latine (Compagnon, 1986). Il a été découvert par Charles de La Condamine en 1736 et décrit pour la première fois par le botaniste français Fresneau, en 1747. En 1876, l'explorateur britannique Henry Wickham, installé au Brésil, a ramené de façon illégale de la forêt amazonienne vers l'Angleterre, environ 70 000 graines d'hévéa (Compagnon, 1986). Ces graines ont été mises à germer en serre au jardin botanique de Kew à Londres (Angleterre) et seulement 22 jeunes plants sont arrivés en Malaisie en 1877 où les conditions pédoclimatiques étaient favorables à leur développement. Ces 22 plants ont été à l'origine de la quasi-totalité des plantations d'hévéas dans le monde (Déon, 2012). La culture de l'hévéa a donc commencé en 1877 en Malaisie puis s'est propagée en Indonésie, en Thaïlande, en Inde, au Sri Lanka et au Viêt-Nam. Après l'Extrême-Orient, l'hévéa a été importé en Afrique en 1948. Son introduction en Côte d'Ivoire a été dans les années 1951, dans le cadre de la diversification culturelle (Canh, 1999).

1.1.2. Systématique

Le genre *Hevea* est une Angiosperme Dicotylédone appartenant à l'ordre des Euphorbiales et à la famille des Euphorbiaceae (Schultes, 1990). Il comporte 10 espèces que sont *Hevea benthamiana*, *Hevea brasiliensis*, *Hevea camargoana*, *Hevea camporum*, *Hevea guianensis*, *Hevea microphylla*, *Hevea nitida*, *Hevea pauciflora*, *Hevea rigidifolia* et *Hevea spruceana* (Webster & Paardekooper, 1989). Parmi toutes ces espèces, seule *Hevea brasiliensis* s'est révélée la meilleure avec un haut niveau de production en caoutchouc et surtout une facilité d'exploitation (Compagnon, 1986).

Selon Schultes (1990), la position systématique de *Hevea brasiliensis* est qu'il appartient au règne végétal, au sous-règne des Tracheabiontes, à l'embranchement des Angiospermes, à la division des Magnoliophytes, à la classe des Dicotylédones, à la sous-classe des Rosidées, à l'ordre des Euphorbiales, à la famille des Euphorbiaceae, au genre *Hevea* et à l'espèce *Hevea brasiliensis*.

1.1.3. Biologie

À l'état spontané en Amazonie, l'hévéa est un grand arbre (Figure 1 A), ayant un tronc droit, légèrement renflé à sa base et une couronne foliaire plutôt étroite.

Étant une essence de lumière, l'hévéa peut atteindre jusqu'à 50 m de hauteur et 5 m de circonférence (Compagnon, 1986). Il peut vivre plus de 100 ans. Mais en plantation, les facteurs techniques intervenant dans la saignée font que son exploitation économique varie entre à 30 à 35 ans (Obouayeba, 2005).

L'écorce vert-grisâtre de l'hévéa recouvre son bois homogène, tendre et cassant. Les fleurs (Figure 1 B et C), unisexuées comme pour toutes les Euphorbiacées, sont petites, jaune clair et rassemblées en grappes. Les feuilles sont pédonculées et à trois folioles. Le fruit est une capsule à trois loges (Figure 1 D, E et F), contenant chacune une graine de la taille d'une noix (Figure 1 G et H) ; ces graines sont oléagineuses et ont une faculté germinative limitée. Comme les autres espèces du genre, *Hevea brasiliensis* possède 36 chromosomes et pourrait être un amphidiploïde (Compagnon, 1986). Le cycle végétatif de l'hévéa est annuel. Chaque année, il perd toutes ces feuilles. Cette défoliation encore appelée hivernage s'effectue en saison sèche et s'accompagne d'un ralentissement net de la croissance et d'une baisse de la sécrétion du latex. La réfoliation se fait plus ou moins rapidement, en fonction des caractéristiques climatiques et de différences de nature génétique (Déon, 2012).

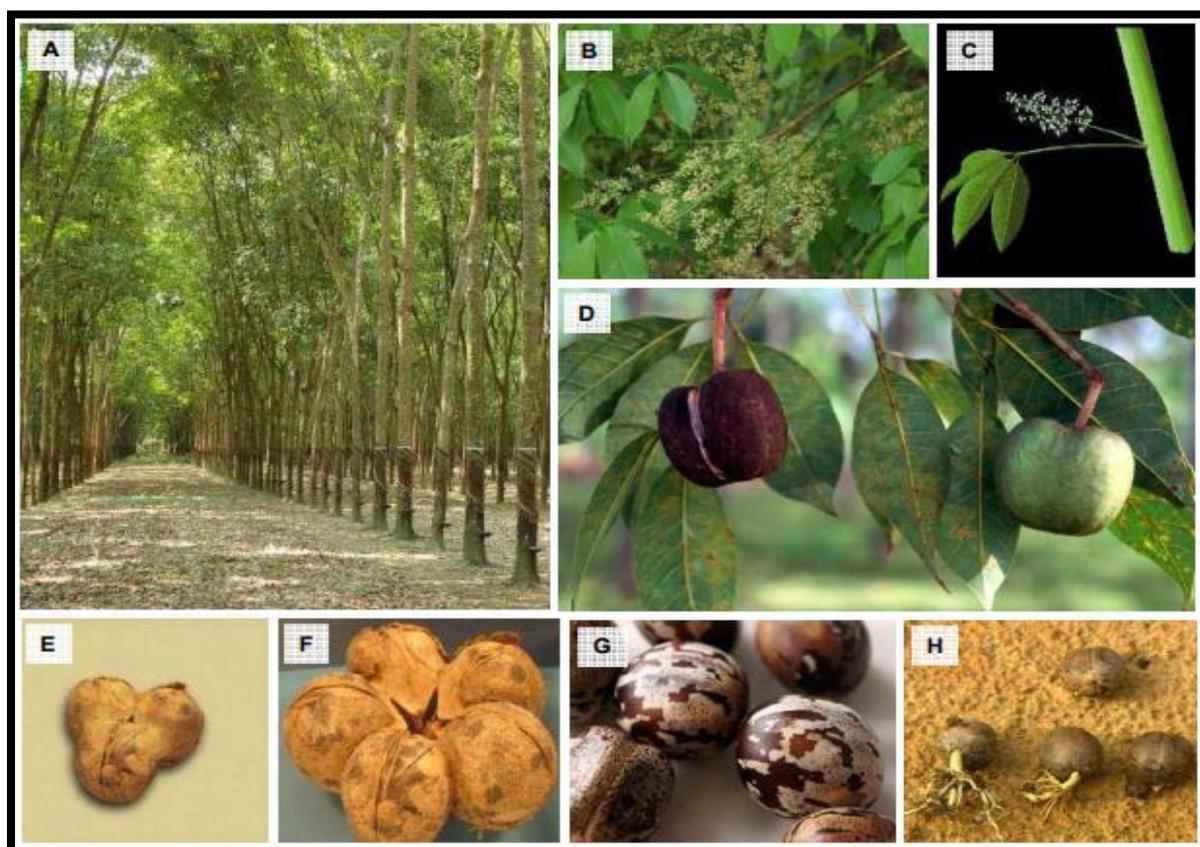


Figure 1. Plantation, fleurs, fruits, et graines de *Hevea brasiliensis* (Déon, 2012)

A = Plantation d'hévéa au Vietnam ; B et C = Inflorescences d'hévéa ; D, E et F = Fruits d'hévéa ; G et H = Graines d'hévéa

1.1.4. Écologie

L'hévéa prospère en climat équatorial ou tropical humide (Obouayeba, 2005). Il a besoin pour son développement, d'une température moyenne annuelle comprise entre 25 et 37 °C (Compagnon, 1986). Les meilleurs résultats de production sont obtenus dans les régions ensoleillées avec un minimum de 1500 à 1800 heures d'éclairement par an (Compagnon, 1986). Le bois d'hévéa étant 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. En raison du long pivot de la plante, sa culture requiert des sols meubles et profonds de texture sablo-argileuse à argileuse. La parcelle doit être plate ou à pente faible. Le pH optimum du sol doit se situer entre 4,5 et 6,5 (Compagnon, 1986).

1.1.5. Utilisations de l'hévéa

Le caoutchouc naturel occupe une place prépondérante dans le monde pour ses diverses utilisations. En effet, du fait de sa très grande élasticité, de son imperméabilité, de son faible dégagement de chaleur interne et de sa résistance aux huiles, le caoutchouc naturel issu de l'hévéa est utilisé dans la fabrication de pneus pour les véhicules lourds ou très rapides et pour les avions, la fabrication de joints, de supports antisismiques, de cathéters, de gants à usage biomédical et des préservatifs (CIRAD, 2001). Le caoutchouc de l'hévéa est également utilisé dans la fabrication de fils élastiques, de tapis, de semelles, d'adhésifs, de doublures de moquette, de mousses et de ballons (Compagnon, 1986).

En outre, le tourteau des graines d'hévéa sert à l'alimentation des animaux (Ocho, 1999) et à la fabrication de biocarburant (Elabo, 2009). L'huile de l'amande sert à la fabrication de produits cosmétiques (Lehi, 2022).

Par ailleurs, la culture de l'hévéa améliore les propriétés physique, hydrodynamique, chimique et biologique des sols dégradés à cause du chevelu racinaire très abondant, de sa grande capacité de séquestration du CO₂ et de l'environnement de forêt secondaire qu'elle crée dès cinq ans (Simien, 2005 ; Rodrigo *et al.*, 2011 ; Obouayeba *et al.*, 2015). Par ailleurs, grâce à la production importante de biomasse 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).

En outre, à la fin de sa durée de vie économique, le bois de l'hévéa, est utilisé dans la fabrication de meubles divers, la construction de ponts, les fondations des maisons dans les régions à haute éruption volcanique et le bitumage de routes (Simien, 2005).

Le bois est également utilisé pour la fabrication de pâte à papier et comme bois de chauffe pour la production d'énergie (Adou, 2018).

1.2. FACTEURS CLIMATIQUES EN RAPPORT AVEC LA CULTURE DE L'HÉVÉA

1.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie conditionne d'une part, la végétation de l'arbre et d'autre part, la production de caoutchouc ainsi que l'exploitation proprement dite de l'hévéa. De manière générale, l'hévéa exige un minimum de 1 500 mm d'eau par an avec une bonne répartition au cours de l'année et ne peut tolérer un déficit hydrique relatif de trois mois consécutifs très secs (Obouayeba, 2005). Un mois est considéré comme sec pour l'hévéa, s'il tombe moins de 100 mm d'eau et très sec, pour moins de 50 mm d'eau (Gnagne *et al.*, 2016). Toutefois, la saison sèche qui se situe au moment du renouvellement du cycle végétatif, pourrait ne pas être une cause de réduction de la production, si sa durée n'excède pas trois à quatre mois. Par ailleurs, il est à noter que les saisons sèches peuvent avoir une incidence favorable en empêchant ou en limitant le développement de certaines maladies très préjudiciables à l'hévéa (Vawa *et al.*, 2021).

Par ailleurs, Okoma (2008) a fait une correspondance entre la pluviométrie mensuelle et les quatre saisons pluviométriques classiques de la Côte d'Ivoire. L'auteur a ainsi défini la petite saison sèche (juillet à septembre) et la grande saison sèche (décembre à mars) ; la petite saison des pluies (octobre à novembre) et la grande saison des pluies (mai à juin).

1.2.2. Température

L'hévéa prospère en climat équatorial ou tropical humide. Une température moyenne annuelle de 25 °C est convenable à la croissance de l'hévéa. Des périodes assez longues de températures journalières inférieures à 20 °C ont inévitablement des effets limitants sur la croissance (Compagnon, 1986). Ces effets se trouvent souvent associés à certains facteurs limitants tels que des périodes sèches prolongées ou amplifiés par d'autres telles que des conditions physiques de sols médiocres (mauvaise structure, pH inadapté, mauvaise capacité de rétention, etc.). Par ailleurs, la température fait partie de la conjoncture climatique qui conditionne l'écoulement du latex au moment de la saignée (Obouayeba, 2005).

1.2.3. Hygrométrie et ensoleillement

Le maintien d'une hygrométrie élevée et la formation de brouillards matinaux avec dépôts de rosées sont des facteurs qui sont de nature à atténuer les effets de la sécheresse.

De manière générale, l'hévéa préfère une hygrométrie qui se situe entre 70 et 90 % pour une meilleure transpiration et un développement optimal (Brou, 2005) .

Par ailleurs, l'hévéa nécessite une exposition directe et abondante à la lumière du soleil avec une durée d'ensoleillement annuelle acceptable de 1 650 heures pour favoriser la photosynthèse (FIRCA, 2013c).

1.2.4. Vents

Les hévéas prospèrent mieux dans les zones où les vents forts sont atténués. En effet, les vents forts et permanents peuvent casser les branches, déraciner les arbres et par conséquent, réduire le rendement de l'hévéa (Dick *et al.*, 2014 ; Koffi, 2023). Ainsi, les clones d'hévéas sont-ils sélectionnés sur la base de leur résistance génétique à la casse due au vent. Parmi les meilleurs clones, figurent GT1, IRCA 41 et PB 217 (Sékongo, 2002).

En outre, il est aussi conseillé d'utiliser des rideaux d'arbres brise vent ou d'orienter les lignes des plantations dans le sens du vent pour éviter toutes formes de dommages physiques. Par ailleurs, la densité de plantation de 555 à 666 arbres par hectare est recommandée en vue de favoriser une meilleure aération de la parcelle (Ballo, 2019).

1.3. ITINÉRAIRE TECHNIQUE DE LA CULTURE DE L'HÉVÉA

1.3.1. Choix des clones à planter

Le choix des clones à planter se réfère aux préconisations actuelles des instituts de recherche. Celles-ci sont basées sur la disponibilité du matériel sélectionné dans la région, leurs particularités vis-à-vis des diverses adversités (Sobhana *et al.*, 2001). En outre, il est à noter que le clone d'hévéa est issu du greffage d'un greffon sur un porte-greffe. Ce greffon est prélevé sur du matériel végétal sélectionné et connu pour ses qualités agronomiques qui peuvent être la productivité, la bonne croissance, la faible sensibilité à la casse due au vent, à l'encoche sèche ou aux différentes maladies (Ballo, 2019). Quant au porte-greffe, il est recommandé d'utiliser des plants issus de plantations d'hévéa du clone GT1 (FIRCA, 2013d).

1.3.2. Choix et préparation du terrain

Dans le but de faciliter l'enracinement, de favoriser un bon développement des arbres, il est important d'opter pour les terrains plats ou de faible pente (< 10 %) avec des sols meubles et profonds, de texture argilo-sableuse à argileuse (Essehi, 2019 ; Koffi, 2023). Cependant, l'hévéa peut être aussi planté sur des terrains accidentés.

La préparation du terrain se fait en fonction de la végétation existante et du précédent cultural (forêt, recru forestier, jachères, savane, culture pérenne ou annuelle). Elle peut se faire mécaniquement quand il s'agit d'une forêt ou, manuellement, lorsqu'il s'agit d'une jachère peu boisée. L'arrachage et la destruction des souches sont nécessaires pour réduire les foyers de contamination des maladies de racines affectant les plants d'hévéa (Ballo, 2019).

1.3.3. Dispositif et densité de plantation

Le choix du dispositif et de la densité de plantation des arbres sont des paramètres conditionnant le niveau de productivité et les résultats économiques (Ballo, 2019 ; Koffi, 2023). Le dispositif de plantation peut influencer la croissance des arbres (hauteur, circonférence, épaisseur d'écorce), le coût de l'entretien et de la saignée, la production, la résistance aux maladies, la casse au vent et la conservation du sol (Ballo, 2019). Le dispositif idéal de plantation est celui qui permet au système racinaire et à la couronne de se développer harmonieusement. Pratiquement, les interlignes ne doivent pas être inférieurs à 6 m. Un grand écartement réduit les pertes dues aux maladies de racines. La densité de plantation régulièrement pratiquée est de 555 à 666 arbres par hectare et quels que soient le clone d'hévéa et les facteurs environnementaux (Ballo, 2019). Cette densité est supposée donner le maximum d'espace requis pour l'épanouissement des arbres matures, conditions nécessaires aux meilleurs niveaux de production individuelle des arbres (Compagnon, 1986 ; Koffi, 2023).

1.3.4. Fertilisation

En hévéaculture, à l'instar des autres cultures, les apports des engrais organiques ou minéraux sont effectués selon les doses convenables et à des périodes précises en vue de corriger les carences en éléments nutritifs susceptibles d'exercer une influence sur la croissance et la production (Soumahin *et al.*, 2010). De ce fait, pendant la phase de pépinière ou du jardin à bois, l'épandage est arrêté au moins deux mois avant le greffage ou le prélèvement des bois de greffes et même lorsqu'il y a émission d'un nouvel étage foliaire. Chez les jeunes hévéas, les épandages d'engrais doivent être fractionnés tout en tenant compte des contraintes climatiques (sécheresse et fortes pluies) et économiques. Quant aux hévéas adultes, l'époque convenable à l'épandage se situe à la réfoliation ou dans un délai de 100 jours environ après la réfoliation (Allé, 2016). De manière générale, la dose annuelle d'engrais simple de 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de potassium est apportée en un ou deux épandages (FIRCA, 2013c).

1.4. FONCTION LATICIGÈNE ET PRODUCTION DU CAOUTCHOUC NATUREL

1.4.1. Anatomie du tronc de l'hévéa

Le cambium, méristème secondaire, assure la croissance en épaisseur de l'arbre en produisant des cellules qui se différencient vers l'intérieur pour donner le bois (vaisseaux conducteurs de la sève brute contenant l'eau et les sels minéraux provenant de la racine qui sont acheminés jusqu'aux feuilles ; Déon, 2012). Le cambium produit également des cellules qui se différencient vers l'extérieur pour donner le phloème (liber), dont les cellules laticifères. Ces cellules spécialisées, siège de la synthèse du caoutchouc, sont émises en couches monocellulaires successives appelées manteaux laticifères (Figure 2). Les cellules d'un même manteau sont anastomosées entre elles, formant un continuum cytoplasmique des racines jusqu'aux feuilles. Intercalés entre le cambium et les premières couches de cellules laticifères se trouvent les tubes criblés conducteurs de la sève élaborée qui véhiculent les produits de la photosynthèse des feuilles (Déon, 2012). Des rayons médullaires, du fait de leur orientation horizontale, assurent les échanges de minéraux et de sucres entre le liber et le bois.

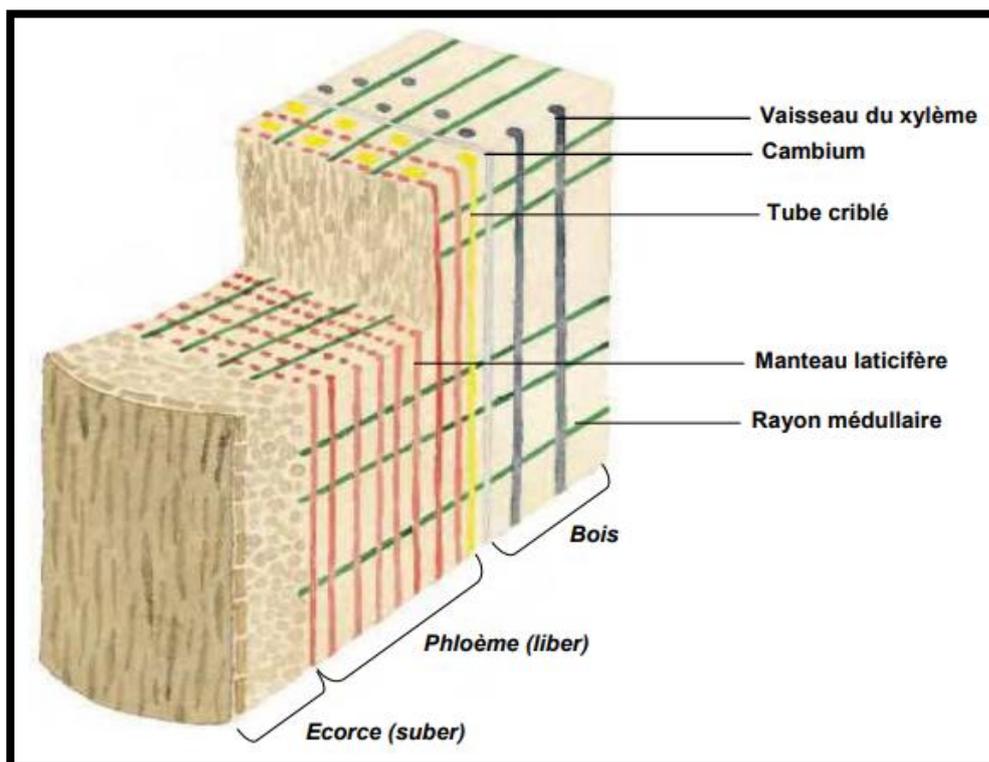


Figure 2. Anatomie du tronc d'un hévéa mature (Déon, 2012)

1.4.2. Physiologie de l'alimentation et partition métabolique des assimilats photosynthétiques

La croissance végétative, la fructification et la production de latex constituent, chez l'hévéa, des phases suffisamment approvisionnées en assimilats photosynthétiques. Toutefois, ces phases ne s'expriment pas de la même manière chez tous les clones (Adou, 2018).

La partition métabolique des assimilats photosynthétiques est la distribution et l'orientation des produits de la photosynthèse dans la plante pour permettre la réalisation des différentes activités métaboliques. C'est l'affectation des assimilats pour le métabolisme général et secondaire de la plante. Elle engendre une compétition entre la production de la biomasse primaire et celle de la biomasse secondaire (Figure 3). Elle s'effectue principalement sur le saccharose, produit majeur de la photosynthèse, et l'énergie nécessaire au fonctionnement des différents métabolismes. La compétition entre la croissance isodiamétrique (en épaisseur) et la production de latex est un phénomène observé dès que le latex de l'arbre est récolté. La pratique de l'extraction du latex de l'arbre se traduit par une diminution de croissance végétative de celui-ci par rapport à un arbre non saigné (Obouayeba *et al.*, 2002). L'on retrouve une forte similarité de comportement entre l'hévéa et d'autres plantes, comme les arbres fruitiers. La fructification de ces arbres induit en effet, une réduction de la croissance par rapport à un arbre non fructifère du même cultivar. De nombreux auteurs ont montré que la production d'une même quantité de latex (caoutchouc) ne se traduit pas toujours par un même effet dépressif sur la croissance végétative (Obouayeba *et al.*, 2005). De plus, les pertes de biomasse primaire constatées ne peuvent être uniquement expliquées par la production de caoutchouc.

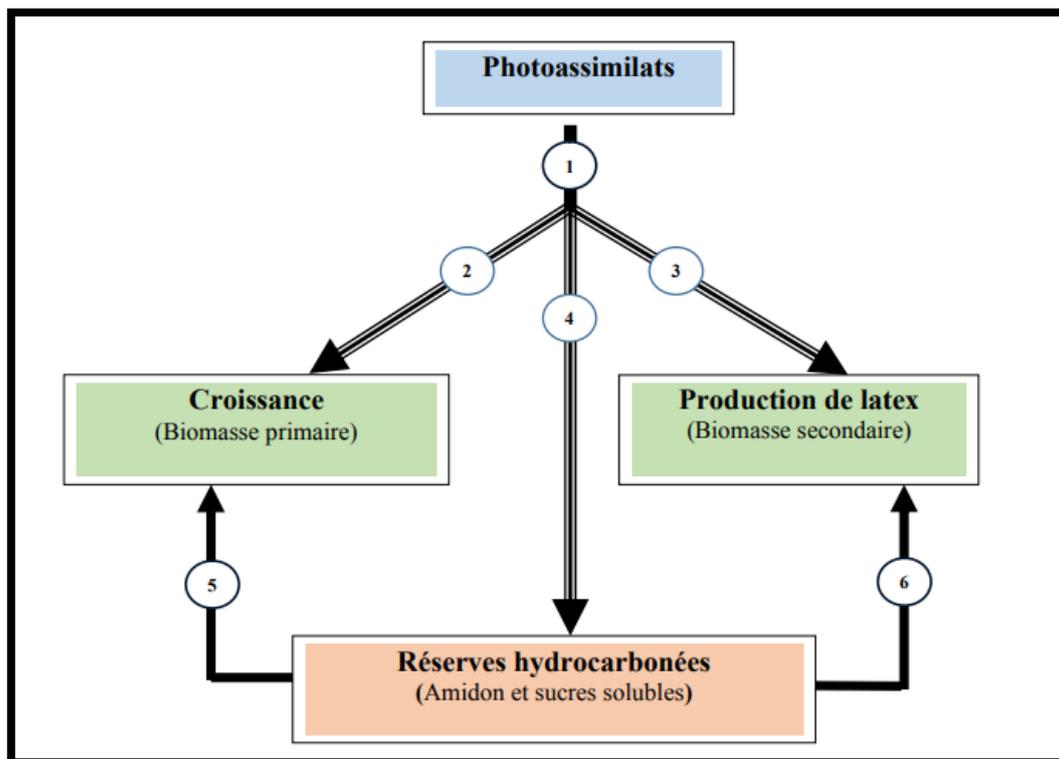


Figure 3. Répartition métabolique des assimilats hydrocarbonés chez *Hevea brasiliensis* (Gohet, 1996)

1= Assimilats obtenus de la photosynthèse et destinés aux métabolismes primaire et secondaire et aux réserves Hydrocarbonées; 2 = Assimilats affectés au métabolisme primaire (production de biomasse primaire; croissance végétative); 3= Assimilats affectés au métabolisme secondaire (production de latex (caoutchouc)); 4 = Assimilats affectés aux réserves hydrocarbonées (sucre, amidon); 5 = Assimilats des réserves hydrocarbonées alimentant le métabolisme primaire (croissance); 6 = Assimilats des réserves hydrocarbonées alimentant le métabolisme secondaire (caoutchouc)

1.4.3. Latex

Le latex, cytoplasme des cellules laticifères, contient tous les organites cellulaires classiques ainsi que des organites spécifiques tels que les particules de caoutchouc, les lutoïdes ou les particules de Frey-Wyssling. Les particules de caoutchouc (*cis*-1,4-polyisoprène) sont enveloppées d'une fine enveloppe phospholipoprotéique chargée négativement (Déon, 2012 ; Adou, 2018). Cette charge électrique permet le maintien en suspension dans le cytosol des particules de caoutchouc, par répulsion électrostatique. Les lutoïdes sont des vésicules vacuolaires entourées d'une membrane semi-perméable chargée négativement. Ces organites sont riches en protéines dont de nombreuses enzymes qui peuvent altérer la stabilité du latex lorsqu'elles sont libérées dans le cytoplasme. Enfin, les particules de Frey-Wyssling sont des plastes modifiés renfermant de nombreuses inclusions lipidiques riches en caroténoïdes (Déon, 2012).

1.4.4. Paramètres physiologiques du latex en rapport avec la production

Il existe un test biochimique appelé le Diagnostic Latex qui permet de statuer sur l'état physiologique de l'arbre en exploitation (Dusotoit-Coucaud, 2009 ; Koffi, 2022). Il s'agit d'un test qui prend en compte divers paramètres détaillés ci-après et qui donne une représentation fidèle de l'état de fonctionnement métabolique du système laticifère à un instant t. Il est ainsi possible de déterminer le statut physiologique des arbres soumis à ce système d'exploitation. Les paramètres pris en compte pour le diagnostic latex ont été sélectionnés en réponse à deux critères que sont leur implication directe ou indirecte dans les mécanismes biochimiques de l'écoulement ou de la régénération et leur mesure simple et fiable.

Dans la pratique la détermination de l'ensemble des paramètres s'avère relativement lourde et coûteuse. Par conséquent, seuls quatre que sont l'extrait sec, le saccharose, le phosphore inorganique et les composés thiols, ont été conservés pour décrire l'état global de fonctionnement métabolique du réseau laticifère (Jacob *et al.*, 1995 ; Dusotoit-Coucaud, 2009).

1.4.4.1. Extrait sec du latex

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 ; Soumahin, 2010). Ce paramètre intègre également les processus de transferts hydriques interplasmiques qui se produisent notamment lors de la saignée et contrôle, probablement en partie, les caractéristiques de l'écoulement (Lacrotte, 1991 ; Soumahin, 2010). Une faible valeur de l'extrait sec représente une faible activité du métabolisme de régénération. A l'inverse, une valeur élevée traduit soit un métabolisme de régénération très efficace, 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 (Soumahin, 2010).

1.4.4.2. Saccharose

Le saccharose étant le précurseur de la voie de biosynthèse du caoutchouc, il représente un facteur limitant de la production de latex et de la régénération (Lacrotte, 1991 ; Dusotoit-Coucaud, 2009). Par conséquent, sa concentration dans le latex donne des indications sur le métabolisme des cellules laticifères. Mais l'interprétation de ce paramètre est complexe car la concentration en saccharose représente le bilan de l'import du saccharose et l'utilisation effective de celui-ci pour le métabolisme.

Une concentration élevée peut traduire soit un bon approvisionnement des cellules laticifères et une forte activité de ces cellules (Compagnon, 1986 ; Dusotoit-Coucaud, 2009), soit une faible utilisation du saccharose due à une faible activité métabolique.

1.4.4.3. Phosphore inorganique

Le phosphore inorganique est considéré comme un indicateur de l'intensité du métabolisme énergétique des cellules laticifères car il est impliqué dans le catabolisme glucidique et dans la biosynthèse du caoutchouc (Dusotoit-Coucaud, 2009 ; Koffi, 2022). Il intervient dans la synthèse des nucléotides impliqués dans les transferts d'énergie chimique (ATP) ou porteurs de pouvoir réducteur. Sa concentration est fortement corrélée à la production (Compagnon, 1986 ; Dusotoit-Coucaud, 2009).

1.4.4.4. Composés ou groupements thiols

Les thiols du latex, sous leur forme réduite (R-SH), jouent un rôle important dans la protection des membranes des organites du latex tels que les lutoïdes et particules de Frey-Wyssling, en piégeant notamment les formes toxiques d'oxygène ; peroxydes, superoxydes et radicaux libres (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). 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 (Soumahin, 2010). 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 ; Soumahin, 2010) reflètent cette double activité.

1.4.5. Typologie clonale de fonctionnement métabolique du système laticigène

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 introduit la notion de typologie clonale de fonctionnement métabolique du système laticigène (Jacob *et al.*, 1995 ; Gohet *et al.*, 1996). En outre, elle a permis de distinguer des clones à métabolisme lent, intermédiaire et rapide.

1.4.5.1. Clones à métabolisme lent

Ces clones, tels que PB 217, se caractérisent par un écoulement peu aisé (fort indice d'obstruction ou « *plugging index* »). Ils présentent, en l'absence de stimulation hormonale, une production faible de caoutchouc (Gohet, 1996 ; Soumahin, 2010) ; signe d'une activité métabolique intrinsèque très peu intense. L'indicateur physiologique correspondant est une faible teneur en phosphore inorganique (Pi). La teneur en sucre du latex est élevée, celle-ci n'étant que peu métabolisée. 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'ensuit une très bonne réponse de ce type de clone à la stimulation hormonale, laquelle permet d'augmenter très significativement le niveau de production (Soumahin, 2010 ; Traoré *et al.*, 2014 ; Atsin, 2017). Il faut aussi noter que ces clones sont généralement peu sensibles à la maladie de l'encoche sèche.

1.4.5.2. Clones à métabolisme intermédiaire

Ils se caractérisent par un écoulement plus ou moins faible et présentent, 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 (Soumahin, 2010 ; Atsin, 2017). Ces clones (tels que RRIC 100 et GT1) possèdent moins de sucres que ceux du précédent groupe. L'intensification de l'exploitation par la stimulation hormonale de la production de caoutchouc permet d'activer significativement le métabolisme dans la limite du sucre intra-laticifère disponible (Soumahin, 2010 ; Traoré *et al.*, 2014).

1.4.5.3. Clones à métabolisme rapide

Ils présentent, en l'absence de stimulation hormonale, une production forte, signe d'une activité métabolique intrinsèque élevée (Soumahin, 2010 ; Atsin, 2017). L'indicateur physiologique correspondant est une teneur élevée en phosphore inorganique (Pi) au sein du latex. La teneur en saccharose correspondante est généralement faible à très faible, du fait de son utilisation rapide par le métabolisme. Le taux d'extrait sec élevé, comparativement à celui des autres types de clones, confirme une régénération rapide et efficace. Ces clones (PB 235, PB 260, IRCA 18) sont les plus sensibles à la maladie de l'encoche sèche (Gohet, 1996 ; Soumahin, 2010 ; Coulibaly *et al.*, 2011).

1.4.6. Facteurs limitants de la production de caoutchouc

Deux facteurs essentiels sont susceptibles de limiter la production de caoutchouc chez l'hévéa. Il s'agit, d'une part, de l'écoulement du latex et, d'autre part, de sa régénération entre deux saignées consécutives (Jacob *et al.*, 1995).

1.4.6.1. Écoulement du latex de l'hévéa

Après la saignée, le latex fluide s'écoule de l'encoche. Cet écoulement, provoqué par l'incision des cellules laticifères, est sous l'influence de la pression de turgescence dans le tissu de l'écorce (Okoma, 2008). Il est favorisé par la structure syncytiale du système laticifère qui permet son drainage sur une plage importante de l'encoche de saignée. L'écoulement du latex ralenti puis s'arrête après quelques minutes ou après plusieurs heures selon les clones. Cet arrêt intervient sous l'effet de la coagulation du latex qui obstrue l'incision (Okoma, 2008 ; Adou, 2018). En effet, les particules de caoutchouc s'agrègent en microfloculats qui aboutissent plus ou moins rapidement à l'obturation de l'incision (Lacrotte, 1991 ; Okoma, 2008). La floculation des particules de caoutchouc est induite par la neutralisation de leurs charges électro-négatives. L'obstruction de l'incision pourrait aussi être provoquée par la libération du contenu acide des particules de lutoïdes détruites lors de la saignée dont le rôle coagulant a été démontré (Okoma, 2008). En effet, les ions H^+ , les cations et les protéines cationiques du contenu lutoïdique neutralisent les charges électro-négatives des particules de caoutchouc organiques (Okoma, 2008 ; Adou, 2018).

1.4.6.2. Régénération du latex

La régénération du latex se produit après l'écoulement du latex. Elle se fait grâce aux noyaux et aux mitochondries qui sont retenus lors de la saignée (Okoma, 2008). Elle implique de nombreuses synthèses dont la plus prépondérante est celle du *cis*-polyisoprène (caoutchouc ; Compagnon, 1986 ; Okoma, 2008). La régénération du latex entre deux saignées consécutives débute par l'hydrolyse du saccharose, suivie de la glycolyse et se termine par la synthèse du *cis*-polyisoprène (Okoma, 2008). Elle se fait en deux grandes étapes qui sont le chargement en saccharose et la synthèse du *cis*-polyisoprène. Le chargement en saccharose du système laticifère est nécessaire dans la mesure où le saccharose photosynthétique est à l'origine de la synthèse du *cis*-polyisoprène, ainsi que de toute autre synthèse.

Ce chargement s'effectue de façon active à partir des tissus phloémiques. Il est sous la dépendance de l'énergie biochimique disponible au sein des laticifères (Gohet, 1996 ; Okoma, 2008).

La synthèse du *cis*-polyisoprène se fait principalement en deux grandes phases (Okoma, 2008). La première phase est le catabolisme glucidique ou glycolyse, qui produit trois éléments nécessaires à la synthèse du *cis*-polyisoprène. La seconde phase est la synthèse proprement dite du *cis*-polyisoprène à partir de l'acétyl-CoA. Elle correspond à l'anabolisme isoprénique (Okoma, 2008 ; Soumahin, 2010).

1.4.7. Saignée d'une plantation d'hévéa

La décision de mettre une plantation en saignée est basée à la fois sur un critère économique (nombre d'arbres saignables suffisant par unité de surface) et un critère de croissance des arbres. Le meilleur compromis est réalisé lorsqu'à partir de la 6^{ème} année, plus de 50 % des arbres d'une parcelle atteignent 50 cm de circonférence mesurée à 1 m du sol (Obouayeba, 2005).

La saignée, proprement dite, consiste à pratiquer une entaille dite encoche dans l'écorce de l'arbre, à l'aide d'un couteau de saignée ou d'une gouge, en vue de sectionner les vaisseaux laticifères et de permettre ainsi l'expulsion du latex vers l'extérieur (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010) (Figure 4). Cette opération est répétée tout au long de l'année à une fréquence qui fait partie des caractéristiques du système de saignée.

L'homme intervient directement sur cette opération répétitive pendant toute la durée d'exploitation d'un arbre (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Il peut modifier à tout moment les caractéristiques (profondeur et longueur d'encoche de saignée, direction de l'exploitation, consommation de l'écorce, fréquence de saignées par an) de cette saignée afin d'optimiser le rendement des plantations (Soumahin, 2010).



Figure 4. Saignée de l'hévéa (SAPH, 2019)

1.4.7.1. Profondeur de saignée

Les vaisseaux les plus jeunes et les plus actifs sur le plan de la biosynthèse de caoutchouc, donc les plus productifs, sont les plus proches du cambium ; leur latex ne peut être récolté que s'ils sont sectionnés, d'où l'importance de la profondeur de saignée sur l'écoulement (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Cependant, l'incision de l'écorce ne doit pas atteindre le cambium, assise génératrice libéro-ligneuse fragile assurant la régénération des tissus libériens après la saignée (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Si cette dernière est touchée au cours de la saignée, il y a une réaction de cicatrisation, provoquant des bourrelets plus ou moins accentués sur l'écorce régénérée, qui devient irrégulière et, de ce fait, difficile à saigner au cours des cycles suivants. L'incision doit respecter une zone d'environ 1 à 1,5 mm à proximité du cambium (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010).

1.4.7.2. Longueur de l'encoche de saignée

Ce facteur est un élément important de la production de latex (Okoma, 2008), notamment parce qu'il exerce une influence sur la surface de l'écorce drainée.

La production par centimètre d'encoche est moins importante avec des encoches longues (spirales entières (S)) qu'avec des encoches courtes (demi (S/2) ou quart de spirale (S/4)).

Par ailleurs, une encoche longue, aussi productive soit-elle, ceinturant plus ou moins l'arbre, peut occasionner plus tard une gêne dans la circulation de la sève élaborée du fait de l'incision du liber (Soumahin, 2010).

Le facteur « longueur d'encoche » peut aussi influencer la durée de l'écoulement. Les encoches longues ont un écoulement plus prolongé (Soumahin, 2010) ; elles sont à priori mieux adaptées aux clones à indice d'obstruction élevé. En outre, il a été démontré que l'indice d'obstruction était d'autant plus fort, et la durée d'écoulement d'autant plus limitée, que les encoches étaient courtes.

1.4.7.3. Direction d'exploitation de l'écorce

La direction de l'exploitation de l'écorce définit l'orientation de la saignée qui peut être descendante ou remontante. Lorsque la saignée est faite en ravivant l'encoche de saignée vers le bas, il s'agit de la saignée descendante (Okoma, 2008). Ce type de saignée se pratique en demi-spirale (S/2). Dans le cas où la saignée se fait en ravivant l'encoche de saignée vers le haut, la saignée est dite remontante ou inversée (Soumahin, 2010) et se fait en quart de spirale (S/4). La saignée inversée est pratiquée à partir de la dixième année d'exploitation.

1.4.7.4. Consommation de l'écorce

L'écorce est le « capital » productif de l'arbre (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Son épaisseur qui est prélevée à chaque saignée doit donc être modérée en vue de permettre une ouverture complète de tous les vaisseaux laticifères de l'encoche de saignée, raison pour laquelle on admet une consommation moyenne d'écorce de 1,5 mm par saignée (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010).

Toutefois, dans la pratique, on estime que cette norme peut être légèrement réduite (1,3 mm en saignée descendante ; FIRCA 2013a) avec des fréquences élevées de saignée (saignée trois jours), et à l'inverse doit être légèrement accrue (2,0 mm en saignée descendante ; FIRCA 2013a) avec des fréquences faibles de saignée (saignée tous les six jours) (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010).

La consommation d'écorce détermine la durée d'exploitation (ou durée de vie économique) des arbres. Plus la consommation d'écorce est importante et moins la durée de vie économique des arbres est longue et vice versa (Soumahin, 2010).

1.4.7.5. Fréquence et nombre de saignées par an

La saignée est répétée au cours de l'année à un rythme appelé fréquence de saignée. La fréquence de saignée est l'intervalle de temps, en jour, entre deux saignées consécutives. Elle est notée sous forme de fraction d3, d4 et d6 selon la référence internationale des systèmes de saignées (Okoma, 2008 ; FIRCA, 2013a). Le chiffre indique le nombre de jour entre deux saignées consécutives.

La réduction des fréquences de saignée réduit les coûts d'exploitation (Okoma, 2008 ; Soumahin, 2010). Les fréquences de saignées habituellement utilisées sont d3 (pour les plantations villageoises) et d4 (pour les plantations industrielles). Elles offrent un meilleur compromis entre la productivité et la durée de vie économique des arbres qui peut atteindre 30 à 35 ans (Obouayeba, 2005 ; Okoma, 2008).

1.4.7.6. Conduite de panneau de saignée

La conduite du panneau de saignée est la gestion, dans le temps, de l'écorce d'hévéa à exploiter (Okoma, 2008). Elle garantit une rentabilité maximale de la récolte de latex et sa pérennisation sur une trentaine d'année (FIRCA, 2013a).

Le standard qui est admis est que cette conduite des panneaux de saignée se fera pendant neuf ans sur panneau descendant et à partir de la 10^{ème} année sur le panneau remontant (inversé) selon le schéma définit en annexe 1 (Gohet *et al.*, 1991).

1.4.8. Stimulation hormonale de la production de l'hévéa

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). Selon D'Auzac & Ribailier (1989), les agents stimulants peuvent être des substances chimiques ou hormonales (2,4-D ; éthylène, etc.). L'Éthéphon ou acide chloro-2-éthylphosphonique, commercialisé sous le nom d'Éthrel, générateur d'éthylène (Compagnon, 1986) est devenu le principal agent stimulant utilisé à travers le monde par les hévéaculteurs. Les traitements éthyléniques permettent de doubler, voire tripler la production de latex par la prolongation de la durée d'écoulement, l'augmentation de la zone d'écorce drainée par la saignée et par l'activation globale du métabolisme de régénération (Ballo, 2019).

La stimulation hormonale est effectuée par le saigneur 48 heures avant la saignée avec un pinceau (Compagnon, 1986) ou tout autre instrument similaire dont le bambou mâché (Ballo, 2019). La stimulation est réalisée préférentiellement par application de la pâte stimulante à la fois sur le panneau de renouvellement et sur l'encoche de saignée (Obouayeba, 2005 ; Figure 5), sur une bande de 1 cm de largeur (Ballo, 2019). Cette méthode est plus facile à réaliser et est plus rentable. Toutefois, la pratique de la stimulation nécessite la connaissance du type d'activité métabolique du clone (niveau d'énergie naturelle de la plante) pour moduler l'apport complémentaire de stimulant. Par ailleurs, la stimulation est contre indiquée à certaines périodes de l'année (Compagnon, 1986) telles que les périodes de défoliation-réfoliation, de pluies fréquentes et abondantes et de faible intensité lumineuse.



Figure 5. Application d'une stimulation sur l'encoche de saignée et le panneau de renouvellement d'un hévéa (Soumahin, 2010)

1.5. PRINCIPAUX BIOAGRESSEURS DE L'HÉVÉA

Les bioagresseurs les plus redoutables de l'hévéa en Côte d'Ivoire sont les champignons et les plantes parasites (Compagnon, 1986 ; Soro, 2010). Les champignons tels que *Corynespora* sp. et *Fomes* sp. peuvent entraîner, selon l'importance des épidémies, des pertes de rendement importantes et même conduire à la mort de l'arbre dans les cas les plus extrêmes.

Toutes les strates de l'hévéa peuvent être affectées, depuis les racines jusqu'aux feuilles (Compagnon, 1986 ; Breton 1997 ; Garcia, 1997). S'agissant des plantes parasites, il est noté la présence marquée des Loranthaceae sur les taxons arborescents (Soro, 2010).

1.5.1. *Corynespora* sp.

Corynespora sp. est un champignon nécrotrophe responsable de la maladie de chutes de feuilles chez l'hévéa. (Déon, 2012). Décrite pour la première fois en Inde en 1958, la maladie n'inquiéta pas car elle n'affectait que les jeunes plants en pépinière. A partir de 1975, plusieurs épidémies se succédèrent, d'abord en Asie puis en Afrique, touchant de plus en plus de clones de bonne valeur agronomique. En 1994, cette maladie fut enregistrée comme le 4^{ème} problème majeur des plantations hévéicoles en termes de coûts financiers (Breton, 1997 ; Déon, 2012). De fortes attaques des plantations en 2010 ont contribué à renforcer l'inquiétude des planteurs.

Les symptômes les plus communément rencontrés (Figure 6) sont caractérisés par des lésions foliaires brunes avec une décoloration progressive des tissus périphériques associées à un noircissement des nervures adjacentes aux lésions donnant un aspect caractéristique en « arêtes de poisson » à la maladie (Jayasinghe, 2000 ; Déon, 2012). Cela dit, les lésions peuvent prendre d'autres aspects. Elles peuvent être circulaires brunes présentant en leur centre un aspect cartonneux légèrement blanchâtre et associées à une légère chlorose périphérique. Certaines sont plutôt irrégulières, en cercles concentriques ressemblant aux symptômes de l'Anthracnose provoquée par *Colletotrichum gloeosporioides*. D'autres sont plutôt polyédriques avec une chlorose périphérique très importante. Des symptômes ressemblant à ceux causés par *Oidium heveae* ont également été observés. Ils sont caractérisés par des lésions irrégulières brunes ayant un aspect cartonneux. Dans certains cas, les symptômes sont assez discrets et seul un noircissement de la base des nervures centrales est observé. Selon l'importance de la maladie, les feuilles peuvent jaunir entièrement, se dessécher puis tomber. Les infections sur les tiges et les pétioles conduisent à une déchirure de l'écorce et à la mort des organes (Garcia 1997 ; Déon, 2012).

Actuellement, la gestion du problème consiste à éviter de planter les clones les plus sensibles et à traiter régulièrement les arbres avec des antifongiques (Déon, 2012). Cependant, ces traitements chimiques sont difficiles à mettre en œuvre à l'échelle de la plantation, ont un coût élevé et sont néfastes pour l'environnement (Déon, 2012).

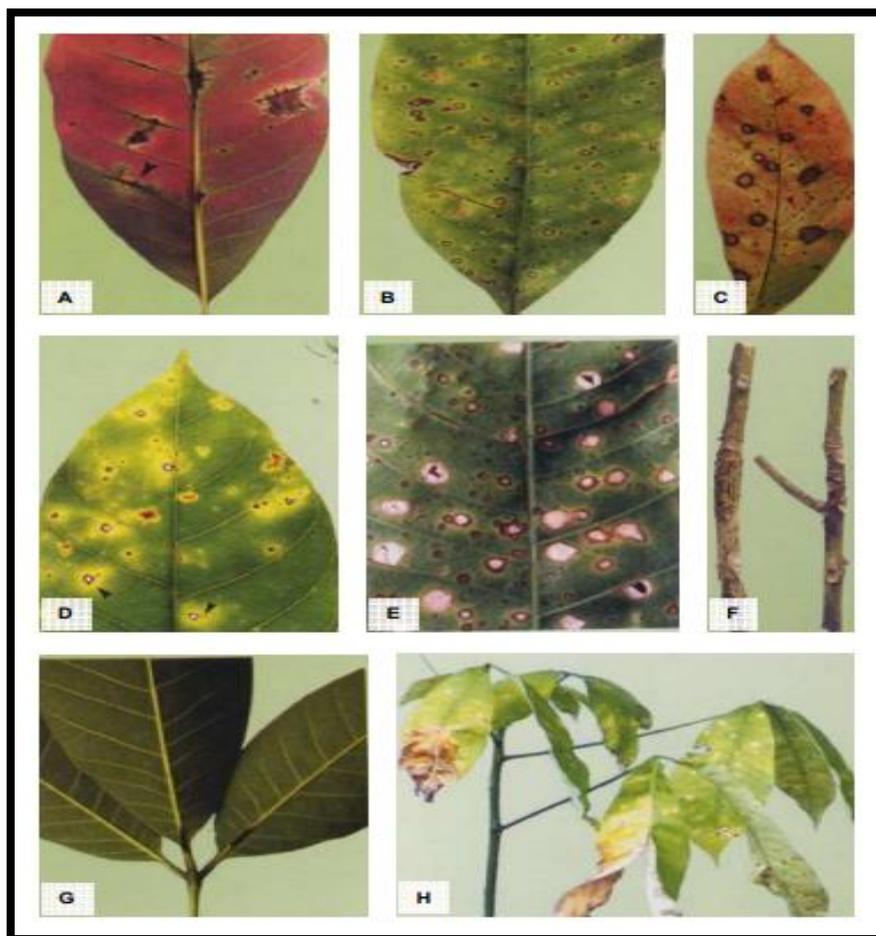


Figure 6. Différents symptômes des attaques de *Corynespora cassiicola* sur l'hévéa (Déon, 2012)

A = Lésions caractéristiques en « arête de poisson » ; B = Lésions d'aspect similaire à celles causées par *Heminthosporium heveae* ; C = Lésions d'aspect similaire à celles causées par *Colletotrichum gloeosporioides* (Anthracnose) ; D = Lésions irrégulières et polyédriques associées à des chloroses importantes ; E = Lésions d'aspect similaire à celles causées par *Oidium heveae* (Oidium) ; F = Noircissement et déchirure de l'écorce des tiges ; G = Noircissement des pétioles ; H = Sévère infection d'un jeune plant ressemblant à une attaque de *Colletotrichum gloeosporioides*

1.5.2. *Fomes* sp.

En hévéaculture, les attaques des agents pourridiés se traduisent par une altération du système racinaire au niveau cortical ou ligneux qui aboutit fréquemment au dépérissement puis à la mort de l'arbre. Selon que la dégradation du bois concerne préférentiellement les structures ligneuses ou polysaccharidiques, on distingue des pourritures blanches ou brunes (Nandris, 1985). Ces pourritures sont respectivement causées par *Fomes lignosus* et *Fomes noxius* (FIRCA, 2013b). Après colonisation d'un substrat, ces champignons peuvent s'y maintenir dans un état de saprophytisme relatif. La propagation de ces parasites s'effectue principalement à travers le sol et sur les portions souterraines de l'hôte, plus rarement par voie générative (Nandris, 1985).

Ainsi, leur cycle évolutif de maladie se résume avec les phases de propagation et contamination, pénétration et infection, et incubation allant jusqu'à la manifestation des symptômes et à la dissémination.

En Côte d'Ivoire, à titre indicatif, sur des cultures de 1957, les pourcentages d'hévéas morts varient de 40 à 75 % selon les parcelles. Pour des cultures âgées de 10 ans, des taux de mortalité de 20 % ont été signalés (Nandris, 1985). Les symptômes recensés par le FIRCA (2013b) sont la présence des structures particulières du champignon telles que les filaments mycéliens blancs sous formes de palmettes sur les racines latérales, le pivot ou le collet ; les rhizomorphes sous forme de cordonnets solidement attachés aux racines latérales ou au pivot ; les carpophores de couleur jaune orangé (*Fomes lignosus*) ou de couleur noirâtre bordée de blanc (*Fomes noxius*) au collet des arbres morts ou vivants. En outre, d'autres symptômes (Figure 7) sont la fructification et la défoliation hors saison ; le jaunissement et le virement des feuilles au rouge brun ; la rétraction puis la chute des feuilles ; la présence de rayures brunes à l'intérieur de la racine.

Les méthodes de lutte utilisées impliquent la détection et le marquage en dégagant la terre sur les racines latérales des arbres infectés (contaminés) et leurs voisins. Les arbres infectés sont alors isolés ou extirpés de la parcelle. Des fongicides à base de triazoles sont par la suite utilisés pour la lutte curative avec leur application visible au pied des arbres traités (FIRCA, 2013b).

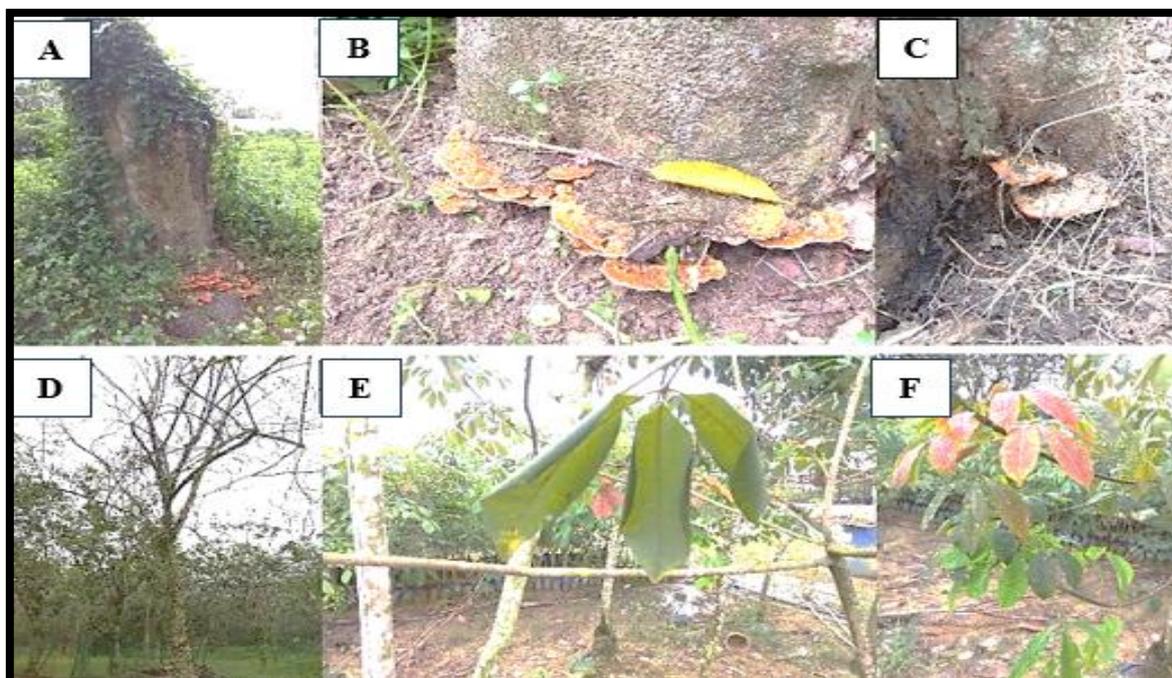


Figure 7. Différentes attaques du *Fomes lignosus* (Andrew *et al.*, 2021)
 A, B et C = Carpophores au collet d'un hévéa ; D = Défoliation ; E = Rétraction des feuilles ;
 F = Jaunissement et virage des feuilles au rouge brun

1.5.3. Loranthaceae

Les Loranthaceae sont des buissons chlorophylliens épiphytoïdes qui vivent en hémiparasites sur le tronc ou les branches de l'hévéa. Leurs feuilles sont le plus souvent opposées ou subopposées, parfois alternes toujours simples et entières, sans stipules, généralement pétiolées comme chez *Tapinanthus bangwensis* (Figure 8) et sessiles comme chez *Tapinanthus sessilifolius*. Leurs graines sont disséminées par les oiseaux qui se nourrissent de leurs fruits qui sont des baies (Soro, 2010).

Selon Boussim (2002), les dégâts des Loranthaceae sur l'hôte sont nombreux et divers à savoir une sous-alimentation hydrique et minérale de l'hôte, ce qui conduit à un faible développement du sujet, avec une défoliation permanente de l'arbre, un dessèchement massif des rameaux, une floraison et une fructification peu abondante. Les Loranthaceae entraînent parfois la perte totale de la production de leurs hôtes dans les cultures, d'où la réduction des revenus des paysans (Boussim *et al.*, 1993). En outre, ils causent un renflement de la branche parasitée, caractérisé par une hypertrophie cupuliforme au niveau de la zone d'insertion qui entraîne l'altération de la qualité du bois et le rend impropre au sciage ; une sensibilité des arbres parasités aux attaques d'autres agents pathogènes tels que les champignons et les insectes par des ouvertures laissées après la mort ou la chute du parasite, dans les tissus ligneux déformés de l'hôte, appelés « roses de bois ou fleurs de bois » (Soro, 2010).

Pour lutter contre les Loranthaceae, plusieurs méthodes sont employées. La lutte mécanique vise à détruire manuellement les touffes du parasite afin de réduire le stock de « graines » du parasite et de sauvegarder les arbres encore sains (Boussim *et al.*, 1993). En outre, la lutte chimique avec l'utilisation d'herbicides systémiques (phytohormone) est engagée pour empêcher la croissance du parasite. Cependant, cette méthode présente l'inconvénient des coûts élevés des pesticides, de la complexité de leur utilisation, de l'étendue de l'infestation et des problèmes de toxicité liés aux produits chimiques (Traoré *et al.*, 2003). Par ailleurs, la lutte biologique visant à utiliser les oiseaux granivores pour détruire les graines des Loranthaceae ou des larves de papillons pour détruire le système haustorial du parasite est engagée (Boussim, 2002). Cependant, des risques de perturbation de l'équilibre écologique sont à craindre avec cette méthode.

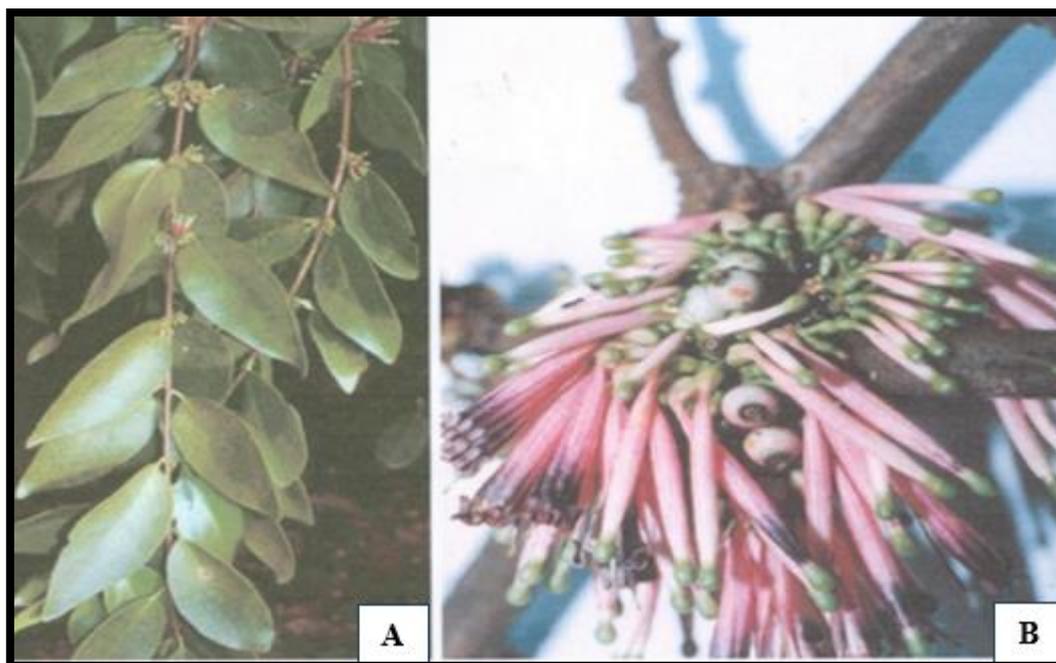


Figure 8. *Tapinanthus bangwensis* (Loranthaceae) feuillé et en inflorescence (Soro, 2010)
 A = Rameaux feuillés de *Tapinanthus bangwensis* ; B = Inflorescences de *Tapinanthus bangwensis*

1.6. ENCOCHE SÈCHE, PROBLÉMATIQUE EN HÉVÉACULTURE

1.6.1. Historique

Depuis que l'exploitation de l'hévéa est passée de la cueillette sylvestre à la plantation bien organisée, un phénomène est apparu et il semble s'amplifier avec l'augmentation des rendements (Jacob *et al.*, 1994). C'est l'encoche sèche de l'hévéa, c'est-à-dire l'absence partielle ou totale d'écoulement de latex après la saignée. Ce syndrome, grave au plan économique, est devenu une priorité dans les programmes de recherche en hévéaculture (Jacob *et al.*, 1990). Le terme flamand de *brown bast* (écorce brune) qui lui a été associé dès le début du XIX^{ème} siècle a certainement participé à la confusion des études sur ce sujet (Jacob *et al.*, 1994). Car la sécheresse de l'encoche sous-tend non seulement des causes, mais également des symptomatologies qui peuvent être très différentes (Jacob *et al.*, 1990) bien qu'aboutissant aux mêmes effets qui est le dysfonctionnement du système laticifère et la diminution, sinon la disparition, de la production de latex par l'hévéa.

En outre, les systèmes intensifs de récolte du latex dus à des fréquences élevées de saignée et/ou de stimulation hormonale sont également causes de perturbation ou d'une absence totale d'écoulement de latex, suite à la saignée (Okoma *et al.*, 2009).

1.6.2. Quelques approches définitionnelles

Les approches définitionnelles de l'encoche sèche de l'hévéa sont multiples. Plusieurs auteurs (Compagnon, 1986 ; Jacob *et al.*, 1994) s'accordent à dire que l'encoche sèche est une maladie dont la cause n'a pas encore été identifiée avec certitude. Toutefois, Déon (2012) maintient que l'encoche sèche de l'hévéa n'est pas une maladie cryptogamique bien que Nandris *et al.* (1991) n'écartent pas cette hypothèse. Okoma *et al.* (2011a), quant à eux, confirment que l'encoche sèche de l'hévéa est plutôt un dérèglement physiologique très complexe chez l'hévéa. À cet effet, Jacob *et al.* (1994) soutiennent que l'absence partielle ou totale d'écoulement du latex peut s'accompagner ou non de nécrose. S'il y a une encoche sèche nécrotique, il s'agit d'une grave perturbation histologique, cytologique et métabolique qui se traduit par une désorganisation profonde de tout le phloème secondaire et se propage dans tous les sens. Dans le cas contraire, il s'agit tout simplement d'une fatigue des laticifères qui, après un certain temps de repos, peuvent reprendre leur fonctionnement (Jacob *et al.*, 1994).

1.6.3. Types d'encoche sèche

Des différences symptomatologiques et évolutives ont permis de distinguer deux formes d'encoche sèche. Les unes disparaissent après une suspension assez longue des saignées ; elles sont donc réversibles (Okoma *et al.*, 2009). D'autres, malgré un long repos et parfois une légère reprise de production, conduisent inexorablement à la sécheresse totale de l'arbre (De Faye *et al.*, 1989) ; elles sont donc beaucoup plus graves.

Le premier type, caractérisé par l'encoche sèche réversible (Figure 9 A) n'intervient que sur le système laticifère dans lequel il est noté une diminution des sucres, du DRC et des R-SH alors que l'indice d'éclatement augmente de l'ordre de 10 à 20 % (Jacob *et al.*, 1990). Des enzymes sont impliquées dans les systèmes de toxicité. Une période de repos et une diminution de l'intensité de saignée permettent généralement à l'arbre de produire à nouveau. Ce type ne présente pas de nécrose de l'écorce, il est le résultat d'un dysfonctionnement du tissu laticifère lui-même. Saisonnier et transitoire, il peut être le résultat d'une fatigue induite par la surexploitation. On parle d'encoche sèche saisonnière et d'encoche sèche induite par les surexploitations (surintensité de saignée et surstimulation à l'éthylène) (Jacob *et al.*, 1990). Il s'agit d'un phénomène très local, curable à condition de diminuer l'intensité d'exploitation après une longue période de repos (Okoma, 2008).

Le second type qui est l'encoche sèche irréversible (Figure 9 B) présente des phénomènes pathogéniques, des modifications cellulaires mais, il n'y a pas d'augmentation des systèmes de toxicité.

Le constat est que le DRC est plus élevé chez les arbres malades, la concentration en sucre est plus forte car moins utilisée ; le potentiel redox augmente mais l'indice d'éclatement est stable ; le pH diminue légèrement. Ce type d'encoche sèche est caractérisé par une nécrose tissulaire qui concerne l'ensemble de l'écorce tendre ou liber. Il implique des perturbations histologiques, cytologiques et métaboliques qui rendent les manteaux laticifères non fonctionnels. On parle d'encoche sèche nécrotique (*bark necrosis*) ou encoche sèche naturelle (Nicole *et al.*, 1991). Ce type apparaît chez les arbres exploités normalement ou même en première mise en saignée. Il peut aussi survenir à la suite d'un prolongement dans le temps de l'encoche sèche de fatigue (Gohet *et al.*, 1997). L'encoche sèche naturelle représente la forme typique de sécheresse appelée par le passé *brown bast* à cause du brunissement de l'écorce interne. Elle est causée par un dérèglement du métabolisme laticifère et ne semble pas être liée à une fatigue physiologique (IRD, 2005).



Figure 9. Hévéas atteints d'encoche sèche
A = Encoche sèche réversible ; B = Encoche sèche irréversible

1.6.4. Symptômes visuels et histocytologiques de l'encoche sèche

Le premier symptôme de l'encoche sèche observable visuellement, est l'absence de latex après la saignée. Ce symptôme peut être accompagné d'autres symptômes tels que le brunissement de l'encoche, l'épaississement de l'écorce, les craquelures du panneau de saignée et la déformation de l'écorce (Jacob & Prévôt, 1989).

Les brunissements sont provoqués par des cellules nécrosées qui s'étendent rapidement le long des manteaux laticifères. Les épaissements de l'écorce au niveau des zones sèches peuvent quant à eux s'agir soit d'une modification diffuse de la couleur naturelle de l'écorce, soit de l'apparition au sein des tissus de plages brunes étendues appelées *brown bast*. L'écorce s'épaissit alors dans les zones sèches. Ce phénomène est cependant atténué chez les arbres peu vigoureux (Okoma, 2008).

Les craquelures et desquamations du panneau de saignée sont des fendillements qui se produisent dans le panneau de saignée des arbres malades (Figure 10). Les portions externes de l'écorce sont alors éliminées par desquamation (Soumahin, 2010).

La déformation de l'écorce est causée par les nodules lignés néoformés. Quant au tronc, sa déformation apparaît, dans quelques cas, lorsque l'écorce du panneau de saignée se boursoufle plus ou moins fortement (Okoma, 2008).



Figure 10. Craquelures et desquamations du panneau de saignée (Soumahin, 2010)

1.6.5. Principales causes de l'encoche sèche de l'hévéa

L'apparition de la maladie de l'encoche sèche est sous l'influence de certains facteurs. Selon les études de variabilité du taux d'arbres « malades » dans les plantations et les circonstances d'apparition de l'encoche sèche, la fréquence et la gravité de la maladie sont positivement corrélées avec certains facteurs dont les plus importants sont décrits ci-dessous.

1.6.5.1. Causes liées aux facteurs génétiques et physiologiques

Au rang des facteurs génétiques et physiologiques qui influencent la survenue de l'encoche sèche de l'hévéa, on distingue les susceptibilités clonales et individuelles (Okoma, 2008). Ces particularités font que les clones à métabolisme rapide tels que le PB 235 et le PB 260 sont prédisposés à manifester la maladie que les clones à métabolisme lent tels que le PB 217 (Gohet *et al.*, 1996). En outre, le vieillissement des arbres ou même le type de panneau exploité sont des conditions favorables au développement de la maladie (De Faye, 1981). Par ailleurs, la faible vigueur des arbres (moins de 50 cm de circonférence) et la forte densité de plantation des arbres peuvent faciliter le développement de l'encoche sèche (Commère *et al.*, 1989).

1.6.5.2. Causes liées aux facteurs phénologiques

La croissance du système aérien de l'hévéa est caractérisée par sa nature rythmique décrite par Halle et Martin (Halle & Martin, 1968 ; Compagnon, 1986). Cette croissance fait état d'une période de défoliation et de refoliation qui survient à la grande saison sèche de janvier à février (Okoma, 2008). De ce fait, les saignées effectuées pendant cette période ont tendance à induire une forte sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa (Okoma, 2008).

Cela s'explique par le fait que durant la grande saison sèche, l'énergie dont a besoin l'hévéa est beaucoup plus orientée vers le métabolisme primaire (production de biomasse végétative) que vers le métabolisme secondaire (production de caoutchouc) (Obouayeba *et al.*, 2000 ; Okoma, 2008). Pendant cette période, le stress est donc produit par le manque d'eau du sol et au degré d'hydratation des tissus dans la zone d'incision (Okoma, 2008).

1.6.5.3. Causes liées à la stimulation

La dose de stimulation a été limitée à 2,5 % pour les saignées descendantes et à 5 % pour les saignées inversées en fonction du régime d'application correspondant à l'âge des hévéas (FIRCA, 2013a). Cette norme permet de réduire les risques de dysfonctionnement des cellules laticifères liés à une fatigue physiologique des tissus laticifères. Cependant, les surstimulations enregistrées dans les plantations d'hévéa résultent de l'augmentation des concentrations ainsi que des fréquences d'application annuelle. À cet effet, les travaux de Okoma (2008) ont mis en évidence l'effet des régimes (dose et fréquence) de stimulations sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa.

Selon l'auteur, la fréquence de 26 stimulations à l'Ethrel par an induit des taux d'encoche sèche très élevés par rapport à la fréquence de six stimulations par an. Pour cause, les stimulations intensives pendant de longues durées d'exploitation induisent des stress physiologiques qui accélèrent le métabolisme laticifère et provoquent l'encoche sèche. Les clones, n'ayant pas le même métabolisme, ils ne supportent donc tous pas de la même manière les différents régimes de stimulation. De ce fait, il existe une relation entre le régime de stimulation à l'Ethrel, la durée d'exploitation et la sensibilité des clones à la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa (Okoma *et al.*, 2009).

1.6.5.4. Causes liées aux fréquences de saignée

Le travail de la saignée se fait tous les jours ouvrables de l'année, en dehors des périodes de défoliation et de refoiliation ; raison pour laquelle il est admis des fréquences de saignée raisonnables (délai entre deux saignées consécutives) en vue de reconstituer le stock de latex du volume drainé (Soumahin, 2010).

Dans la pratique, la plantation est divisée en alternances de saignée (ensemble de parts saignées un même jour) dont le nombre est limité par la taille de la plantation et la tâche de saignée (nombre d'arbres saignés quotidiennement par un saigneur). La fréquence de saignée est alors obtenue à l'issue du rapport entre la taille de la plantation et la tâche de saignée et détermine de facto le nombre d'alternances (Compagnon, 1986 ; Michels, 2005). À cet effet, une plantation de 3 ha totalisant 1350 arbres exploités avec une tâche de saignée fixée à 450 arbres, sera saignée tous les trois jours de la semaine (d3 6d/7) et n'aura donc que trois alternances, soit $1350 / 450$ (Michels, 2005).

Cependant, lorsque la fréquence de saignée est élevée (d1 6d/7 et d2 6d/7), les stocks d'assimilats (amidon) contenus dans les différentes parties du tronc (Gohet *et al.*, 1996) deviennent trop faibles pour permettre à l'arbre de supporter l'exploitation (Soumahin, 2010). Le premier signe, le plus apparent, du déficit entre l'exportation et l'ensemble de l'approvisionnement venant des feuilles ou des zones de stockage est la diminution de la teneur en caoutchouc du latex (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Si le déficit persiste, indépendamment d'une chute progressive de la production, des perturbations de l'écoulement du latex sont à craindre conduisant parfois à un pourcentage élevé d'arbres totalement improductifs (Soumahin, 2010).

1.6.5.5. Causes liées aux facteurs climatiques

Selon Okoma (2008), la sensibilité des clones d'hévéa à la maladie de l'encoche sèche est sous l'influence des facteurs climatiques.

En effet, dans son étude réalisée sur 13 clones, l'auteur a montré que cette influence se traduisait par une faible expression de l'encoche sèche pendant les périodes de fortes pluviométries et par une expression plus prononcée durant les périodes de températures élevées, au cours de l'année.

N'Guema *et al.* (2016) ont également révélé qu'il y a une variation saisonnière de l'expression de l'encoche sèche qui est très faible pendant la grande saison des pluies et très élevée pendant la grande saison sèche. De plus, Okoma (2008) souligne que la longueur d'encoches malades augmente d'août à septembre, diminue légèrement d'octobre à novembre, reste élevée de décembre à mars et est faible de mai à juin.

1.6.5.6. Causes liées aux facteurs pédologiques

Les travaux de Le Roux (1994) ont montré que, le sol du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire est constitué majoritairement de couches gravillonnaires et latéritiques situées entre 60 et 80 cm avec pour conséquence un mauvais ancrage de l'hévéa et des difficultés d'alimentation hydrique et minérale. Or, à l'instar des autres plantes, l'hévéa puise les éléments minéraux dans le sol avec son système racinaire. Ils sont transportés à travers les vaisseaux du bois jusqu'aux feuilles où ils contribuent au fonctionnement des cellules qui élaborent, par la photosynthèse, les substances organiques indispensables aux diverses fonctions de la plante (Allé, 2016). Le maintien de ces activités en vue d'un haut rendement et d'un état physiologique optimal de l'hévéa pourrait entraîner un épuisement du sol en éléments nutritifs qui serait préjudiciable à la production ultérieure de caoutchouc naturel si une compensation par la fertilisation n'y est pas assurée (Allé, 2016 ; Ballo, 2019).

1.6.5.7. Causes liées aux facteurs anthropiques

Chez l'hévéa, la production est particulièrement tributaire du facteur humain (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Ce facteur intervient dans la rigueur et la qualité d'exécution des normes de la saignée. Toutefois, certaines plantations sont complètement détruites ou ne sont plus viables du fait des mauvaises pratiques de saignée des saigneurs (Tra, 2022).

En effet, les couteaux de saignée classiques ou traditionnels (Fauna, GIM 777, Aunain, etc.), largement répandus en Côte d'Ivoire, sont souvent difficiles à utiliser. Ils nécessitent en fait une grande habilité, induisent une forte consommation d'écorce, des saignées trop profondes et de fréquentes blessures de saignée.

Cependant, les études réalisées par Koné (2020) sur le clone GT1 ont confirmé que les arbres blessés au cours de la saignée ont, non seulement des taux d'encoches sèches plus élevés mais également de faibles productions de caoutchouc comparées à celles des arbres exempts de blessures.

1.6.5.8. Causes liées aux bioagresseurs

La dispersion non aléatoire des arbres malades a aussi orienté les études vers la recherche de pathogènes divers, sans que l'absence de résultats actuels ne permettent d'écarter cette hypothèse (Nandris *et al.*, 1991). En effet, les travaux de Soro (2010) ont révélé que les hévéas attaqués par les principaux bioagresseurs de l'hévéa tels que *Fomes* sp. et les Loranthaceae ont affiché des taux d'encoche malade plus élevés que ceux des hévéas non-attaqués.

Par ailleurs, les auteurs ont également montré que les hévéas parasités par *Corynespora* sp. ont présenté des longueurs d'encoches sèches les plus faibles que celles des hévéas non-parasités ; signe que ces hévéas étaient en début d'infestation et qu'ils ont généré un pic de production de caoutchouc pour se défendre contre le bioagresseur.

1.6.6. Incidence économique de l'encoche sèche de l'hévéa

En Côte d'Ivoire, l'encoche sèche de l'hévéa est une maladie tellement grave sur le plan économique, qu'elle est devenue une priorité dans les programmes de recherche en hévéaculture. Pour cause, elle provoque chaque année des pertes pouvant atteindre 30 % de la production de caoutchouc (Okoma *et al.*, 2011a). Ce taux varie en fonction des pratiques agricoles et de l'âge des arbres. Les mauvaises pratiques agricoles contribuent pour 60 % à la survenue de l'encoche sèche (Okoma *et al.*, 2009) dans les exploitations hévéicoles.

Au niveau national, le manque à gagner est évalué entre cinq et six milliards de francs CFA par an. Dans les plantations villageoises de Côte d'Ivoire, le taux d'encoche sèche dépasse les 30 % (Okoma *et al.*, 2011a) ; pourtant, les quelques 165 000 producteurs villageois qui détiennent 500 000 hectares de terres sont en grande partie les garants de la production nationale (APROMAC, 2021).

1.6.7. Forces et faiblesses de la gestion de l'encoche sèche en Côte d'Ivoire

Pour prévenir l'encoche sèche de l'hévéa, Okoma *et al.* (2011a) préconisent d'établir la plantation après une jachère. De plus, il faut privilégier l'entretien de la plantation à la machette plutôt qu'à l'herbicide ou au bulldozer.

En outre, il est préférable de choisir un dispositif de plantation de 555 à 666 arbres par hectare plutôt qu'un dispositif supérieur à 700 arbres par hectare de peur de créer une compétition intraspécifique pour l'acquisition des ressources minérales du sol (Ballo, 2019). Par ailleurs, il faut choisir les clones sélectionnés par la recherche, peu sensibles à l'encoche sèche tels que IRCA 41, PB 217, IRCA 331. Quant à la récolte du latex, il faut bien saigner les arbres en tenant compte de la fréquence de saignée qui est fonction de la main d'œuvre disponible (Soumahin, 2010). En outre, il faut respecter les normes du régime de stimulation en saignée descendante et en saignée remontante (Okoma *et al.*, 2011a).

Cependant, malgré tous les efforts consentis par les chercheurs, il n'existe à ce jour, aucun traitement curatif qui soit réellement efficace contre l'encoche sèche de l'hévéa. De plus en plus d'arbres tombent malades. Les mesures préventives et recommandations ne suffisent plus à contrôler l'encoche sèche, vue la complexité de la maladie. Laisser l'arbre au repos pendant un certain temps paraît un peu trop aléatoire au planteur qui ne cherche qu'à maximiser ses revenus mensuels (FIRCA, 2013b). Alors, face à la gravité du problème, il urge de déployer tous les moyens, voire de combiner toutes les méthodes de lutte qui ont été prometteuses jusque-là, pour combattre l'encoche sèche de l'hévéa.

1.7. NOUVELLE PISTE DE SOLUTION : LA LUTTE INTÉGRÉE

1.7.1. Définitions

La notion de protection intégrée a été initialisée il y a une cinquantaine d'années avec déjà pour objectif de réduire l'utilisation des pesticides afin de minimiser l'impact environnemental et le coût de la lutte tout en maximisant les résultats économiques de l'agriculteur (Xavier, 2012). Le premier groupe européen de travail sur la protection intégrée a été créé en 1959 (Xavier 2012). Il a abouti à la création de plusieurs groupes de travail à travers l'Europe durant les années 1970 et 1980 en vue de promouvoir la mise en œuvre de la protection intégrée considérée comme une « solution optimale » (Xavier, 2012).

Par définition, la lutte intégrée est donc une combinaison de plusieurs méthodes de lutte existantes (Anonyme 1, 2009). Elle repose sur les recours à toutes les méthodes de lutte dans le but de maintenir les ennemis des cultures en deçà des seuils de nuisibilité économique.

Les étapes de cette lutte sont la prophylaxie, la lutte biologique, le biocontrôle, la lutte mécanique, l'aménagement de l'environnement, les pratiques culturales, les choix variétaux et les traitements chimiques compatibles (Anonyme 1, 2009).

De ce fait, parler d'une lutte intégrée contre l'encoche sèche de l'hévéa en Côte d'Ivoire consistera à prendre en compte individuellement les questions de recherche restées peu approfondies et/ou quasi-inexplorées. Il s'agit, en autres, de l'application de faibles doses de stimulation, de l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable, de la fertilisation minérale des plantations d'hévéas matures et de l'application du gel de *Aloe vera*.

1.7.2. Importance de la stimulation éthylénique dans la lutte intégrée contre l'encoche sèche de l'hévéa

Le développement actuel et à grande échelle des traitements stimulants a été initié en 1950 par Compagnon et Tixier qui ont injecté dans le tronc de l'arbre du sulfate de cuivre (CuSO_4), de l'acide borique (H_3BO_3) et de l'acide 2,4 dichlorophénoxyacétique (2,4-D) (Adou, 2018). Le stimulant était alors constitué d'un mélange d'Éthéphon et d'huile de palme qu'on appliquait à l'aide d'un pinceau sur la zone de l'arbre devant être soumise à une saignée pour permettre notamment de réduire la fréquence de saignée et la longueur de l'encoche de saignée, tout en maintenant les rendements à des niveaux satisfaisants et en augmentant la productivité du travail et la longévité économique des plantations (Gohet, 1996). Cependant, certaines substances ont été très efficaces pour augmenter la production de caoutchouc et ont conduit à des chutes alarmantes de teneur en caoutchouc sec (Dry Rubber Content) et à l'apparition d'encoche sèche. Néanmoins, l'acide chloro-2-éthylphosphonique (CEP) ou Ethéphon (hormone de synthèse génératrice d'éthylène), commercialisé sous le nom d'Ethrel, a rapidement fait ses preuves et a supplanté tous les précédents produits stimulants (Adou, 2018).

L'Éthéphon agit par libération d'éthylène dans les tissus traités. Ce traitement hormonal a de profondes modifications des propriétés du latex et des tissus mis en cause (Compagnon, 1986 ; Adou, 2018) marquées par :

- une prolongation de la durée de l'écoulement du latex accompagnée d'une baisse de la teneur en caoutchouc sec (Traoré *et al.*, 2014 ; Adou, 2018) ;
- une modification de la perméabilité de la membrane lutoïdique entraînant une stabilité des lutoïdes (Adou, 2018) ;
- la dilution du latex (diminution de la viscosité du latex), l'augmentation de la vitesse d'écoulement (facilité d'écoulement), le drainage d'une plus grande surface d'écorce et

le retard dans l'obstruction des vaisseaux laticifères qui est à la base de l'arrêt de l'écoulement du latex (Traoré *et al.*, 2014 ; Adou, 2018) ;

- une augmentation des teneurs en cuivre (Cu), en phosphate (P), en acides aminés, en groupements thiols, en composés phénoliques ainsi que celle en glucides du latex (Compagnon, 1986 ; Adou, 2018) ;
- une diminution de la teneur en magnésium (Compagnon, 1986 ; Adou, 2018) ;
- une augmentation du pH du latex, exaltant les activités enzymatiques (Compagnon, 1986 ; Adou, 2018).

Par ailleurs, la réponse à un traitement stimulant varie d'intensité selon le clone traité et les technologies de récolte du latex utilisées (Adou, 2018). L'intensité du régime (fort, modéré et faible) de ces deux composantes essentielles de la production de caoutchouc, associées ou non, est fortement dépendante du métabolisme intracellulaire du clone comme l'ont montré Jacob *et al.* (1988). Par conséquent, l'application de cette pratique de récolte du latex d'un clone d'hévéa donné nécessite de plus en plus une parfaite connaissance de ce clone, aussi bien d'un point de vue agronomique que physiologique (Adou, 2018). Cette préoccupation amène aujourd'hui à prendre en compte, de faibles doses de stimulation (< 2,5 % en saignée descendante) en vue de maintenir un bon état physiologique de l'hévéa stimulé tout en boostant ses niveaux de production.

1.7.3. Importance du couteau de saignée dans la lutte intégrée contre l'encoche sèche de l'hévéa

Historiquement, les indiens de l'Amazonie avaient l'habitude de saigner les hévéas en utilisant une petite hache pour couper une portion de l'écorce du tronc de l'arbre (Adou, 2018). Ils faisaient plusieurs petites incisions obliques le long du tronc. Cette technique selon Compagnon (1986) endommage drastiquement le cambium ; raison pour laquelle il a été admis une autre forme de saignée qui consiste à ouvrir une seule et même encoche en la ravivant à chaque saignée à l'aide d'une gouge ou d'un couteau de saignée par l'enlèvement d'une lamelle d'écorce de 1 à 2 mm d'épaisseur (Serrier, 1993). Le latex est alors recueilli dans des récipients (tasses) attachés à la base de l'incision durant plusieurs mois (Adou, 2018). Le couteau de saignée est donc un élément important dans la mesure où il détermine la profondeur de la saignée et l'épaisseur de l'écorce sectionnée (RRIM, 2009).

En Côte d'Ivoire, les couteaux de saignée généralement utilisés sont « Fauna », « GIM 777 », « Aunain » et la « Gouge ». Ces couteaux de saignée sont utilisés pour saigner des écorces minces et/ou épaisses en saignée descendante et/ou inversée et peuvent être

rallongés à l'aide de bois ou de barres métalliques pour saigner en hauteur. Ces couteaux de saignée ont également des lames aiguisables qui nécessitent un très bon affûtage, à la pierre, au risque de blesser les hévéas saignés, d'augmenter leurs taux d'encoche sèche et de réduire leurs production de caoutchouc.

C'est d'ailleurs toutes ces contraintes qui rendent la saignée difficile, imposant un entraînement suffisant et une grande habilité.

De tout temps, chercheurs et inventeurs ont cherché à mettre au point des couteaux de saignée manuels ou électriques qui allègent le travail de la saignée (RRIM, 2009). C'est ainsi qu'en Thaïlande, l'inventeur Manayi Rahu a mis au point en 2010 un couteau de saignée manuel appelé *Hornbill Rubber Tapping Knife* (Couteau de saignée Hornbill) (Anonyme 2, 2018). Ce couteau est démontable et comporte une lame inoxydable remplaçable, qui n'a pas besoin d'être aiguisée. Sa lame peut être réglée en fonction du type d'écorce (mince ou épaisse) à saigner et par conséquent, éviter les saignées trop profondes qui blessent les hévéas et conduisent à terme à l'assèchement de leurs encoches de saignée (Tra, 2022).

1.7.4. Importance de la fertilisation minérale dans la lutte intégrée contre l'encoche sèche de l'hévéa

À l'instar des autres plantes cultivées, l'hévéa puise les éléments minéraux dans le sol avec son système racinaire (Allé, 2016). Cependant, dans la pratique, les besoins en éléments minéraux nutritifs ne sont pas les mêmes aux différentes phases de vie des hévéas, et surtout le système racinaire n'a pas la même faculté d'exploitation du profil cultural (George *et al.*, 1997 ; Bataglia *et al.*, 1998). En effet, les phases de pépinières, jardins à bois de greffes et cultures immatures nécessitent une fumure à base d'azote (urée) et de phosphore (PCa₃) activant la croissance de l'arbre alors que la phase de culture mature exige une fumure à base du potassium (KCl) qui a un effet sur la production (Allé, 2016).

Relativement aux plantations matures, la fertilisation minérale peut présenter un double intérêt lié à l'amélioration de la production de caoutchouc et au maintien de hauts rendements raison pour laquelle au Sri Lanka et en Malaisie, l'apport d'engrais minéral N-P-K est systématique, graduel et croissant à partir de 1000 à 1400 kg.ha⁻¹ de caoutchouc produit (Compagnon, 1986 ; Allé, 2016).

Par ailleurs, d'autres effets bénéfiques de la fertilisation minérale ont été rapportés sur :

- la hauteur, la circonférence et le poids sec de caoutchouc à l'issue de l'application de 56,25 g.plant⁻¹ de fumure minérale (N-P-K-Mg) sur le clone RRIM 2001 de *Hevea brasiliensis* (Shafar *et al.*, 2012) ;

- la conservation de la fertilité du sol, le maintien des substances nutritives de la plante, l'augmentation de la production et la tolérance des feuilles aux maladies (Wijaya, 2013) ;
- l'augmentation significative du rendement de la quatrième année à la septième année de saignée après l'application de potassium (K) à 100 kg.ha⁻¹ (Punnoose *et al.*, 1978).

Toutefois, Compagnon (1986) soutient que les réponses à des applications d'engrais ne sont pas les mêmes selon les éléments apportés. Les applications d'engrais N-P-K donnent des réponses positives dont l'intensité varie en fonction du type de sol, du précédent cultural et de la plante de couverture. À cet effet, il est important de souligner que l'azote (N) est un constituant des protéines et des bases des acides nucléiques. Il est indispensable à la croissance et à la production de l'arbre. Le déficit en N entraîne une diminution de la taille et du nombre de feuilles et une chlorose générale. Son excès entraîne une accumulation de nitrate qui devient néfaste à la santé de la plante (Compagnon, 1986 ; Allé, 2016).

Le phosphore (P), quant à lui, intervient dans la photosynthèse, la division cellulaire, le catabolisme des glucides et joue un rôle structural dans la constitution des membranes cellulaires, d'où son importance pour la croissance végétative. Il est également impliqué dans la floraison, la nouaison, la précocité, le grossissement des fruits, la maturation des graines et la production. La carence en P entraîne une réduction des feuilles et la plante reste alors rachitique (Compagnon, 1986 ; Allé, 2016).

Le potassium (K) est un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies. Il favorise la photosynthèse et est essentiel pour le transfert des produits de la synthèse chlorophyllienne vers les organes de réserves (bulbes et tubercules). Il accroît la circonférence des arbres exploités et reconstruit l'écorce consommée par la saignée (Allé, 2016).

Le déficit en K affecte l'épaisseur de l'écorce, le nombre et la taille des vaisseaux laticifères (Compagnon, 1986 ; Allé, 2016).

1.7.5. Importance du gel de *Aloe vera* dans la lutte intégrée contre l'encoche sèche de l'hévéa

De manière générale, un extrait végétal désigne une solution obtenue par immersion d'une plante dans un solvant (eau, alcool) ou par distillation afin que le végétal libère les éléments minéraux et les molécules complexes qu'il contient (Marcantoni, 2018). Les extraits végétaux sont utilisés depuis des millénaires en agriculture. Leur intérêt a été marqué par le développement de l'agriculture biodynamique et la recherche d'alternatives aux produits phytosanitaires (Marcantoni, 2018).

S'agissant de l'extrait de la plante *Aloe vera*, des études ont montré que le gel contient du calcium, du potassium, du magnésium et du sodium en quantité importante capables de contribuer à la santé des cellules et de renforcer les défenses des arbres (Michayewicz, 2013). Selon Michayewicz (2013), de nombreuses vitamines sont, en outre, retrouvées dans le gel de *Aloe vera* à savoir :

- les vitamines A, C et E qui, de manière indirecte, aident à protéger les cellules et favorisent la santé globale des arbres grâce à leurs propriétés antioxydantes ;
- la vitamine B1 ou thiamine qui jouent un rôle métabolique essentiel dans le fonctionnement cellulaire ;
- la vitamine B2 ou riboflavine qui est importante pour la santé des tissus ;
- la vitamine B3 ou vitamine PP ou nicotamide qui aide à réguler le métabolisme ;
- la vitamine B6 ou pyridoxine qui intervient comme coenzyme dans de nombreuses réactions impliquant les acides aminés.

Par ailleurs, les propriétés antifongiques, antibactériennes et antivirales du gel de *Aloe vera* ont été rapportées dans plusieurs travaux (Mpiana *et al.*, 2020 ; Ignacio *et al.*, 2020). De plus, les effets bénéfiques du gel ont été rapportés sur la conservation post-récolte des fruits et légumes. En effet, les travaux de Wilson (2020) ont montré que le gel de *Aloe vera* a été efficace comme biopesticide sur l'aubergine. Le gel a, de plus, été efficace comme matériau d'enrobage des mangues pour empêcher la détérioration microbienne (Dang *et al.*, 2008). Pour finir, le gel de *Aloe vera* contient des élastines qui sont capables de restaurer le bon fonctionnement des cellules.

**DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL
ET MÉTHODES**

2.1. PRÉSENTATION DES ZONES D'ÉTUDE

2.1.1. Zones d'enquêtes et de collecte des données

Les différentes enquêtes et collectes de données de cette étude ont été réalisées dans les plantations des sociétés agro-industrielles des zones Sud-Ouest (San-Pedro), Sud-Est (Anguédédou) et Ouest (Zagné) de la Côte d'Ivoire (Figure 11). Le choix de ces zones se justifie d'abord par le fait qu'elles soient des zones traditionnelles de culture de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Ces zones sont aussi géographiquement différentes, offrant ainsi une certaine variabilité des éléments à étudier. Ensuite, par le fait qu'on y retrouve un grand nombre d'exploitations hévéicoles, notamment les plantations agro-industrielles qui ont une bonne traçabilité et un meilleur historique. Enfin, ces localités présentent une typologie variée des exploitations (jeunes et vieilles cultures d'hévéa) et une grande surface de production mise en valeur (600 à 5000 hectares).

À San-Pedro, l'étude a été conduite dans les plantations agro-industrielles de la Société Civile et Agricole du Sud-Ouest (SCASO) et de l'Exploitation agricole Téhui (EXAT). Cette région a pour coordonnées géographiques 4°45'N, 6°38'O. Elle est caractérisée par une pluviométrie qui varie entre 1800 à 2000 mm par an et une insolation annuelle de 1700 à 1800 heures. La température moyenne est de 25 °C avec des variations saisonnières de faible amplitude (Brou, 2005). Les mois les plus chauds étant février, mars et avril (28,5 à 29 °C) et les mois les plus frais étant août et septembre (25,6 °C en moyenne) (Kéli *et al.*, 1992). Le sol est de type ferrallitique, dérivé de migmatites et de schistes, argilo-sableux, pauvres en bases échangeables, avec un horizon gravillonnaire et de fréquentes cuirasses latéritiques. Le climat de cette région est de type subtropical humide avec quatre saisons nettement différenciées par leur régime pluviométrique dont deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. L'humidité relative est de 90 % (Brou, 2005).

À Anguédédou, les collectes de données ont été réalisées dans les plantations agro-industrielles de la société Tropical Rubber Côte d'Ivoire (TRCI). La zone d'Anguédédou, située dans la sous-préfecture de Songon, a pour coordonnées géographiques 5°19'N, 4°09'O (Brou, 2005). Cette région est caractérisée par un climat subtropical humide à deux saisons sèches et deux saisons de pluies nettement différenciées. La pluviométrie est relativement abondante, 1800 à 2000 mm.an⁻¹, avec une variabilité intra et inter annuelle importante (Obouayeba, 1991). Les sols sont majoritairement ferrallitiques, dérivés de sables tertiaires, sablo argileux profonds, pauvres en bases échangeables (fortement désaturés) et à réaction acide (Kéli *et al.*, 1992).

La végétation est une forêt défrichée ombrophile. La température moyenne de la zone est de 26 °C avec une insolation annuelle de 2000 à 2100 heures (Brou, 2005).

À Zagné, l'étude a été réalisée sur le site de la Compagnie Hévécicole de Cavally (CHC). Cette société agro-industrielle est située à 573 km d'Abidjan et à 450 km de San-Pedro, dans le département de Taï, plus précisément dans la sous-préfecture de Zagné, de coordonnées géographiques 6°13'N, 7°29'O (Neobot, 2020). La température moyenne de la zone varie entre 18 et 36 °C. Le climat y est chaud et humide avec une pluviométrie comprise entre 1000 et 1500 mm.an⁻¹. Deux saisons pluvieuses (avril-juillet ; septembre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-mars ; juillet-septembre) lui procurent une végétation homogène avec une forêt dense et humide, contenant une diversité d'espèces forestières (Neobot, 2020).

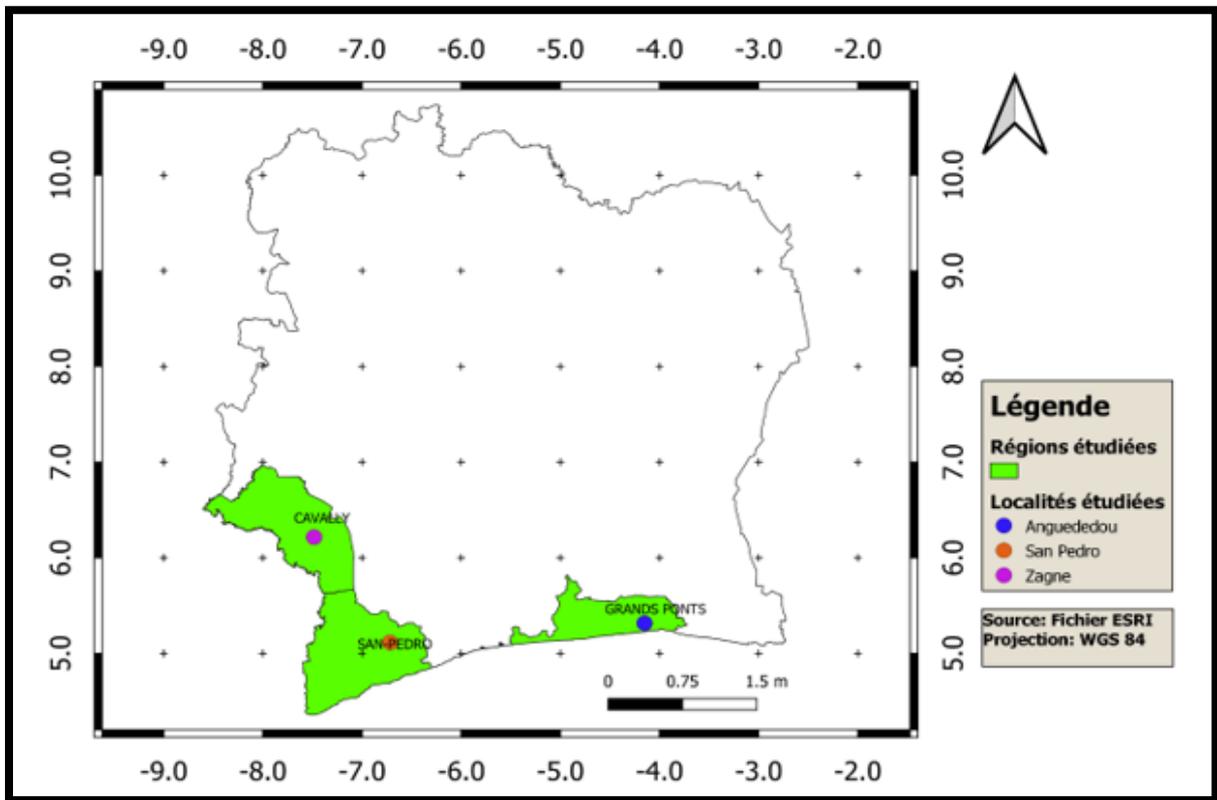


Figure 11. Différentes zones d'étude

2.1.2. Zones d'expérimentations

Les expérimentations de cette étude ont été réalisées à San-Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) et à Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire).

À San-Pedro, c'est le domaine hévécicole de la société agro-industrielle EXAT, situé à environ 41 km de la ville de San-Pedro sur l'axe Méagui-Gabiadji, qui a été choisi.

Ce choix se justifie par la disponibilité de parcelles de jeunes cultures, la disponibilité de la main d'œuvre saigneur et l'accessibilité du site en toute saison. De plus, le domaine a un climat subéquatorial influencé par quatre saisons dont deux saisons sèches (la grande de

décembre à avril et la petite d'août à septembre) et deux saisons pluvieuses (la grande de mai à juillet et la petite d'octobre à novembre). La température moyenne est de l'ordre de 26 °C et l'humidité est généralement élevée (90 %). Le domaine est également soumis à un régime de vents assez violents en début de saison des pluies. Le sol est du type argilo-sableux meuble et profond. Il présente également des sols hydromorphes. Quant à la végétation, elle est composée de plantations d'hévéa séparées par des forêts dégradées. Le principal cours d'eau est la rivière Gô qui est un affluent de la rivière de San-Pedro. Tout le domaine est drainé par un réseau d'affluents du Gô. Le relief est constitué d'un plateau entouré de quelques collines peu élevées séparées par des bas-fonds impropres à l'hévéaculture (Kouakou, 2020).

À Daloa, l'essai a été conduit à 3 km du corridor d'Issia sur l'axe Daloa-Issia, plus précisément dans le campement Oro. Ce choix se justifie par la disponibilité de parcelles monoclonales d'hévéas, la disponibilité de la main d'œuvre saigneur, l'accessibilité du site en toute saison et la proximité d'un champ de *Aloe vera*. Par ailleurs, le climat de la zone est de type tropical humide et chaud. Le climat est de type subéquatorial marquée par deux saisons dont une saison sèche (novembre à février) et une saison des pluies (mars à octobre) (Zean *et al.*, 2018). La température varie de 24,65 à 27,75 °C en moyenne, avec de faibles amplitudes annuelles de l'ordre de 5 °C. La pluviométrie moyenne de ces dix dernières années est de 1302,23 mm de pluie par an. Cela favorise une croissance soutenue des végétaux tout au long de l'année (Kouadio, 2021). Quant à la végétation, elle est de type forestier au Sud et de type savanicole arboré au Nord (Zean *et al.*, 2018). Les sols de Daloa sont en général ferrallitiques moyennement lessivés sur terres fermes et hydromorphes sableux dans les bas-fonds (Zro *et al.*, 2018).

2.2. MATÉRIEL

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude a été constitué de clones de *Hevea brasiliensis* vulgarisés (Figure 12). De façon générale, ces clones font partie des trois classes d'activités métaboliques de l'hévéa (Jacob *et al.*, 1995 ; Gohet *et al.*, 1996) et sont cultivés à la fois dans les plantations agro-industrielles et villageoises. Toutefois, leur mode de recensement a différé en fonction de l'étude à réaliser.

Pour les enquêtes et collectes de données, les clones d'hévéas ont été recensés *in situ* à travers les principales zones de production hévéicole ivoirienne visitées. Quant aux expérimentations, les clones GT1, IRCA 331 et PB 260 ont été utilisés.

Le clone GT1 (Gondang Tapan 1) est un clone originaire de Java en Indonésie. C'est le clone de référence en Côte d'Ivoire. Sa croissance est modérée avant la mise en saignée (Obouayeba, 2005 ; Kouakou, 2022). Sa production par arbre et par saignée, peu élevée, est compensée par sa bonne homogénéité, sa sensibilité moyenne à l'encoche sèche et sa résistance moyenne à la casse due au vent. Ce clone appartient à la classe d'activité métabolique intermédiaire (CIRAD, 1993 ; Kouakou, 2022).

Le clone IRCA 331 est, quant à lui, originaire de Côte d'Ivoire, plus précisément de l'ex Institut de Recherche sur le Caoutchouc (IRCA). Il est issu du croisement entre GT1 et PB 5/51. Ce clone suscite un intérêt particulier chez les hévéaculteurs à cause de ses caractéristiques agronomiques intéressantes (SAPH, 2019). Il est en outre un clone à métabolisme intermédiaire dont les caractéristiques sont comparables à celles du clone GT1.

Le clone PB 260 (Prang Besar 260) est originaire de Malaisie. Il est issu du croisement génétique entre PB 5/51 x PB 49. C'est un clone vigoureux et très homogène. Il est caractérisé par une faible réserve en saccharose au sein du latex, un risque de déséquilibre physiologique en cas de surstimulation, une défoliation relativement tardive et une taille réduite à l'âge adulte. Ce clone est également caractérisé par sa sensibilité à l'encoche sèche et sa résistance moyenne à la casse due au vent. Il appartient à la classe des clones à métabolisme rapide (CIRAD, 1993 ; Koffi, 2023).



Figure 12. Plantation d'hévéa

2.2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude a été constitué de gel de *Aloe vera*. Ce gel a été extrait des feuilles matures âgées de deux ans de la plante de *Aloe vera* (Figure 13) ; notamment des feuilles les plus proches du sol.



Figure 13. Feuilles matures de *Aloe vera*

2.2.3. Matériel chimique

Le matériel chimique de l'étude a été composé de produits stimulants à base d'Éthéphon d'une part et d'engrais minéraux d'autre part. Le nom commercial du produit stimulant utilisé dans le cadre des expérimentations a été HEVETEX 5 % PA. Les engrais simples utilisés ont été l'urée ($[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$) titré à 46 % d'azote (N), le phosphate tricalcique (PCa_3) titré à 33 % de P_2O_5 et le chlorure de potassium (KCl) titré à 60 % de K_2O (Allé, 2016).

2.2.4. Matériel technique

Le matériel technique utilisé lors des enquêtes et des collectes de données a été essentiellement composé de fiches pour les relevés et de paires de lunettes pour la protection des yeux.

Quant aux expérimentations, le matériel utilisé a été diversifié et à usage varié. Des bandes de couleurs ont été utilisées pour matérialiser les différents traitements. Des pots de peinture ont été utilisés pour numéroter les arbres sélectionnés. Un appareil photo numérique de marque Finepix S a été utilisé pour les prises de vues. Une tarière et un marteau ont été

utilisés pour le prélèvement des échantillons de sols. Une perche a été utilisée pour la collecte des feuilles d'hévéas à analyser au laboratoire. Des journaux papiers et du scotch ont été utilisés pour l'emballage et l'étiquetage des échantillons de feuilles. Une balance ordinaire de marque Seca a été utilisée pour la pesée des engrais simples. Des récipients en caoutchouc ont été utilisés pour l'épandage des engrais. Des couteaux de saignée ont été utilisés pour la saignée des hévéas. Des pierres à aiguiser ont été utilisées pour l'affûtage des couteaux de saignée. Un poinçon standard a été utilisé pour la mesure de la profondeur de saignée. Un savon de Marseille et de l'eau potable ont été utilisés pour le lavage des feuilles de *Aloe vera*. Un couteau ordinaire de cuisine a été utilisé pour la section des feuilles de *Aloe vera*. De l'alcool a été utilisé pour la stérilisation du couteau et la désinfestation des feuilles de *Aloe vera*. Un mixeur de marque ITEL a été utilisé pour le mixage du gel. Un contenant plastique a été utilisé pour recueillir le gel après le mixage. Un pinceau a été utilisé pour l'application du gel de *Aloe vera* et produit stimulant sur l'encoche de saignée des hévéas. Un peson de marque Hanging-Scale a été utilisé pour la pesée des coagulums. Un ruban mètre a été utilisé pour la mesure de circonférence. Une réglette graduée a été utilisée pour la mesure de la consommation d'écorce.

2.3. MÉTHODES

Quatre méthodes ont été suivies dans le cadre de cette étude. La première a consisté à faire un état des lieux de la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de productions ivoiriennes. La deuxième méthode a consisté à étudier l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa. La troisième méthode a consisté à évaluer l'incidence de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa. La quatrième méthode a, quant à elle, permis de tester l'efficacité du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » des hévéas.

2.3.1. État des lieux du syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production de Côte d'Ivoire

Cette étude a été réalisée en vue d'actualiser les données sur la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Elle a également permis d'évaluer les facteurs agronomiques et biologiques susceptibles d'influencer la sensibilité des hévéas. Pour ce faire, des enquêtes et collectes de données ont été réalisées à travers les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédedou.

2.3.1.1. Enquête sur les pratiques agronomiques des plantations agro-industrielles

2.3.1.1.1. Élaboration des fiches d'enquêtes

Pour inventorier les pratiques agronomiques des sociétés agro-industrielles susceptibles d'influencer la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa, des fiches d'enquêtes ont été élaborées.

De manière générale, elles ont porté sur l'historique de création des plantations, les pratiques culturales et les techniques de récolte de latex.

De ce fait, les différentes informations collectées ont porté sur le dispositif de plantation, le clone cultivé, la classe d'activité métabolique du clone, le type de couteau de saignée, l'orientation de saignée, la longueur d'encoche saignée, la fréquence de saignée, la hauteur du panneau de saignée, la nature de l'écorce, la durée d'exploitation, la dose et la fréquence de stimulation (Annexe 2). En effet, le dispositif de plantation est crucial pour maximiser la productivité et la durabilité des exploitations hévéicoles. Le clone d'hévéa, quant à lui, permet d'optimiser la production de caoutchouc lorsque sa sélection, basée principalement sur sa classe d'activité métabolique, est adaptée aux conditions locales des exploitations. Le couteau de saignée renseigne sur la qualité de l'extraction du latex de l'hévéa. L'orientation de la saignée et la longueur d'encoche saignée influencent le rendement et la santé des hévéas. La fréquence de saignée, quant à elle, est un élément clé qui permet d'améliorer les opérations de la saignée. La hauteur du panneau de saignée permet de maximiser la production de latex lorsqu'elle est variée en fonction des conditions de culture. La nature de l'écorce (épaisse, fine, saine, endommagée) conditionne l'extraction du latex et la résistance aux maladies. La durée d'exploitation est essentielle pour optimiser la production du latex, planifier la récolte et garantir la durabilité des exploitations. La dose et la fréquence de stimulation permettent de maximiser la production de latex tout en maintenant la santé des hévéas.

2.3.1.1.2. Déroulement de l'enquête sur le terrain

Les activités d'enquête se sont réalisées d'octobre 2020 à février 2021 au sein des sociétés agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou. À cet effet, un travail préliminaire a été effectué au bureau avec les responsables des plantations (chefs de plantation, surveillants, contrôleurs, chefs d'équipes). L'objectif de cette séance de travail était de répertorier les parcelles des clones d'hévéas vulgarisés appartenant aux trois classes d'activités métaboliques. Ce répertoire a permis de dégager la liste complète de ces clones et leurs années de culture en fonction des différentes alternances de la plantation. Par la suite, des visites de terrain ont été réalisées sur chacune des parcelles sélectionnées.

Muni des fiches de questionnaire préalablement établies, l'interview des responsables des plantations s'est faite de manière directe, à partir des observations faites.

2.3.1.2. Évaluation des pratiques agronomiques susceptibles d'influencer la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

À la suite des enquêtes, de nouvelles visites de parcelles ont été réalisées. L'objectif était, cette fois, d'évaluer les pratiques agronomiques des producteurs à travers des relevés d'encoches sèches. Pour ce faire, les hévéas de la ligne diagonale de la parcelle ont été sélectionnés (Figure 14). En tenant compte de la configuration des différentes parcelles après l'élimination des arbres de bordure, le nombre d'arbres à inspecter a varié de 10 à 100. Ensuite, muni de fiches de relevés (Annexe 3), un saigneur a été sollicité pour saigner tous les hévéas choisis.

La méthode de relevé rapide par estimation visuelle de Van De Sype (1984) a permis de rendre compte de l'état d'avancement de l'encoche sèche après la saignée (Okoma *et al.*, 2009). Les hévéas présentant un écoulement normal de latex sur toute la longueur de l'encoche ont été considérés comme sains et notés zéro (0). Les autres ont été considérés comme des arbres atteints d'encoche sèche et notés de 1 à 6 suivant la longueur de l'encoche qui ne produit pas de latex (Tableau I ; Figure 15). Les données brutes de relevé d'encoche sèche ont permis de déterminer le taux d'encoche sèche ou longueur d'encoches malades (LEM) de chaque parcelle (Okoma, 2008) selon la formule suivante :

$$\text{LEM} = \frac{(0,1 n_1 + 0,3 n_2 + 0,5 n_3 + 0,7 n_4 + 0,9 n_5 + n_6)}{N} \times 100 \quad (1)$$

N = Nombre total d'arbres de la plantation ; Coefficients 0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,9 et 1 = Moyennes des classes de pourcentage de longueur d'encoche de saignée non productrice de latex ; n1 ; n2 ; n3 ; n4 ; n5 et n6 = Nombres d'arbres observés par classe de pourcentage de longueur d'encoche de saignée non productrice de latex.

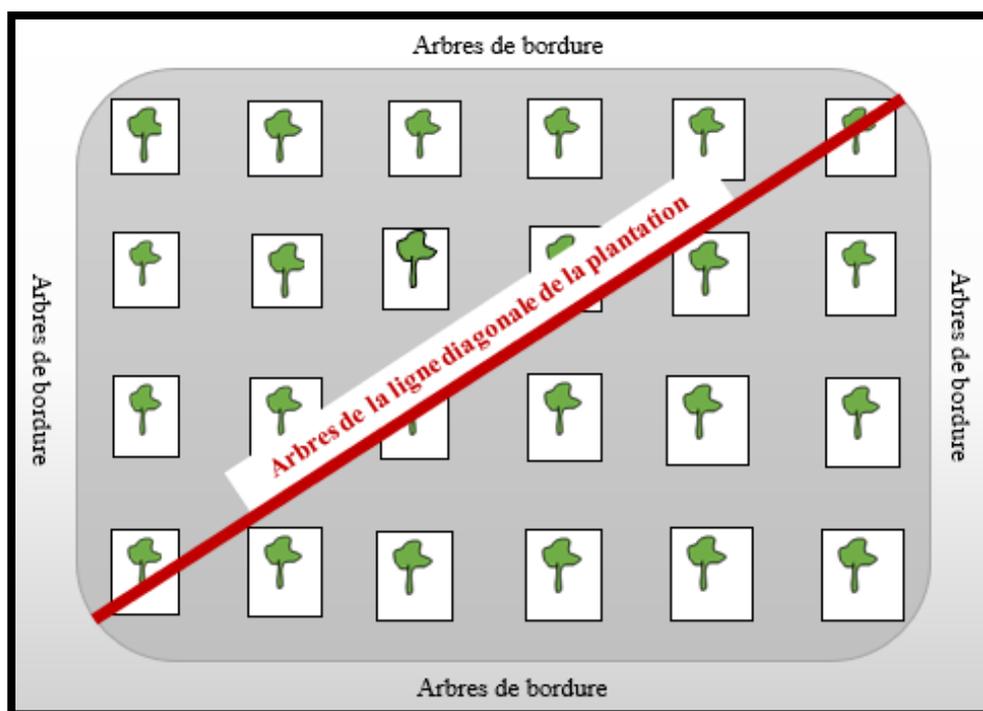


Figure 14. Mode de collecte des données à l'échelle parcellaire et clonale utilisé au cours de l'évaluation des pratiques agronomiques des plantations agro-industrielles des zones de prospection

Tableau I. Échelle de notation des longueurs d'encoche malade relevées dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou

Note	LEM (%)	Signification
0	0	Arbres sains
1	1 à 20	Arbres atteints d'encoche sèche de très faible niveau
2	21 à 40	Arbres atteints d'encoche sèche de faible niveau
3	41 à 60	Arbres atteints d'encoche sèche de niveau moyen
4	61 à 80	Arbres atteints d'encoche sèche de niveau assez élevé
5	81 à 99	Arbres atteints d'encoche sèche de niveau élevé
6	100	Arbres atteints d'encoche sèche totale ou arbres secs

LEM (%) = Longueur d'encoche malade en pourcentage

Source (Okoma, 2008)

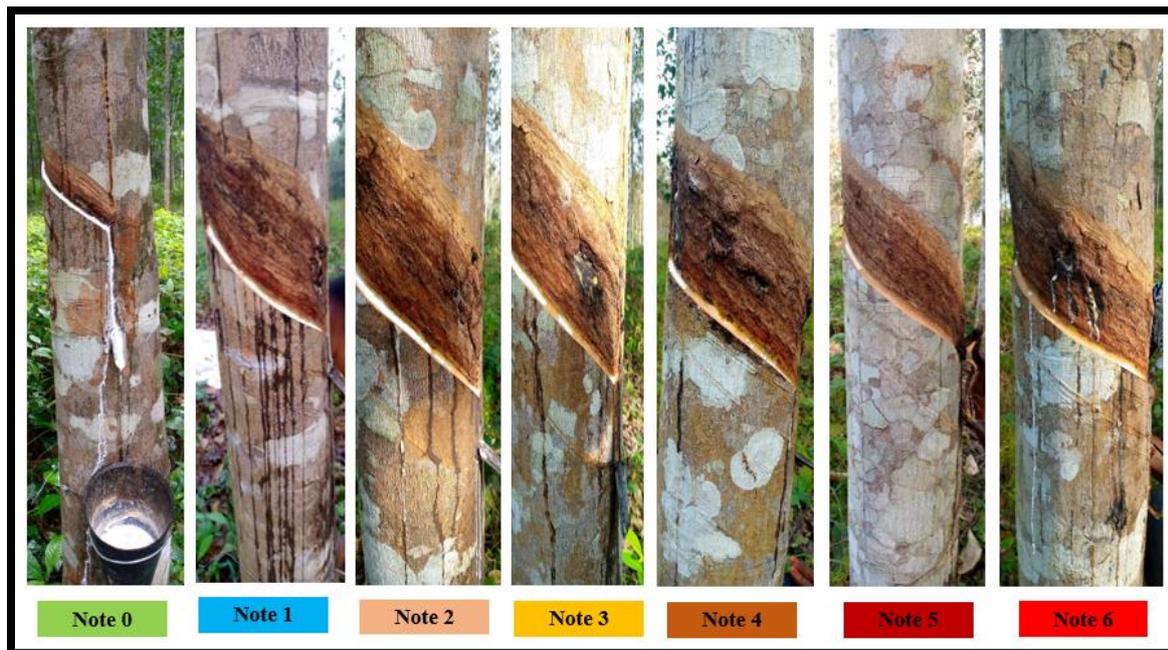


Figure 15. Échelle de notation de 0 à 6 des longueurs d'encoche malade des hévéas relevées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

2.3.1.3. Évaluation des facteurs biologiques susceptibles d'influencer la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

Cette étude a été réalisée sur les trois bioagresseurs les plus redoutables de l'hévéa en Côte d'Ivoire que sont *Corynespora* sp. (champignon responsable de la maladie provoquant la chute des feuilles), *Fomes* sp. (champignon responsable des pourridiés de racines) et les Loranthaceae (plantes parasites). L'inventaire de ces bioagresseurs a été effectué concomitamment aux relevés d'encoche sèche. À cet effet, les mêmes arbres de la ligne diagonale de la parcelle (variant de 10 à 100) dont les longueurs d'encoche malade (LEM) avaient été précédemment relevées ont, de nouveau, été inspectés. Pour chaque arbre observé, la présence (note 1) ou l'absence (note 0) (Faye *et al.*, 1989) des bioagresseurs a été enregistrée sur les fiches de relevés (Annexe 4). Le recensement de ces bioagresseurs a été réalisé grâce à quelques paramètres d'identifications (Figure 16) et/ou aux données d'archives des rondes phytosanitaires.

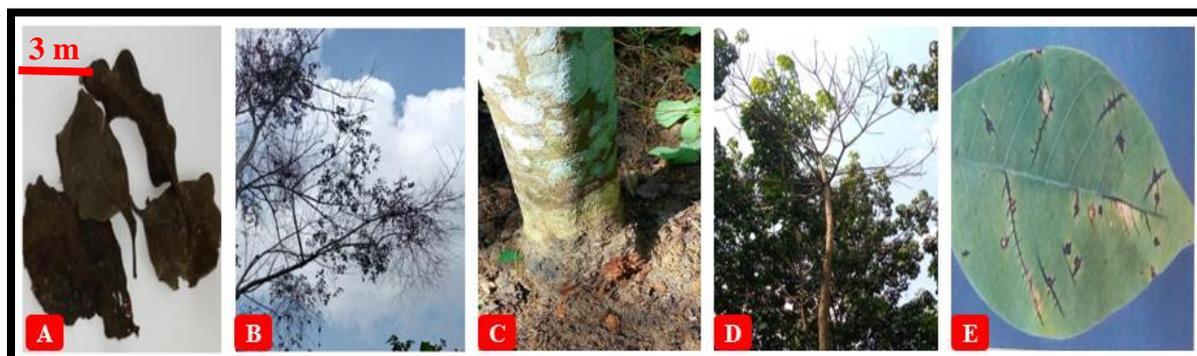


Figure 16. Quelques paramètres d'identifications des principaux bioagresseurs de l'hévéa
 A = Feuilles de Loranthaceae ; B = Touffes de Loranthaceae ; C = Fomes racinaire ; D = Défoliation liée au *Fomes* sp. ; E = Feuille attaquée par *Corynespora* sp.

2.3.2. Étude de l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

Cette étude a été réalisée en vue d'étudier l'effet d'un possible stress hydrique sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa. Pour ce faire, les données pluviométriques en rapport avec le calendrier cultural couvrant toute la période de planting des hévéas jusqu'à la période de relevés de cette étude ont été collectées et analysées.

2.3.2.1. Collecte des données pluviométriques

Conjointement aux enquêtes et collectes de données, les données pluviométriques ont été collectées auprès des stations SODEXAM des différentes zones visitées. Ces données ont été tirées des archives et dataient d'au moins 30 ans en arrière (Assani, 1999) à compter d'octobre 2020.

2.3.2.2. Exploitation des données pluviométriques

L'exploitation des données pluviométriques a d'abord consisté à analyser leur évolution au cours du temps afin de vérifier si elles correspondent aux saisons pluviométriques classiques de la Côte d'Ivoire. À cet effet, les valeurs moyennes mensuelles de ces données pluviométriques ont été calculées et analysées afin d'identifier les périodes de l'année caractérisées par des périodes sèches et des périodes de pluies abondantes. Ensuite, des ruptures pluviométriques ont été recherchées aux moyens du test non-paramétrique de Pettit (1979). Enfin, des indices pluviométriques annuels ont été calculés grâce à la formule de Nicholson *et al.* (1988).

2.3.2.3. Relation entre les données pluviométriques et la sensibilité à l'encoche sèche

Pour déterminer la relation entre les données pluviométriques et la sensibilité à l'encoche sèche, les totaux pluviométriques annuels des différentes zones de cultures visitées ont d'abord été dégagés. Ensuite, une analyse comparée entre ces taux pluviométriques et les longueurs d'encoche malade (LEM) relevées d'octobre 2020 à février 2021 a été réalisée. Enfin, une étude de corrélation a été entreprise entre les deux paramètres en tenant compte des zones de culture.

2.3.3. Évaluation de l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa

Dans le cadre de cette étude, les trois nouvelles pratiques agronomiques évaluées sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa ont été :

- l'application des faibles doses de stimulation ;
- l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable et réglable (couteau Hornbill) ;
- la fertilisation minérale des plantations d'hévéas matures.

Le choix de ces méthodes de lutte agronomique repose sur le fait que les travaux de Okoma *et al.* (2011a) ont montré que les mauvaises pratiques agricoles contribuent pour 60 % à la survenue de l'encoche sèche.

Les différentes expérimentations de cette étude ont été conduites dans le domaine hévéicole de la société agro-industrielle EXAT à San-Pedro.

2.3.3.1. Effet des faibles doses de stimulation sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

Cette expérimentation a été conduite en vue d'évaluer l'effet des faibles doses de stimulation dans la lutte contre l'encoche sèche du clone d'hévéa GT1 nouvellement mis en saignée et jamais stimulé auparavant.

2.3.3.1.1. Mise en place de l'expérimentation sur les faibles doses de stimulation

L'essai a été conduit dans trois différentes parcelles séparées de 300 mètres. Chacune des parcelles avait une superficie d'un hectare. Les hévéas y ont été plantés en 2013 à la densité de 555 pieds à l'hectare selon le dispositif de plantation 6 m x 3 m et mis en saignée en novembre 2021.

Pour la mise en place de l'essai, chaque parcelle expérimentale a été subdivisée en cinq sous parcelles élémentaires de 0,20 ha chacune.

Après élimination des arbres de bordure, les arbres choisis pour l'essai ont été ceux dont la circonférence mesurée à 1,70 m du sol a été supérieure ou égale à 50 cm (Tableau II). Le dispositif expérimental utilisé a été celui des blocs de Fisher comportant cinq traitements et trois répétitions (Figure 17). Les cinq traitements de stimulation ont été les suivants :

- 0. ET2.5 % Pa1(1) 6/y(2m) = hévéa stimulé à 2,5 % d'Éthéphon (Témoin) ;
- 1. ET2.25 % Pa1(1) 6/y(2m) = hévéa stimulé à 2,25 % d'Éthéphon ;
- 2. ET2 % Pa1(1) 6/y(2m) = hévéa stimulé à 2 % d'Éthéphon ;
- 3. ET1.75 % Pa1(1) 6/y(2m) = hévéa stimulé à 1,75 % d'Éthéphon ;
- 4. ET1.5 % Pa1(1) 6/y(2m) = hévéa stimulé à 1,5 % d'Éthéphon.

Tableau II. Nombres d'arbres saignés traités par les différentes doses d'Éthéphon

Traitements	Nombre d'arbres saignés		
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
0. ET2.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	101	57	66
1. ET2.25 % Pa1(1) 6/y(2m)	97	69	98
2. ET2 % Pa1(1) 6/y(2m)	77	102	105
3. ET1.75 % Pa1(1) 6/y(2m)	96	88	103
4. ET1.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	105	45	74
Total d'arbres	476	361	446
Moyenne d'arbres	95	72	89

Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Témoin = Stimulé à l'aide d'Éthrel concentré à 2,5 % de matière active (Éthéphon) avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois

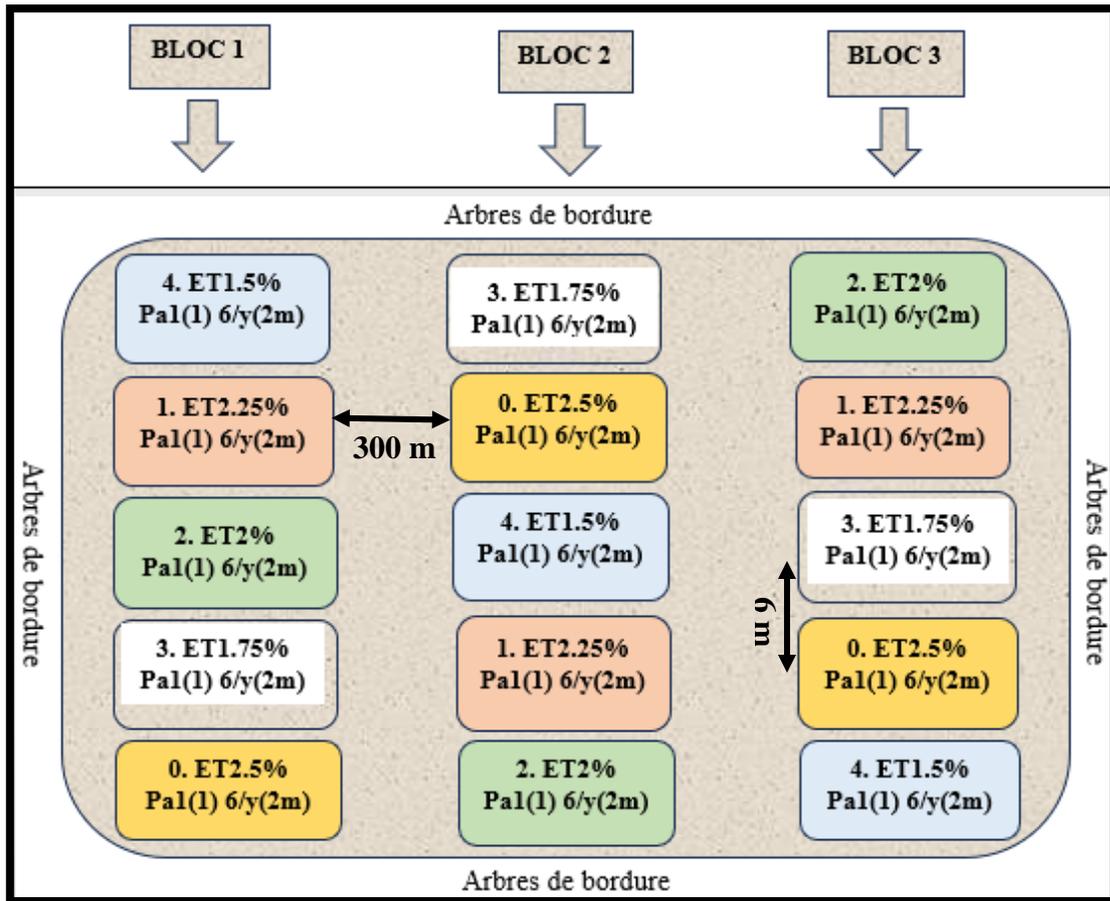


Figure 17. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet des doses de stimulation à base d'Éthéphon sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa GT1 en 1^{ère} année de saignée. Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Témoin = Stimulé à l'aide d'Éthrel concentré à 2,5 % de matière active d'Éthéphon avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois

2.3.3.1.2. Suivi et collecte des données sur les faibles doses de stimulation

L'expérimentation a été menée durant 27 mois (novembre 2021 à janvier 2024). Le suivi s'est fait en saignant les hévéas en demi-spirale descendante tous les cinq jours ouvrables (S/2 d5 6d/7) pendant 10 mois sur 12 (10m/12), soit 50 saignées dans l'année. Les différentes doses de stimulation des cinq traitements ont été appliquées en tenant compte de la classe d'activité métabolique du clone GT1 (clone à métabolisme intermédiaire) et de la durée de récolte du latex (1^{ère} année de saignée). Pour cela, six applications annuelles (6/y), réparties sur toute l'année et espacées de deux mois, en dehors des périodes de défoliation et de refoliation (février à mars) ont été appliquées. Au total 12 kg de produit stimulant prêt à l'emploi HEVETEX 5 % PA, à base d'Éthéphon (matière active) ont été utilisés pour toute la durée de l'expérimentation. Pour obtenir la dose témoin de 2,5 %, le produit stimulant brut (concentré à 5 %) a été dilué avec 10 litres d'eau.

Puis, à partir de la dose témoin de 2,5 %, les faibles doses à évaluer de 2,25 %, 2 %, 1,75 % et 1,5 % ont été obtenues en diluant le produit stimulant avec 2,5 litres d'eau en passant d'un traitement à un autre. Pour stimuler chaque arbre, 0,8 g du mélange (produit stimulant + eau) a été appliqué à l'aide d'un pinceau sur une bande de 1 cm du panneau de régénération (au-dessus de l'encoche de saignée).

Les paramètres mesurés dans cette étude ont été le taux d'encoche sèche, la circonférence des hévéas et la production de caoutchouc.

➤ **Relevé d'encoche sèche des hévéas**

Un relevé complet d'encoche sèche a été effectué sur tous les arbres de chaque parcelle expérimentale pour déterminer les arbres sains et les arbres « malades ». La méthode de relevé rapide de Van De Sype (1984) a été utilisée telle que décrite en 2.3.1.2, à la page 51. Les relevés ont été effectués tous les mois pendant 10 mois sur 12 (10m/12) en dehors des périodes de défoliation et de réfoliation (février à mars).

➤ **Mesures de circonférences des arbres et de l'accroissement moyen des arbres**

Sur chaque parcelle expérimentale, les mesures de circonférence des arbres ont été réalisées à 1,70 m du sol à l'aide d'un ruban mètre, pour apprécier la croissance des arbres au cours de la saignée. Cette hauteur a été choisie pour éviter la zone de saignée des arbres à 1,20 m du sol (Koffi, 2023). Les mesures des hévéas ont été faites au début de chaque campagne de saignée, puis une fois tous les trois mois. A la fin des trois campagnes de saignée, l'accroissement moyen annuel de la circonférence du tronc a été déterminé par la relation suivante :

$$\text{Accr}_{\text{moy}} = (\text{Circ}_i - \text{Circ}_0) / i \quad (2)$$

Accr_{moy} = Accroissement moyen annuel de circonférence (cm) ; Circ_i = Circonférence des arbres en fin d'expérimentation (cm) ; Circ_0 = Circonférence des arbres en début d'expérimentation (cm) ; i = Nombre d'année d'expérimentation.

➤ **Production de caoutchouc**

La production a été enregistrée arbre par arbre sur chaque parcelle élémentaire, tous les mois, au bout de cinq saignées. Cette production a été collectée à l'état coagulé. Le caoutchouc frais coagulé dans les conditions naturelles est appelé coagulum ou matière fraîche.

Ainsi, pour déterminer la masse de matière fraîche produite, les cinq coagulâts de chaque arbre ont été pesés à l'aide d'un peson de marque Hanging-Scale.

Puis, un coefficient de transformation (CT = 0,6) a été appliqué afin de déterminer la masse de caoutchouc sec produite à partir de la relation suivante (Koffi, 2023) :

$$\text{Production de caoutchouc sec} = \text{M.F} \times \text{C.T} \quad (3)$$

M.F = Matière fraîche de caoutchouc ; C.T = Coefficient de transformation = 0,6 (soit 60 %)

La production de caoutchouc sec a été exprimée en gramme par arbre et par saignée ($\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$), en gramme par arbre et par an ($\text{g.a}^{-1}.\text{an}^{-1}$) et en kilogramme par hectare et par an ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$). L'expression GP $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ a, quant à elle, désigné le gain (exprimé en pourcentage) de production en $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ des quatre faibles doses de stimulation testées comparativement au témoin stimulé à 2,5 %. Pour cela, une moyenne de 400 arbres par hectare a été définie pour exprimer la production de caoutchouc sec en $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ dans la mesure où le nombre d'arbres saignables par hectare peut varier d'une plantation à une autre (Soumahin, 2010 ; FIRCA, 2013a).

2.3.3.2. Effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

L'effet du couteau de saignée Thaïlandais Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche a été évalué en comparaison avec le couteau de saignée témoin ivoirien Aunain (Figure 18) sur le clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée.



Figure 18. Différents couteaux de saignée utilisés au cours de l'expérimentation pour évaluer leur effet sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée

A = Couteau de saignée démontable Hornbill ; B = Couteau de saignée témoin Aunain

2.3.3.2.1. Mise en place de l'essai sur le couteau de saignée Hornbill

L'expérimentation a été réalisée dans six différentes parcelles dont trois parcelles témoin saignées avec le couteau Aunain et trois autres parcelles saignées avec le couteau Hornbill. Les six parcelles ont été séparées de 1,5 km chacune et avaient une superficie d'un hectare (soit 6 ha au total). Les hévéas y ont été plantés en 2012 à la densité de 555 pieds à l'hectare selon le dispositif de plantation 6 m x 3 m et mis en saignée en 2019.

En novembre 2021, pour la mise en place de l'essai, les hévéas étaient déjà à leur 3^{ème} année de saignée. Les arbres de bordure de chacune des parcelles élémentaires d'un hectare ont été éliminés. À l'intérieur des carrés délimités, seuls les hévéas mesurant une circonférence supérieure ou égale à 50 cm ont été choisis (Tableau III). Le dispositif expérimental utilisé a été celui des blocs de Fisher comportant deux traitements et trois répétitions (Figure 19). Les deux traitements ont été les suivants :

- 0. Couteau Aunain = hévéa saigné avec le couteau classique Aunain (Témoin) ;
- 1. Couteau Hornbill = hévéa saigné avec le couteau Hornbill.

Tableau III. Nombres d'hévéas utilisés pour les différents couteaux de saignée

Traitements	Nombre d'arbres saignés		
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
0. Couteau Aunain	314	507	315
1. Couteau Hornbill	379	459	381
Total (arbres)	693	966	696
Moyenne (arbres)	346	483	348

0. Couteau de saignée Aunain = Témoin ; 1. Couteau de saignée Hornbill = Traitement 1

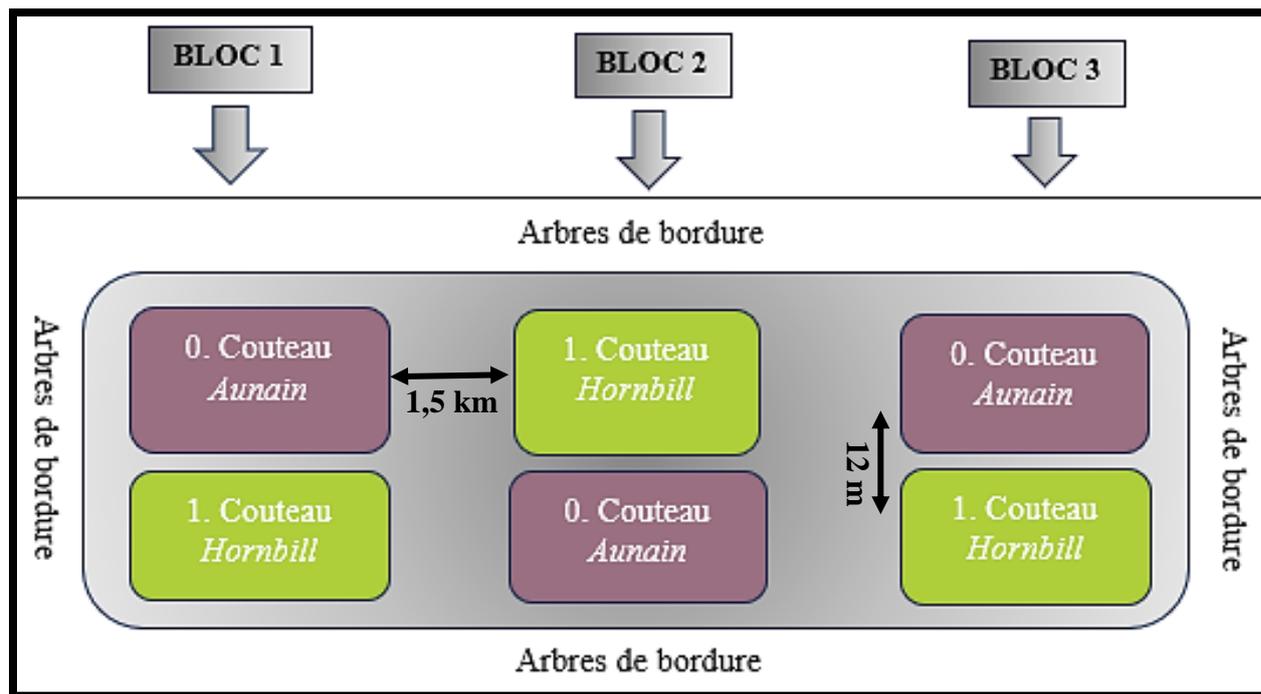


Figure 19. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée
 0. Couteau de saignée Aunain = Couteau de saignée Témoin ; 1. Couteau de saignée Hornbill = Traitement 1

2.3.3.2.2. Suivi et collecte des données sur le couteau de saignée Hornbill

L'étude a été conduite de novembre 2021 à janvier 2024 (soit 27 mois d'expérimentation). L'expérimentation s'est faite en saignant les hévéas en demi-spirale descendante tous les cinq jours ouvrables (S/2 d5 6d/7) pendant 10 mois sur 12 (10m/12), soit 50 saignées dans l'année. D'une part, les trois parcelles témoin ont été saignées avec le couteau Aunain. D'autre part, les trois autres parcelles ont été saignées avec le couteau Hornbill. Au cours de la saignée, lorsque les lames de saignée s'usaient, celles du couteau témoin Aunain s'aiguisaient à la pierre tandis que celles de couteau Hornbill se remplaçaient. En outre, les hévéas ont été stimulés à 2,5 % (ET2.5 %) tous les mois de l'année en dehors des périodes de défoliation-refoliation (soit 10 mois sur 12 ; FIRCA, 2013a) avec le produit stimulant prêt à l'emploi HEVETEX 5 % PA.

Les paramètres mesurés dans cette étude ont été le taux d'encoche sèche, les paramètres de qualité de saignée tels que la profondeur de saignée et la consommation d'écorce, la circonférence des hévéas et la production de caoutchouc.

➤ **Relevé d'encoche sèche des hévéas**

Tous les mois pendant 10 mois sur 12 (10m/12) un relevé complet d'encoche sèche a été effectué sur tous les arbres de chaque parcelle expérimentale. La méthode de relevé rapide de Van De Sype (1984) a été utilisée telle que décrite en 2.3.1.2, à la page 51.

➤ **Paramètres de qualité de saignée des différents couteaux**

La profondeur de saignée a été mesurée de façon mensuelle à l'aide d'un poinçon gradué en millimètre. Durant les 10 mois sur 12, elle s'est faite concomitamment avec le relevé d'encoche sèche. Ainsi, à chaque relevé, trois sondages de profondeur ont été effectués pour chacun des arbres de la parcelle expérimentale, en haut, au milieu et en bas de l'encoche de saignée (Figure 20). Ceci, en vue d'avoir une bonne appréciation de la profondeur de saignée sur toute la longueur de l'encoche.

Quant à la consommation d'écorce, elle a été mesurée au début de l'expérimentation puis une fois par an, en fin de campagne de saignée (fin janvier). Pour ce faire, une réglette graduée a été utilisée pour mesurer la consommation d'écorce sur la longueur du panneau de saignée, perpendiculairement à l'encoche de saignée. Les valeurs obtenues ont été exprimées en cm d'écorce consommée par an ($\text{cm}\cdot\text{an}^{-1}$). La consommation moyenne recommandée par saignée est consignée dans le tableau IV (FIRCA, 2013a).

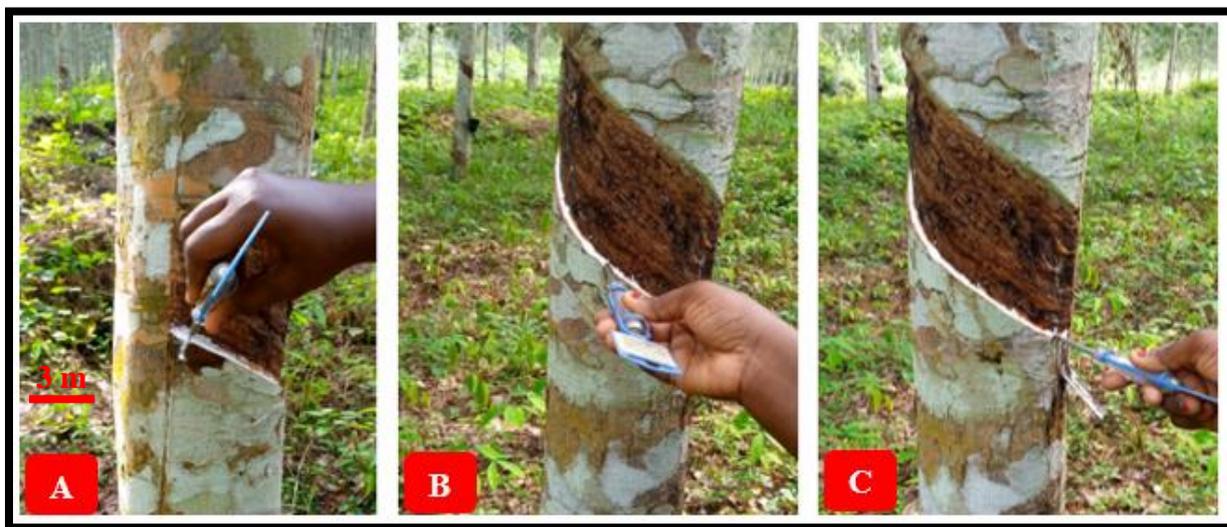


Figure 20. Sondage des différentes profondeurs de saignée en vue d'évaluer l'effet des couteaux de saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée

A = Sondage en haut de l'encoche ; B = Sondage au milieu de l'encoche ; C = Sondage en bas de l'encoche

Tableau IV. Consommation minimale et maximale d'écorce recommandée en fonction de la fréquence et de l'orientation de la saignée (FIRCA, 2013a)

Fréquence	d5		d6	
	Descendant	Inversée	Descendant	Inversée
Plage d'ouverture (mm)	20	20	20	20
Conso. journalière (mm)	1,6	1,9	2,0	2,2
Conso. trimestrielle (mm)	24,8	25,7	26	26,6
Conso. annuelle (mm)	100	115	120	130

Conso = Consommation d'écorce ; mm = Millimètre

➤ Mesures de circonférence des arbres et de l'accroissement moyen des arbres

La circonférence des hévéas a été mesurée arbre par arbre sur chaque parcelle élémentaire. Au début de chaque campagne de saignée, puis une fois chaque trois mois, les mesures ont été réalisées et calculées telles que décrites à la page 58.

➤ Production de caoutchouc

La production a été enregistrée arbre par arbre sur chaque parcelle élémentaire, tous les mois, au bout de cinq saignées. Elle a été collectée et calculée suivant la méthode décrite de la page 58 à la page 59.

2.3.3.3. Effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

Cette expérience a été conduite sur le clone IRCA 331 à métabolisme intermédiaire en 3^{ème} année de saignée en vue d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale des plantations d'hévéas matures sur la sensibilité à l'encoche sèche.

2.3.3.3.1. Mise en place de l'expérimentation sur la fertilisation minérale

L'essai a été mis en place dans une parcelle accidentée de 5,02 ha à trois niveaux topographiques que sont bas de pente, mi-pente et haut de pente. Chacun des trois niveaux topographiques, séparé de 50 m l'un de l'autre, a abrité une répétition de l'expérience (soit trois répétitions au total). Tous les hévéas de la parcelle ont été plantés en 2013 à la densité de 555 pieds à l'hectare selon le dispositif de plantation 6 m x 3 m et mis en saignée en 2020.

Pour la mise en place de l'essai, chaque parcelle expérimentale de chacun des trois niveaux topographiques a été subdivisée en six sous parcelles élémentaires (soit 18 parcelles élémentaires au total). Après élimination des arbres de bordure, les hévéas choisis pour l'essai ont été ceux dont la circonférence mesurée à 1,70 m du sol a été supérieure ou égale à 50 cm (Tableau V). Le dispositif expérimental utilisé a été celui des blocs de Fisher comportant six traitements et trois répétitions (Figure 21). Les six traitements de fertilisation ont été les suivants :

- 0. Sans engrais = hévéa non fertilisé (Témoin absolu) ;
- 1. KCl : 43 = hévéa fertilisé avec 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl (Témoin relatif fertilisé selon les recommandations de la filière pour les hévéas matures) ;
- 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = hévéa fertilisé avec 180N 60P 60K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) où N est majoritaire et P et K sont minoritaires ;
- 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = hévéa fertilisé avec 60N 180P 60K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) où P est majoritaire et N et K sont minoritaires ;
- 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = hévéa fertilisé avec 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) où K est majoritaire et N et P sont minoritaires ;
- 5. Fertilisé selon diagnostic = hévéa fertilisé selon le diagnostic pédologique et foliaire initial de la parcelle expérimentale.

Tableau V. Nombre d'arbres utilisés par traitement et par niveau topographique pour évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée

Traitements (kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Nombre d'arbres saignés		
	Bloc 1 (bas de pente)	Bloc 2 (mi-pente)	Bloc 3 (haut de pente)
0. Sans engrais	50	50	42
1. KCl : 43	39	47	50
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	43	51	49
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	43	50	42
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	50	46	49
5. Fertilisé selon diagnostic	44	52	50
Total	269	296	282

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Fertilisé selon le diagnostic de fertilité initial de la parcelle expérimentale

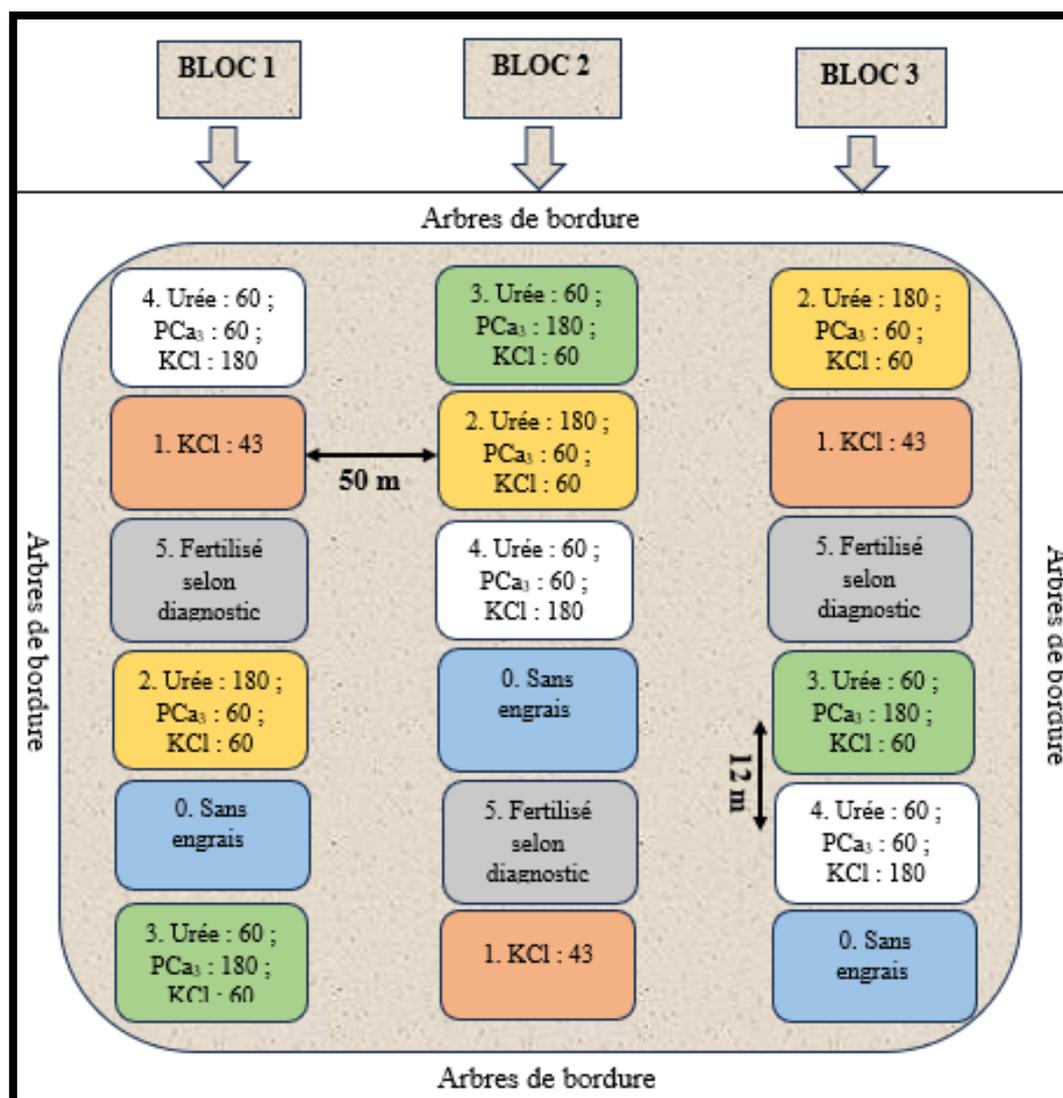


Figure 21. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée
 0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Fertilisé selon le diagnostic de fertilité initial de la parcelle expérimentale

2.3.3.3.2. Plan de fertilisation

Pour la fertilisation, un total de 300 kg.ha⁻¹.an⁻¹ d'engrais simples (Urée, PCa₃ et KCl) ont été utilisés en plus des 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl recommandés pour les hévéas matures (FIRCA, 2013c) (Tableau VI). Ce choix se justifie par le fait que ces nouvelles quantités ont donné des résultats probants en Asie (Soumahin *et al.*, 2010). La méthode utilisée pour l'application des engrais a été celle de la somme constante (Allé, 2016) qui vise à maintenir constante la somme des engrais simples en faisant varier leur proportion relative.

Au premier épandage d'engrais en juillet 2022 (fin de la grande saison des pluies), c'est la demi-dose des $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, soit $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 6 \text{ mois}^{-1}$ de la combinaison des engrais simples (Urée, PCa_3 et KCl), qui a été épandue à la volée dans les interlignes des hévéas matures. Six mois plus tard, c'est-à-dire en janvier 2023 (début de la défoliation-refoliation), l'épandage de la deuxième demi-dose a été effectué.

Tableau VI. Différents traitements et quantités d'engrais simples épandues dans les interlignes des plantations d'hévéas mature du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée

Traitements (kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Urée	PCa ₃	KCl	Total (kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	Observations
0. Sans engrais	0	0	0	0	Témoin sans engrais
1. KCl : 43	0	0	43	43	Témoin relatif
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	180	60	60	300	N majoritaire, P et K minoritaires
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	60	180	60	300	P majoritaire, N et K minoritaires
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	60	60	180	300	K majoritaire, N et P minoritaires
5. Fertilisé selon diagnostic					

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Fertilisé selon le diagnostic de fertilité initial de la parcelle expérimentale ; Suivant la méthode de la somme constante, Urée + PCa₃ + KCl = 300 kg.ha⁻¹.an⁻¹ à épandre en 2 demi-doses. La densité de référence est 555 arbres.ha⁻¹.

43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ = 21,5 kg.ha⁻¹.6mois⁻¹ = 21 500 g.555arbres⁻¹ = 38,74 g.arbre⁻¹ ;

60 kg.ha⁻¹.an⁻¹ = 30 kg.ha⁻¹.6mois⁻¹ = 30 000 g.555arbres⁻¹ = 54,05 g.arbre⁻¹ ;

180 kg.ha⁻¹.an⁻¹ = 90 kg.ha⁻¹.6mois⁻¹ = 90 000 g.555arbres⁻¹ = 162,16 g.arbre⁻¹

2.3.3.3. Suivi et collecte des données sur la fertilisation minérale

L'essai a été conduit de juillet 2022 à janvier 2024 (soit 19 mois d'expérimentation). Le suivi s'est fait en saignant les hévéas en demi-spirale descendante tous les cinq jours ouvrables (S/2 d5 6d/7) pendant 10 mois sur 12 (10m/12), soit 50 saignées dans l'année. À la fin de chaque mois, en dehors des périodes de défoliation-refoliation (soit 10 mois sur 12 ; FIRCA, 2013a), les hévéas ont été stimulés à 2,5 % (ET2.5 %) avec le produit stimulant prêt à l'emploi HEVETEX 5 % PA.

Les paramètres mesurés dans cette étude ont été la fertilité des sols sous hévéas, le taux d'encoche sèche, la circonférence des arbres et la production de caoutchouc.

- **Fertilité des sols sous hévéas**
- ❖ **Échantillonnage des sols et des feuilles**

Avant le premier épandage d'engrais, des échantillons de sol ont été prélevés sur les diagonales des parcelles élémentaires en juillet 2022 pour une caractérisation physico-chimique. À cet effet, 36 échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière (Figure 22). Ces échantillons ont été prélevés dans chacune des 18 parcelles élémentaires dans les horizons 0 à 20 cm et 20 à 40 cm. En outre, 20 feuilles d'hévéas ont été collectées dans chacune des 18 parcelles élémentaires. Ces feuilles ont été cueillies de l'étage terminal ou sub-terminal (à maturité) des branches basses situées à l'ombre sous la couronne des arbres. Après la collecte, les 36 échantillons de sol ont été regroupés en six échantillons composites, soit deux échantillons de profondeur 0 à 20 cm et 20 à 40 cm pour chacun des trois niveaux topographiques. En outre, les 18 échantillons de feuilles ont été regroupés en trois échantillons composites suivant les trois toposéquences de la parcelle.

À la fin de l'expérimentation en janvier 2024, un nouvel échantillonnage de sol et de feuilles a été réalisé en vue d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale sur la fertilité des sols et la nutrition des hévéas. Pour ce faire, 36 échantillons de sol et 18 échantillons de feuilles ont été prélevés tels qu'en début de l'expérimentation et analysés individuellement, cette fois-ci, au laboratoire.



Figure 22. Prélèvement des échantillons de sol

A = Tarière utilisée pour faire des brèches dans le sol ; B = Brèche de 40 cm de profondeur faite dans le sol

❖ Analyses du sol et des feuilles d'hévéa

Les échantillons de sol et des feuilles prélevés ont été analysés au laboratoire de sol et de végétaux de l'INPHB à Yamoussoukro. Au niveau du sol, les paramètres déterminés ont été la matière organique, l'acidité (pH eau), le phosphore assimilable, les bases échangeables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), l'azote total et le carbone organique. Quant aux feuilles, les paramètres déterminés ont été les teneurs en azote, en phosphore, en potassium, en calcium et en magnésium.

L'ensemble des paramètres a été déterminé à l'aide des méthodes suivantes :

- le pH eau, par la mesure dans une suspension sol-eau distillée au rapport de 1/2,5 par la méthode électrométrique décrite par Thomas (1996) ;
- les bases échangeables, par la méthode à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7,0 telle que décrite par Jackson (1967). Les dosages des cations ont été effectués selon les techniques de photométrie à flamme pour K^+ , Na^+ et Ca^{2+} et de spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA), pour Mg^{2+} ;
- la capacité d'échange cationique (CEC), par la même méthode que précédemment sauf que dans ce cas, il s'est agi du dosage de l'ion NH_4^+ , après désorption quantitative par K^+ ; c'est alors que les réactions d'échanges par décantation successive (ou méthode discontinue) ont été utilisées telles que décrites par Sumner et Miller (1996) ;
- le carbone organique (C), par attaque sulfo-chromique à froid ou méthode de Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1996) ;
- l'azote organique, par la méthode universelle de Kjeldahl telle que décrite par Bremner et Mulvaney (1982) ;
- le phosphore assimilable (P-ass), par la méthode Olsen et Dean (1965) modifiée à l'aide d'hydrogencarbonate de sodium ($NaHCO_3$) à pH 8,5 ;
- la teneur en matière organique (MO), qui contient en moyenne 58 % de carbone (C), a été déduite par la relation $MO (g.kg^{-1}) = C \times 1,72$;
- le rapport (C/N) a été basé sur les niveaux critiques d'interprétation de Boyer (1982) et de Landon (1984).

➤ Relevés d'encoche sèche des hévéas

La méthode de relevé rapide d'encoche sèche par estimation visuelle de Van De Sype (1984) a permis de rendre compte de l'état d'avancement de la « maladie » tel que décrit en

2.3.1.2, à la page 51. Tous les mois pendant 10 mois sur 12, les relevés complets ont été effectués en dehors des périodes de défoliation et de refoliation (février à mars).

➤ Mesures de circonférences des arbres

Au début de chaque campagne de saignée, puis une fois tous les trois mois, la circonférence des hévéas a été mesurée arbre par arbre sur chaque parcelle élémentaire. Les mesures ont été réalisées et calculées comme décrit à la page 58.

➤ Production de caoutchouc

Tous les mois, au bout de cinq saignées, la production a été enregistrée arbre par arbre sur chacune des 18 parcelles élémentaires. Cette production a été collectée et calculée suivant la méthode décrite de la page 58 à la page 59.

2.3.4. Test d'efficacité du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » des hévéas

Cette étude a été réalisée en vue de proposer un traitement biologique curatif contre l'encoche sèche de l'hévéa. Pour ce faire, le gel de *Aloe vera* a été appliqué sur les longueurs d'encoche malade du clone d'hévéa PB 260 en 9^{ème} année de saignée.

Les expérimentations ont été conduites dans le campement Oro situé à 3 km de Daloa.

2.3.4.1. Mise en place de l'essai sur le test d'efficacité du gel de *Aloe vera*

L'essai a été réalisé dans une parcelle de 8 ha. Tous les hévéas de la parcelle ont été plantés en 2008 à la densité de 555 pieds à l'hectare selon le dispositif de plantation 6 m x 3 m et mis en saignée en 2015.

Pour la mise en place de l'essai, après élimination des arbres de bordure, les hévéas choisis ont été ceux atteints d'encoches sèches totales (arbres secs ayant 100 % de longueurs d'encoches malades) et en arrêt de saignée. Ces hévéas mesuraient, en outre, à 1,70 m du sol une circonférence supérieure ou égale à 50 cm (Tableau VII). Le dispositif expérimental utilisé a été celui du monoarbre « one tree plot design » comportant quatre traitements et 14 hévéas par traitement où chaque hévéa représente une répétition. Les traitements étaient les suivants (Figure 23) :

- 0. Témoin non traité = hévéa témoin ;
- 1. Gel 2 fois/semaine pdt 3 mois = hévéa traité avec le gel de *Aloe vera* deux fois par semaine pendant trois mois ;

- 2. Gel 1 fois/semaine pdt 3 mois = hévéa traité avec le gel de *Aloe vera* une fois par semaine pendant trois mois ;
- 3. Gel 1 fois/2 semaine pdt 3 mois = hévéa traité avec le gel de *Aloe vera* une fois par deux semaines pendant trois mois.

Tableau VII. Nombres d'hévéas utilisés pour évaluer l'effet du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » du clone d'hévéa PB 260 en 9^{ème} année de saignée

Traitements	Nombre d'arbres traités
0. Témoin non traité	14
1. Gel 2fois/semaine pdt 3 mois	14
2. Gel 1fois/semaines pdt 3 mois	14
3. Gel 1fois/2 semaines pdt 3 mois	14
Total	56

0 = Hévéa Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois

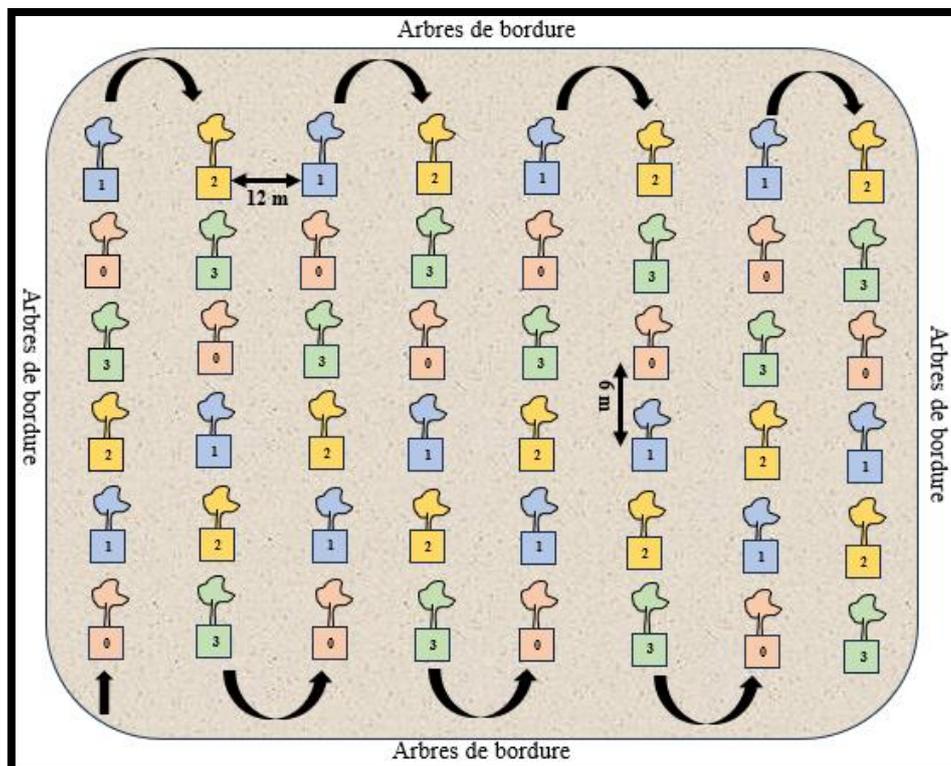


Figure 23. Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'effet du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » du clone d'hévéa PB 260 en 9^{ème} année de saignée

0 = Hévéa Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois

2.3.4.2. Récolte des feuilles de *Aloe vera*

Les feuilles de *Aloe vera* ont été récoltées en plein champ situé en face du GRIEPE (Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Ecologie du Paysage et en Environnement), dans l'enceinte de l'Université Jean Lorougnon GUÉDÉ à Daloa. Le prélèvement a été fait manuellement pour ne pas endommager les feuilles. Les plus jeunes feuilles (longueur inférieure à 25 cm) n'ont pas été utilisées en raison de leur faible teneur en gel. Les feuilles présentant une nécrose de la pointe ou endommagées ont été également éliminées afin d'éviter une contamination du gel par des bactéries. Seules les feuilles matures les plus proches du sol ont été choisies et sectionnées à l'aide d'un couteau. Chaque feuille sectionnée a été placée de manière verticale avec la partie sectionnée orientée vers le bas afin de laisser couler le suc (substance jaune).

2.3.4.3. Processus d'extraction du gel

Pour extraire le gel de *Aloe vera*, les feuilles ont d'abord été lavées avec de l'eau de robinet et du savon puis rincées. La partie supérieure pointue de la feuille ainsi que ses épines ont été sectionnées à l'aide d'un couteau stérilisé avec de l'alcool. Ensuite, la feuille a été placée à plat sur une planche à découper. La couche fine verte, sur une seule face (au choix), a été retirée à l'aide du couteau. La pulpe a été rincée deux fois avec de l'eau potable afin de s'assurer qu'elle ne contienne plus de résidus de latex. Enfin, à l'aide d'une cuillère, le gel a délicatement été raclé et a été mixé soigneusement dans un mixer de marque Itel afin d'obtenir un gel compact. Le gel obtenu a été recueilli dans des contenants en plastiques (Figure 24) pour être utilisé en plantation.



Figure 24. Gel de *Aloe vera* recueilli dans des contenants en plastique

2.3.4.4. Suivi et collecte des données sur le test d'efficacité du gel de *Aloe vera*

L'essai a été conduit de septembre à décembre 2023 (soit trois mois d'expérimentation). L'expérimentation s'est faite en badigeonnant toute la longueur de l'encoche « malade » de l'hévéa avec 3 g du gel de *Aloe vera*. Puis au bout de trois mois de traitements, les hévéas ont été saignés en demi-spirale descendante tous les trois jours ouvrables (S/2 d3 6d/7).

Les paramètres mesurés dans cette étude ont été le taux d'encoche sèche, la circonférence des arbres et la production de caoutchouc.

➤ Relevé encoche sèche

Au bout des trois mois de traitement des encoches sèches, un relevé complet d'encoche sèche a été effectué sur tous les arbres de chaque sous parcelle expérimentale. La méthode de relevé rapide de Van De Sype (1984) a été utilisée telle que décrite en 2.3.1.2, à la page 51.

➤ Mesures de circonférence des arbres

Les circonférences des hévéas ont été mesurées à 1,70 m du sol chaque mois durant les trois mois d'expérimentation. L'accroissement moyen trimestriel de circonférence a été déterminé par la relation ci-dessous :

$$\text{Acc}_r = \text{Circ}_f - \text{Circ}_i \quad (4)$$

Circ_f = Circonférence finale ; Circ_i = Circonférence initiale

➤ Production de caoutchouc

Tous les mois, au bout de huit saignées, la production a été enregistrée arbre par arbre sur toute la parcelle expérimentale. Cette production a été collectée et calculée suivant la méthode décrite de la page 58 à la page 59. La production de caoutchouc sec obtenue a été exprimée en gramme par arbre et par saignée (g.a⁻¹.s⁻¹) et en gramme par arbre et par trimestre (g.a⁻¹.3mois⁻¹). L'expression GP g.a⁻¹.3mois⁻¹ a, quant à elle, désigné le gain (exprimé en pourcentage) de production en g.a⁻¹.3mois⁻¹ par rapport au témoin non traité.

2.3.5. Traitement et analyse statistique des données

L'ensemble des données de cette étude (enquêtes et expérimentations) a été saisi et traité avec Microsoft Excel 2016. Ce tableur a permis de réaliser les graphiques tels que les histogrammes, les Camembert et les courbes d'évolution.

2.3.5.1. Analyse des données d'enquêtes et de collecte de données

Les données d'enquêtes des différentes sociétés agro-industrielles visitées ont été soumises à des analyses statistiques avec le tableur Excel 2016 en vue de dégager les tendances exprimées en pourcentage. Les données des pratiques agronomiques et des facteurs biologiques en rapport avec les longueurs d'encoche malade (LEM) ont, quant à elles, fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) en vue de comparer les valeurs moyennes des différents paramètres évalués. Mais avant, Les LEM qui représentent des proportions, ont été transformées en Arc Sinus Racine Carrée de LEM (ASINLEM) pour rendre la distribution normale et stabiliser les variances afin de rendre possible l'analyse (Okoma, 2008). À cet effet, les signes conventionnels utilisés pour indiquer et apprécier le degré de signification des probabilités ont été les suivants : $p < 0,05$ (significatif), $p < 0,01$ (hautement significatif) et $p < 0,001$ (très hautement significatif).

Par la suite, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au risque alpha de 5 % a été utilisé avec le logiciel Statistica version 10.0. pour constituer les différents groupes homogènes. Enfin, des tests de corrélations de Spearman au seuil de 5 % ont été appliqués aux paramètres évalués en vue d'évaluer l'intensité et le sens des différentes interactions qui existent entre les variables. Les coefficients de corrélation (r) ainsi obtenus ont varié entre - 1 et 1 avec les interprétations suivantes :

- $r = 1$: forte corrélation positive et significative entre a et b, évolution dans le même sens, les deux classements sont identiques ;
- $r = - 1$: forte corrélation négative et significative entre a et b, évolution dans le sens contraire, les deux classements sont inverses l'un de l'autre ;
- $r = 0$: pas de liaison entre a et b, les deux classements sont indépendants ;
- $r < 0,5$: faible corrélation positive et significative entre a et b, évolution dans le même sens, les deux classements ont une faible liaison ;
- $r > - 0,5$: forte corrélation négative et significative entre a et b, évolution dans le sens, les deux classements ont une forte liaison.

2.3.5.2. Analyse des données pluviométriques

Dans cette étude, les valeurs mensuelles de la pluviométrie ont été transformées en Racine Carré de la Pluviométrie (RACPLU) pour rechercher une distribution normale et stabiliser les variances afin de rendre possible l'analyse. Le test statistique de Newman-Keuls au risque alpha de 5 % a été utilisé avec le logiciel Statistica version 10.0. pour la constitution des groupes homogènes de pluviométrie.

Pour les tests de ruptures pluviométriques, l'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N , a constitué l'hypothèse nulle. Cette hypothèse a été vérifiée au moyen du test non-paramétrique de Pettit (1979) dérivé de celui de Mann et Whitney (1947). La mise en œuvre du test suppose que pour t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i), $i = 1$ à t et $t + 1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum de la valeur absolue de la variable $U_{t, N}$ définie par :

$$U_{t, N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad (5)$$

Où $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ avec $\text{sgn}(X) = 1$ si $x > 0$, 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$

Dans le cas où l'hypothèse nulle a été rejetée, une estimation de la date de rupture a été donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t, N}$.

Les données pluviométriques ont également permis de calculer les indices pluviométriques annuels (Nicholson *et al.*, 1988) à partir de la formule suivante :

$$I = \frac{X_i - M}{\sigma} \quad (6)$$

I = Indice pluviométrique de l'année i ; X_i = Pluie saisonnière de l'année i ; M = Valeur moyenne interannuelle de la pluie sur la période de 1987 à 2020 ; σ = Ecart type de la pluie sur la période de 1987 à 2020

Les indices pluviométriques obtenus ont permis de mesurer les écarts entre les quantités de pluie de chaque année par rapport à la moyenne établie sur la période de culture des hévéas. Un indice supérieur à 1 correspond à une année humide tandis qu'un indice inférieur 1 reflète une année sèche. Si l'indice est compris entre -1 et 1, alors l'année est considérée comme étant proche de la moyenne.

Enfin, la relation entre les données pluviométriques et la sensibilité à l'encoche sèche a été mise en évidence par une analyse de variance des totaux pluviométriques annuels et des longueurs d'encoche malade (LEM) des différentes zones de culture. Par la suite, l'intensité et le sens de cette relation ont été déterminées par des corrélations de Pearson au seuil de 5 % tels que décrits en 2.3.5.1, des pages 75 et 76.

2.3.5.3. Analyse des données d'expérimentation

Les données des essais portant sur la stimulation éthylénique, le couteau de saignée, la fertilisation minérale et le gel de *Aloe vera* ont été soumises à des tests statistiques à l'aide du logiciel Statistica 10.0. Mais avant, des courbes d'évolution des longueurs d'encoche malade

(LEM) relevées tous les mois en dehors des périodes de défoliation-refoliation ont été réalisées avec le tableur Excel 2016. Par la suite, les LEM qui représentent des proportions, ont été transformées en Arc Sinus Racine Carrée de LEM (ASINLEM) pour rendre la distribution normale et stabiliser les variances afin de rendre possible l'analyse (Okoma, 2008). Après la vérification de l'homogénéité des variances, des analyses de variance (ANOVA) à un facteur et la comparaison des moyennes ont été réalisées. Le niveau de signification, en cas de différence entre les moyennes, a été estimé par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.

En outre, les effets des critères de qualité de saignée tels que la profondeur de saignée, la consommation d'écorce, la circonférence et la production de caoutchouc sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa ont été évalués par des tests de corrélations de Spearman tels que décrits en 2.3.5.1, des pages 75 et 76. Ces tests statistiques ont permis de prouver l'existence ou non d'une relation entre les différents paramètres étudiés.

**TROISIÈME PARTIE :
RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Chapitre 1. État des lieux du syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production en Côte d'Ivoire

1.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats relatifs à la méthodologie utilisée pour faire l'état des lieux de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les sociétés agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédedou. En effet, l'indisponibilité de données récentes sur l'état d'avancement de l'encoche sèche de l'hévéa en Côte d'Ivoire constituait un frein à la gestion de ce syndrome. Or de manière générale, il est connu que les pratiques agronomiques des hévéaculteurs et les facteurs biologiques du milieu de culture influencent la sensibilité à la maladie. Ce travail a donc permis de recenser les facteurs agronomiques et biologiques et d'évaluer les influences sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa.

1.2. Résultats

1.2.1. Caractéristiques des parcelles d'hévéas visitées

À l'issue des enquêtes réalisées d'octobre 2020 à février 2021 à travers les principales zones de production ivoirienne, un total de 281 plantations agro-industrielles d'hévéas a été visité. En fonction des clones vulgarisés et du nombre de parcelles d'hévéas en saignée, le nombre total de parcelles visitées a varié. À Zagné, 90 parcelles ont été visitées. À San-Pedro (Sud-Ouest), par contre, 131 parcelles ont été visitées. Quant à Anguédedou (Sud-Est), 60 parcelles d'hévéas ont été visitées (Tableau VIII).

Tableau VIII. Nombre des parcelles visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédedou

Zones de culture	Nombres total de parcelles
Zagné	90
San-Pedro	131
Anguédedou	60
Total	281

1.2.1.1. Dispositifs de plantation recensés lors des enquêtes

Deux dispositifs de plantation ont été répertoriés dans cette étude à savoir les dispositifs 6 m x 3 m et 7 m x 2,8 m. Ces dispositifs correspondent respectivement aux densités de plantation de 555 arbres.ha⁻¹ et de 510 arbres.ha⁻¹.

La proportion de parcelles utilisant le dispositif 6 m x 3 m a été de 75,44 %. Celle des parcelles utilisant le dispositif 7 m x 2,8 m a été de 24,56 % (Tableau IX).

Tableau IX. Proportion de parcelles utilisant les différents dispositifs de plantation recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Dispositif	Densité (arbres.ha ⁻¹)	Proportion de parcelles (%)
6 m x 3 m	555	75,44
7 m x 2,8 m	510	24,56

1.2.1.2. Type de clone inventorié au cours des enquêtes

Un total de neuf clones d'hévéas a été recensé à l'issue des enquêtes effectuées dans les 281 parcelles. Il s'agit notamment des clones PB 217, GT1, RRIC 100, IRCA 331, IRCA 41, IRCA 130, IRCA 230, PB 235 et PB 260. Parmi ces clones, trois, que sont PB 217, PB 235 et PB 260 proviennent de la Malaisie. Ensuite, les quatre, que sont IRCA 41, IRCA 130, IRCA 230 et IRCA 331 proviennent de la Côte d'Ivoire. Puis viennent les clones de l'Indonésie (GT1) et du Sri Lanka (RRIC 100).

Par ailleurs, les proportions de parcelles d'hévéas cultivant les clones malaisiens ont varié de 8,90 à 30,60 %. Celles des parcelles cultivant les clones ivoiriens ont varié de 1,07 à 12,81 %. Quant aux clones originaires d'Indonésie et du Sri Lanka, les proportions de parcelles ont, respectivement, été de 32,38 % et de 4,63 % (Tableau X).

Tableau X. Origine, Superficie et nombre de parcelles des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Clones	Origine	Proportion de parcelles (%)
PB 217		30,60
PB 235	Malaisie	3,20
PB 260		8,90
IRCA 41		12,81
IRCA 130	Côte d'Ivoire	1,07
IRCA 230		2,14
IRCA 331		4,63
GT1	Indonésie	32,38
RRIC 100	Sri-Lanka	4,63

PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan

1.2.1.3. Différentes classes d'activité métabolique des clones d'hévéa

Les neuf clones recensés font partir des trois classes métaboliques existantes de l'hévéa que sont les classes d'activité métabolique lente, intermédiaire et rapide. Au rang des clones à métabolisme lent, figurent les clones PB 217 et IRCA 41. Pour la classe des clones à métabolisme intermédiaire figurent trois clones que sont GT1, IRCA 331 et RRIC 100. Enfin, quatre autres clones ont été recensés dans la classe des clones à métabolisme rapide à savoir le PB 235, le PB 260, le IRCA 230 et le IRCA 130.

De manière générale, le taux des parcelles cultivant les clones à métabolisme lent s'élève à 43,42 %. Celui des parcelles cultivant les clones à métabolisme intermédiaire s'élève à 41,64 %. Quant aux clones à métabolisme rapide, ce taux est de 14,95 % (Tableau XI).

Tableau XI. Proportion de parcelles en fonction des différentes classes d'activité métabolique des clones d'hévéas recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Métabolisme	Clones	Proportion de parcelles (%)
Lent	PB 217, IRCA 41	43,42
Intermédiaire	GT1, IRCA 331, RRIC 100	41,64
Rapide	PB 235, PB 260, IRCA 230, IRCA 130	14,95

PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan

1.2.1.4. Types de couteau de saignée recensés lors des enquêtes

Les différents couteaux de saignée répertoriés au cours de cette étude ont été « Aunain », « GIM 777 » et « Gouge » (Figure 25). À l'exception du couteau « Gouge », qui a été utilisé uniquement en saignée inversée, les deux autres couteaux ont été utilisés à la fois en saignée inversée et en saignée descendante. Ce qui donne un taux de 40,60 %, 53,71 %, et 5,69 % de parcelles dans lesquelles les couteaux « Gouge », « Aunain » et « GIM 777 » ont été respectivement utilisés (Tableau XII).



Figure 25. Différents couteaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou
 A = Couteau classique Aunain ; B = Couteau classique GIM 777 ; C = « Gouge » classique utilisé en saignée inversée

Tableau XII. Proportion de parcelles saignées par les différents couteaux recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Couteaux de saignée	Types de saignée exécutée	Proportion de parcelles saignées (%)
Aunain	Saignée descendante et inversée	53,71
GIM 777	Saignée descendante et inversée	5,69
Gouge	Saignée inversée	40,60

1.2.1.5. Orientation de saignée et longueur d’encoche de saignée recensées au cours des enquêtes

Les différentes sociétés agro-industrielles visitées ont pratiqué la saignée tous les quatre jours, six jours sur sept jours ouvrables de la semaine (d4 6d/7). Cette saignée a été exécutée soit en demi-spirale descendante (S/2), soit en quart-spirale inversée (S/4U) ou soit en demi-spirale inversée (S/2U). La proportion des parcelles saignées en demi-spirale descendante a été de 35,59 %. Celles des parcelles saignées en quart-spirale inversée et demi-spirale inversée ont, respectivement, été de 4,27 % et de 60,14 % (Tableau XIII).

Tableau XIII. Proportion de parcelles en fonction de l'orientation de saignée et de la longueur d'encoche de saignée répertoriées dans les plantations visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Orientation de saignée et longueurs d'encoches	Fréquence de saignée	Proportion de parcelles (%)
Descendant (S/2)	d4	35,59
Inversé (S/4U)	d4	4,27
Inversé (S/2U)	d4	60,14

d4 = saignée exécutée tous les quatre jours

1.2.1.6. Types de panneau de saignée répertoriés au cours des enquêtes

La hauteur de mise en saignée des hévéas a varié d'une parcelle à une autre. De façon générale, deux types de panneaux de saignée ont été recensés à savoir les panneaux bas (dont la hauteur est inférieure ou égale à 1,40 m) et les panneaux hauts (dont la hauteur est supérieure ou égale à 1,40 m). Les proportions de parcelles saignées sur le panneau bas (BO-1, BO-2, (BI-1) et (BI-2) ont varié de 2,49 à 20,28 %. Celles des parcelles saignées sur le panneau haut (HO-1, HO-2, HO-3 et HO-4) ont varié de 10,32 à 21,71 % (Tableau XIV).

Tableau XIV. Position, hauteur et nombre de parcelles utilisant les différents panneaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Panneau de saignée	Position du panneau	Hauteur (m)	Proportion de parcelles (%)
BO-1	Panneau bas	1,20	20,28
BO-2		1,40	7,12
(BI-1)		1,20	2,85
(BI-2)		1,40	2,49
HO-1	Panneau haut	1,50	16,73
HO-2		1,60	21,71
HO-3		1,40	18,51
HO-4		1,80	10,32

BO - 1 = Panneau de saignée exploité en années 1, 2, 4, 6, 8 et 14 (écorce vierge) ; BO - 2 = Panneau de saignée exploité en années 3, 5, 7, 9, 15, 20 et 21 (écorce vierge) ; (BI - 1) = Panneau de saignée exploité en années 24, 25, 27, 29, 31 et 33 (écorce régénérée) ; (BI - 2) = Panneau de saignée exploité en années 26, 28, 30, 32, 35 et 36 (écorce régénérée) ; HO - 1 = Panneau de saignée exploité en années 10, 16 et 22 (écorce vierge) ; HO - 2 = Panneau de saignée exploité en années 11, 17 et 23 (écorce vierge) ; HO - 3 = Panneau de saignée exploité en années 12 et 18 (écorce vierge) ; HO - 4 = Panneau de saignée exploité en années 13 et 19 (écorce vierge)

1.2.1.7. Nature de l'écorce des différents clones d'hévéa recensés

Dans cette étude, deux types d'écorce ont été recensés à savoir les écorces vierges (BO, HO) et les écorces de 1^{ère} régénération (BI, HI). De manière générale, les saignées exécutées sur les écorces vierges ont été plus répandues (91,81 %) dans les plantations visitées que celles exécutées sur les écorces de 1^{ère} régénération (8,19 %) (Tableau XV).

Tableau XV. Proportion de parcelles utilisant les différents types d'écorce inventoriées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Nature de l'écorce	Proportion de parcelles (%)
Ecorce vierge (BO, HO)	91,81
Ecorce de 1 ^{ère} régénération (BI, HI)	8,19

1.2.1.8. Différentes durées de récolte du latex des clones d'hévéa

La durée de récolte du latex des hévéas recensés dans cette étude a varié de 1 à 35 ans. Suivant le découpage effectué, six classes de durée de récolte du latex des hévéas ont été relevées. Il s'agit des classes de 1 à 3 ans, 4 à 7 ans, 8 à 10 ans, 11 à 18 ans, 19 à 25 ans et 26 à 35 ans.

Dans l'ensemble, la proportion de parcelles ayant ces différentes durées de récolte du latex a varié de 6,05 à 38,79 % (Tableau XVI).

Tableau XVI. Proportion de parcelles en fonction des différentes durées de récolte du latex des hévéas recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Durée de récolte du latex	Proportion de parcelles (%)
1 à 3 ans	11,39
4 à 7 ans	14,59
8 à 10 ans	6,05
11 à 18 ans	38,79
19 à 25 ans	19,22
26 à 35 ans	10,32

1.2.1.9. Doses et fréquences de stimulation appliquées dans les différentes plantations visitées

Trois produits stimulants à base d'Éthéphon ont été recensés dans cette étude. Il s'agit de l'« ALMEPHON 50 LS DR », utilisé principalement à Zagné, de l'« HEVETEX 5 % PA » utilisé à San-Pedro et du « CALLEL 5 % PA » utilisé à Anguédédou. De manière générale, les doses de 2,5 % et de 5 % d'Éthéphon ont été utilisées respectivement dans les jeunes et vieilles plantations d'hévéa à travers les sociétés agro-industrielles visitées (Tableau XVII).

En outre, les fréquences d'application des produits stimulants ont varié entre 4 et 15 applications annuelles. Les fréquences de stimulation les plus utilisées ont été celles de 6 fois/an (17,79 %), 10 fois/an (36,65 %), 13 fois/an (23,49 %) et 15 fois/an (12,81 %) (Tableau XVIII).

Tableau XVII. Proportion de parcelles en fonction des différentes doses de stimulation adoptées dans les plantations d'hévéas visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Doses de stimulation (%)	Type de culture	Proportion de parcelles (%)
2,5	Jeunes	35,59
5	Vieilles	64,41

Jeunes cultures = hévéas à durée de récolte du latex comprise en 1 et 9 ans ; Vieilles cultures = hévéas à durée de récolte du latex supérieure à 10 ans

Tableau XVIII. Proportion de parcelles en fonction des différentes fréquences de stimulation appliquées dans les plantations d'hévéas visitées à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Fréquence de stimulation	Proportion de parcelles (%)
4 fois / an	3,20
6 fois / an	17,79
8 fois / an	3,91
10 fois / an	36,65
12 fois / an	2,14
13 fois / an	23,49
15 fois / an	12,81

1.2.2. Évaluation de l'effet des pratiques agronomiques sur la sensibilité à l'encoche sèche

L'ensemble des pratiques agronomiques évaluées a permis de relever une longueur d'encoche malade (LEM) moyenne générale de 34,65 %. D'une zone à une autre, l'analyse de variance des données a montré une différence significative ($p = 0,00$) entre les LEM enregistrées (Tableau XIX).

Les parcelles d'Anguédedou ont été plus sensibles à l'encoche sèche de l'hévéa avec un taux moyen d'arbres atteints de 36,56 %. Elles ont été suivies par les parcelles de Zagné et de San-Pedro avec des LEM moyennes respectives de 34,33 % et de 33,07 % (Tableau XIX).

Tableau XIX. Longueurs d'encoche malade des plantations d'hévéas des zones de Zagné, San-Pedro et Anguédedou

Zones de culture	LEM moyenne (%)
Zagné	34,33 ± 17,86 ^b
San-Pedro	33,07 ± 25,37 ^c
Anguédedou	36,56 ± 17,12 ^a
Moyenne	34,65 ± 20,12
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.1. Influence du dispositif de plantation sur la sensibilité à l'encoche sèche

Les longueurs d'encoche malade (LEM) moyennes enregistrées avec les différents dispositifs de plantation recensés ont varié de 28,21 à 52,95 %.

De plus, les analyses statistiques ont révélé que ces LEM ont significativement ($p = 0,00$) différencié en fonction du type de dispositif. Le dispositif 6 m x 3 m a présenté la plus faible LEM (28,81 %) comparativement au dispositif 7 m x 2,8 m (52,95 %) (Figure 26).

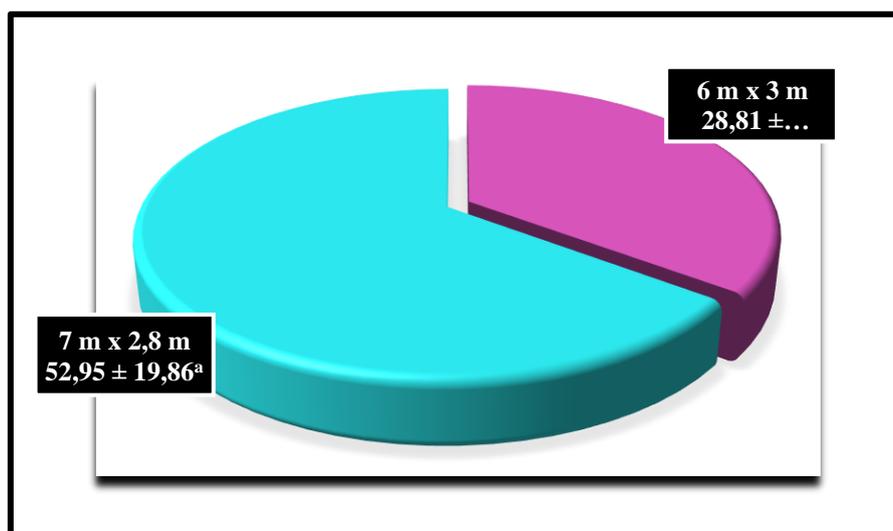


Figure 26. Longueurs d'encoche malade (%) des différents dispositifs de plantation recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédedou

LEM = Longueur d'encoche malade ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.2. Influence du clone sur la sensibilité à l’encoche sèche

Sur les neuf clones recensés, les clones PB 235 et RRIC 100 se sont révélés plus sensibles à l’encoche sèche avec des longueurs d’encoche malade (LEM) moyennes respectives de 55,93 % et de 53,91 %. Le clone le moins sensible a été le IRCA 331 avec une LEM moyenne de 18,37 %. Les clones à sensibilité intermédiaire ont été GT1 (25,97 %), IRCA 130 (28,45 %), PB 260 (32,85 %), PB 217 (38,27 %), IRCA 41 (39,39 %) et IRCA 230 (40,88 %) (Tableau XX).

Cependant, d’une zone de culture à une autre, la sensibilité des clones à l’encoche sèche a significativement ($p = 0,00$) varié. À Zagné, les clones recensés tels que GT1 (28,74 %), PB 260 (34,15 %), IRCA 41 (35,21 %), PB 217 (35,45 %) et RRIC 100 (44 %) ont eu statistiquement la même sensibilité moyenne à l’encoche sèche, à l’exception du PB 235 (58,89 %) qui a eu la sensibilité la plus élevée (Figure 27).

À San-Pedro par contre, un gradient a été observé. Le clone le plus sensible a été le RRIC 100 (80,56 %). Les clones les moins sensibles ont été IRCA 331 et GT1 avec respectivement des LEM moyennes de 21,20 % et 20,73 %. Les clones à sensibilité intermédiaire, d’un point de vue statistique, ont été IRCA 41 (39,17 %), PB 217 (45,17 %), IRCA 130 (47,42 %), PB 235 (48 %) et IRCA 230 (54,50 %) (Figure 28).

À Anguédédou, tous les cinq clones recensés que sont PB 217 (31,79 %), PB 260 (34,31 %), GT1 (41,99 %), PB 235 (55,73 %) et IRCA 41 (56,60 %) ont eu statistiquement la même sensibilité moyenne à l’encoche sèche de l’hévéa (Figure 29).

Tableau XX. Longueurs d’encoches malades des clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Clones	LEM moyenne (%)
PB 217	38,27 ± 20,51 ^{ab}
PB 235	55,93 ± 7,85 ^a
PB 260	32,85 ± 16,02 ^{bc}
IRCA 41	39,39 ± 17,80 ^{ab}
IRCA 130	28,45 ± 30,32 ^{bc}
IRCA 230	40,88 ± 29,90 ^{ab}
IRCA 331	18,37 ± 23,60 ^c
GT1	25,97 ± 17,44 ^{bc}
RRIC 100	53,91 ± 29,72 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

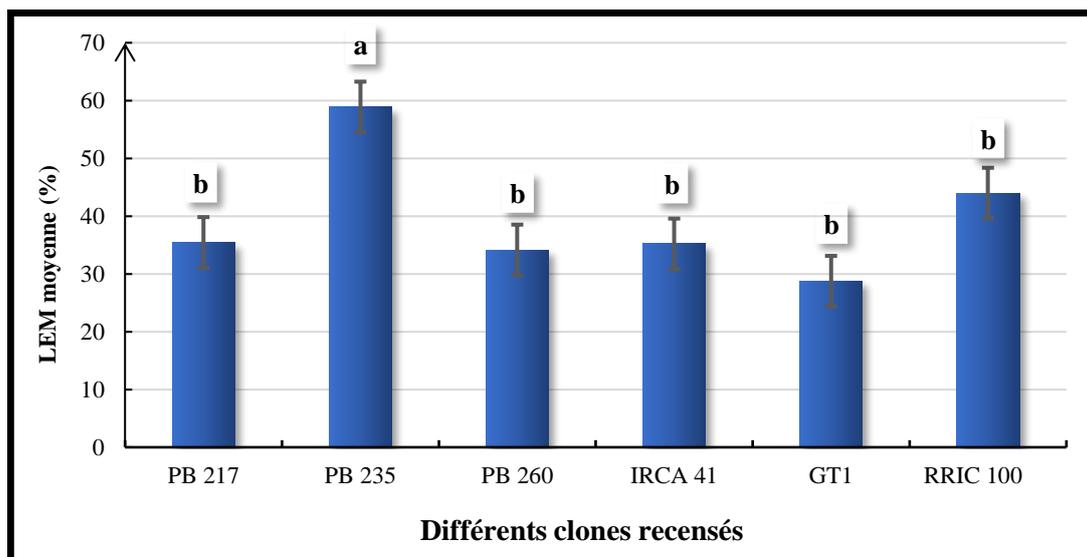


Figure 27. Longueurs d’encoche malade des six clones recensés à Zagné
 LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls à 5 %)

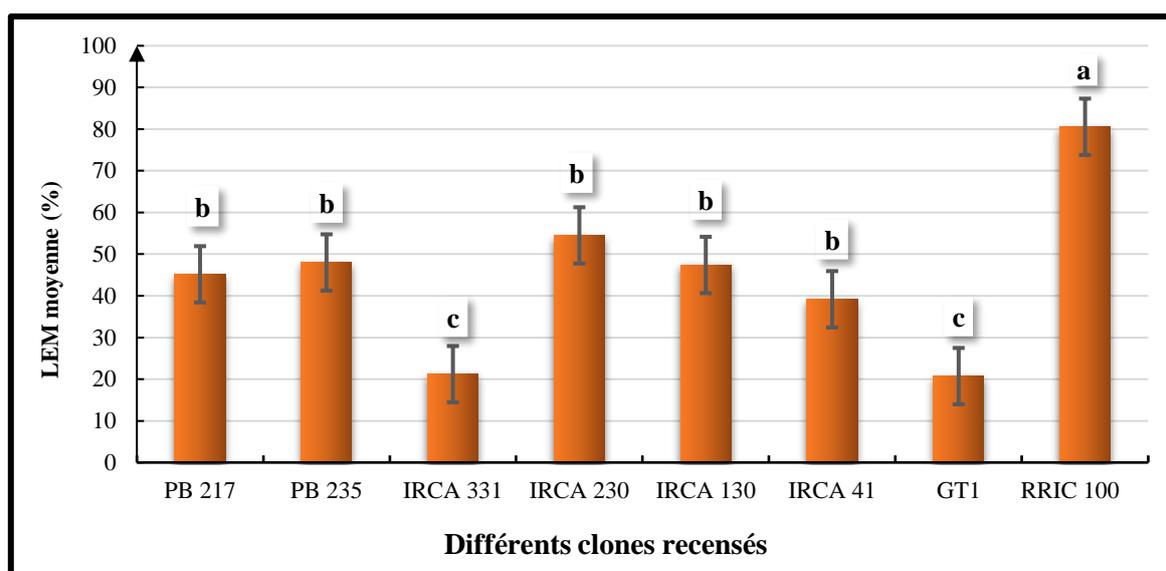


Figure 28. Longueurs d’encoche malade des huit clones recensés à San-Pedro
 LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

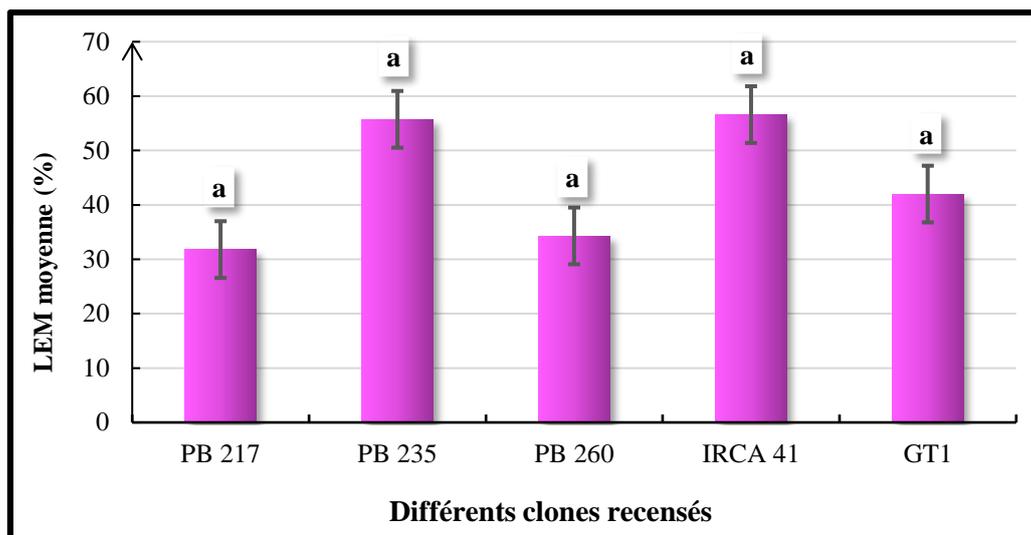


Figure 29. Longueurs d’encoche malade des cinq clones recensés à Anguédédou

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapan 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.3. Influence du métabolisme clonal sur la sensibilité à l’encoche sèche

L’étude de l’influence du métabolisme clonal sur la sensibilité à l’encoche sèche a montré que les longueurs d’encoche malade (LEM) moyennes ont varié de 31,45 à 42,71 %. En outre, les analyses de variance ont révélé une différence significative ($p = 0,00$) entre les LEM des trois classes métaboliques. La classe métabolique la plus sensible à l’encoche sèche (42,71 %) a été celle des clones à métabolisme rapide. Elle a été suivie par la classe des clones à métabolisme lent avec une LEM moyenne de 38,83 %. La classe d’activité métabolique la moins sensible avec 31,45 % a été celle des clones à métabolisme intermédiaire (Tableau XXI).

Tableau XXI. Longueurs d’encoche malade des clones des différentes classes métaboliques

Métabolisme	LEM moyenne (%)
Lent	38,83 ± 19,16 ^b
Intermédiaire	31,45 ± 21,37 ^c
Rapide	42,71 ± 17,47 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.4. Influence du couteau de saignée sur la sensibilité à l’encoche sèche

Les longueurs d’encoche malade (LEM) moyennes relevées avec les différents couteaux de saignée ont varié de 29,85 à 40,74 %. D’un point de vue statistique, ces LEM ont significativement différencié ($p = 0,00$) en fonction du type de couteau utilisé. Les hévéas saignés avec le couteau « Gouge » ont affiché une LEM (40,74 %) supérieure à celle des hévéas saignés avec les couteaux « Aunain » (29,85 %) et « GIM 777 (32,63 %) (Tableau XXII).

Tableau XXII. Longueurs d’encoche malade induites par les différents couteaux de saignée recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Couteaux de saignée	LEM moyenne (%)
Aunain	26,65 ± 22,05 ^c
GIM 777	32,63 ± 23,39 ^b
Gouge	40,74 ± 18,47 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.5. Influence de l’orientation de la saignée et de la longueur d’encoche saignée sur la sensibilité à l’encoche sèche

Les résultats de l’étude ont montré que les longueurs d’encoche malade (LEM) ont varié en fonction de la direction de la saignée. De plus, l’analyse de variance a révélé une différence significative ($p = 0,00$) entre les LEM suivant la direction de la saignée et la longueur d’encoche saignée. De ce fait, les parcelles saignées en demi-spirale inversée (S/2U) ont affiché les LEM moyennes les plus importantes (41,85 %) comparativement aux parcelles saignées en demi-spirale descendante (S/2 ; 37,14 %) et en quart-spirale inversée (S/4U ; 31,29 %) (Tableau XXIII).

Tableau XXIII. Longueurs d’encoche malade en fonction de la direction de la saignée et de la longueur d’encoche saignée

Direction de la saignée et longueurs d’encoche de saignée	LEM moyenne (%)
Descendant (S/2)	37,14 ± 21,19 ^b
Inversé (S/4U)	31,29 ± 19,49 ^c
Inversé (S/2U)	41,85 ± 35,02 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.6. Influence des panneaux de saignée sur la sensibilité à l'encoche sèche

La hauteur de mise en saignée des hévéas a significativement influencé ($p = 0,00$) la sensibilité à l'encoche sèche. En effet, les saignées exécutées sur les panneaux BO-1 (35,05 %), HO-1 (33,78 %) et HO-2 (35,54 %) ont affiché des longueurs d'encoches malades (LEM) moyennes les plus élevées bien qu'étant situés à des hauteurs différentes qui sont respectivement 1,20 m, 1,50 m et 1,60 m. En outre, les plus faibles LEM moyennes de l'étude ont été enregistrées sur les panneaux (BI-1) (24,68 %) et HO-4 (22,76 %) situés respectivement à 1,20 m et 1,80 m. Les LEM moyennes intermédiaires ont été relevées sur les panneaux BO-2 (29,01 %), (BI-2) (29,55 %) et HO-3 (28,96 %) situés respectivement à 1,40 m, 1,40 m et 1,70 m (Tableau XXIV).

Tableau XXIV. Longueurs d'encoche malade en fonction du panneau de saignée

Panneau de saignée	Hauteur (m)	LEM moyenne (%)
BO-1	1,20	35,05 ± 22,16 ^a
BO-2	1,40	29,01 ± 23,25 ^{ab}
(B1-1)	1,20	24,68 ± 29,14 ^b
(B1-2)	1,40	29,55 ± 28,94 ^{ab}
HO-1	1,50	33,78 ± 16,48 ^a
HO-2	1,60	35,54 ± 25,41 ^a
HO-3	1,40	28,96 ± 17,44 ^{ab}
HO-4	1,80	22,76 ± 24,80 ^b
p	-	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; BO - 1 = Panneau de saignée exploité en années 1, 2, 4, 6, 8 et 14 (écorce vierge) ; BO - 2 = Panneau de saignée exploité en années 3, 5, 7, 9, 15, 20 et 21 (écorce vierge) ; (BI - 1) =Panneau de saignée exploité en années 24, 25, 27, 29, 31 et 33 (écorce régénérée) ; (BI - 2) = Panneau de saignée exploité en années 26, 28, 30, 32, 35 et 36 (écorce régénérée) ; HO - 1 = Panneau de saignée exploité en années 10, 16 et 22 (écorce vierge) ; HO - 2 = Panneau de saignée exploité en années 11, 17 et 23 (écorce vierge) ; HO - 3 = Panneau de saignée exploité en années 12 et 18 (écorce vierge) ; HO - 4 = Panneau de saignée exploité en années 13 et 19 (écorce vierge) ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.7. Influence de la nature de l'écorce sur la sensibilité à l'encoche sèche

Les résultats ont révélé que les saignées exécutées sur écorce vierge ont enregistré un taux d'encoche sèche de 34,51 %. Celles effectuées sur écorces régénérées ont enregistré un taux de 36,79 %. Toutefois, les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative ($p = 0,61$) entre les longueurs d'encoche malade recensées (Tableau XXV).

Tableau XXV. Longueurs d’encoches malades en fonction de la nature de l’écorce saignée

Nature de l’écorce	LEM moyenne (%)
Ecorce vierge (BO, HO)	34,51 ± 20,99 ^a
Ecorce de 1 ^{ère} régénération (BI, HI)	36,79 ± 23,57 ^a
p	0,61

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.8. Influence de la durée de récolte du latex sur la sensibilité à l’encoche sèche

La durée de récolte du latex des hévéas de cette étude a varié de 1 à 35 ans. De plus, l’analyse de variance a révélé que ces durées de récolte du latex ont significativement influencé ($p = 0,00$) le taux d’encoche sèche des hévéas. En effet, trois classes de durées de récolte du latex ont affiché les plus faibles longueurs d’encoche malade à savoir les classes de 1 à 3 ans (23,51 %), 8 à 10 ans (25,72 %) et 26 à 35 ans (24,66 %) (Figure 30).

Par ailleurs, trois autres classes de durées de récolte du latex se sont révélées très sensibles à la maladie. Il s’agit notamment des classes de 4 à 7 ans (38,13 %), 11 à 18 ans (33,92 %) et 19 à 25 ans (37,80 %) (Figure 30).

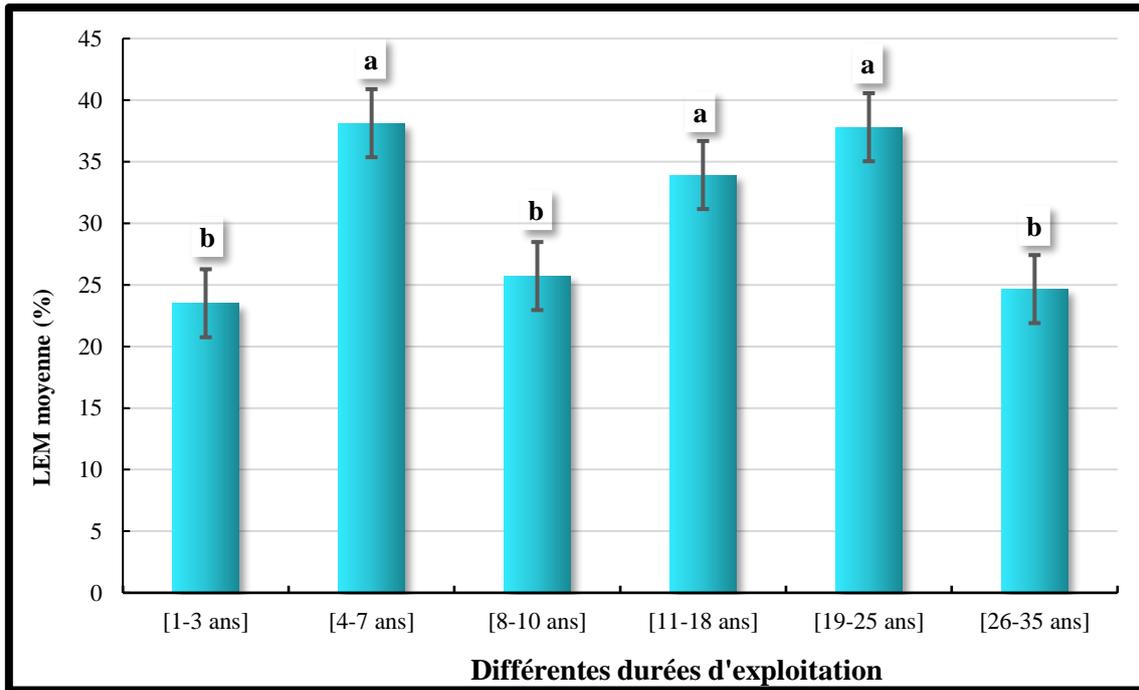


Figure 30. Longueurs d’encoche malade en fonction de la durée de récolte de latex
 LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.9. Influence de la fréquence de stimulation éthylénique sur la sensibilité à l’encoche sèche

L’étude de l’influence de la fréquence de stimulation éthylénique sur la sensibilité à l’encoche sèche a montré que les longueurs d’encoche malade (LEM) moyennes ont varié de 12,21 à 38,56 %. En outre, les analyses de variance ont révélé une différence significative ($p = 0,00$) entre ces LEM. Les taux de LEM les plus faibles ont été enregistrés avec les fréquences d’application de 4 fois/an (4/y ; 19,08 %) et de 12 fois/an (12/y ; 12,21 %). Les taux de LEM les plus élevés ont été recensés avec les fréquences d’application de 6 fois/an (6/y ; 34,06 %), 13 fois/an (13/y ; 32,65 %) et de 15 fois/an (15/y ; 38,56 %). Les taux moyens (ou intermédiaires) de LEM ont quant à eux, été relevés avec les fréquences de stimulation de 8 fois/an (8/y ; 29,21 %) et de 10 fois/an (10/y ; 28,81 %) (Figure 31).

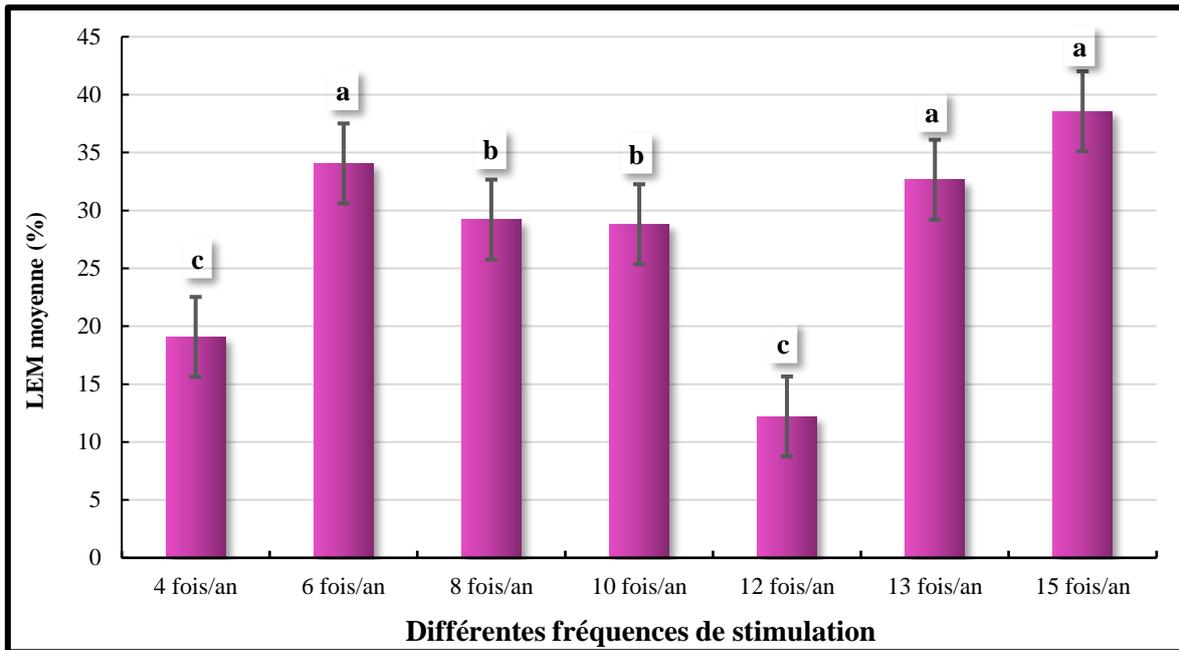


Figure 31. Longueurs d’encoche malade en fonction de la fréquence de stimulation

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

1.2.2.10. Corrélation entre la longueur d’encoche malade et la pratique agronomique évaluée

La matrice de corrélation obtenue entre les longueurs d’encoche malade (LEM) et quelques paramètres culturaux et de récolte de latex de l’hévéa est présentée dans le tableau XXVI. De façon générale, les résultats ont montré des corrélations significatives et fortes au seuil de 5 % ($p < 0,05$). D’une zone de culture à une autre, les LEM ont significativement varié. La relation qui en résulte fait état d’une corrélation négative entre la zone de culture et les LEM ($r = -0,50$; $p < 0,05$) de sorte que les LEM varient significativement en fonction de la zone. Par ailleurs, les hévéas étudiés ont affiché de fortes LEM avec la variation du dispositif de plantation ($r = 0,57$; $p < 0,05$), du type de clone ($r = 0,61$; $p < 0,05$), du couteau de saignée ($r = 0,52$; $p < 0,05$), de la durée de récolte du latex ($r = 0,55$; $p < 0,05$) et de la fréquence de stimulation ($r = 0,69$; $p < 0,05$). En outre, une forte corrélation significative et négative ($r = -0,74$; $p < 0,05$) a été enregistrée entre le clone et la fréquence de stimulation ; révélant que le choix de la fréquence de stimulation varie en fonction de la classe d’activité métabolique du clone. La direction de la saignée a, en outre, significativement été corrélée avec la longueur d’encoche saignée ($r = 0,91$; $p < 0,05$), le couteau de saignée ($r = 0,54$; $p < 0,05$) et la durée de récolte du latex ($r = 0,64$; $p < 0,05$) (Tableau XXVI).

Tableau XXVI. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d'encoches malades et les différents paramètres agronomiques

	LEM	Zone de culture	Dispositif de plantation	Clone	Orientation saignée	Longueur encoche	Couteau	Durée de récolte du latex	Fréquence stimulation	Panneau saignée	Nature écorce
LEM	1										
Zone de culture	-0,50	1									
Dispositif de plantation	0,57	0,44	1								
Clone	0,61	-0,07	-0,12	1							
Orientation saignée	-0,09	0,08	0,05	-0,36	1						
Longueur encoche	-0,21	-0,01	-0,01	-0,26	0,91	1					
Couteau	0,52	-0,40	0,45	-0,19	0,54	0,46	1				
Durée de récolte du latex	0,55	0,25	0,00	-0,22	0,64	0,52	0,17	1			
Fréquence stimulation	0,69	-0,11	0,06	-0,74	0,36	0,23	0,31	0,22	1		
Panneau saignée	0,05	0,01	-0,18	-0,06	0,18	0,18	-0,03	0,31	0,06	1	
Nature écorce	0,12	-0,16	0,01	0,17	-0,40	-0,37	-0,15	0,14	-0,11	0,05	1

LEM = Longueur d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

1.2.3. Évaluation de l'effet des facteurs biologiques sur la sensibilité à l'encoche sèche

1.2.3.1. Influence du bioagresseur *Corynespora* sp. sur la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche

Sur un total de 281 parcelles visitées, les analyses de variance ont révélé une différence significative ($p = 0,00$) entre les longueurs d'encoche malade (LEM) des hévéas de sorte que les clones parasités par *Corynespora* sp. ont eu des LEM moyennes plus faibles (15,61 %) que les clones non parasités (39,76 %) (Tableau XXVII).

Par ailleurs, suivant les différentes zones d'étude, c'est uniquement à San-Pedro que les attaques de *Corynespora* sp. ont été relevées. Aussi, dans cette zone, les effets du bioagresseur ont été particulièrement intenses sur le GT1 (81,03 %) et le PB 235 (88 %) (Tableau XXVIII).

Tableau XXVII. Influence du *Corynespora* sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa à travers les trois zones de culture

Bioagresseur	LEM moyenne (%)
Absence de <i>Corynespora</i> sp.	39,76 ± 20,22 ^a
Présence de <i>Corynespora</i> sp.	15,61 ± 13,69 ^b
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

Tableau XXVIII. Influence de *Corynespora* sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Clones	LEM moyenne (%)		
	Zagné	San-Pedro	Anguédédou
PB 217	-	29,41 ± 16,25 ^b	-
IRCA 41	-	9,09 ± 10,15 ^b	-
GT1	-	81,03 ± 9,54 ^a	-
RRIC 100	-	20 ± 14,72 ^b	-
IRCA 331	-	46,15 ± 11,88 ^b	-
IRCA 130	-	-	-
IRCA 230	-	-	-
PB 235	-	88 ± 6,01 ^a	-
PB 260	-	-	-
p	-	0,00	-

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %) ; (-) = Clone non attaqué

1.2.3.2. Influence du bioagresseur *Fomes* sp. sur la sensibilité des hévéas à l’encoche sèche

Le tableau XXIX montre l’influence de *Fomes* sp. sur la sensibilité à l’encoche sèche des hévéas étudiés. D’un point de vue général, les résultats ont révélé que les hévéas attaqués par *Fomes* sp. ont un taux d’encoche malade (50,56 %) supérieur à celui des hévéas non-attaqués (30,58 %).

Par ailleurs, les attaques de *Fomes* sp. ont été observées à travers toutes les zones de culture visitées. À Zagné, ces attaques ont été relevées sur les parcelles des clones PB 217, IRCA 41 et GT1 avec des longueurs d’encoche malade (LEM) variant de 3,57 à 11,76 %. Toutefois, aucune différence significative ($p = 0,65$) n’a été enregistrée entre ces moyennes. À San-Pedro, par contre, des différences hautement significatives ($p = 0,00$) ont été enregistrées entre les moyennes des LEM. Les clones les plus sensibles aux attaques ont été PB 217 (38,24 %), IRCA 41 (72,72 %), RRIC 100 (80 %), IRCA 130 (66,67 %) et IRCA 230 (66,67 %). Les clones les moins sensibles ont été GT1 (1,72 %) et IRCA 331 (15,38 %). Enfin à Anguédédou, les attaques du *Fomes* sp. ont particulièrement été intenses sur IRCA 41 avec un taux d’encoche sèche de 80 %. Les autres clones tels que PB 217, GT1, PB 235 et PB 260 ont, quant à eux, enregistré des taux d’encoche sèche moyens variant de 6,25 à 33,33 % (Tableau XXX).

Tableau XXIX. Influence de *Fomes* sp. sur la sensibilité à l’encoche sèche de l’hévéa à travers les trois zones de culture

Bioagresseur	LEM moyenne (%)
Absence de <i>Fomes</i> sp.	30,58 ± 20 ^b
Présence de <i>Fomes</i> sp.	50,56 ± 20,30 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

Tableau XXX. Influence de *Fomes* sp. sur la sensibilité à l’encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Clones	LEM moyenne (%)		
	Zagné	San-Pedro	Anguédédou
PB 217	3,57 ± 18,89 ^a	38,24 ± 9,32 ^{ab}	33,33 ± 18,15 ^b
IRCA 41	5 ± 12,36 ^a	72,72 ± 16,70 ^{ab}	80 ± 14,72 ^a
GT1	11,76 ± 13,21 ^a	1,72 ± 13,13 ^c	6,25 ± 15 ^b
RRIC 100	-	80 ± 14,72 ^a	-
IRCA 331	-	15,38 ± 17,55 ^{bc}	-
IRCA 130	-	66,67 ± 7,73 ^{ab}	-
IRCA 230	-	66,67 ± 11,63 ^{ab}	-
PB 235	-	-	20 ± 14,72 ^b
PB 260	-	-	10 ± 11,62 ^b
p	0,65	0,00	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapan 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ; (-) = Clone non attaqué

1.2.3.3. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité des hévéas à l’encoche sèche

Les analyses de variance ont révélé une différence significative ($p = 0,00$) entre les longueurs d’encoche malade (LEM) des hévéas et la présence de Loranthaceae. En effet, les parcelles attaquées par les Loranthaceae ont affiché des longueurs d’encoche malade plus importantes (38,41 %) que celles des parcelles non-attaquées (30,16 %) (Tableau XXXI).

De façon générale, toutes les zones de culture de cette étude ont été significativement sensibles ($p < 0,00$) aux attaques des Loranthaceae avec une prévalence chez la quasi-totalité des clones en présence. À Zagné, les attaques ont particulièrement été intenses chez les clones PB 217 et PB 235 avec des taux d’encoche sèche respectifs de 85,71 % et de 89 %. Les clones IRCA 41, GT1, RRIC 100 et PB 260 ont, quant à eux, affichés des taux moyens de LEM variant de 7,17 à 45 %. À San-Pedro, deux clones que sont PB 217 (52,94 %) et IRCA 230 (50 %) se sont également révélés plus sensibles à l’encoche sèche suite aux attaques des Loranthaceae. Les quatre clones restants (IRCA 41, GT1, IRCA 331 et IRCA 130) étant moyennement sensibles aux attaques avec des taux de LEM variant de 7,69 à 33,33 %.

Enfin, à Anguédédou, les cinq clones en présence (PB 217, IRCA 41, GT1, PB 235 et PB 260) ont affiché une forte sensibilité variant de 80 à 96 % de sorte qu'il n'y ait pas différence significative entre les moyennes obtenues (Tableau XXXII).

Tableau XXXI. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa à travers les trois zones de culture

Bioagresseur	LEM moyenne (%)
Absence de Loranthaceae	30,16 ± 21,62 ^b
Présence de Loranthaceae	38,41 ± 20,55 ^a
p	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

Tableau XXXII. Influence des Loranthaceae sur la sensibilité à l'encoche sèche des différents clones recensés à Zagné, San-Pedro et Anguédédou

Clones	LEM moyenne (%)		
	Zagné	San-Pedro	Anguédédou
PB 217	85,71 ± 35,63 ^a	52,94 ± 10,66 ^a	95,83 ± 10,41 ^a
IRCA 41	45 ± 11,04 ^b	18,18 ± 14,45 ^b	95 ± 5,01 ^a
GT1	23,53 ± 13,72 ^b	32,75 ± 17,34 ^b	93,75 ± 25 ^a
RRIC 100	12,50 ± 15,35 ^b	-	-
IRCA 331	-	7,69 ± 27,73 ^b	-
IRCA 130	-	33,33 ± 17,73 ^b	-
IRCA 230	-	50 ± 14,77 ^a	-
PB 235	89 ± 9,01 ^a	-	80 ± 14,72 ^a
PB 260	7,17 ± 16,72 ^b	-	96 ± 8,03 ^a
p	0,00	0,03	0,53

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; PB = Prang Besar ; IRCA = Institut de Recherche sur le Caoutchouc ; GT1 = Gondang Tapen 1 ; RRIC = Rubber Research Institute of Ceylan ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %) ; (-) = Clone non attaqué

1.2.3.4. Corrélation entre les longueurs d'encoche malade et les différents facteurs biologiques recensés

La matrice de corrélation obtenue entre les longueurs d'encoche malade et les attaques de *Fomes* sp., de *Corynespora* sp. et des Loranthaceae est présentée dans le tableau XXXIII. Les résultats ont montré une seule corrélation significative négative ($r = - 0,56$; $p < 0,05$) entre les longueurs d'encoche malade (LEM) et la présence de *Corynespora* sp. de sorte que les

plantations parasitées par *Corynespora* sp. ont des LEM moyennes les plus faibles (Tableau XXXIII).

En outre, aucune corrélation significative n'a été relevée entre les LEM et l'action de *Fomes* sp. ($r = 0,44$; $p > 0,05$) montrant ainsi que le lien entre ces deux variables est très faible. Il en est de même pour la relation entre les LEM et la pression des Loranthaceae ($r = 0,49$; $p > 0,05$). Par ailleurs, les corrélations entre les différents bioagresseurs (*Corynespora* sp., *Fomes* sp. et Loranthaceae n'ont pas été significatives ($p > 0,05$) (Tableau XXXIII).

Tableau XXXIII. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d'encoche malade et les principaux bioagresseurs de l'hévéa

	LEM	<i>Corynespora</i> sp.	<i>Fomes</i> sp.	Loranthaceae
LEM	1			
<i>Corynespora</i> sp.	-0,56	1		
<i>Fomes</i> sp.	0,44	-0,25	1	
Loranthaceae	0,49	-0,23	0,09	1

LEM = Longueur d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = Corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = Corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

1.3. Discussion

Les collectes de données réalisées dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, San-Pedro et d'Anguédédou ont permis de relever une longueur d'encoches malades (LEM) moyenne de 34,65 %. Les plantations de la zone d'Anguédédou se sont révélées plus sensibles à la maladie que celles de Zagné et de San-Pedro. De plus, une corrélation négative et significative a été relevée entre les LEM et les zones de culture. Ces résultats pourraient expliquer l'ampleur et la complexité de gestion de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de productions hévéicoles de la Côte d'Ivoire, bien que les agro-industrielles du caoutchouc connaissent les exigences et les meilleures options d'exploitation de l'hévéa. Pour cause, en comparaison avec le taux moyen national de 30 % relevé par Okoma *et al.* (2011a), on peut conclure que la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa a connu un taux de progression de 4,65 %, une décennie plus tard, dans les zones prospectées. Ce résultat est non négligeable dans la mesure où les 9 % de taux d'encoche sèche relevé par Dian (1997) dans les plantations industrielles de Côte d'Ivoire ont conduit à des pertes de production annuelle de latex d'environ 20 000 tonnes. De ce fait, nos recherches se sont tournées vers les pratiques agronomiques actuelles des sociétés agro-industrielles qui peuvent permettre d'expliquer une telle progression de l'encoche sèche dans les exploitations hévéicoles. Il ressort des résultats de l'enquête que la densité de plantation des arbres se présente selon deux types de dispositif que sont les dispositifs 7 m x 2,8 m et 6 m x 3 m. Le dispositif de plantation 7 m x 2,8 m a induit une LEM plus élevée que celle du dispositif 6 m x 3 m. De plus, une corrélation positive et significative a été relevée entre les LEM et le dispositif de plantation. Ces résultats pourraient s'expliquer par les écartements laissés entre les arbres de la surface plantée. En effet, le dispositif de 7 m x 2,8 m offre une grande distance entre les interlignes de rangée (7 m). Par contre sur une même ligne de plantation, les arbres sont beaucoup plus resserrés de 2,8 m (Okoma *et al.*, 2011b) ; ce qui favoriserait les compétitions pour l'acquisition des éléments minéraux et pourrait entraîner des désordres physiologiques (Compagnon, 1986). La maladie de l'encoche sèche de l'hévéa étant un stress physiologique (Okoma *et al.*, 2011b), la compétition intraspécifique pour les éléments minéraux du sol entre les arbres les aurait prédisposés à manifester cet état de désordre au moment de leur exploitation par la saignée. Aussi, la maladie aurait été exacerbée par le vieillissement des plantations. En effet, c'est dans les vieilles plantations d'hévéa de type 7 m x 2,8 m de plus de 15 ans d'exploitation que le taux élevé d'encoche a été enregistré. L'âge des cultures a donc pu influencer leur sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa en raison de l'épuisement en éléments minéraux du sol au fil du temps.

De plus, l'insuffisance de nutriments chez les plantes en général les rends vulnérables à toutes sortes de désordre (Compagnon, 1986). Il est donc recommandé d'utiliser le dispositif standard de 6 m x 3 m qui offre une densité de plantation de 555 arbres.ha⁻¹ (Okoma *et al.*, 2011a). Forte de cette recommandation, la plupart des plantations agro-industrielles ont adopté ce dispositif dans les plantations d'hévéas nouvellement créées.

Par ailleurs, les 281 parcelles d'hévéas visitées au cours de cette étude sont des parcelles en pleine production constituées essentiellement de clones d'hévéas vulgarisés. Au total, neuf clones ont été recensés. Ces clones ont tous été affectés par l'encoche sèche de l'hévéa mais à des degrés différents. De même, les tests de corrélation ont révélé que les LEM ont fortement varié avec le type de clone cultivé. Ces résultats pourraient confirmer les observations empiriques des auteurs révélant que l'encoche sèche de l'hévéa se présente comme une variable quantitative c'est-à-dire qu'elle affecte tous les clones mais à des degrés divers (Dian, 1993 ; Sivakumaran *et al.*, 1994 ; Okoma *et al.*, 2009). Okoma *et al.* (2009) soutiennent, à cet effet, qu'à l'intérieur d'un même clone, tous les arbres n'ont pas la même sensibilité à l'encoche sèche. De plus, nos analyses statistiques ont révélé plusieurs niveaux de sensibilité à la maladie. Les clones les plus sensibles ont été le PB 235 et le RRIC 100. Les moins sensibles ont été le IRCA 331 et les clones à sensibilité intermédiaire ont été le PB 217, le GT1, le IRCA 41, le IRCA 130, le IRCA 230 et le PB 260. Cette variation de sensibilité inter clonale est un caractère commun dans l'apparition de l'encoche sèche chez les hévéas. D'ailleurs, une étude antérieure faite par le CIRAD (1993) a confirmé que la sensibilité se présente sous forme de gradient allant de clones très peu sensibles à des clones très sensibles avec des clones de sensibilités intermédiaires. Cependant, dans notre étude, la sensibilité du RRIC 100, en particulier, a été amplifiée par son exploitation abusive à San-Pedro. En effet, dans cette zone de culture, les clones RRIC 100 ont été saignés en demi-spirale inversée (S/2U) tous les quatre jours alors que leur durée d'exploitation de 24 ans imposait plutôt des saignées en demi-spirale descendante sur l'écorce régénérée du panneau bas à 1,40 m du sol d'après les recommandations faites par la filière hévéa en Côte d'Ivoire (FIRCA, 2013a).

D'autre part, les clones recensés ont tous été affectés par l'encoche sèche suivant leurs classes d'activités métaboliques. La classe métabolique rapide a été la plus sensible à l'encoche sèche avec une LEM de 42,71 %. Elle a été suivie par les classes métaboliques lente et intermédiaire avec respectivement des LEM de 38,83 % et de 31,45 %. Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que la sensibilité clonale à l'encoche sèche est liée à l'activité métabolique des clones.

Cette hypothèse est d'autant plus confortée par le fait que l'étude de Chrestin (1985) a montré que le taux d'encoche sèche augmente avec la fréquence de stimulation. Cette dernière étant décrite comme un processus d'activation du métabolisme (Coupé & Chrestin, 1989). L'on observe donc que les clones peu sensibles à l'encoche sèche ont un métabolisme lent, les clones moyennement sensibles ont un métabolisme intermédiaire et les clones très sensibles ont un métabolisme rapide (Okoma *et al.*, 2009). Cependant, dans cette étude, la classe métabolique lente a été plus sensible à l'encoche sèche que la classe métabolique intermédiaire. Ce contraste pourrait s'expliquer par le fait que, de manière générale, les clones PB 217 et IRCA 41 à métabolisme lent recensés étaient plus âgés et donc stimulés plus fortement.

Par ailleurs, trois types de couteaux de saignés que sont « Aunain », « GIM 777 » et « Gouge » ont été recensés lors des collectes de données. De façon générale, ces couteaux sont utilisés pour saigner les écorces des hévéas à partir de quatre ans de récolte du latex. Mais dans notre cas de figure, les couteaux « Aunain » et « GIM 777 » ont été utilisés par les sociétés agro-industrielles pour saigner les hévéas de tout âge de saignée que ce soit en saignée descendante ou inversée. Seul le couteau « Gouge » a été exclusivement utilisé en saignée inversée comme le recommande la filière hévéa en Côte d'Ivoire. Paradoxalement, c'est ce couteau qui a induit la plus forte LEM de l'étude. Ce résultat pourrait s'expliquer par la hauteur du panneau de saignée qui a pu influencer la qualité de saignée des arbres. En effet, dans la saignée inversée qui se pratique généralement à une hauteur de plus de 1,40 m du sol (Gohet *et al.*, 1991), il n'y a pas de « corps à corps » entre le saigneur et l'arbre à cause de la distance entre le saigneur et le panneau de saignée. De ce fait, le manche du couteau de saigné est rallongé avec un bois ou une tige métallique afin de permettre au saigneur d'atteindre le panneau de saignée. De plus, cette saignée nécessite plus d'effort physique de la part du saigneur pour raviver les écorces des hévéas du bas vers le haut en vue de recueillir leur latex. Il s'en suit des blessures accidentelles de saignée du cambium (mauvaises qualités de saignée) qui génèrent à terme des désordres physiologiques dont découlent la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa (Thaler, 2013). De plus, Koné (2020), dans son étude sur le clone GT1, a confirmé que les arbres qui ont été blessés au cours de la saignée ont, non seulement eu un taux d'encoche sèche plus élevé mais également une faible production de latex comparés aux arbres exempts de blessures.

En outre, l'étude de l'évolution des longueurs d'encoches malades des hévéas en fonction de leurs durées d'exploitation a montré que le taux d'encoche sèche a tendance à augmenter avec le temps.

Toutefois, bien que les hévéas aient une durée d'exploitation comprise entre 1 et 35 ans, l'étude a révélé que les jeunes cultures de 1 à 3 ans de saignée ont affiché une LEM statistiquement identique à celle des vieilles cultures de 26 à 35 ans. Il se pourrait donc que les hévéas soient naturellement prédisposés à manifester les encoches sèches. Ce résultat corrobore les travaux de Okoma *et al.* (2009) qui stipulent qu'un certain nombre d'hévéas sont prédisposés à être atteints d'encoche sèche et ce, très tôt dès les premières années de saignée ; ce qui entraîne une augmentation rapide du taux d'encoche sèche pendant cet intervalle de temps. Les autres arbres qui manifestent plus tard la maladie, le feraient suite à l'activation progressive du métabolisme liée à la durée d'exploitation comme l'a souligné De Faye (1981) sur le clone GT1. Ce dernier processus semble être plus influencé par la sensibilité particulière du clone que par le vieillissement des arbres. Par ailleurs, des trois durées d'exploitation qui ont induit le plus de sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa dans notre étude, la durée de 11 à 18 ans a été celle à laquelle la quasi-totalité des clones cultivés a manifesté la maladie. Ce résultat pourrait s'expliquer par les différents changements de panneaux (balancements) et de système de saignée appliqués dans la conduite des panneaux des plantations d'hévéa. En effet, de la 1^{ère} à la 9^{ème} année, les hévéas sont saignés en descendant avec alternance des panneaux A et B sur écorce vierge. A partir de la 10^{ème} année, on bascule en saignée inversée sur le panneau A en quart de spirale pendant deux années successives. Il s'en suit des alternances de saignées descendantes et inversées (sur écorce vierge) jusqu'à la 18^{ème} année (FIRCA, 2013a). Il se pourrait donc qu'au cours de ces balancements, un épuisement du stock de latex qui se traduirait par des encoches sèches ait intervenu sur les panneaux continus en saignée descendante ou sur les panneaux juxtaposés en saignée inversée rendant ainsi les hévéas plus sensibles à l'encoche sèche pendant cette période d'exploitation de 11 à 18 ans.

Par ailleurs, les résultats des analyses statistiques ont révélé que de façon générale, les LEM des hévéas ont tendance à augmenter avec la fréquence de stimulation. De plus, une corrélation positive et significative a été enregistrée entre la fréquence de stimulation et les LEM. Ces résultats pourraient se justifier par le fait que la gravité de l'encoche sèche augmente avec la durée d'exploitation des hévéas et le régime (dose et fréquence) de stimulation des différents clones. En effet, suivant les recommandations de la filière hévéa, plus les arbres vieillissent, plus leurs fréquences de stimulation augmentent (FIRCA, 2013a). Ce, quelle que soit la classe d'activité métabolique. De plus, la présente étude a révélé que plus la durée d'exploitation et la fréquence de stimulation ont augmenté, plus les LEM ont eu tendance à augmenter également.

Ces résultats corroborent ceux de Okoma (2008) qui ont montré qu'il existe un lien entre la sensibilité des clones à l'encoche sèche, l'activité métabolique des clones, la durée d'exploitation des clones et le régime de stimulation des clones. Selon l'auteur, la sensibilité clonale à l'encoche sèche suit un gradient identique à celui de l'activité métabolique des clones. Elle est corrélée positivement au régime de stimulation de l'arbre et à la durée d'exploitation des clones. La gravité de l'encoche sèche est positivement corrélée au vieillissement des arbres. Les clones peu sensibles supportent mieux la stimulation que les clones sensibles (Okoma, 2008).

À l'issue de l'évaluation des pratiques agronomiques en rapport avec la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa, nos recherches se sont portées sur les facteurs biologiques du milieu de culture susceptibles d'influencer l'incidence de la maladie. À cet effet, les attaques de trois bioagresseurs de l'hévéa que sont *Corynespora* sp., *Fomes* sp. et Loranthaceae ont été évaluées. Les résultats des analyses statistiques ont révélé que les clones parasités par *Corynespora* sp. ont eu des LEM plus faibles que les clones non parasités. De plus, une corrélation négative et significative a été relevée entre les LEM et le bioagresseur. Il semblerait donc que les hévéas parasités par *Corynespora* sp., dans cette étude, ont été en début d'infestation au moment du relevé encoche sèche, raison pour laquelle ils ont produit plus de latex pour se défendre contre l'attaque. En effet, à la saignée de l'hévéa, on incise des cellules spécialisées et celles-ci déversent alors leur contenu appelé le latex. On pense aujourd'hui que ces cellules constituent un système de défense de la plante. La coagulation du latex libéré lors de l'incision permet de colmater rapidement celles-ci et donc d'en faciliter la cicatrisation (Déon, 2012). Par ailleurs, des études antérieures ont montré que la cinétique de production du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) par l'hévéa attaqué est très souvent utilisée pour distinguer les réactions de type hypersensible des réactions incompatibles (Dixon *et al.*, 1994). Généralement, le premier pic d' H_2O_2 , qui est produit dès le premier contact entre l'éliciteur et le récepteur sur la cellule hôte, est commun aux réactions compatibles et incompatibles alors que l'apparition d'un second pic plus tardif serait caractéristique de la réaction hypersensible. Cette cinétique a été étudiée lors de l'interaction du clone résistant GT1 avec *Corynespora cassiicola* et a mis en évidence un seul pic d' H_2O_2 , ce qui traduirait l'absence de réaction hypersensible chez le clone résistant face à l'infection (Breton 1997). Cependant, dans notre étude, les clones GT1 cultivés à San-Pedro ont particulièrement été sensibles (81,03 %) à l'encoche sèche de l'hévéa suite aux attaques de *Corynespora* sp. révélant, cette fois ci, leur hypersensibilité à la maladie.

Par ailleurs, la mise en évidence de l'effet de *Fomes* sp. sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa a montré que les hévéas attaqués par ce bioagresseur ont affiché des taux d'encoches malades supérieurs à ceux des hévéas non-attaqués. Toutefois, la corrélation entre les deux variables a été faible au seuil de 5 %. N'empêche que le champignon tellurique lignivore *Fomes* sp. s'attaque préférentiellement au pivot principal de l'hévéa pour détourner ses réserves au profit de sa nourriture (Obouayeba, 2005). Il s'en suit un jaunissement général des feuilles et des défoliations répétées (Okoma, 2008) qui imposent aux hévéas de concentrer toute leur énergie et leurs sucres (matière première de régénération du latex) à la réfoliation et à la défense contre le stress subit au détriment de la fabrication du latex. Toutes choses qui finissent par agir sur les performances de production des hévéas en provoquant des encoches sèches à un stade avancé des attaques comme l'ont montré nos résultats. À cet effet, nos hypothèses sont confortées par le fait que les études d'Hornus et Gohet ont montré que les hévéas parasités emploient leur énergie ainsi que leurs sucres pour les besoins de leur défense (Okoma, 2008). Or, c'est en fonction du niveau de sucre disponible au sein du latex, qu'on peut avoir une idée assez précise de l'état physiologique des hévéas et par conséquent, de la possibilité d'accroissement de leurs rendements.

Enfin, dans les plantations agro-industrielles visitées, les parcelles attaquées par les Loranthaceae ont affiché des LEM plus importantes que celles des parcelles non attaquées. Cette influence négative du bioagresseur, bien que n'étant pas corrélée significativement ($r = 0,49$; $p > 0,05$) avec la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa pourrait, néanmoins, s'expliquer par le parasitisme nocif des Loranthaceae. Pour cause, les Loranthaceae sont des plantes parasites qui, une fois fixée sur l'arbre, prélèvent de l'eau et des nutriments ; ce qui affaiblit les arbres hôtes et les rendent plus vulnérables à d'autres types d'attaques et de maladies (Koffi *et al.*, 2014). De ce fait, l'arbre fragilisé par une attaque de Loranthaceae, voit sa production se réduire jusqu'à son arrêt total dans certains cas de figure (Koffi *et al.*, 2014). Or par définition, l'encoche sèche de l'hévéa est une maladie physiologique qui est liée à tous les stress que subit l'hévéa dans son milieu de culture (Jacob *et al.*, 1990). Il se pourrait donc que le stress résultant du parasitisme des Loranthaceae ait contribué, non seulement, à réduire les capacités de production de l'arbre (Dibong *et al.*, 2010 ; Ahamidé *et al.*, 2017), mais également, à amplifier la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche.

1.4. Conclusion partielle

Au terme de cette étude, il ressort que le syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa continue de sévir dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, San-Pedro et d'Anguédédou avec une longueur d'encoche malade (LEM) moyenne de 34,65 %. Les plantations de la zone d'Anguédédou se sont révélées plus sensibles à la maladie que celles de Zagné et de San-Pedro.

Pour l'ensemble des pratiques agronomiques recensées, les plus fortes LEM ont été enregistrées avec les dispositifs de plantation 7 m x 2,8 m. Quant aux neuf clones recensés, seuls les clones PB 235 et RRIC 100 se sont révélés plus sensibles à l'encoche sèche. Par ailleurs, le couteau de saignée « Gouge », l'âge d'exploitation des hévéas compris entre 11 et 18 ans et les fréquences de stimulation de 6 à 15 applications annuelles ont fortement augmenté les LEM. Cependant, les meilleurs compromis ont été trouvés avec les dispositifs de plantation 6 m x 3 m qui offrent les bonnes distances entre les interlignes de rangée et les lignes de plantation. En outre, le clone d'hévéa IRCA 331 s'est démarqué par une faible sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa. Les couteaux de saignée « Aunain » et « GIM 777 » ont également généré de faibles LEM aux hévéas saignés.

Par ailleurs, l'influence des bioagresseurs sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa a été mise en évidence. En effet, les hévéas attaqués par *Fomes* sp. ont affiché des LEM plus élevées que celles des hévéas non-attaqués. De même, les hévéas attaqués par les Loranthaceae ont enregistré des LEM plus importantes que celles des hévéas non parasités. Seuls les hévéas attaqués par *Corynespora* sp. ont présenté des LEM plus faibles que celles des hévéas non-attaqués ; signe que les arbres attaqués étaient en début d'infestation et qu'ils ont généré un pic de production de caoutchouc pour se défendre contre le bioagresseur.

Chapitre 2. Étude de l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

2.1. Introduction

La pluviométrie constitue un facteur très important en hévéaculture. En effet, elle conditionne la végétation de l'arbre et la production de caoutchouc. Toutefois, lorsque sa répartition n'est pas homogène sur toute l'année, son influence se traduit par une plus ou moins forte sensibilité à l'encoche sèche. Cette étude a été entreprise en vue d'étudier l'effet d'un possible stress hydrique sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa.

2.2. Résultats

À l'issue des collectes de données, les résultats ont révélé que les plantations des trois zones visitées ont toutes été créées entre 1987 et 2008. Les relevés d'encoches sèches de cette étude ont, en outre, été réalisés d'octobre 2020 à février 2021. Ainsi, un total de 33 années (1987 à 2020) de données pluviométriques ont été collectées auprès des stations SODEXAM des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou.

2.2.1. Analyse de l'évolution pluviométrique mensuelle de 1987 à 2020

La moyenne pluviométrique mensuelle des 33 années de culture pour l'ensemble des zones visitées a été de 132,74 mm.mois⁻¹. Les analyses statistiques ont révélé une différence très significative ($p = 0,00$) entre les moyennes pluviométriques des différents mois de l'année. Les mois les plus secs (à très faible pluviométrie) ont été décembre, janvier et février avec des moyennes pluviométriques mensuelles respectives de 52,24 mm.mois⁻¹, 28,80 mm.mois⁻¹ et 54,93 mm.mois⁻¹. Les mois à pluviométrie relativement moyenne ont été mars (103,56 mm.mois⁻¹), avril (139,96 mm.mois⁻¹), juillet (140,23 mm.mois⁻¹), août (121,94 mm.mois⁻¹), septembre (173,01 mm.mois⁻¹), octobre (184,15 mm.mois⁻¹) et novembre (96,93 mm.mois⁻¹). Les mois les plus pluvieux (à très forte pluviométrie) ont, quant à eux, été ceux de mai et juin avec des moyennes pluviométriques respectives de 205,95 mm.mois⁻¹ et de 292,05 mm.mois⁻¹ (Tableau XXXIV).

Tableau XXXIV. Évolution mensuelle des pluies de 1987 à 2020

Mois	Moyenne pluviométrique mensuelle (mm.mois ⁻¹)
Janvier	28,80 ± 29,19 ^e
Février	54,93 ± 35,10 ^e
Mars	103,56 ± 48,28 ^{cd}
Avril	139,96 ± 56,08 ^c
Mai	205,95 ± 77,66 ^{ab}
Juin	292,05 ± 124,71 ^a
Juillet	140,23 ± 80,75 ^c
Août	121,94 ± 101,50 ^c
Septembre	173,01 ± 105,24 ^{bc}
Octobre	184,15 ± 80,52 ^{bc}
Novembre	96,93 ± 47,44 ^{bcd}
Décembre	52,24 ± 35,70 ^e
Moyenne (mm.mois⁻¹)	132,74 ± 102,94
P	0,00

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; mm.an⁻¹ = Millimètre de pluie par an ; mm.mois⁻¹ = Millimètre de pluie par mois ; LEM (%) = Pourcentage de longueur d’encoche malade ; Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

2.2.2. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à Zagné

L’étude de la variation pluviométrique de 1987 à 2020 n’a révélé aucune rupture de stationnarité pour la zone de Zagné (Figure 32). Par contre, l’indice pluviométrique montre une variabilité entre les quantités de pluies de chaque année par rapport à la moyenne établie sur la période de 1987 à 2020. En outre, les parcelles visitées à Zagné ont toutes été plantées entre 1987 et 2013. Or, de 1987 à 1990, de 1998 à 1999 et de 2009 à 2013, des humidités modérées ont été enregistrées dans cette zone. Par ailleurs, des phases de sécheresses modérées ont été enregistrées entre 1991 et 1997, 2000 et 2001, 2007 et 2008. Enfin, de 2002 à 2006, une sécheresse extrême a été enregistrée (Figure 33).

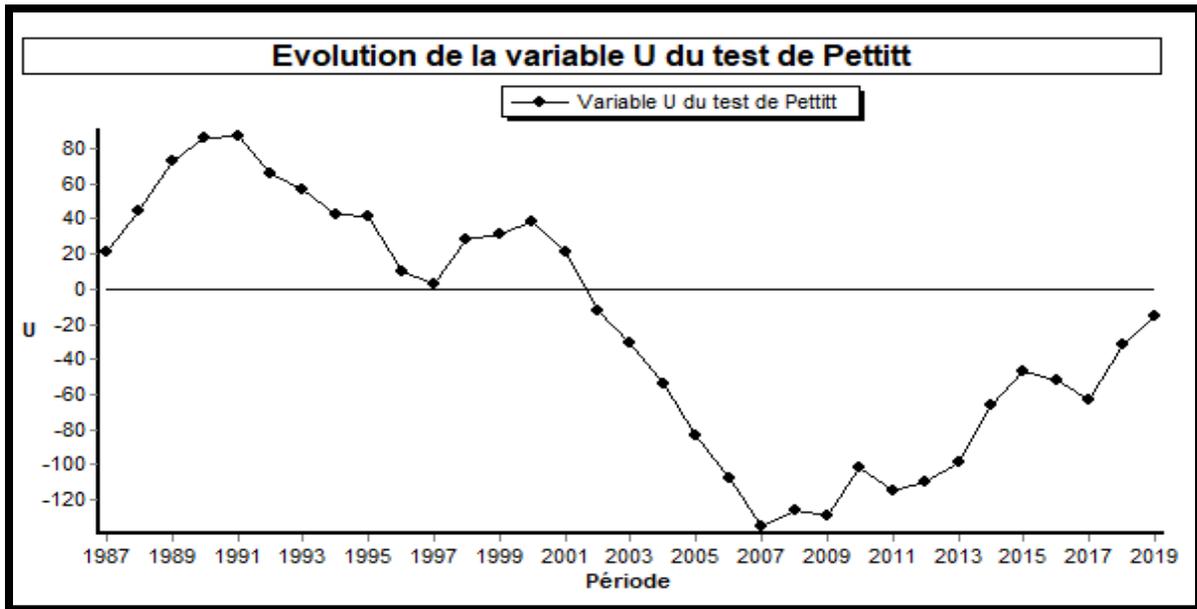


Figure 32. Tendence des pluies relevées à Zagné de 1987 à 2020

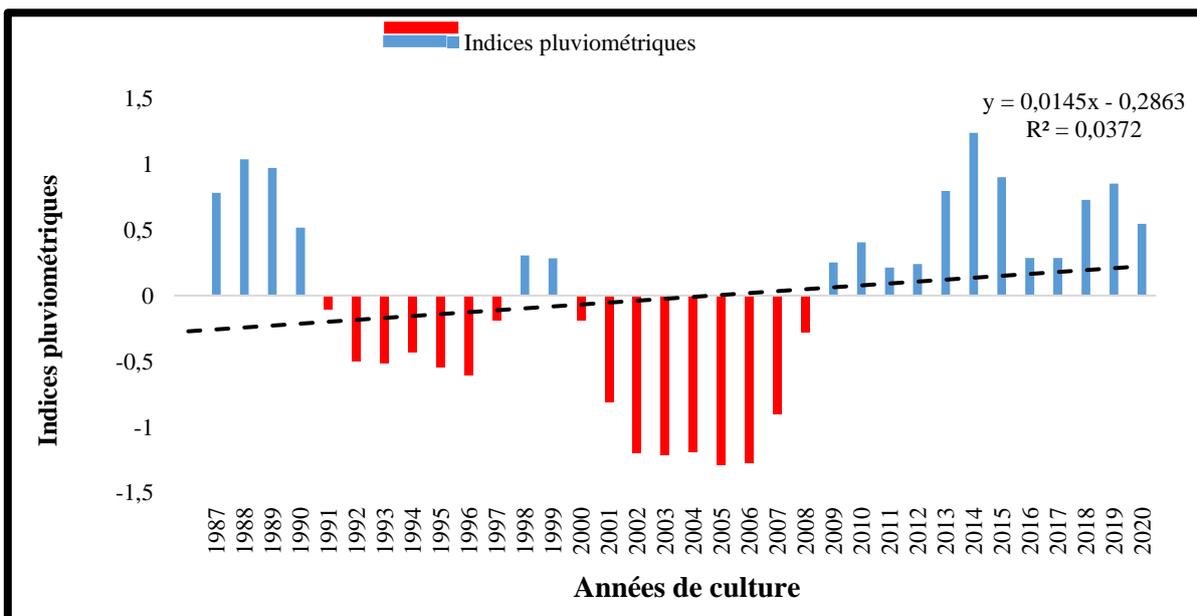


Figure 33. Fluctuation des quantités de pluies tombées à Zagné entre 1987 et 2020

Avec indice pluviométrique >2 = Humidité extrême ; $1 < \text{indice pluviométrique} < 2$ = Humidité forte ; $0 < \text{indice pluviométrique} < 1$ = Humidité modérée ; $-1 < \text{indice pluviométrique} < 0$ = Sècheresse modérée ; $-2 < \text{indice pluviométrique} < -1$ = Sècheresse forte ; indice pluviométrique < -2 = Sècheresse extrême

2.2.3. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à San-Pedro

L'examen des tendances pluviométriques de 1987 à 2020 a révélé une absence de rupture de stationnarité à San-Pedro (Figure 34).

Cependant, l'indice pluviométrique indique des écarts entre les quantités de pluies de chaque année par rapport à la moyenne établie sur la période considérée. En outre, toutes les parcelles visitées à San-Pedro ont été plantées entre 1987 et 2013. Or, de 1987 à 1990, de 1999 à 2000 et de 2013 à 2015, des humidités modérées ont été enregistrées dans cette zone. Par ailleurs, de 1991 à 1998, de 2001 à 2009 et en 2012, des phases de sècheresses modérées ont été enregistrées (Figure 35).

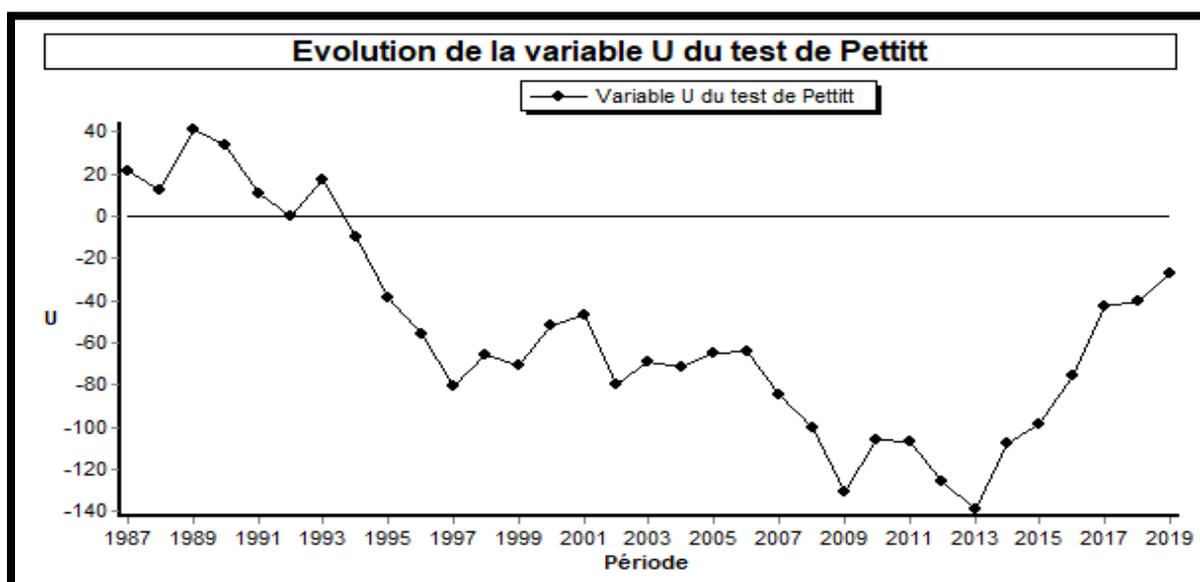


Figure 34. Tendence des pluies relevées à San-Pedro de 1987 à 2020

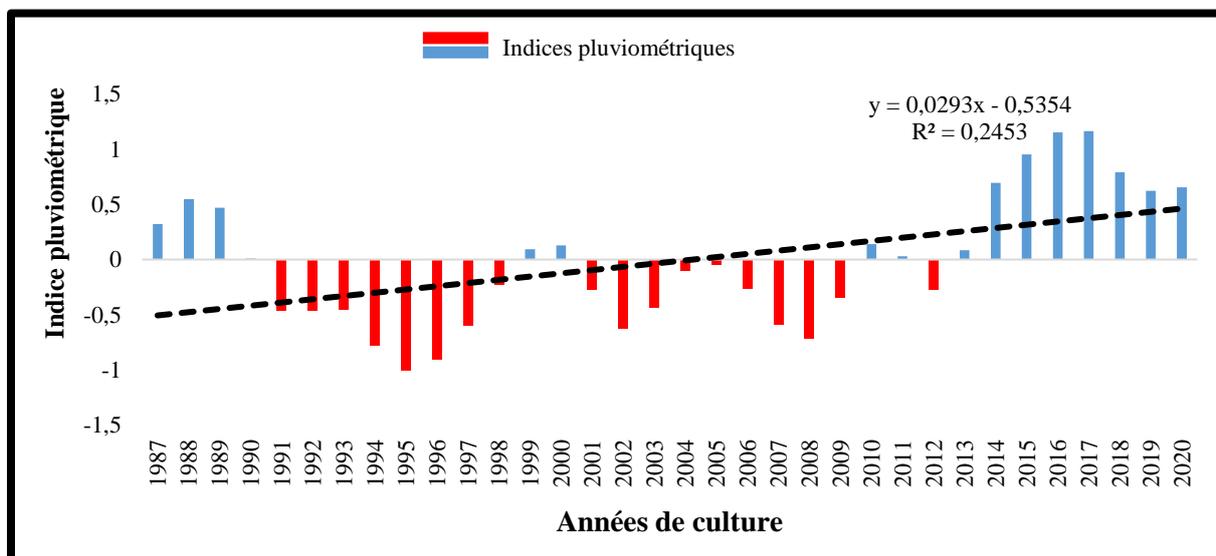


Figure 35. Fluctuation des quantités de pluies tombées à San-Pedro entre 1987 et 2020

Indice pluviométrique >2 = Humidité extrême ; 1 < indice pluviométrique < 2 = Humidité forte ; 0 < indice pluviométrique < 1 = Humidité modérée ; -1 < indice pluviométrique < 0 = Sècheresse modérée ; -2 < indice pluviométrique < -1 = Sècheresse forte ; indice pluviométrique < -2 = Sècheresse extrême

2.2.4. Variation pluviométrique de 1987 à 2020 à Anguédédou

La figure 36 indique qu'à Anguédédou, une rupture de stationnarité a été observée en 2008 au seuil de 90 % avec deux sous-séries que sont les séries de 1987 à 2008 et celles de 2009 à 2020. Les pluviométries moyennes de la première sous-série (1987 à 2008) ont été de 1252,74 mm.mois⁻¹. Celles de la deuxième sous-série (2009 à 2020) ont été de 1412,14 mm.mois⁻¹.

Par ailleurs, l'indice pluviométrique indique une variabilité entre les quantités de pluies de chaque année par rapport à la moyenne établie sur la période 1987 à 2020. En outre, les plantations hévéicoles de ce site ont toutes été plantées dans la période de 1993 à 2008. Or, de 1990 à 2000 et de 2003 à 2009, des sécheresses modérées ont été enregistrées (Figure 37).

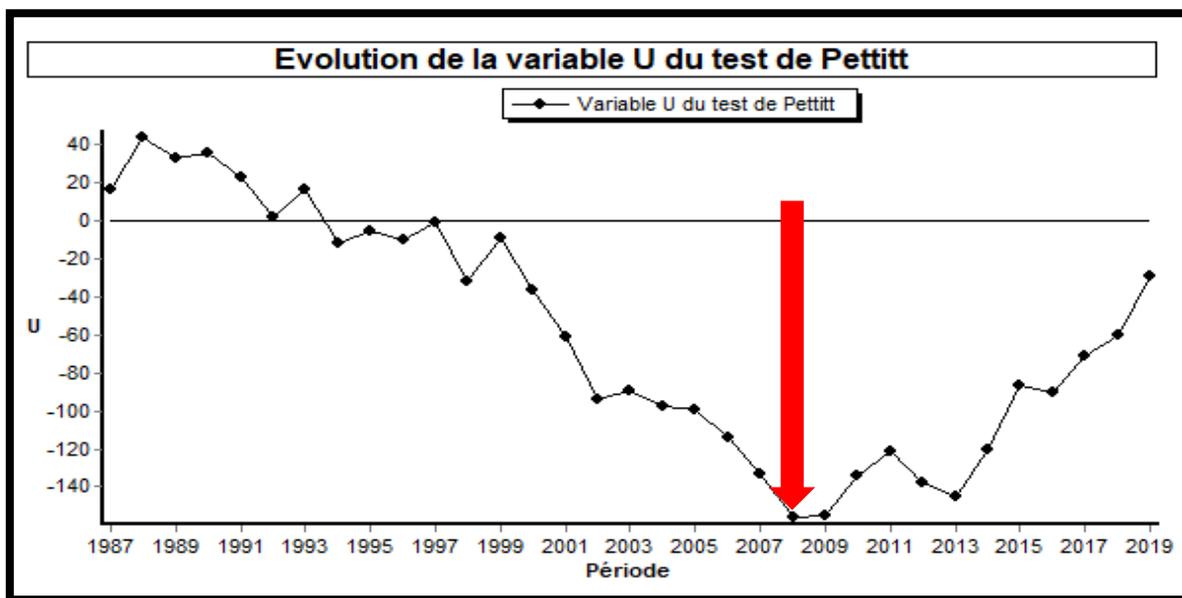


Figure 36. Rupture de stationnarité relevée à Anguédédou en 2008 par le test de Pettitt

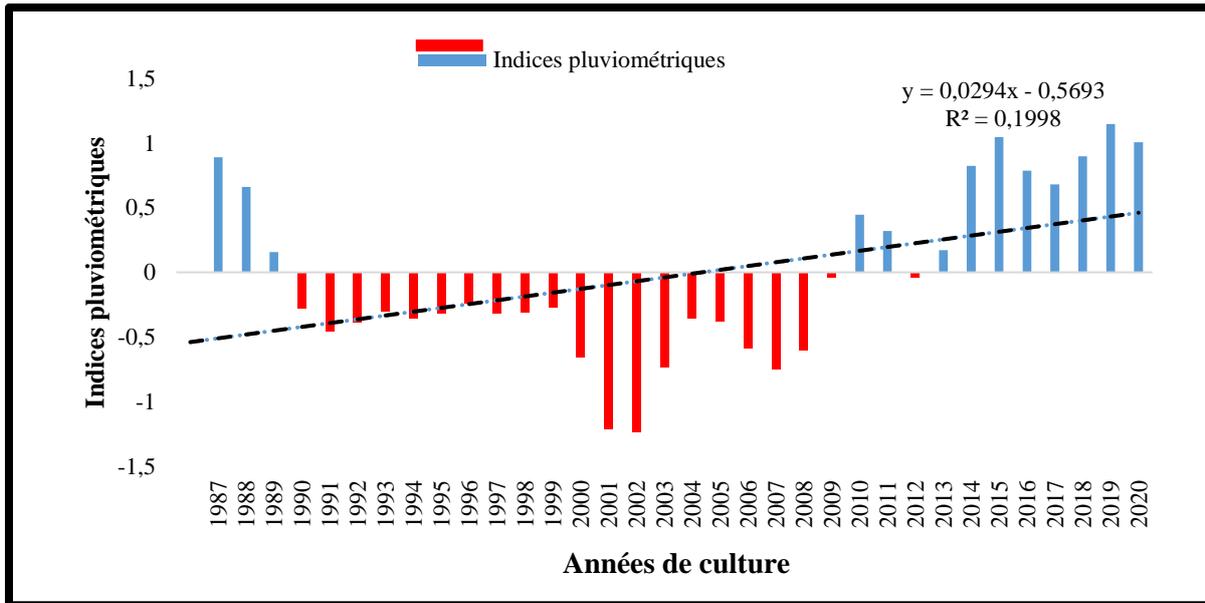


Figure 37. Fluctuation des quantités de pluies tombées à Anguédédou entre 1987 à 2020

Indice pluviométrique >2 = Humidité extrême ; $1 < \text{indice pluviométrique} < 2$ = Humidité forte ; $0 < \text{indice pluviométrique} < 1$ = Humidité modérée ; $-1 < \text{indice pluviométrique} < 0$ = Sècheresse modérée ; $-2 < \text{indice pluviométrique} < -1$ = Sècheresse forte ; indice pluviométrique < -2 = Sècheresse extrême

2.2.5. Variation de la sensibilité à l’encoche sèche en relation avec les totaux pluviométriques de 1987 à 2020

Les totaux pluviométriques des différentes zones de culture ont varié entre 1308,96 et 1827,18 mm.mois⁻¹ sur la période allant de 1987 à 2020. Quant aux longueurs d’encoche malade (LEM), elles ont varié entre 33,07 et 36,56 %. Au niveau des analyses statistiques, les résultats ont montré que les totaux pluviométriques annuels ont significativement différencié ($p = 0,00$) d’une zone de culture à une autre. Le site le plus pluvieux a été celui de San-Pedro avec un total annuel de 1827,18 mm.mois⁻¹ et une faible LEM de 33,07 %. Le site le moins pluvieux a été celui d’Anguédédou avec un total annuel de 1308,96 mm.mois⁻¹ et une forte LEM de 36,56 % (Figure 38).

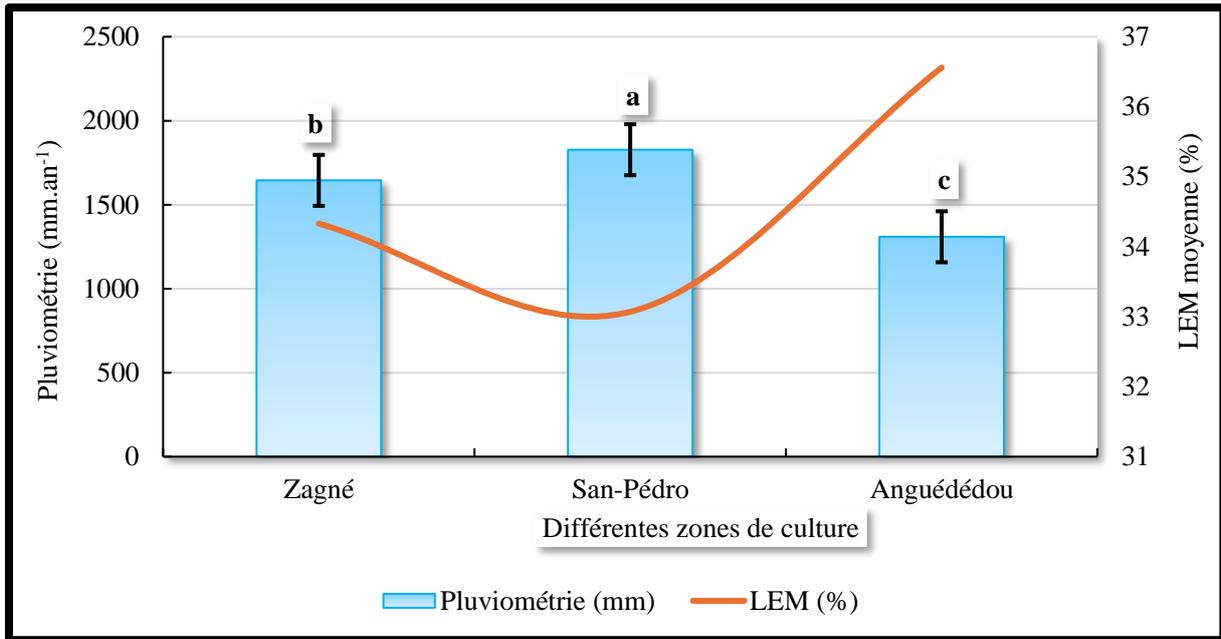


Figure 38. Variation de la longueur d’encoche malade des hévéas en fonction de la pluviométrie annuelle des différentes zones de culture

2.2.6. Corrélation entre les longueurs d’encoche malade, la zone de culture et la pluviométrie

La matrice de corrélation obtenue entre les longueurs d’encoche malade (LEM), la zone de culture et la pluviométrie est présentée dans le tableau XXXV. Les résultats ont montré une corrélation négative et significative entre les LEM et la pluviométrie ($r = - 0,55$; $p < 0,05$) ; ce qui signifie qu’à mesure que la pluie augmente, le taux d’encoche sèche diminue.

En outre, une très forte corrélation positive ($r = 0,74$; $p < 0,05$) a été relevée entre la zone de culture et la pluviométrie ; montrant que la pluviométrie varie suivant les différentes zones (Tableau XXXV).

Tableau XXXV. Matrice de corrélation de Spearman entre les longueurs d’encoche malade, la zone de culture et la pluviométrie

	LEM	Zone de culture	Pluviométrie
LEM	1		
Zone de culture	0,47	1	
Pluviométrie	-0,55	0,74	1

LEM = Longueur d’encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

2.3. Discussion

L'analyse de l'évolution pluviométrique de la période de planting des hévéas jusqu'à la période de relevé encoche sèche de cette étude (soit 33 ans) a permis de mettre en évidence les saisons et les ruptures pluviométriques ainsi que leurs influences sur la maladie étudiée. De manière générale, la répartition pluviométrique sur le calendrier cultural annuel correspond aux quatre saisons pluviométriques classiques de la Côte d'Ivoire (Okoma, 2008) mise à part le fait que d'une zone de culture à une autre, des différences significatives ont été observées entre les différentes moyennes pluviométriques. En outre, l'évolution des longueurs d'encoches malades a montré que celle-ci diminue avec l'augmentation de la pluviométrie. Ces résultats indiquent que des conditions plus sèches, avec moins de pluie, favorisent les encoches sèches qui sont des périodes où l'arbre produit moins de latex. Cela peut être lié au stress hydrique que subissent les hévéas en période de sécheresse. En effet, pendant cette période, les arbres manquent d'eau ; ce qui peut entraîner un flétrissement et une perte de turgescence des feuilles. De plus, le manque d'eau limite la capacité d'absorption des nutriments par les racines ; ce qui peut affecter la santé générale de l'arbre. Par ailleurs, la sécheresse baisse considérablement la quantité de latex produit. Enfin, les cellules des hévéas subissent des perturbations osmotiques pouvant affecter leur fonctionnement normal et, à terme, nuire à leur viabilité (Compagnon, 1986).

Cette étude a également montré que l'influence de la pluviométrie sur l'encoche sèche se traduit, au cours de l'année, par une faible expression de la maladie pendant les périodes de forte pluviométrie et par une expression plus prononcée durant les périodes de faible pluviométrie. Ces résultats corroborent ceux de Okoma *et al.* (2009) qui stipulent que la sensibilité des clones d'hévéas à l'encoche sèche est sous l'influence des facteurs climatiques et qu'il existe en plus, une variation saisonnière de l'expression de l'encoche sèche qui est très faible pendant la grande saison des pluies et très élevée pendant la grande saison sèche. Ainsi donc, en périodes de forte pluviométrie, un excès d'eau peut entraîner la saturation du sol et nuire à l'oxygénation des racines ; ce qui peut réduire la production du latex car l'arbre peut devenir moins efficace dans l'utilisation des ressources (N'Guema *et al.*, 2016). De plus, le stress physiologique qui résulte des périodes trop humides peut faire que les hévéas réduisent leur métabolisme ; limitant ainsi la production du latex et, par conséquent l'expression des encoches sèches. Par contre en période de sécheresse, le manque d'eau entraîne un stress qui pousse l'arbre à limiter sa production de latex pour conserver ses ressources ; ce qui peut provoquer une augmentation des encoches sèches. De plus, les hévéas réagissent au stress hydrique en fermant leurs stomates, ce qui limite encore plus la photosynthèse et la production de latex (Kadir *et al.*, 2022).

De ce fait, une forte pluviométrie peut conduire à une faible expression des encoches sèches en raison d'un excès d'eau et de stress physiologique, tandis qu'une période sèche entraîne une augmentation des encoches sèches en raison du stress hydrique sur l'arbre (Compagnon, 1986).

Par ailleurs, une rupture pluviométrique au seuil de 90 % (Test de Pettit) a été observée à Anguédédou au titre de l'année 2008. Or les plantations d'hévéas de cette zone ont toutes été créées dans l'intervalle de 1993 à 2008. En outre, les moyennes pluviométriques des différentes sous-séries encadrant la rupture à savoir $1252,74 \text{ mm.an}^{-1}$ et $1412,14 \text{ mm.an}^{-1}$ n'ont jamais atteint la barre des 1500 mm de pluie annuelle recommandée par le FIRCA (2013b) pour une hévéaculture optimale en Côte d'Ivoire. De plus, c'est cette zone d'Anguédédou qui a été plus sensible à l'encoche sèche dans cette étude. Il semblerait donc que la rupture pluviométrique ait induit un possible stress hydrique inné chez les hévéas plantés en 2008 qui se serait manifesté, des années plus tard, par des encoches sèches au moment de la saignée.

2.4. Conclusion partielle

L'analyse de l'évolution pluviométrique interannuelle de 1987 à 2020 (soit 33 années de culture) montre que sa répartition correspond aux quatre saisons pluviométriques classiques de la Côte d'Ivoire. Seulement, en période de forte pluviométrie, une faible expression des encoches sèches est relevée en raison d'un excès d'eau et de stress physiologique, tandis qu'en période de sécheresse, une augmentation des encoches sèches est enregistrée en raison du stress hydrique sur l'arbre.

De plus, l'étude a révélé que la pluviométrie a fortement varié en fonction des différentes zones de cultures ($r = 0,74$; $p < 0,05$), faisant varier par la même occasion le taux d'encoche sèche des hévéas. Par ailleurs, une rupture pluviométrique a été détectée dans la zone d'Anguédédou en 2008 ; ce qui a contribué à rendre cette zone plus sensible à l'encoche sèche de l'hévéa dans cette étude.

Chapitre 3. Évaluation de l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa

3.1. Introduction

Ce chapitre porte sur l'évaluation de trois méthodes de lutte agronomique contre l'encoche sèche de l'hévéa. Ces méthodes qui portent sur la sous-stimulation, la saignée à l'aide d'un couteau à lame changeable et la fertilisation des plantations d'hévéas matures ont permis d'enregistrer des taux de régénération d'encoche sèche très acceptables dans l'ensemble. En effet, bien qu'étant une composante du système de récolte du latex, la stimulation a été utilisée comme une méthode de lutte contre l'encoche sèche suite à son application à faibles doses (inférieures à 2,5 %). Le couteau de saignée à lame changeable et réglable Hornbill a également été utilisé comme moyen de lutte pour limiter les blessures de saignée qui débouchent sur l'encoche sèche. La fertilisation a, quant à elle, permis de pallier le déficit minéral des hévéas saignés et contribué à réduire les longueurs d'encoches malades.

3.2. Résultats

3.2.1. Effet des faibles doses de stimulation sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

3.2.1.1. Longueurs d'encoche malade induites par les différentes doses de stimulation chez le clone d'hévéa GT1

L'évolution des longueurs d'encoches malades (LEM) induites par les différents traitements stimulants chez le clone GT1 de novembre 2021 à janvier 2024 a été présentée à la figure 39. De manière générale, les courbes d'évolution des cinq traitements de stimulation ont connu des pics de LEM dans la période de août à octobre 2022 avant de connaître une chute de LEM de novembre à décembre 2022. En outre, trois grands groupes d'évolution de LEM ont été distingués à savoir les courbes largement au-dessus (Traitements 0 et 2), les courbes intermédiaires (Traitement 1) et les courbes largement en dessous (Traitements 3 et 4). Ces courbes ont révélé que les traitements de stimulation induisent respectivement une forte sensibilité, une moyenne sensibilité et une faible sensibilité des hévéas à l'encoche sèche tout au long de l'étude.

Globalement, l'effet significatif ($p = 0,00$) des faibles doses de stimulation a été mis en évidence sur la réduction des LEM du clone GT1 au bout de 27 mois d'expérimentation. Toutefois, le traitement 2 a affiché statistiquement une LEM ($6,09 \pm 17,68$ %) supérieure à celle du témoin stimulé à 2,5 % (Traitement 0 ; 5,50 %) avec une augmentation des LEM de 11 %.

Les traitements 1 (3,69 %), 3 (1,93 %) et 4 (1,34 %) ont, quant à eux, généré de faibles LEM conduisant à des taux d’encoche régénérée respectifs de 33 %, 65 % et 76 % comparativement au traitement témoin (Traitement 0). Par ailleurs, la plus faible LEM de l’étude (1,34 %) a été enregistrée avec le traitement 4 (Tableau XXXVI).

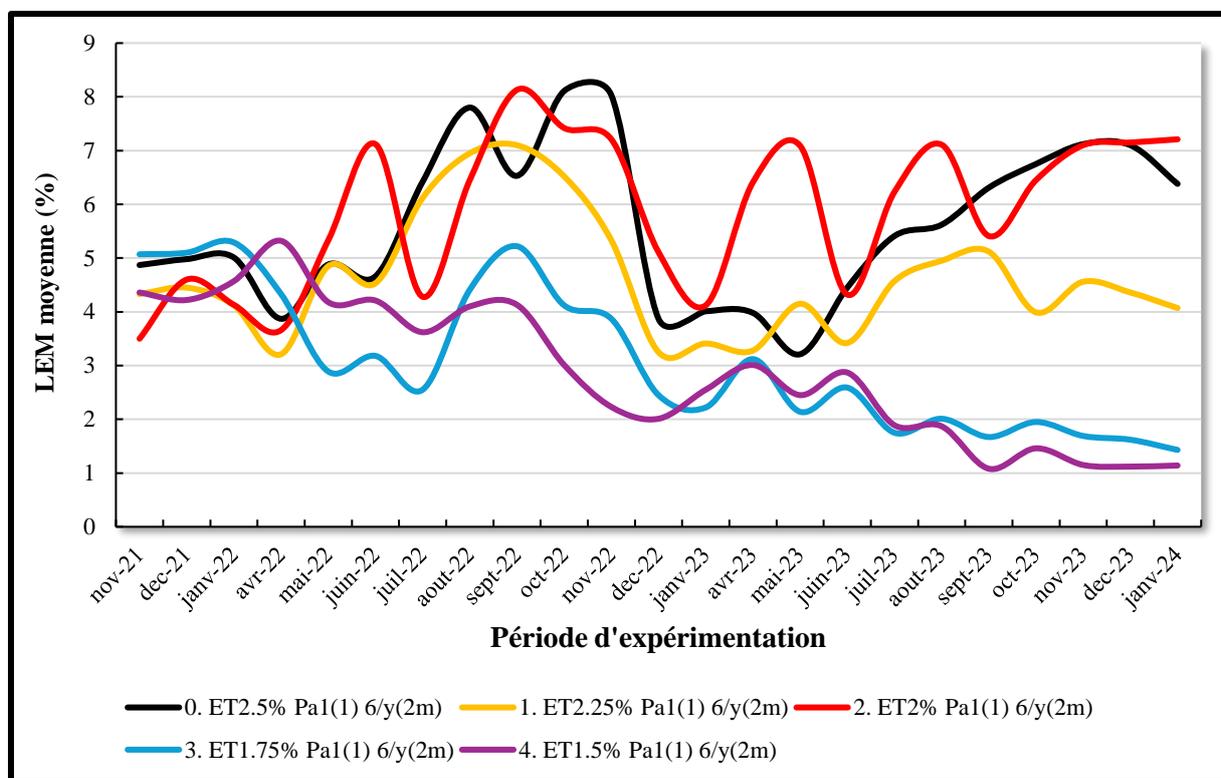


Figure 39. Évolution des longueurs d’encoches malades induites par les différents traitements stimulants chez le clone GT1 en 1^{ère} année de saignée pendant 27 mois de stimulation
 LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Traitement témoin = hévéa stimulé à l’aide d’Éthrel concentré à 2,5 % de matière active d’Éthéphon avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois

Tableau XXXVI. Longueurs d’encoche malade moyennes induites par les différents traitements de stimulation chez le clone GT1 en 1^{ère} année de saignée après 27 mois d’expérimentations

Traitements	LEM moyenne (%)	Encoches régénérées (%)
0. ET2.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	5,50 ± 15,42 ^b	-
1. ET2.25 % Pa1(1) 6/y(2m)	3,69 ± 12,84 ^c	+ 33
2. ET2 % Pa1(1) 6/y(2m)	6,09 ± 17,68 ^a	- 11
3. ET1.75 % Pa1(1) 6/y(2m)	1,93 ± 8,19 ^d	+ 65
4. ET1.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	1,34 ± 9,06 ^e	+ 76
P	0,00	-

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Encoches régénérées (%) = Pourcentage d’encoches régénérées (gain ou perte) par rapport au traitement témoin stimulé à 2,5 % ; Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Traitement témoin = hévéa stimulé à l’aide d’Éthrel concentré à 2,5 % de matière active d’Ethéphon avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.1.2. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différentes doses de stimulation chez le clone d’hévéa GT1

Au début de l’expérimentation, aucune différence significative ($p = 0,63$) n’avait été observée au niveau des circonférences des hévéas. La circonférence moyenne mesurée à 1,70 m du sol était alors de 52,70 cm. À la fin de l’expérimentation, une variation significative ($p < 0,05$) a été enregistrée avec une moyenne de 62,45 cm (Tableau XXXVII).

Dans l’ensemble, au bout des 27 mois d’expérimentations, toutes les faibles doses de stimulation (Traitements 1, 2, 3 et 4) ont induit d’importants accroissements annuels de circonférence comparativement au témoin stimulé à 2,5 % (Traitement 0 ; 2,57 cm.an⁻¹). Les hévéas stimulés à 1,75 % (Traitement 3) et 1,5 % (Traitement 4) se sont démarqués avec les accroissements de circonférence les plus significatifs de 7,29 cm.an⁻¹ et de 8,39 cm.an⁻¹ respectivement. Ils ont été suivis par les hévéas stimulés à 2,25 % (Traitement 1) et 2 % (Traitement 2) avec des accroissements de circonférence respectifs de 3,33 cm.an⁻¹ et de 2,89 cm.an⁻¹ (Tableau XXXVII).

Tableau XXXVII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents traitements de stimulation chez le clone GT1 en 1^{ère} année de saignée après 27 mois d'expérimentations

Traitements	Circonférence (cm)		Accroissement (cm.an ⁻¹)
	Début d'expérimentation	Fin d'expérimentation	
0. ET2.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	52,31 ± 5,31 ^a	57,44 ± 5,67 ^d	2,57 ± 1,08 ^d
1. ET2.25 % Pa1(1) 6/y(2m)	52,54 ± 5,16 ^a	59,20 ± 6,26 ^c	3,33 ± 2,48 ^c
2. ET2 % Pa1(1) 6/y(2m)	52,93 ± 4,78 ^a	58,70 ± 5,75 ^{cd}	2,89 ± 1,58 ^{cd}
3. ET1.75 % Pa1(1) 6/y(2m)	52,83 ± 4,87 ^a	67,42 ± 11,70 ^{ob}	7,29 ± 5,87 ^b
4. ET1.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	52,81 ± 5,11 ^a	69,59 ± 7,67 ^a	8,39 ± 4,61 ^a
p	0,63	0,00	0,00

Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Traitement témoin = hévéa stimulé à l'aide d'Éthrel concentré à 2,5 % de matière active d'Éthéphon avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois ; cm = Centimètre ; cm.an⁻¹ = Centimètre par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.1.3. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différentes doses de stimulation

Les productions moyennes en g.a⁻¹.s⁻¹, g.a⁻¹.an⁻¹ et kg.ha⁻¹.an⁻¹ de caoutchouc sec obtenues chez le clone GT1 après 27 mois de stimulation éthylénique sont présentées dans le tableau XXXVIII. Ces productions ont été significativement différentes (p < 0,05) suivant la dose de stimulation appliquée.

La production moyenne en g.a⁻¹.s⁻¹ (72), en g.a⁻¹.an⁻¹ (3602) et en kg.ha⁻¹.an⁻¹ (1440) de caoutchouc du traitement 1 a été supérieure à celle de tous les autres traitements ; générant un gain de production de 13 % comparativement au témoin stimulé à 2,5 % (Traitement 0). En outre, la dose minimale de stimulation de 1,5 % (Traitement 4) a généré statistiquement la même production de caoutchouc en g.a⁻¹.s⁻¹ (63), g.a⁻¹.an⁻¹ (3199) et en kg.ha⁻¹.an⁻¹ (1279) que le témoin stimulé à 2,5 % (traitement 0) (Tableau XXXVIII).

De manière générale, les faibles doses de stimulation étudiées ont toutes induit des productions de caoutchouc supérieures ou égales à celles du témoin stimulé à 2,5 % (Tableau XXXVIII).

Tableau XXXVIII. Productions moyennes de caoutchouc sec du clone GT1 en 1^{ère} année de saignée après 27 mois de stimulation

Traitements	g.a ⁻¹ .s ⁻¹	g.a ⁻¹ .an ⁻¹	kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹	GP kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (%)
0. ET2.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	63 ± 40 ^c	3186 ± 2028 ^c	1274 ± 811 ^c	-
1. ET2.25 % Pa1(1) 6/y(2m)	72 ± 38 ^a	3602 ± 1925 ^a	1440 ± 770 ^a	+ 13
2. ET2 % Pa1(1) 6/y(2m)	70 ± 44 ^{ab}	3527 ± 2245 ^{ab}	1411 ± 898 ^{ab}	+ 11
3. ET1.75 % Pa1(1) 6/y(2m)	68 ± 55 ^b	3446 ± 2774 ^b	1378 ± 1109 ^b	+ 8
4. ET1.5 % Pa1(1) 6/y(2m)	63 ± 52 ^c	3199 ± 2607 ^c	1279 ± 1043 ^c	+ 0
p	0,00	0,00	0,00	-

Exemple : 0.ET2.5% Pa1(1) 6/y(2m) = Traitement témoin = hévéa stimulé à l'aide d'Éthrel concentré à 2,5 % de matière active d'Ethéphon avec 0,8 g de stimulant appliqué sur panneau sur une bande de 1 cm, 6 applications par an à intervalle de deux mois ; GP kg.ha⁻¹.an⁻¹(%) = Gain en pourcentage de production exprimée en kilogrammes par hectare et par an par rapport au traitement stimulé à 2,5 % ; g.a⁻¹.s⁻¹ = Production en grammes par arbre et par saignée ; g.a⁻¹.an⁻¹ = Production en grammes par arbre et par an ; kg.ha⁻¹.an⁻¹ = Production en kilogrammes par hectare (fixé à 400 arbres) et par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.1.4. Relation entre les différents paramètres évalués

La matrice de corrélation obtenue entre les différents paramètres évalués est présentée dans le tableau XXXIX. De façon générale, les résultats ont montré des corrélations significatives et élevées au seuil de 5 % ($p < 0,05$).

Au niveau du traitement, les résultats ont révélé une forte corrélation positive avec les longueurs d'encoche malade (LEM ; $r = 0,73$; $p < 0,05$) et une forte corrélation négative avec la croissance isodiamétrique des hévéas ($r = - 0,65$; $p < 0,05$) ; signe que les faibles doses de stimulation réduisent les LEM et augmentent la circonférence des arbres. En outre, les LEM ont établi une forte corrélation négative avec la production de caoutchouc ($r = - 0,85$; $p < 0,05$) de sorte que les hévéas fortement atteints d'encoche sèche ont vu leur production chuter par la suite (Tableau XXXIX ; Figure 40).

Tableau XXXIX. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude

	Traitement	LEM	Croissance	Production
Traitement	1			
LEM	0,73	1		
Croissance	-0,65	-0,41	1	
Production	0,48	-0,85	-0,39	1

LEM = Longueur d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

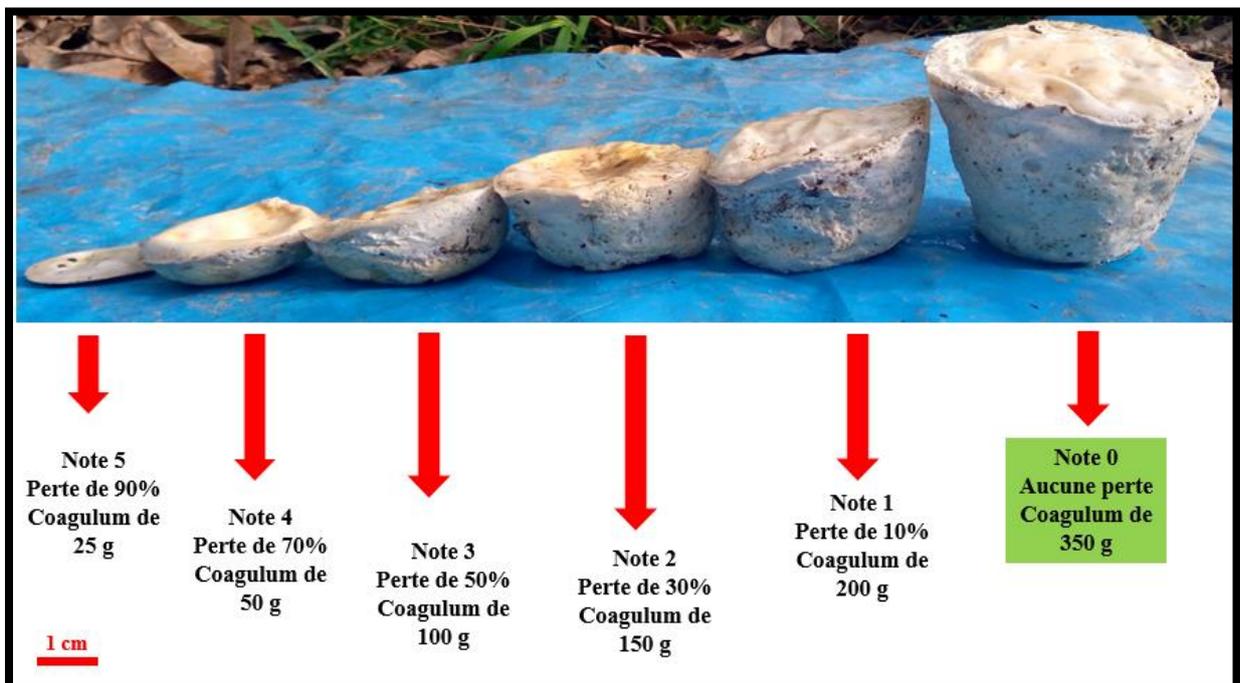


Figure 40. Relation entre la production de caoutchouc naturel et les longueurs d'encoche malade des hévéas

LEM = Longueur d'encoche malade ; Note attribuée de façon visuelle sur une échelle de 0 à 6 en fonction de l'écoulement du latex après la saignée

3.2.2. Effet du couteau de saignée Hornbill sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

3.2.2.1. Longueurs d'encoches malades induites par les différents couteaux de saignée chez le clone d'hévéa IRCA 331

La figure 41 présente l'évolution des longueurs d'encoche malade (LEM) induites par les différents couteaux de saignée chez le clone IRCA 331 de novembre 2021 à janvier 2024. De façon générale, la courbe d'évolution du couteau de saignée Aunain (Témoin) a été

largement au-dessus de celle du couteau Hornbill (Traitement 1) ; signe que le couteau témoin a induit une forte sensibilité des hévéas saignés à l’encoche sèche.

Par ailleurs, l’analyse des longueurs d’encoche malade (LEM) des hévéas a montré une différence significative ($p = 0,00$) liée à l’utilisation des différents couteaux de saignée. La plus faible LEM (3,45 %) a été enregistrée avec le couteau Hornbill. C’est d’ailleurs ce couteau de saignée qui a généré un taux d’encoche régénérée de 57 %. Le couteau de saignée témoin Aunain a, quant à lui, induit un taux d’encoche sèche élevé de 7,99 % (Tableau XL).

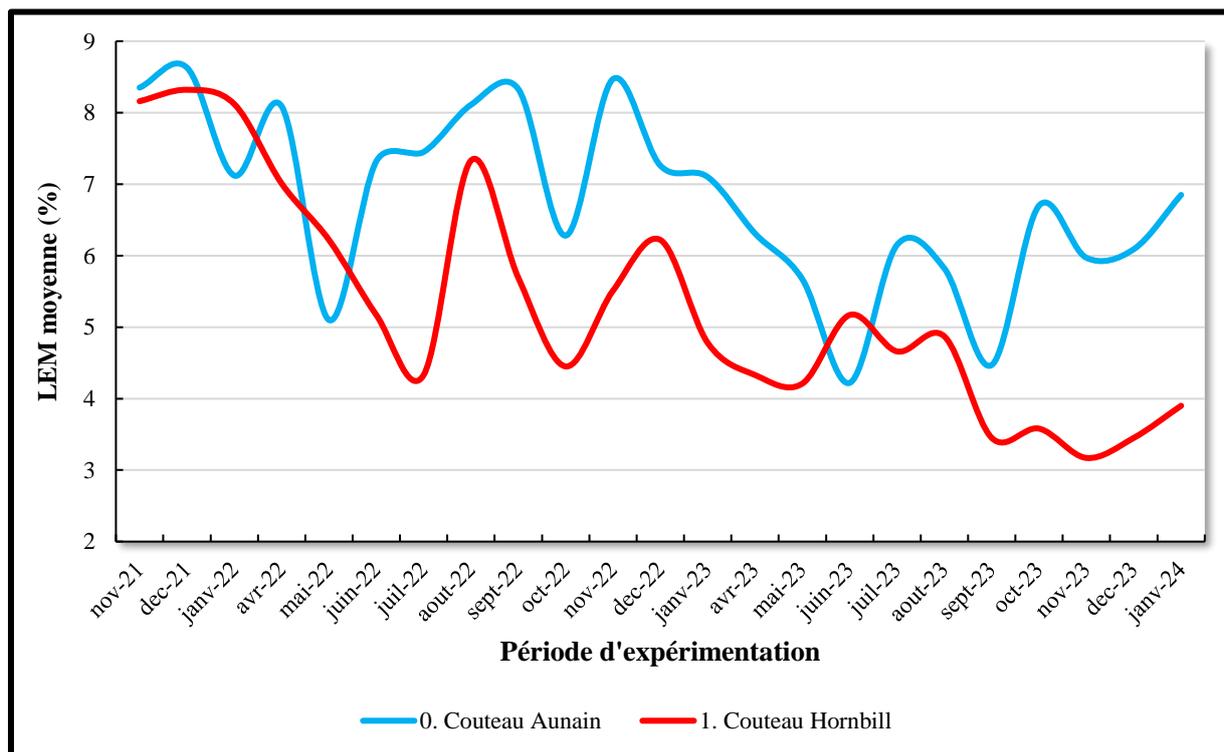


Figure 41. Évolution des longueurs d’encoche malade du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée pendant 27 mois de saignée avec les différents couteaux

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; 0. Couteau Aunain = Témoin ; 1. Couteau de saignée Hornbill = Traitement 1

Tableau XL. Longueurs d’encoche malade moyennes induites par les différents couteaux de saignée chez le clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée après 27 mois d’expérimentations

Traitements	LEM moyenne (%)	Encoches régénérées (%)
0. Couteau Aunain	7,99 ± 20,52 ^a	-
1. Couteau Hornbill	3,45 ± 11,90 ^b	+ 57
p	0,00	-

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; 0. Couteau Aunain = Témoin ; 1. Couteau de saignée Hornbill = Traitement 1 ; Encoches régénérées (%) = Pourcentage d’encoches régénérées (gain ou perte) par rapport au couteau témoin Aunain ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.2.2. Paramètres de qualité de saignée des différents couteaux

Au niveau de la profondeur de saignée, l'analyse de variance a révélé un effet significatif ($p = 0,00$) entre les différents couteaux de saignée avec une moyenne de 1,23 mm (Tableau XLI). Les saignées exécutées avec le couteau Aunain (Témoin) ont été plus proches du cambium (1,03 mm), induisant par moment des blessures de saignée (Figure 42).

La meilleure profondeur de saignée a été enregistrée avec le couteau Hornbill (Traitement 1 ; 1,42 mm) (Tableau XLI).

Des différences significatives ($p = 0,00$) ont, par ailleurs, été enregistrées au niveau des consommations d'écorce induites par les différents couteaux de saignée. Les plus fortes consommations ($13,08 \text{ cm.an}^{-1}$) ont été mesurées sur les panneaux des hêvéas saignés à l'aide du couteau Aunain (Traitement 0). Le couteau Hornbill a, quant à lui, induit une consommation d'écorce inférieure ($10,36 \text{ cm.an}^{-1}$) à celle du couteau de saigné témoin (Tableau XLI).

Tableau XLI. Paramètres de qualité de saignée induits par les différents couteaux chez le clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée après 27 mois d'expérimentation

Traitements	Profondeur (mm)	Consommation (cm.an^{-1})
0. Couteau Aunain	$1,03 \pm 0,61^b$	$13,08 \pm 0,73^a$
1. Couteau Hornbill	$1,42 \pm 0,83^a$	$10,36 \pm 1,37^b$
p	0,00	0,00

0. Couteau Aunain = Témoin ; 1. Couteau de saignée Hornbill = Traitement 1 ; mm = Millimètre ; cm.an^{-1} = Centimètre par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)



Figure 42. Blessures de saignée causées par les différents couteaux de saignée
 A = Couteau de saignée Hornbill ; B = Couteau de saignée témoin Aunain

3.2.2.3. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents couteaux de saignée

Au début des expérimentations en novembre 2021, aucune différence significative ($p = 0,61$) n'a été relevée entre les circonférences des hévéas. Ce n'est qu'à la fin des expérimentations, que les circonférences ont significativement ($p = 0,00$) varié avec une moyenne de 61,07 cm. Le couteau Hornbill (Traitement 1) a généré le meilleur niveau d'accroissement de circonférence ($3,41 \text{ cm.an}^{-1}$) de l'étude comparativement au couteau témoin Aunain ($2,68 \text{ cm.an}^{-1}$) (Tableau XLII).

Tableau XLII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents couteaux de saignée chez le clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée après de 27 mois d'expérimentations

Traitements	Circonférence (cm)		Accroissements (cm.an^{-1})
	Début d'expérimentation	Fin d'expérimentation	
0. Couteau Aunain	$54,31 \pm 4,52^a$	$59,66 \pm 5,03^b$	$2,68 \pm 0,65^b$
1. Couteau Hornbill	$55,58 \pm 5,08^a$	$62,40 \pm 5,55^a$	$3,41 \pm 1,74^a$
p	0,61	0,00	0,00

cm = Centimètre ; cm.an^{-1} = Centimètre par an ; Dans chaque colonne, Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.2.4. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différents couteaux de saignée

Les productions moyennes de caoutchouc ont significativement varié ($p < 0,05$) en fonction du couteau de saignée utilisé. La plus forte production de l'étude, exprimée en $\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$ (106), en $\text{g.a}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (5299) et en $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (2119), a été enregistrée avec le couteau Hornbill. C'est d'ailleurs avec ce couteau qu'un gain de production de 15 % a été enregistré à l'issue des 27 mois d'expérimentations comparativement au couteau témoin Aunain (Tableau XLIII).

Tableau XLIII. Productions moyennes de caoutchouc du clone IRCA 331 après 27 mois de saignée avec les différents couteaux

Traitements	$\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$	$\text{g.a}^{-1}.\text{an}^{-1}$	$\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$	GP $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (%)
0. Couteau Aunain	92 ± 32^b	4608 ± 1619^b	1843 ± 719^b	-
1. Couteau Hornbill	106 ± 38^a	5299 ± 1890^a	2119 ± 756^a	+ 15
p	0,00	0,00	0,00	-

GP $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}(\%)$ = Gain en pourcentage de production exprimée en kilogrammes par hectare et par an par rapport au traitement saigné avec le couteau classique ; $\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$ = Production en grammes par arbre et par saignée ; $\text{g.a}^{-1}.\text{an}^{-1}$ = Production en grammes par arbre et par an ; $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ = Production en kilogrammes par hectare (fixé à 400 arbres) et par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.2.5. Relation entre les différents paramètres évalués

Diverses corrélations significatives et élevées au seuil de 5 % ($p < 0,05$) ont été établies entre les différents paramètres évalués (Tableau XLIV).

Le traitement (couteau de saignée) a été corrélé négativement avec les longueurs d'encoches malades (LEM ; $r = - 0,92$; $p < 0,05$). Cette variable a, en outre, été corrélée positivement avec la profondeur de saignée ($r = 0,87$; $p < 0,05$), la croissance isodiamétrique ($r = 0,85$; $p < 0,05$) et la production de caoutchouc ($r = 0,75$; $p < 0,05$) ; montrant que le couteau de saignée Hornbill réduit les LEM, fournit une bonne profondeur de saignée et augmente la circonférence des arbres (Tableau XLIV).

Par ailleurs, les LEM ont été corrélées négativement avec la profondeur de saignée ($r = - 0,82$; $p < 0,05$), la croissance végétative radiale ($r = - 0,84$; $p < 0,05$) et la production de caoutchouc ($r = - 0,95$; $p < 0,05$) ; indiquant que l'encoche sèche augmente avec les saignées trop profondes, réduit la circonférence des hévéas ainsi que leurs productions de caoutchouc (Tableau XLIV).

En outre, la profondeur de saignée a été corrélée positivement avec la croissance isodiamétrique ($r = 0,50$; $p < 0,05$) et la production de caoutchouc ($r = 0,64$; $p < 0,05$). Quant à la consommation d'écorce, elle a été corrélée négativement avec la production de caoutchouc ($r = -0,52$; $p < 0,05$). Cela signifie que les paramètres de qualité de saignée augmentent la circonférence et la production des arbres lorsqu'ils sont pratiqués selon les normes (1,5 mm de profondeur et 1,6 mm de consommation en d5) (Tableau XLIV).

Tableau XLIV. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude

	Traitement	LEM	Profondeur	Consommation	Croissance	Production
Traitement	1					
LEM	-0,92	1				
Profondeur	0,87	-0,82	1			
Consommation	-0,47	0,38	-0,41	1		
Croissance	0,85	-0,84	0,50	-0,46	1	
Production	0,75	-0,95	0,64	-0,52	-0,39	1

LEM = Longueur d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

3.2.3. Effet de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa

3.2.3.1. Caractéristiques chimiques des sols sous hévéa avant et après la fertilisation minérale

Le tableau XLV présente les caractéristiques chimiques et physico-chimiques des couches 0 - 20 cm et 20 - 40 cm des sols des parcelles d'expérimentation, avant et après la mise en place de l'essai.

À la mise en place de l'essai, les sols du site expérimental étaient très acides ($\text{pH} < 5,5$) quel que soit le niveau topographique. Ils avaient une teneur en phosphore assimilable qui oscillait de la normale ($25 < \text{P.ass} < 50 \text{ g.kg}^{-1}$) à l'élevée ($\text{P.ass} > 50 \text{ g.kg}^{-1}$) entre les traitements et suivant les différentes toposéquences. Dix-huit (18) mois plus tard, les sols sont demeurés très acides ($\text{pH} < 5,5$). Quant à la teneur en phosphore assimilable, seuls les traitements 0 (témoin sans engrais) et 4 (Urée : 60 ; PCa_3 : 60 ; KCl : 180) ont enregistré de très faibles valeurs ($\text{P.ass} < 25 \text{ g.kg}^{-1}$) respectivement au bas et haut de pente (Tableau XLV).

Par ailleurs, les teneurs en matière organique des sols sont restées faibles ($\text{MO} < 7 \text{ g.kg}^{-1}$) du début jusqu'à la fin de l'expérimentation et ce, quel que soit le niveau topographique. De même, les teneurs en azote total sont demeurées très faibles ($1 < \text{Nt} < 1,50 \text{ g.Kg}^{-1}$). Les teneurs

en carbone organique, par contre, ont varié entre faibles ($C < 1 \text{ g.kg}^{-1}$) et normales ($1 < C < 1,5 \text{ g.kg}^{-1}$) de façon générale. Les rapports carbone sur azote ont varié entre normales ($9 < C/Nt < 12 \text{ g.kg}^{-1}$) et élevées ($C/Nt > 12 \text{ g.kg}^{-1}$). Ces observations ont été faites aussi bien du début jusqu'à la fin de l'expérimentation suivant les différentes toposéquences (Tableau XLV).

En ce qui concerne le complexe absorbant, à la mise en place de l'expérimentation, les sols ont été caractérisés par une faible capacité d'échange cationique ($CEC < 3 \text{ cmol.kg}^{-1}$). De plus, de faibles teneurs en calcium échangeable ($\text{Ca}^{2+} < 2,50 \text{ cmol.kg}^{-1}$), magnésium échangeable ($\text{Mg}^{2+} < 1 \text{ cmol.kg}^{-1}$), potassium échangeable ($\text{K}^+ < 0,15 \text{ cmol.kg}^{-1}$) et sodium échangeable ($\text{Na}^+ < 0,15 \text{ cmol.kg}^{-1}$) ont été enregistrées, quel que soit le traitement fertilisant et la position topographique. A la fin de l'expérimentation, les mêmes constats ont été faits, sauf que la CEC a basculé des teneurs faibles aux teneurs normales ($3 < CEC < 8 \text{ cmol.kg}^{-1}$) (Tableau XLV).

Tableau XLV. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques des couches 0 - 20 cm et 20 - 40 cm des sols de la parcelle expérimentale du domaine hévéicole de la société EXAT (San-Pedro) avant et après les épandages d'engrais

Toposéquence	Traitements	Horizon (cm)	pH eau		Matière Organique								P.ass (mg.kg ⁻¹)		Complexe absorbant (cmol.kg ⁻¹)										
					C (g.kg ⁻¹)		Nt (g.kg ⁻¹)		MO (g.kg ⁻¹)		C/Nt				CEC		Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		Na ⁺		
			Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début
Haut de pente	0. Sans engrais	0 - 20	5,1	4,7	1,22	1,00	0,08	0,12	2,10	1,71	14,56	8,30	67	44	2,35	5,44	1,07	0,57	0,55	0,38	0,14	0,05	0,15	0,09	
		20 - 40	5,2	4	0,66	1,27	0,04	0,11	1,14	2,19	16,87	11,38	56	52	2,35	7,25	0,95	0,82	0,51	0,54	0,15	0,05	0,11	0,06	
	1. KCl : 43	0 - 20	5,1	3,7	1,22	0,98	0,08	0,10	2,10	1,68	14,56	10,25	67	64	2,80	11,80	1,07	1,02	0,55	0,68	0,14	0,08	0,15	0,30	
		20 - 40	5,2	4	0,66	1,25	0,04	0,08	1,14	2,16	16,87	14,94	56	73	2,16	5,76	0,95	0,63	0,51	0,42	0,15	0,04	0,11	0,06	
	2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	0 - 20	5,1	3,9	1,22	0,92	0,08	0,10	2,10	1,58	14,56	9,17	67	77	2,35	5,23	1,07	0,52	0,55	0,35	0,14	0,10	0,15	0,08	
		20 - 40	5,2	3,9	0,66	0,78	0,04	0,06	1,14	1,34	16,87	12,95	56	52	2,08	4,27	0,95	0,46	0,51	0,30	0,15	0,05	0,11	0,06	
	3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	0 - 20	5,1	3,8	1,22	1,19	0,08	0,10	2,10	2,06	14,56	11,85	67	69	2,03	8,01	1,07	0,90	0,55	0,60	0,14	0,07	0,15	0,03	
		20 - 40	5,2	3,8	0,66	1,18	0,04	0,10	1,14	2,02	16,87	11,75	56	35	2,16	5,96	0,95	0,64	0,51	0,43	0,15	0,03	0,11	0,08	
	4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	0 - 20	5,1	4,9	1,22	1,02	0,08	0,12	2,10	1,75	14,56	8,47	67	108	1,83	4,01	1,07	0,37	0,55	0,24	0,14	0,06	0,15	0,17	
		20 - 40	5,2	4,8	0,66	0,92	0,04	0,08	1,14	1,58	16,87	11,46	56	21	2,21	5,40	0,95	0,56	0,51	0,38	0,15	0,08	0,11	0,06	
	5. Fertilisé selon diagnostic	0 - 20	5,1	3,8	1,22	0,86	0,08	0,09	2,10	1,47	14,56	9,52	67	67	1,97	5,50	1,07	0,59	0,55	0,39	0,14	0,08	0,15	0,08	
		20 - 40	5,2	3,9	0,66	0,86	0,04	0,07	1,14	1,47	16,87	12,24	56	56	2,13	4,73	0,95	0,49	0,51	0,32	0,15	0,09	0,11	0,07	
	Moyenne			5,2	4,1	0,94	1,02	0,06	0,09	1,62	1,75	15,72	11,02	61,50	59,93	2,20	6,11	1,01	0,63	0,53	0,42	0,14	0,06	0,13	0,10
	Mi-pente	0. Sans engrais	0 - 20	4,7	3,9	0,90	0,88	0,07	0,10	1,56	1,51	12,43	9,21	46	129	2,35	5,06	0,81	0,54	0,56	0,34	0,16	0,04	0,11	0,08
20 - 40			4,8	4	0,66	0,72	0,04	0,09	1,14	1,23	16,87	7,97	42	44	2,35	6,30	0,85	0,75	0,52	0,50	0,08	0,06	0,08	0,04	
1. KCl : 43		0 - 20	4,7	3,8	0,90	0,92	0,07	0,08	1,56	1,58	12,43	11,46	46	37	2,80	5,77	0,81	0,64	0,56	0,42	0,16	0,07	0,11	0,03	
		20 - 40	4,8	4	0,66	0,44	0,04	0,04	1,14	0,76	16,87	10,98	42	48	2,16	4,69	0,85	0,53	0,52	0,35	0,08	0,04	0,08	0,06	
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60		0 - 20	4,7	3,9	0,90	0,98	0,07	0,07	1,56	1,68	12,43	13,41	46	64	2,35	9,33	0,81	1,07	0,56	0,72	0,16	0,08	0,11	0,12	
		20 - 40	4,8	4,4	0,66	0,54	0,04	0,07	1,14	0,93	16,87	8,01	42	73	2,08	9,22	0,85	1,09	0,52	0,72	0,08	0,04	0,08	0,03	
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60		0 - 20	4,7	3,9	0,90	1,10	0,07	0,08	1,56	1,88	12,43	13,04	46	54	2,03	8,07	0,81	0,87	0,56	0,58	0,16	0,08	0,11	0,09	
		20 - 40	4,8	4,1	0,66	0,52	0,04	0,04	1,14	0,89	16,87	12,97	42	46	2,16	5,01	0,85	0,52	0,52	0,34	0,08	0,05	0,08	0,10	
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180		0 - 20	4,7	4,8	0,90	0,72	0,07	0,08	1,56	1,23	12,43	8,97	46	69	1,83	3,77	0,81	0,32	0,56	0,24	0,16	0,06	0,11	0,13	
		20 - 40	4,8	3,9	0,66	0,50	0,04	0,04	1,14	0,86	16,87	12,47	42	48	2,21	13,73	0,85	1,40	0,52	0,92	0,08	0,13	0,08	0,29	
			0 - 20	4,7	3,8	0,90	0,88	0,07	0,08	1,56	1,51	12,43	10,44	46	100	1,97	7,36	0,81	0,83	0,56	0,54	0,16	0,08	0,11	0,05

Résultats et discussion

	5. Fertilisé selon diagnostic	20 - 40	4,8	4,4	0,66	0,76	0,04	0,06	1,14	1,30	16,87	12,62	42	39	2,13	6,34	0,85	0,69	0,52	0,46	0,08	0,05	0,08	0,05	
	Moyenne		4,8	4,1	0,78	0,74	0,06	0,07	1,35	1,28	14,65	10,96	44	62,64	2,20	7,05	0,83	0,77	0,54	0,51	0,12	0,06	0,10	0,09	
Bas de pente	0. Sans engrais	0 - 20	4,6	4	0,64	0,50	0,04	0,06	1,11	0,86	16,40	8,31	55	127	2,35	4,75	0,84	0,49	0,49	0,31	0,10	0,06	0,07	0,10	
		20 - 40	4,8	4,1	0,40	0,42	0,03	0,03	0,69	0,72	14,26	13,98	30	20	2,35	7,13	0,82	0,76	0,48	0,50	0,11	0,04	0,12	0,12	
	1. KCl : 43	0 - 20	4,6	3,9	0,64	0,84	0,04	0,07	1,11	1,44	16,40	11,96	55	60	2,80	4,68	0,84	0,50	0,49	0,33	0,10	0,08	0,07	0,07	
		20 - 40	4,8	4	0,40	0,28	0,03	0,03	0,69	0,48	14,26	10,00	30	41	2,16	3,32	0,82	0,39	0,48	0,26	0,11	0,04	0,12	0,05	
	2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	0 - 20	4,6	3,7	0,64	0,80	0,04	0,07	1,11	1,37	16,40	11,39	55	67	2,35	6,20	0,84	0,76	0,49	0,50	0,10	0,08	0,07	0,05	
		20 - 40	4,8	4,2	0,40	0,64	0,03	0,06	0,69	1,10	14,26	11,39	30	48	2,08	5,15	0,82	0,61	0,48	0,40	0,11	0,03	0,12	0,06	
	3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	0 - 20	4,6	4	0,64	0,46	0,04	0,03	1,11	0,79	16,40	13,66	55	138	2,03	4,01	0,84	0,48	0,49	0,32	0,10	0,08	0,07	0,06	
		20 - 40	4,8	4,1	0,40	0,66	0,03	0,05	0,69	1,13	14,26	13,16	30	60	2,16	4,34	0,82	0,49	0,48	0,33	0,11	0,04	0,12	0,08	
	4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	0 - 20	4,6	4,7	0,64	0,68	0,04	0,07	1,11	1,17	16,40	9,31	55	50	1,83	3,68	0,84	0,31	0,49	0,23	0,10	0,05	0,07	0,09	
		20 - 40	4,8	4,3	0,40	0,46	0,03	0,06	0,69	0,79	14,26	8,20	30	71	2,21	7,52	0,82	0,84	0,48	0,56	0,11	0,06	0,12	0,05	
	5. Fertilisé selon diagnostic	0 - 20	4,6	4	0,64	0,98	0,04	0,11	1,11	1,68	16,40	8,72	55	46	1,97	8,16	0,84	0,96	0,49	0,64	0,10	0,07	0,07	0,04	
		20 - 40	4,8	4,1	0,40	0,22	0,03	0,02	0,69	0,38	14,26	11,02	30	44	2,13	5,12	0,82	0,58	0,48	0,39	0,11	0,03	0,12	0,04	
		Moyenne		4,7	4,1	0,52	0,58	0,04	0,05	0,90	0,99	15,33	10,92	42,50	64,40	2,20	5,34	0,83	0,60	0,49	0,40	0,10	0,05	0,10	0,07
		Teneur optimale		4,5 - 6		1 - 1,50		1 - 1,50		7 - 9		9 - 12		25 - 50		3 - 8		2,50 - 3,50		1 - 1,50		0,15 - 0,40		0,15 - 0,40	
	Déficience		-		< 1		< 1		< 7		< 9		< 25		< 3		< 2,50		< 1		< 0,15		< 0,15		

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Fertilisé selon diagnostic ; pH = Potentiel d'hydrogène ; C = Carbone Organique ; Nt = Azote total ; MO = Matière Organique du sol ; C/Nt = Rapport carbone azote total ; P.ass = Phosphore assimilable ; CEC = Capacité d'Échange Cationique ; Ca²⁺ = Calcium échangeable ; Mg²⁺ = Magnésium échangeable ; K⁺ = Potassium échangeable ; Na⁺ = Sodium échangeable ; g.kg⁻¹ = Gramme par kilogramme ; mg.kg⁻¹ = Milligramme par kilogramme ; cmol.kg⁻¹ = Centimole par kilogramme

3.2.3.2. Effet de la fertilisation sur la nutrition minérale des hévéas

Le tableau XLVI indique les teneurs moyennes d'éléments minéraux contenus dans les feuilles d'hévéas, au début et à la fin de l'expérimentation.

De façon générale, au début de l'expérimentation, les arbres du clone IRCA 331 présentaient des carences en phosphore ($P < 0,20 \%$) et en potassium ($K < 1,26 \%$). La teneur en azote, quant à elle, était optimale ($N = 3,24 \%$) à tous les niveaux topographiques. Ces résultats ont conditionné les doses du traitement 5 (fertilisé selon diagnostic). Les doses ont donc été fixées à $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ d'azote, $135 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ de phosphore et $135 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ de potassium, soit P et K majoritaires. Dix-huit (18) mois plus tard, les concentrations en phosphore ($P = 0,22 \%$) et en potassium ($K = 1,16 \%$) ont enregistré quelques augmentations qui ont fait basculer leurs teneurs à la valeur normale ($0,20 < P < 0,28 \%$ et $1,26 < K < 1,60 \%$). La teneur en azote a, par contre, enregistré une légère diminution ($N = 2,94 \%$) qui n'a toutefois pas influencé sa valeur optimale ($2,90 < N < 3,50 \%$) (Tableau XLVI).

Concernant le calcium et le magnésium, les analyses ont révélé des teneurs élevées dans les feuilles d'hévéas, au début et à la fin de l'expérimentation. Les valeurs moyennes enregistrées ont varié de 0,65 à 0,87 % pour le calcium et de 0,25 à 0,29 % pour le magnésium. Ces observations ont été faites chez tous les hévéas fertilisés suivant les différents niveaux topographiques (Tableau XLVI).

Tableau XLVI. Valeurs moyennes des teneurs en éléments minéraux des feuilles d'hévéas du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée au début et à la fin de l'essai

Traitements	Toposéquence	N (% ms)		P (% ms)		K (% ms)		Ca (% ms)		Mg (% ms)	
		Début	Fin								
0. Sans engrais	Haut de pente	3,22	2,94	0,11	0,20	0,87	1,22	0,65	0,88	0,25	0,29
	Mi-pente	3,28	3,08	0,12	0,16	1,10	0,95	0,65	0,82	0,25	0,27
	Bas de pente	3,22	3,02	0,12	0,25	1,10	1,19	0,65	0,85	0,25	0,29
1. KCl : 43	Haut de pente	3,22	2,49	0,11	0,27	0,87	1,27	0,65	0,81	0,25	0,27
	Mi-pente	3,28	3,22	0,12	0,21	1,10	1,12	0,65	0,63	0,25	0,21
	Bas de pente	3,22	2,66	0,12	0,20	1,10	0,95	0,65	0,82	0,25	0,28
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	Haut de pente	3,22	2,72	0,11	0,19	0,87	1,35	0,65	0,93	0,25	0,31
	Mi-pente	3,28	2,74	0,12	0,18	1,10	1,45	0,65	1,14	0,25	0,38
	Bas de pente	3,22	2,72	0,12	0,16	1,10	1,05	0,65	0,84	0,25	0,28
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	Haut de pente	3,22	2,94	0,11	0,30	0,87	1,41	0,65	0,66	0,25	0,22
	Mi-pente	3,28	3,08	0,12	0,23	1,10	1,16	0,65	0,62	0,25	0,21
	Bas de pente	3,22	3,02	0,12	0,28	1,10	1,11	0,65	0,66	0,25	0,22
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	Haut de pente	3,22	3,00	0,11	0,16	0,87	1,46	0,65	0,96	0,25	0,33
	Mi-pente	3,28	3,11	0,12	0,20	1,10	1,27	0,65	1,18	0,25	0,39
	Bas de pente	3,22	3,02	0,12	0,24	1,10	1,55	0,65	1,17	0,25	0,39
5. Fertilisé selon diagnostic	Haut de pente	3,22	3,00	0,11	0,17	0,87	1,61	0,65	0,86	0,25	0,29
	Mi-pente	3,28	3,16	0,12	0,24	1,10	1,26	0,65	1,03	0,25	0,34
	Bas de pente	3,22	3,08	0,12	0,29	1,10	1,33	0,65	0,88	0,25	0,29
Moyenne		3,24	2,94	0,12	0,22	1,02	1,26	0,65	0,87	0,25	0,29
Teneur optimale		2,90 - 3,50		0,20 - 0,28		1,26 - 1,60		0,38 - 0,51		0,24 - 0,26	
Déficiência		< 2,90		< 0,20		< 1,26		< 0,38		< 0,24	

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Fertilisé selon diagnostic ; N = Azote ; P = Phosphore ; K = Potassium ; Ca = Calcium ; Mg = Magnésium ; % ms = Pourcentage de matière sèche

3.2.3.3. Longueurs d'encoche malade induites par les différents traitements de fertilisation

L'évolution des longueurs d'encoche malade du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée après de 19 mois de fertilisation est présentée par la figure 43. De manière générale, de juillet 2022 à janvier 2024, les courbes d'évolution des six traitements ont pratiquement dégagé trois grandes tendances à savoir les courbes largement au-dessus (Traitements 0 et 5), les courbes intermédiaires (Traitements 2 et 3) et les courbes largement en dessous (Traitements 1 et 4). Les courbes largement au-dessus, traduisent une forte sensibilité à l'encoche sèche chez les hévéas étudiés. Les courbes intermédiaires traduisent une moyenne sensibilité. Les courbes largement en dessous, quant à elles, traduisent une faible sensibilité à l'encoche sèche (Figure 43).

Ainsi, au bout des 19 mois d'expérimentations, l'effet significatif ($p = 0,00$) de la fertilisation minérale a été relevée sur les longueurs d'encoches malades (LEM) des hévéas. À l'exception du traitement 5 (11,03 %) qui a induit statistiquement la même LEM que le témoin sans engrais (Traitement 0 ; 12,10 %), les autres doses apportées ont considérablement réduit le taux d'encoches sèches des hévéas. Les plus faibles LEM ont été enregistrés avec les traitements 1 (5,74 %) et 4 (5,12 %) avec des taux d'encoches régénérées respectifs de 53 % et 58 %. Les LEM, relativement moyennes de l'étude, ont été relevées avec les traitements 2 (8,26 %) et 3 (6,58 %) avec des taux d'encoches régénérées respectifs de 32 % et de 46 % (Tableau XLVII).

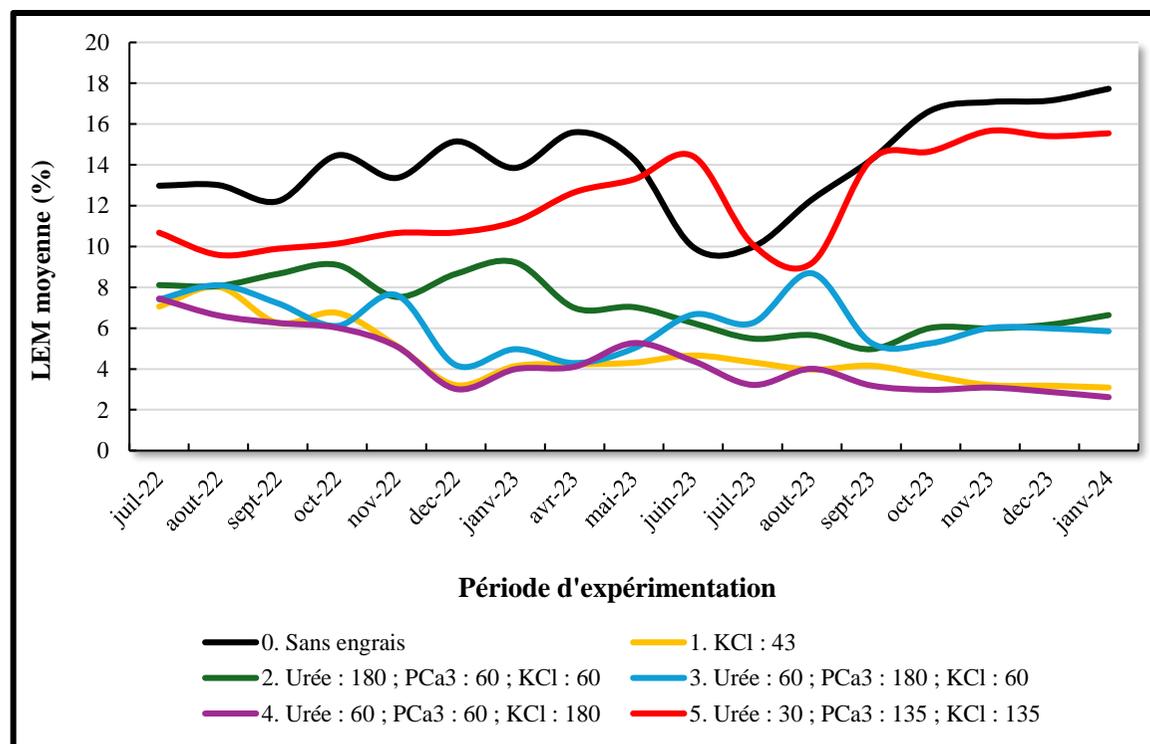


Figure 43. Évolution des longueurs d’encoche malade du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée pendant 19 mois d’épandage d’engrais simples

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; 0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Urée : 30 ; PCa₃ : 135 ; KCl : 135 = (30N 135P 135K) kg.ha⁻¹.an⁻¹

Tableau XLVII. Longueurs d’encoche malade moyennes induites par les différents apports d’engrais simples chez le clone IRCA 331 après 19 mois d’expérimentations

Traitements	LEM moyenne (%)	Encoches régénérées (%)
0. Sans engrais	12,10 ± 24,96 ^a	-

1. KCl : 43	5,74 ± 16,96 ^{cd}	+ 53
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	8,26 ± 20,27 ^b	+ 32
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	6,58 ± 16,99 ^c	+ 46
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	5,12 ± 16,75 ^d	+ 58
5. Urée : 30 ; PCa ₃ : 135 ; KCl : 135	11,03 ± 25,96 ^a	+ 9
P	0,00	-

LEM moyenne (%) = Longueur d'encoche malade moyenne en pourcentage ; Encoches régénérées (%) = Pourcentage d'encoches régénérées (gain ou perte) par rapport au témoin absolu ; 0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Urée : 30 ; PCa₃ : 135 ; KCl : 135 = (30N 135P 135K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; Gain régénéré (%) = Pourcentage de gain régénéré par rapport au témoin absolu. Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.3.4. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents traitements de fertilisation

Au début de l'expérimentation, aucune différence significative ($p = 0,21$) n'avait été relevée entre les circonférences des hévéas. À la fin de l'étude, par contre, des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées. De façon générale, les circonférences des hévéas fertilisés, ont été moins importantes que celles des hévéas témoins non fertilisés (Traitement 0 ; 60,55 cm) à l'exception des traitements 4 (59,68 cm) et 5 (62,42 cm) (Tableau XLVIII).

En outre, une différence significative ($p = 0,00$) a été enregistrée entre les accroissements moyens annuels de circonférence avec une moyenne de 2,87 cm.an⁻¹. Les meilleures valeurs d'accroissements ont été enregistrées avec les traitements 0 (témoin sans engrais ; 3,48 ± 5,54 cm.an⁻¹), 4 (3,02 cm.an⁻¹) et 5 (5,01 cm.an⁻¹). Le traitement 5 a affiché le plus fort accroissement de circonférence de l'étude. Les accroissements de circonférence des traitements 1 (1,94 cm.an⁻¹) ; 2 (1,93 cm.an⁻¹) et 3 (1,71 cm.an⁻¹) ont, quant à eux, été statistiquement identiques avec de plus faibles niveaux d'accroissements de circonférence comparativement aux hévéas témoins non fertilisés (Tableau XLVIII).

Tableau XLVIII. Accroissements moyens annuels de circonférence induits par les différents apports d'engrais simples chez le clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée après 27 mois d'expérimentation

Traitements	Circonférence (cm)		Accroissements (cm.an ⁻¹)
	Début d'expérimentation	Fin d'expérimentation	
0. Sans engrais	55,34 ± 4,23 ^a	60,55 ± 7,25 ^b	3,48 ± 5,54 ^b
1. KCl : 43	55,61 ± 4,68 ^a	58,51 ± 5,49 ^c	1,94 ± 0,94 ^c
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	54,92 ± 3,72 ^a	57,81 ± 4,64 ^c	1,93 ± 1,11 ^c
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	55,22 ± 3,83 ^a	57,79 ± 4,21 ^c	1,71 ± 0,74 ^c
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	54,16 ± 3,75 ^a	59,68 ± 3,47 ^b	3,02 ± 2,13 ^b
5. Urée : 30 ; PCa ₃ : 135 ; KCl : 135	54,91 ± 4,09 ^a	62,42 ± 7,99 ^a	5,01 ± 5,76 ^a
p	0,21	0,00	0,00

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Urée : 30 ; PCa₃ : 135 ; KCl : 135 = (30N 135P 135K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; cm = Centimètre ; cm.an⁻¹ = Centimètre par an ; Dans chaque colonne, Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.3.5. Productions moyennes de caoutchouc induites par les différents traitements de fertilisation

Les productions moyennes en g.a⁻¹.s⁻¹, en g.a⁻¹.an⁻¹ et en kg.ha⁻¹.an⁻¹ obtenues chez le clone IRCA 331 après 19 mois de fertilisation sont présentées dans le tableau XLIX. La plus forte production de l'étude, exprimée en g.a⁻¹.s⁻¹ (103), en g.a⁻¹.an⁻¹ (5136) et en kg.ha⁻¹.an⁻¹ (2054), a été enregistrée avec le traitement 4. Ce traitement a généré le gain de production (52 %) le plus important de l'étude comparativement au témoin non fertilisé. En outre, les traitements 1 (93 g.a⁻¹.s⁻¹ ; 4646 g.a⁻¹.an⁻¹ ; 1858 kg.ha⁻¹.an⁻¹) et 3 (95 g.a⁻¹.s⁻¹ ; 4757 g.a⁻¹.an⁻¹ ; 1903 kg.ha⁻¹.an⁻¹) ont induit statistiquement les mêmes productions de caoutchouc en g.a⁻¹.s⁻¹, en g.a⁻¹.an⁻¹ et en kg.ha⁻¹.an⁻¹ avec des gains de productions respectifs de 38 et 41 % (Tableau XLIX).

Tableau XLIX. Productions moyennes annuelles de caoutchouc du clone IRCA 331 après 19 mois d'épandage d'engrais simples

Traitements	g.a ⁻¹ .s ⁻¹	g.a ⁻¹ .an ⁻¹	kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹	GP kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (%)
0. Sans engrais	67 ± 49 ^e	3374 ± 2429 ^e	1349 ± 972 ^e	-
1. KCl : 43	93 ± 34 ^b	4646 ± 1688 ^b	1858 ± 675 ^b	+ 38
2. Urée : 180 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 60	84 ± 33 ^c	4178 ± 1652 ^c	1671 ± 661 ^c	+ 24
3. Urée : 60 ; PCa ₃ : 180 ; KCl : 60	95 ± 37 ^b	4757 ± 1874 ^b	1903 ± 750 ^b	+ 41
4. Urée : 60 ; PCa ₃ : 60 ; KCl : 180	103 ± 36 ^a	5136 ± 1803 ^a	2054 ± 721 ^a	+ 52
5. Urée : 30 ; PCa ₃ : 135 ; KCl : 135	79 ± 53 ^d	3935 ± 2665 ^d	1574 ± 1066 ^d	+17
p	0,00	0,00	0,00	-

0. Sans engrais (Témoin absolu) = 0 kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 1. KCl : 43 (Témoin relatif) = 43 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de KCl ; 2. Urée : 180 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 60 = (180N 60P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 3. Urée : 60 ; PCa₃ : 180 ; KCl : 60 = (60N 180P 60K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 4. Urée : 60 ; PCa₃ : 60 ; KCl : 180 = (60N 60P 180K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; 5. Urée : 30 ; PCa₃ : 135 ; KCl : 135 = (30N 135P 135K) kg.ha⁻¹.an⁻¹ ; GP kg.ha⁻¹.an⁻¹(%) = Gain en pourcentage de production exprimée en kilogrammes par hectare et par an par rapport au traitement saigné avec le couteau classique ; g.a⁻¹.s⁻¹ = Production en grammes par arbre et par saignée ; g.a⁻¹.an⁻¹ = Production en grammes par arbre et par an ; kg.ha⁻¹.an⁻¹ = Production en kilogrammes par hectare (fixé à 400 arbres) et par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

3.2.3.6. Relation entre les différents paramètres évalués

Le tableau L montre plusieurs niveaux de corrélations significatives ($p < 0,05$) entre les différentes variables évaluées. Le traitement (dose de fertilisation) a été corrélé négativement avec les longueurs d'encoches malades (LEM ; $r = - 0,68$; $p < 0,05$) et positivement avec la production de caoutchouc ($r = 0,73$; $p < 0,05$) ; ce qui signifie que la fertilisation minérale réduit les encoches sèches et augmente la production de caoutchouc. En outre, les LEM ont été corrélées négativement avec la production ($r = - 0,65$; $p < 0,05$) ; montrant que l'augmentation des encoches sèches réduit la production.

Par ailleurs, la croissance isodiamétrique a été corrélée négativement avec la production de caoutchouc ($r = - 0,59$; $p < 0,05$) ; signe que la circonférence des hévéas diminue au détriment de la production (Tableau L).

Tableau L. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude

	Traitement	LEM	Croissance	Production
Traitement	1			
LEM	-0,68	1		
Croissance	0,49	-0,38	1	
Production	0,73	-0,65	-0,59	1

LEM = Longueur d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)

3.3. Discussion

L'évaluation de l'incidence des nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoches sèches de l'hévéa a tenu compte des questions de recherche restées peu approfondies et/ou quasi-inexplorées. Il s'agit notamment de l'application de faibles doses de stimulation, de l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable et de la fertilisation minérale des plantations d'hévéas matures.

Les résultats relatifs aux faibles doses de stimulation ont montré que les plus faibles doses de stimulations de 1,5 % et 1,75 % ont considérablement réduit les LEM, au bout de 27 mois d'expérimentations, avec des taux d'encoches régénérées respectifs de 76 % et de 65 % par rapport au témoin stimulé à 2,5 %. Ces résultats pourraient s'expliquer par plusieurs mécanismes biologiques que sont la stimulation des cellules productrices, l'équilibre hormonal et l'amélioration de la circulation de la sève (Compagnon, 1986). En effet, les faibles doses de stimulation favorisent l'activité des cellules laticifères tout en les incitant à plus produire et à se régénérer rapidement (Adou, 2018). Aussi, la stimulation influence l'équilibre des hormones végétales telles que l'éthylène et l'acide abscissique qui jouent un rôle clé dans la production de latex ; favorisant ainsi leur bonne réponse à la récolte (Compagnon, 1986). Enfin, la stimulation peut améliorer la circulation de la sève dans l'arbre ; facilitant ainsi l'approvisionnement en nutriments en eau pour la production continue de latex. Il semblerait donc que les faibles doses de stimulation ont été suffisantes pour activer les modifications de processus physico-chimiques de la production sans générer des stress physiologiques aux hévéas. Cette hypothèse est d'autant plus confortée par le fait que l'étude de Jacob *et al.* (1994) a montré que la stimulation à l'éthylène employée avec certaines précautions n'induit pas d'encoche sèche. Lors de l'exploitation, il faut surveiller les paramètres tels que la teneur en matière active de l'enduit stimulant, la fréquence des applications, la fréquence de la saignée, la sensibilité clonale et l'état physiologique du système laticifère des arbres exploités. Forte de cette recommandation, les clones d'hévéas GT1 de la présente étude ont été saignés tous les cinq jours ouvrables de la semaine (d5 6d/7) et stimulés à base d'Ethéphon 10 fois par an (10/y) en dehors des périodes de défoliation-réfoliation.

Les résultats ont, en outre, révélé que les doses de stimulation de 1,5 et 1,75 % ont pratiquement quadruplé la croissance végétative radiale du GT1 par rapport au témoin stimulé à 2,5 %. Ceci pourrait s'expliquer par l'activation des tissus méristématiques, l'amélioration de la photosynthèse, le renforcement des systèmes racines et l'équilibre hormonal (Compagnon, 1986).

En effet, la stimulation favorise l'activité des tissus méristématiques, responsables de la croissance ; ce qui favorise une augmentation de la production de nouvelles cellules, contribuant ainsi à l'élargissement du tronc. De plus, en stimulant la croissance des feuilles, la photosynthèse est optimisée ; ce qui fournit davantage d'énergie et de nutriments pour la croissance globale de l'arbre, y compris l'augmentation de la circonférence. Par ailleurs, une bonne stimulation peut améliorer la santé des racines et permettre une meilleure absorption de l'eau et des nutriments surtout qu'un système racinaire robuste soutient une croissance plus vigoureuse du tronc. Enfin, les faibles doses de stimulation peuvent influencer l'équilibre hormonal ; favorisant ainsi la production d'hormones de croissance qui stimulent le développement des tissus y compris la croissance en circonférence (Compagnon, 1986). Par ailleurs, le faible niveau de croissance isodiamétrique enregistré chez le témoin stimulé à 2,5 % révèle que les hévéas ont été excessivement stressés. Pour cause, la saignée provoque un stress aux hévéas (Adou, 2018). Il en est de même pour la stimulation hormonale (Adou, 2018). À cet effet, il semblerait que la dose de stimulation de 2,5 % appliquée aux hévéas nouvellement entrés en saignée ait contribué à un dysfonctionnement physiologique qui s'est répercuté sur leur croissance isodiamétrique. Nos résultats corroborent ceux de Atsin (2017) qui stipule que l'augmentation de la fréquence de stimulation entraîne une diminution de l'accroissement de circonférence quel que soit le clone. Ce, à cause du problème de phytotoxicité liée à l'utilisation de la stimulation hormonale, le stress physiologique, le déséquilibre hormonal, la détérioration des tissus et la saturation des ressources en eau et en nutriments (Compagnon, 1986).

Par ailleurs, au bout des 27 mois d'expérimentations, les résultats ont montré que les doses de stimulation de 1,5 et 1,75 % ont induit des productions de caoutchouc statistiquement supérieures ou égales à celles du témoin stimulé à 2,5 %. Ces niveaux élevés de rendement pourraient s'expliquer par plusieurs mécanismes que sont la stimulation des cellules du latex, l'amélioration de la santé des hévéas, l'optimisation de la photosynthèse et l'équilibre hormonal (Adou, 2018). En effet, les faibles doses de stimulation favorisent l'activité des cellules laticifères sans leur provoquer des stress excessifs ; ce qui augmente leur rendement. De plus, une faible stimulation favorise la régénération des tissus et le maintien de l'intégrité de l'arbre ; permettant une production soutenue de latex. Aussi, en améliorant la croissance des feuilles, les faibles doses de stimulation favorisent la photosynthèse ; fournissant ainsi plus d'énergie et de nutriments pour la production de latex. Enfin, les faibles doses favorisent un bon équilibre des hormones végétales telles que l'auxine et la cytokinine qui sont essentielles pour la croissance des tissus et la production de latex (Compagnon, 1986).

Par ailleurs, il semblerait que les productions statistiquement identiques de caoutchouc enregistrés entre la dose minimale de 1,5 % et la dose témoin de 2,5 % pourraient s'expliquer par une caractéristique clonale propre au GT1. En effet, la classe d'activité métabolique intermédiaire, à laquelle fait partie le clone GT1, se caractérise par un écoulement plus ou moins faible de latex. En l'absence de stimulation hormonale, ce clone présente naturellement une production moyenne de caoutchouc ; signe d'une activité métabolique intrinsèque moyenne (Compagnon, 1986). De ce fait, il semblerait que l'apport de la dose minimale de stimulation de 1,5 % a permis d'activer significativement le métabolisme dans la limite du sucre intralaticifère disponible surtout que les clones de cette classe métabolique possèdent naturellement moins de sucre (Traoré *et al.*, 2014 ; Soumahin, 2010). Cette hypothèse est d'autant plus confortée par le fait que le rendement moyen annuel de $1279 \pm 1043 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ enregistré avec cette dose, dans cette étude, est l'un des meilleurs. Pour cause, les meilleures performances de productions des clones à métabolismes intermédiaires se situent entre $941 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et $1412 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ d'après la norme du FIRCA (2013a).

Concernant le couteau de saignée Hornbill, les résultats ont montré son effet significatif sur la réduction du taux d'encoches sèches du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée au bout de 27 mois d'expérimentations. À cet effet, il convient de rappeler que les vaisseaux laticifères des hévéas sont des structures spécialisées qui se développent dans l'écorce, plus précisément dans le parenchyme. Disposés verticalement, ils s'étendent le long de la hauteur de l'arbre ; formant des chaînes continues qui contiennent du latex riche en caoutchouc, en protéines et en autres composés (Compagnon, 1986). De ce fait, lorsqu'une saignée est pratiquée à la bonne profondeur (1,6 mm du cambium), avec un angle d'incision compris entre 30 et 35° et un couteau de saignée propre et bien affûté, la réponse des cellules laticifères est d'exsuder une grande quantité de latex (Soumahin, 2010). Cependant, lorsque la saignée est mal pratiquée et que le cambium vient à être touché (blessures de saignée), cela compromet la santé et la productivité de l'hévéa. De ce fait, il semblerait que le couteau de saignée Hornbill ait favorisé la section d'un maximum de vaisseaux laticifères contrairement au couteau témoin Aunain. Pour cause, les meilleures profondeurs de saignée ont été enregistrées avec le couteau de saignée Hornbill. Le couteau de saignée Aunain a, quant à lui, induit une profondeur de saignée relativement proche du cambium. Ce résultat se justifie par le fait que la lame du couteau Hornbill a l'avantage d'être réglée en fonction du type d'écorce (mince ou épaisse) à saigner contrairement au couteau Aunain (Sey, 2020 ; Tra, 2022). En effet, le couteau de saignée Aunain a une lame fixée au manche, dont l'usage impose un entraînement suffisant et une grande habileté du saigneur au risque de blesser les hévéas.

À cet effet, Compagnon (1986) soutient que la régularité de la profondeur de saignée d'un arbre dépend de l'adresse du saigneur. Dans la pratique, on ne peut que recommander une profondeur de saignée et s'assurer qu'elle soit respectée en moyenne en faisant des ajustements continus. Cependant, l'incision de l'écorce ne doit pas atteindre le cambium (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Si cette dernière est touchée au cours de la saignée, il y a une réaction de cicatrisation, provoquant des bourrelets plus ou moins accentués sur l'écorce régénérée, qui devient irrégulière et, de ce fait, difficile à saigner au cours des cycles suivants. L'incision doit donc respecter une zone d'environ 1 à 1,5 mm à proximité du cambium.

Par ailleurs, l'écorce est le « capital » productif des hévéas (Compagnon, 1986 ; Soumahin, 2010). Son épaisseur qui est prélevée à chaque saignée doit donc être optimale en vue de pérenniser l'exploitation. De plus, l'épaisseur prélevée doit favoriser une ouverture complète de tous les vaisseaux laticifères de l'encoche de saignée ; raison pour laquelle il est admis une consommation moyenne d'écorce de 1,5 mm par saignée (Soumahin, 2010). Toutefois, dans la pratique, on estime que cette norme peut être légèrement augmentée (1,6 mm en saignée descendante ; FIRCA, 2013c) avec des fréquences de saignée réduites pratiquées tous les cinq jours (d5). Cependant, dans cette étude, pour les 50 saignées exécutées en moyenne au cours des différentes campagnes de production (10m/12), une consommation moyenne d'écorce de 13,08 cm.an⁻¹ a été enregistrée avec le couteau de saignée témoin Aunain. Cette valeur est largement supérieure à la norme usuelle de 10 cm.an⁻¹ recommandée par la filière hévéa (FIRCA, 2013a). Le couteau de saignée Aunain induit donc une surconsommation contrairement au couteau Hornbill (10,36 cm.an⁻¹). Or, de façon générale, les surconsommations réduisent la durée de vie économique des hévéas (Soumahin, 2010). En effet, selon Obouayeba (2005), l'exploitation économique de l'hévéa varie entre 30 à 35 ans. Cependant, les facteurs techniques intervenant dans la saignée tels que la consommation d'écorce agissent négativement sur cette durée. À ce niveau, il convient de préserver le « capital écorce » en ne compromettant pas, par une exploitation inconsidérée et abusive, le potentiel de production ultérieure de l'arbre (Compagnon, 1986 ; Lehi, 2022).

En outre, la circonférence des hévéas saignés avec le couteau Hornbill a été plus importante que celle des hévéas saignés avec le couteau Aunain. De plus, le couteau de saignée Hornbill a induit un accroissement de circonférence supérieur (3,41 cm.an⁻¹) à celui du couteau Aunain (2,68 cm.an⁻¹). Ce résultat est d'ailleurs l'un des meilleurs enregistrés chez les hévéas matures saignés. En effet, Obouayeba *et al.* (2016) ont relevé un accroissement moyen annuel de circonférence variant de 1 à 4 cm chez les hévéas matures saignés six ans après leur planting.

Toutefois, il est important de souligner que la croissance végétative radiale des arbres saignés et/ou stimulés est généralement réduite d'au moins 50 % par rapport aux arbres non saignés (Obouayeba, 2005 ; Lehi, 2022). Pour cause, la mise en saignée de l'hévéa se traduit par le détournement d'une fraction des photosynthétats (assimilats) et de l'énergie vers un métabolisme « artificiel » de régénération du matériel cellulaire exporté lors de la saignée, (Obouayeba *et al.*, 2002 ; Silpi *et al.*, 2006 ; Lehi, 2022). Ce phénomène se traduit par une réduction de la croissance végétative radiale que reflète la diminution de la circonférence du tronc des hévéas saignés par rapport à celle des hévéas non saignés (Lehi, 2022). Cependant, il est à noter que dans cette étude, les meilleurs accroissements de circonférence et de productions de caoutchouc ont été enregistrés chez les hévéas saignés avec le couteau Hornbill. De ce fait, il semble que ce couteau de saignée ait favorisé le maintien de l'équilibre physiologique des hévéas entre leurs croissances végétatives radiales et leurs productions de caoutchouc. Cette hypothèse est d'autant plus confortée par la forte production de caoutchouc par arbre et par saignée et le grand rendement moyen annuel à l'hectare généré par le couteau Hornbill comparativement au couteau Aunain. Cette différence serait imputable d'une part, au nombre de vaisseaux laticifères sectionnés au cours de la saignée et d'autre part, à la durée de l'écoulement du latex après la saignée. En effet, lorsque l'écorce est sectionnée lors de la saignée, la pression de turgescence expulse le latex contenu dans les laticifères. Il en résulte un écoulement plus ou moins long qui est stoppé par la coagulation des particules de caoutchouc. Plus l'écoulement est facile et dure longtemps, plus la production de latex est élevée, et vice versa (Lehi, 2022). En outre, la majorité des éléments impliqués dans les mécanismes de déstabilisation colloïdale du latex tels que les chitinases et/ou les glucanases (cations ou protéines cationiques) sont localisés au sein des lutoïdes (Dusotoit-Coucaud, 2009). Ces organites sont détruits lors de la saignée par les contraintes mécaniques qu'ils subissent de la part des couteaux de saignée au niveau de l'encoche de saignée. Il s'en suit la libération de leurs facteurs de coagulation qui ralentissent puis stoppent, plus ou moins vite, l'écoulement du latex (Jacob *et al.*, 1998 ; Lehi, 2022). De ce fait, il se peut que la facilité d'utilisation du couteau Hornbill ait également contribué à augmenter la production de caoutchouc des hévéas qu'il a saigné. En effet, ce couteau n'impose pas d'exercer une forte pression sur l'encoche de saignée, puisque sa lame est très tranchante et réglable. Il suffit juste de tirer, avec aisance, le manche du couteau vers le bas pour inciser (saigner) l'écorce de l'hévéa.

S'agissant de la fertilisation minérale, les résultats ont montré son effet significatif sur la réduction du taux d'encoches sèches du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée au bout de 19 mois d'expérimentations.

Mais avant, l'évaluation de la fertilité des sols a montré, qu'avant l'expérimentation, les sols sous hévéa de la zone d'étude étaient pauvres en éléments minéraux. À ce propos, Koko *et al.* (2009) avaient déjà rapporté en 2009 qu'une stratégie de fertilisation minérale, en relation avec les systèmes de production était nécessaire pour optimiser la production agricole dans ladite zone. En effet, les engrais minéraux présentent l'avantage d'être facilement assimilables par les plantes puisqu'ils agissent plus rapidement que les engrais organiques (Zeinabou, 2017). Compagnon (1986) soutient d'ailleurs que dans les sols, K^+ se trouve, avec les autres cations, Ca^{2+} et Mg^+ notamment, associé au complexe argilo-humique sous une forme échangeable, assimilable par la plante. Toutefois, cette fraction, labile, est toujours appauvrie par le lessivage intense du sol dans les régions tropicales. Fort de ce constat, cette étude a entrepris de fertiliser les sols sous hévéa du site expérimental avec un cumul de $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ d'engrais simples (Urée, PCa_3 et KCl) contrairement aux $43 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ de KCl recommandés par la filière hévéa (FIRCA, 2013c) pour les hévéas matures. Dix-neuf (19) mois plus tard, les résultats ont montré que la fertilité des sols n'a pas évolué. En effet, les sols sont restés plus ou moins pauvres en éléments minéraux tout comme au début de l'expérimentation. Cependant, au niveau des feuilles, une meilleure présence des éléments minéraux que celle en début d'étude, a été observée. Ce contraste pourrait s'expliquer par le fait que la fertilisation minérale fournit immédiatement des nutriments qui sont rapidement absorbés par les hévéas ; conduisant à leurs déficits dans le sol et par conséquent, à l'appauvrissement du sol. En effet, les éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le potassium sont essentiels à la croissance des plantes et au rendement d'où leur prélèvement rapide dans le sol par les végétaux (Kimuni *et al.*, 2014).

Par ailleurs, l'effet de la fertilisation minérale a fait état d'un taux d'encoches régénérées allant de 9 à 58 % chez les hévéas fertilisés contrairement aux hévéas non fertilisés. Ces résultats montrent donc que les éléments nutritifs apportent de la vigueur aux plantes cultivées et favorisent leur bonne rusticité et résistance face aux maladies (Amira *et al.*, 2020). Cependant, nos résultats ont été contraires à ceux de Allé (2016) qui stipulent que les apports d'engrais n'exercent aucune influence sur la sensibilité des hévéas à l'encoche sèche. Pour cause, dans son étude, l'auteur (Allé, 2016) s'est limité qu'à la quadruple dose des $43 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ de KCl recommandée par la filière hévéa (FIRCA, 2013c) pour les hévéas matures ; ce qui n'a pas généré de résultats significatifs. Or dans notre cas de figure, les LEM ont significativement varié suite à l'application d'un cumul de $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ d'engrais simples N- P- K. Il se pourrait donc que la dose de fumure minérale ait été un facteur limitant pour les travaux de Allé (2016).

À cet effet, la présente étude a, mis en évidence les notions de dose minimale et de dose maximale d'engrais à apporter aux hévéas atteints d'encoches sèches en vue de réduire l'effet de la maladie. En effet, les LEM des hévéas ont diminué au fur et à mesure que la dose d'engrais augmentait, passant de 43K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) à 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹), avant de connaître une nouvelle reprise de leurs LEM à la dose de 30N 135P 135K (kg.ha⁻¹.an⁻¹). Ce contraste pourrait s'expliquer par le fait qu'un apport excessif d'engrais crée une toxicité des nutriments, un déséquilibre nutritionnel, un stress hydrique, une augmentation des maladies et une accumulation de sels (Kimuni *et al.*, 2014).

En outre, seuls les doses de 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) et 30N 135P 135K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) ont induit des accroissements moyens annuels de circonférence supérieurs ou égaux à ceux des hévéas témoins non fertilisés. Ces réponses de croissance végétative provenant majoritairement des engrais phosphatés et potassiques confirment l'importance de la quantité de ces éléments nutritifs apportés dans le développement des hévéas (Allé, 2016). En effet, le phosphore joue un rôle déterminant dans le transfert de l'énergie. Il intervient dans la photosynthèse, la division cellulaire et l'assimilation des plantes, d'où son importance primordiale pour la croissance des arbres (Compagnon, 1986 ; Allé, 2016). Dans les sols pauvres en P₂O₅, l'apport d'engrais phosphaté accroît la vigueur des jeunes plantes de façon significative (Allé, 2016). Son assimilation par les racines favorise l'activité fonctionnelle des hévéas (synthèse des protéines et photosynthèse). Le potassium, quant à lui, intervient notamment pour créer les conditions nécessaires à la synthèse des macromolécules protéique et polysaccharidique et dans le maintien de l'hyperosmolarité des liquides cellulaires (Compagnon, 1986). Il favorise, en outre, la photosynthèse et agit sur l'accroissement de la circonférence des arbres exploités. Le potassium agit également sur la reconstitution de l'écorce consommée par la saignée (Compagnon, 1986).

Enfin, les résultats de l'expérimentation ont montré que les différentes doses de fertilisation ont eu un effet significatif sur la production de caoutchouc du clone IRCA 331. Cet effet fait état d'un gain de production allant de 17 à 52 % chez les hévéas fertilisés contrairement aux hévéas non fertilisés. Ces réponses favorables reposent sur plusieurs mécanismes que sont l'apport des nutriments essentiels, l'amélioration de la photosynthèse, le renforcement du système racinaire, le soutien à la régénération cellulaire et la résilience accrue (Jessy, 2011 ; Shafar *et al.*, 2012 ; Allé, 2016). Toutefois, l'étude a révélé que les doses de 43 K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) et de 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹), à base de K majoritaire, ont généré des productions de caoutchouc plus élevées que celles de la dose 30N 135P 135K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) à base de P et K majoritaires.

Ces différences ont donc révélé que le besoin primordial des hévées du clone IRCA 331 étudiés était la fumure potassique. Pour cause, la potasse intervient dans l'assimilation chlorophyllienne et favorise par sa présence dans les feuilles, la synthèse des glucides, la migration de ces substances et leur accumulation dans les organes de réserves (Compagnon, 1986). Il est donc primordial dans l'absorption des cations, le maintien de la turgescence cellulaire et la régulation de l'économie en eau de la plante (Lacharme, 2001 ; Allé, 2016). En d'autres termes, la fumure potassique est d'une grande importance pour le maintien de la production (Joseph *et al.*, 1998). Cependant, lorsque cette fumure potassique est associée au phosphore dans les mêmes proportions (135P et 135K), une toxicité survient et exerce une action plus ou moins dépressive sur le rendement des hévées (Allé, 2016). Ceci, à cause du déséquilibre nutritionnel créé, de la toxicité ionique, de la réduction de la surface foliaire favorisant la photosynthèse, de la réduction de la résistance au stress et de la perturbation hormonale (Compagnon, 1986).

3.4. Conclusion partielle

Cette étude a permis de mettre en évidence les effets significatifs des trois nouvelles pratiques agronomiques sur la réduction du taux d'encoche sèche des hévéas. Au niveau de la stimulation, il ressort que les faibles doses d'Éthéphon de 1,5 et 1,75 % favorisent un bon équilibre entre la production de caoutchouc et la croissance isodiamétrique ; réduisant ainsi les encoches sèches du clone GT1 en 1^{ère} année de saignée.

Concernant le couteau de saignée, l'effet positif du couteau Hornbill a été enregistré sur la réduction des longueurs d'encoches malades (LEM), la profondeur de saignée, la consommation d'écorce, la circonférence et la production du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée. Ceci, en raison de sa capacité atypique à avoir une lame réglable contrairement au couteau de saignée témoin Aunain.

Quant à la fertilisation minérale du clone IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée, il ressort qu'en plus d'avoir fourni immédiatement des nutriments aux hévéas fertilisés ; conduisant au déficit de ceux-ci dans le sol, les doses d'engrais de 43 K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) et de 60N 60P 180K ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) ont également réduit les LEM et augmenté la production de caoutchouc des arbres.

Chapitre 4. Test d'efficacité du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » des hévéas

4.1. Introduction

Plusieurs études ont mis en évidence les effets bénéfiques du gel de *Aloe vera* sur la santé humaine, animale et végétale. Ce chapitre, quant à lui, vise à tester l'effet du gel de *Aloe vera* sur l'encoche sèche de l'hévéa en vue de proposer un traitement biologique curatif contre la maladie.

4.2. Résultats

4.2.1. Longueurs d'encoches malades induites par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera*

La figure 44 présente l'évolution des longueurs d'encoche malade (LEM) induites par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera* chez le clone PB 260 en 9^{ème} année de saignée. De manière générale, les courbes d'évolution des quatre traitements ont connu des chutes de LEM de septembre à décembre 2023. En outre, trois grands groupes d'évolution de LEM ont été distingués à savoir les courbes largement au-dessus (Traitement 0), les courbes intermédiaires (Traitements 2 et 3) et les courbes largement en dessous (Traitement 1). Ces courbes ont révélé que les traitements à base de gel de *Aloe vera* induisent respectivement une forte sensibilité, une moyenne sensibilité et une faible sensibilité des hévéas à l'encoche sèche tout au long de l'étude.

Globalement, l'effet significatif ($p = 0,00$) du gel de *Aloe vera* a été mis en évidence sur la réduction des LEM du clone PB 260 de septembre à décembre 2023. Toutefois, le traitement 3 a affiché une LEM statistiquement identique (46,06 %) à celle du témoin non traité (Traitement 0 ; 50,06 %). Les traitements 1 (25,24 %) et 2 (36,25 %) ont, quant à eux, généré de faibles LEM conduisant à des taux d'encoches régénérées respectifs de 50 % et de 28 % comparativement au traitement témoin (Traitement 0). Par ailleurs, la plus faible LEM de l'étude (25,24 %) a été enregistrée avec le traitement 1 (Tableau LI).

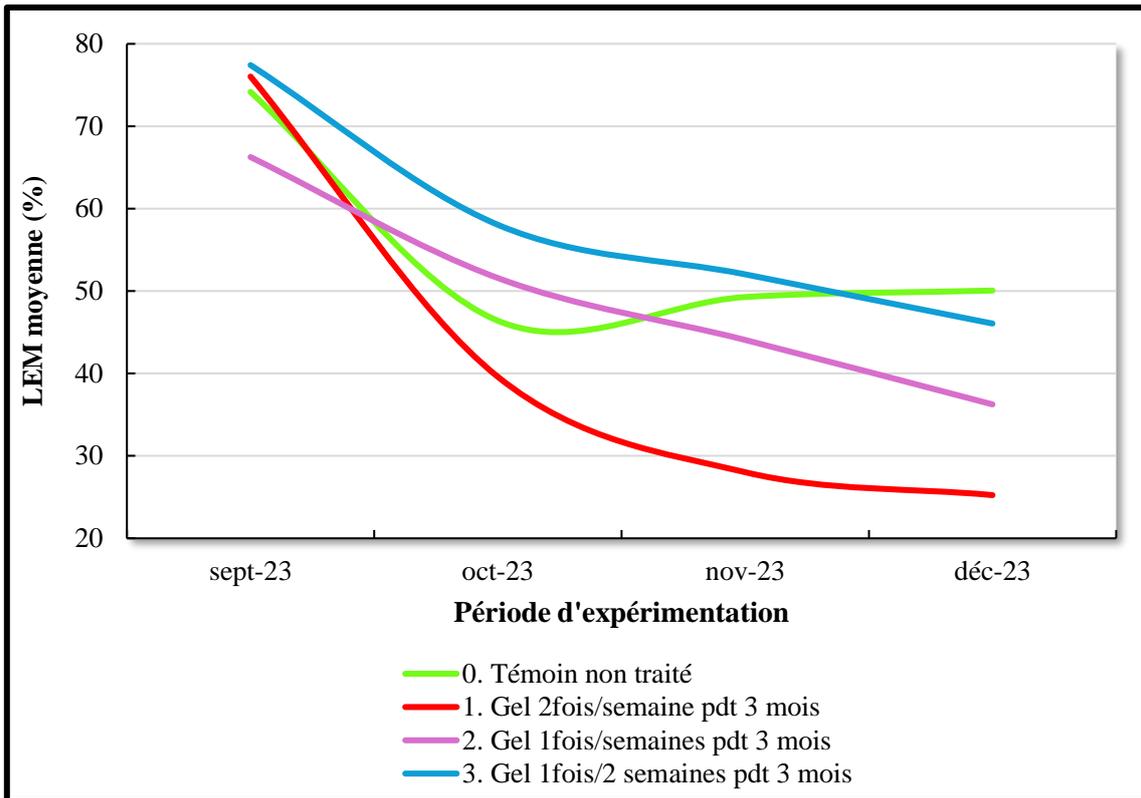


Figure 44. Évolution des longueurs d’encoche malade induites par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera* chez le clone PB 260 en 9^{ème} année de saignée de septembre et décembre 2023

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; 0 = Hévée Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois

Tableau LI. Longueurs d’encoche malade moyennes induites par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera* chez le clone PB 260 de septembre à novembre 2023

Traitements	LEM moyenne (%)	Encoches régénérées (%)
0. Témoin non traité	50,06 ± 13,68 ^a	-
1. Gel 2 fois/semaine pdt 3 mois	25,24 ± 10,03 ^b	+ 50
2. Gel 1 fois/semaines pdt 3 mois	36,25 ± 11,29 ^{ab}	+ 28
3. Gel 1 fois/2 semaines pdt 3 mois	46,06 ± 12,57 ^a	+ 8
p	0,00	-

LEM moyenne (%) = Longueur d’encoche malade moyenne en pourcentage ; Encoches régénérées (%) = Pourcentage d’encoches régénérées (gain ou perte) par rapport au témoin absolu ; 0 = Hévée Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

4.2.2. Accroissements moyens trimestriels de circonférence induits par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera*

Au début de l'expérimentation, aucune différence significative ($p = 0,42$) n'avait été relevée au niveau des circonférences des hévéas. À la fin de l'expérimentation, une variation significative ($p < 0,05$) a été enregistrée (Tableau LII).

Dans l'ensemble, de septembre à décembre 2023, les traitements 2 ($0,21 \text{ cm.3mois}^{-1}$) et 3 ($0,24 \text{ cm.3mois}^{-1}$) ont induit des accroissements trimestriels de circonférence statistiquement identiques au témoin non traité (Traitement 0 ; $0,09 \text{ cm.3mois}^{-1}$). Seul le traitement 1 s'est démarqué avec un accroissement de circonférence significatif de $1,33 \text{ cm.3mois}^{-1}$ (Tableau LII).

Tableau LII. Accroissements moyens trimestriels de circonférence induits par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera* chez le clone PB 260 en 9^{ème} année de saignée de septembre à décembre 2023

Traitements	Circonférence (cm)		Accroissements (cm.3mois ⁻¹)
	Début d'expérimentation	Fin d'expérimentation	
0. Témoin non traité	61,22 ± 3,12 ^a	61,31 ± 2,03 ^b	0,09 ± 1,09 ^b
1. Gel 2 fois/semaine pdt 3 mois	62,83 ± 4,08 ^a	64,16 ± 2,55 ^a	1,33 ± 1,58 ^a
2. Gel 1 fois/semaines pdt 3 mois	62,38 ± 2,27 ^a	62,59 ± 3,08 ^b	0,21 ± 2,05 ^b
3. Gel 1 fois/2 semaines pdt 3 mois	61,41 ± 3,15 ^a	61,65 ± 2,06 ^b	0,24 ± 1,07 ^b
p	0,42	0,03	0,04

0 = Hévéa Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois ; cm = Centimètre ; cm.an⁻¹ = Centimètre par an ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

4.2.3. Productions moyennes induites par les différents traitements à base de gel de *Aloe vera*

Les productions moyennes de caoutchouc ont significativement ($p < 0,05$) varié en fonction des différents traitements à base de gel de *Aloe vera*. La plus forte production de l'étude, exprimée en g.a⁻¹.s⁻¹ (110 ± 38) et en g.a⁻¹.3mois⁻¹ (2985 ± 1026) a été enregistrée avec le traitement 1. C'est d'ailleurs avec ce traitement que le meilleur gain de production de 132 % a été enregistré, à l'issue des expérimentations, comparativement aux hévéas témoins non traités.

En outre, les traitements 2 et 3 ont généré statistiquement les mêmes productions de caoutchouc en $\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$ et $\text{g.a}^{-1}.\text{3mois}^{-1}$ avec des gains de productions respectifs de 52 et de 20 % (Tableau LIII).

Tableau LIII. Productions moyennes de caoutchouc sec du clone PB 260 après traitement avec le gel de *Aloe vera* de septembre à décembre 2023

Traitements	$\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$	$\text{g.a}^{-1}.\text{3mois}^{-1}$	GP $\text{g.a}^{-1}.\text{3 mois}^{-1}$ (%)
0. Témoin non traité	47 ± 32^c	1290 ± 864^c	-
1. Gel 2 fois/semaine pdt 3 mois	110 ± 38^a	2985 ± 1026^a	+ 132
2. Gel 1 fois/semaines pdt 3 mois	72 ± 43^b	1953 ± 1161^b	+ 52
3. Gel 1 fois/2 semaines pdt 3 mois	57 ± 27^b	1548 ± 729^b	+ 20
p	0,00	0,00	-

0 = Hévée Témoin non traité ; 1 = Application du gel de *Aloe vera* 2 fois par semaine pendant trois mois ; 2 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par semaine pendant trois mois ; 3 = Application du gel de *Aloe vera* 1 fois par deux semaines pendant trois mois ; $\text{g.a}^{-1}.\text{s}^{-1}$ = Production en grammes par arbre et par saignée ; $\text{g.a}^{-1}.\text{3mois}^{-1}$ = Production en grammes par arbre et par trimestre ; GP $\text{kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}(\%)$ = Gain en pourcentage de production exprimée en kilogrammes par hectare et par an par rapport au traitement témoin non traité avec le gel de *Aloe vera* ; Dans chaque colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

4.2.4. Relation entre les différents paramètres évalués

Diverses corrélations significatives et élevées au seuil de 5 % ($p < 0,05$) ont été établies entre les différents paramètres évalués (Tableau LIV).

Au niveau du traitement à base de gel de *Aloe vera*, les résultats ont révélé une forte corrélation négative avec les longueurs d'encoche malade (LEM ; $r = - 0,78$; $p < 0,05$) ; signe qu'elles régénèrent avec les différentes applications (Figure 45). En outre, des corrélations positives et significatives ont été enregistrées entre le traitement, la croissance isodiamétrique des hévéas ($r = 0,69$; $p < 0,05$) et la production de caoutchouc ($r = 0,73$; $p < 0,05$) ; montrant que le gel de *Aloe vera* augmente la circonférence et la production des hévéas. Par ailleurs, les LEM ont établi une corrélation négative avec la production de caoutchouc ($r = - 0,64$; $p < 0,05$) de sorte que les hévéas atteints d'encoche sèche ont vu leur production chuter par la suite. Enfin, une corrélation négative et significative ($r = - 0,55$; $p < 0,05$) a été relevée entre la croissance et la production des hévéas montrant que plus l'arbre produit du caoutchouc, moins son tronc grossit (Tableau LIV).

Tableau LIV. Matrice de corrélation de Spearman entre les différents paramètres de l'étude

	Traitement	LEM	Croissance	Production
Traitement	1			
LEM	-0,78	1		
Croissance	0,69	-0,48	1	
Production	0,73	-0,64	-0,55	1

LEM = Longueurs d'encoche malade ; Dans chaque colonne, les corrélations significatives sont marquées en gras (Test de Spearman au seuil de 5 %) ; $r > 0,5$ = corrélation positive et significative entre a et b (évolution dans le même sens) ; $r < -0,5$ = corrélation négative et significative entre a et b (évolution dans le sens contraire)



Figure 45. Longueurs d'encoche malade régénérées après l'application du gel de *Aloe vera*
 A = Arbre sec avant le traitement ; B = Arbre régénéré après le traitement

4.3. Discussion

Dans cette étude, l'effet positif du gel de *Aloe vera* sur la réduction de l'encoche sèche du clone d'hévéa PB 260 en 9^{ème} année de saignée a été mis en évidence. En effet, trois mois après l'application du gel sur les encoches malades, les taux d'encoche sèche des arbres ont baissé significativement de l'ordre de 8 à 50 %. Ces résultats pourraient se justifier par le fait que le gel de *Aloe vera* contient des acides aminés, des vitamines, des minéraux, des polysaccharides, des enzymes et des propriétés antibactériennes et antifongiques qui sont capables de restaurer le bon fonctionnement des cellules (Dohou *et al.*, 2004). En effet, les vitamines A, C et E que contient le gel de *Aloe vera* sont des antioxydants qui aident à protéger les cellules et favorisent la santé globale de l'arbre (Michayewicz, 2013). De plus, les minéraux tels que le calcium, le magnésium et le potassium contribuent à la santé des cellules et renforcent les défenses de l'arbre. Les polysaccharides, quant à eux, aident à retenir l'humidité et favorisent la cicatrisation des blessures (Azib & Hammache, 2019) ; ce qui est essentiel pour la récupération après la saignée. Par ailleurs, certains enzymes présentes dans le gel peuvent favoriser la dégradation des tissus morts et stimuler la régénération des cellules (Dohou *et al.*, 2004). Enfin, les propriétés antibactériennes et antifongiques du gel de *Aloe vera* aident à prévenir les infections ; réduisant ainsi le risque de complications suite à des blessures lors de la saignée (Michayewicz, 2013). Par ailleurs, les taux d'encoche sèche des différents traitements ont révélé que toutes les fréquences d'application du gel de *Aloe vera* ont eu un effet positif sur la réduction de l'encoche sèche des hévéas. Cependant le traitement 1 dont la fréquence d'application a été de deux fois par semaine, soit huit applications mensuelles, a induit le taux d'encoche sèche le plus faible de l'étude. Ce traitement a, en outre, généré une réduction de 50 % du taux d'encoche sèche comparativement au témoin non traité. De ce fait, il ressort que la fréquence la mieux adaptée est l'application du gel deux fois par semaine pendant trois mois en raison de 3 g par application.

Par ailleurs, l'accroissement des circonférences des arbres a connu une légère augmentation après les trois mois d'expérimentations. De plus, les arbres traités une fois par semaine pendant trois mois avec le gel de *Aloe vera* ont présenté les meilleurs accroissements de circonférence par rapport aux autres traitements. Ces résultats mettent en évidence les effets bénéfiques du gel de *Aloe vera* que sont la stimulation de la régénération cellulaire, l'hydratation et la rétention de l'humidité, l'apport en nutriments, l'amélioration de la santé globale de l'arbre et le renforcement général du système racinaire (Michayewicz, 2013).

En effet, le gel de *Aloe vera* favorise la division et la croissance des cellules dans les tissus méristématiques qui sont responsables de l'accroissement en circonférences des arbres (Soalla, 2011). De plus, l'acémannane et d'autres polysaccharides présents dans le gel aident à retenir l'humidité ; favorisant un environnement optimal pour la croissance des racines et des tissus (Michayewicz, 2013). Par ailleurs, le gel contient des acides aminés qui nourrissent l'arbre ; soutenant ainsi une croissance saine et robuste. D'autre part, en prévenant les infections grâce à ses propriétés antibactériennes, le gel aide à maintenir la santé générale de l'arbre ; ce qui est essentiel pour une croissance isodiamétrique (Bernardes *et al.*, 2012). Enfin, en favorisant une meilleure santé des racines, le gel permet une absorption plus efficace de l'eau et des nutriments ; soutenant ainsi la croissance du tronc (Soalla, 2011). Par ailleurs, l'analyse de corrélation a révélé un effet significatif et positif ($r = 0,69$; $p < 0,05$) du gel de *Aloe vera* sur la circonférence des hévéas ; signe que l'application du gel fait grossir les hévéas traités. Ce résultat pourrait se justifier par le fait que le calcium, le potassium, le sodium et le magnésium se trouvent en proportion importante dans le gel de *Aloe vera* (Michayewicz, 2013). Or il est connu que le calcium joue un rôle important dans la fermeté des tissus. De plus, le potassium favorise la photosynthèse et agit sur l'accroissement de la circonférence des arbres exploités (Compagnon, 1986). Le sodium, quant à lui, est indispensable en quantité importante pour la croissance de l'arbre. Enfin, le magnésium est essentiel pour maintenir l'intégrité des chlorophylles, donc de la photosynthèse et partant de la croissance globale de l'arbre. De ce fait, il semble que ces éléments minéraux auraient fourni assez de nutriments aux hévéas pour favoriser le maintien de leur équilibre physiologique entre la croissance et la production de caoutchouc. À cet effet, trois mois après l'application du gel de *Aloe vera*, les résultats ont révélé que les hévéas ayant été traités deux fois par semaine pendant trois mois ont généré des productions de caoutchouc les plus importantes que celles des autres traitements. Ce résultat se justifie par le fait que 50 % des longueurs d'encoches malades (LEM) des hévéas ont été régénérées suite à l'application du gel selon ce traitement. De plus, l'analyse de corrélation a montré une corrélation significative et négative ($r = - 0,64$; $p < 0,05$) entre le taux d'encoche sèche et la production de sorte que la production de caoutchouc augmente avec la réduction des LEM. Ces résultats corroborent ceux de Coulibaly *et al.* (2014) qui stipulent que, moins il y a d'encoches sèches plus la production est élevée et vice versa.

4.4. Conclusion partielle

Au terme de cette étude, il ressort que le gel de *Aloe vera* a eu un effet positif sur le traitement des encoches sèches totales du clone d'hévéa PB 260 en 9^{ème} année de saignée. En effet, l'application du gel a entraîné une diminution du taux d'encoche sèche de l'ordre de 8 à 50 %. Le traitement 1 dont la fréquence d'application a été de 3 g de gel, apportés deux fois par semaine pendant trois mois, a entraîné une réduction de 50 % du taux d'encoche sèche comparativement au témoin non traité. Les hévéas du traitement 1 ont, par ailleurs, enregistré les plus forts taux d'accroissements de circonférence et de meilleures productions de caoutchouc. Le gain de production enregistré comparativement aux hévéas témoins non traités a été de 132 %.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer plusieurs méthodes de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Pour ce faire, elle a été présentée en quatre parties :

- la première partie a consisté à faire un état des lieux de la maladie de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production de Côte d'Ivoire ;
- la deuxième partie a étudié l'influence de la pluviométrie sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa ;
- la troisième partie a consisté à évaluer l'impact de nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa ;
- la quatrième partie a permis de tester l'efficacité du gel de *Aloe vera* sur la restauration des encoches « malades » des hévéas.

Il faut souligner que l'indisponibilité de données récentes sur l'état d'avancement de l'encoche sèche de l'hévéa en Côte d'Ivoire constituait un frein à la gestion du syndrome. Les résultats présentés dans la première partie ont donc permis de répondre à cette préoccupation. En effet, ces résultats ont montré que l'encoche sèche de l'hévéa persiste dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou avec un taux de prévalence de 34,65 %. Les plantations de la zone d'Anguédédou se sont révélées plus sensibles à la maladie que celles de Zagné et de San-Pedro. Pour l'ensemble des pratiques agronomiques évaluées, les plus fortes longueurs d'encoches malades (LEM) ont été enregistrées avec les dispositifs de plantation 7 m x 2,8 m. Quant aux neuf clones recensés, seuls les clones PB 235 et RRIC 100 se sont révélés plus sensibles à la maladie de l'encoche sèche. Par ailleurs, le couteau de saignée « Gouge », l'âge de récolte du latex des hévéas compris entre 11 et 18 ans et les fréquences de stimulation de 6 et 15 applications annuelles ont fortement augmenté les LEM. Au niveau des facteurs biologiques, les résultats de l'évaluation ont mis en évidence l'influence des principaux bioagresseurs de l'hévéa sur la sensibilité à l'encoche sèche. Les hévéas attaqués par le bioagresseur *Fomes* sp. ont affiché un taux d'encoche malade plus élevé que celui des hévéas non-attaqués. De même, les hévéas parasités par les Loranthaceae ont enregistré des LEM plus importantes que celles des hévéas non parasités. Seuls les hévéas attaqués par *Corynespora* sp. ont présenté des LEM plus faibles que celles des hévéas non-attaqués ; montrant que les arbres attaqués étaient en début d'infestation et qu'ils ont généré un pic de production de caoutchouc pour se défendre contre le bioagresseur.

Les résultats de la deuxième partie ont permis de lever une autre contrainte de l'étude, à savoir celle de la pluviométrie.

Ainsi, l'analyse des données a révélé que la répartition pluviométrique sur les 33 années de culture des hévéas recensés, correspondait aux quatre saisons pluviométriques classiques de la Côte d'Ivoire. Toutefois, l'influence significative de cette pluie a été enregistrée sur la sensibilité à l'encoche sèche de sorte qu'elle se traduise, au cours de l'année, par une faible expression de la maladie pendant les périodes de forte pluviométrie et par une expression plus prononcée durant les périodes de faible pluviométrie. Ceci, à cause des stress physiologiques et hydriques liés aux variations saisonnières que subissent les hévéas dans les différentes zones de culture. C'est alors que la rupture pluviométrique détectée à Anguédédou en 2008 a contribué partiellement à rendre la zone plus sensible à la maladie de l'encoche sèche que les deux autres zones visitées.

À l'issue de ces études préliminaires, des expérimentations ont été entreprises dans la troisième partie en vue d'évaluer l'impact de trois nouvelles pratiques agronomiques sur le taux d'encoche sèche de l'hévéa. Au rang des nouvelles pratiques évaluées, figuraient l'application de faibles doses de stimulation hormonale exogène, l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable et la fertilisation minérale des plantations d'hévéas matures. Au bout de 27 mois d'expérimentation (novembre 2021 à janvier 2024), les résultats ont révélé les effets significatifs des faibles doses de stimulation testées. La plus faible dose de stimulation de 1,5 % appliquée au clone d'hévéa GT1 en 1^{ère} année de saignée, a significativement réduit les LEM de l'ordre de 76 %. Cette dose a également généré un meilleur accroissement de circonférence et une production de caoutchouc statistiquement identique à celle du témoin stimulé à 2,5 %. Par ailleurs, les résultats de l'essai relatif aux couteaux de saignée ont révélé que le couteau à lame changeable Hornbill a eu un effet positif sur la réduction du taux d'encoche sèche des hévéas. Pour cause, ce couteau a réduit de moitié (57 %) les LEM des hévéas, comparativement au couteau de saignée classique Aunain largement répandu dans la zone de San-Pedro. Le couteau de saignée Hornbill a également induit une bonne profondeur de saignée et de consommation d'écorce. Il a, en outre, induit un meilleur accroissement moyen annuel de circonférence et de production de caoutchouc chez le clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée. En outre, les résultats relatifs à l'incidence de la fertilisation minérale sur la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa ont mis en évidence son effet bénéfique sur la réduction des LEM. En effet, au bout de 19 mois d'expérimentations (juillet 2022 à janvier 2024), les engrais simples apportés ont réduit les LEM de l'ordre de 58 % avec la dose 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) comparativement au témoin non fertilisé.

L'effet positif des apports d'engrais a également été enregistré sur la croissance végétative radiale et la production de caoutchouc du clone d'hévéa IRCA 331 en 3^{ème} année de saignée avec les doses 30N 135P 135K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) et 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹).

Pour finir, les résultats de la quatrième partie ont montré que le gel de *Aloe vera* a un effet positif sur le traitement curatif de l'encoche sèche du clone d'hévéa PB 260. Au bout de trois mois de traitement, l'application de 3 g du gel de *Aloe vera*, deux fois par semaine, a entraîné une réduction de 50 % du taux d'encoche sèche comparativement au témoin non traité. Les LEM moyennes enregistrées ont alors été de 25,24 %. De plus, l'application du gel deux fois par semaine pendant trois mois a induit un meilleur accroissement trimestriel de circonférence et un gain de production de 132 % comparativement au témoin non traité.

Ainsi, il ressort de manière générale que tous les résultats obtenus à la fin de cette étude permettent de vérifier les différentes hypothèses émises à savoir :

- les pratiques agronomiques et les facteurs biologiques du milieu de culture permettent d'actualiser les données de l'encoche sèche de l'hévéa à travers les principales zones de production de Côte d'Ivoire ;
- la pluviométrie affecte l'incidence de la maladie ;
- les faibles doses de stimulation, l'utilisation d'un couteau de saignée à lame changeable et la fertilisation minérale des hévéas matures ont un effet préventif sur l'encoche sèche de l'hévéa ;
- le gel de *Aloe vera* a un effet curatif sur l'encoche sèche de l'hévéa.

De ce fait, il est recommandé aux hévéaculteurs ivoiriens comme méthodes de lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa de :

- ✓ privilégier les dispositifs de plantation 6 m x 3 m qui offrent de bonnes distances entre les interlignes de rangée et les lignes de plantation des hévéas ;
- ✓ adopter l'agroforesterie en vue d'atténuer les effets du changement climatique ;
- ✓ planter les clones IRCA 331 qui sont moins sensibles à l'encoche sèche de l'hévéa. Toutefois, il est recommandé de fertiliser le sol avec des engrais simples N-P-K à base de K majoritaires dont les concentrations sont comprises entre 43K (kg.ha⁻¹.an⁻¹) et 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹).
- ✓ utiliser les couteaux de saignée Hornbill qui présentent l'avantage d'avoir des lames tranchantes, changeables et réglables en fonction du type d'écorces (minces ou épaisses à saignée) à saigner ;
- ✓ adopter des fréquences de stimulation inférieures à 6 et 15 applications annuelles pour les clones à métabolisme intermédiaire et rapide. Il est, en outre, recommandé d'utiliser

la dose minimale de 1,5 % d'Éthéphon pour maintenir de bons niveaux de production et de croissance isodiamétrique tout en réduisant le niveau d'encoche sèche des hévées ;

- ✓ appliquer le gel de *Aloe vera* deux fois par semaine, pendant trois mois, à raison de 3 g par application comme traitement curatif contre l'encoche sèche du clone d'hévée PB 260.

Au regard de ces recommandations, quelques perspectives de recherches peuvent être dégagées à savoir :

- poursuivre l'évaluation de l'efficacité du gel de *Aloe vera* sur les clones d'hévées appartenant à d'autres classes d'activité métabolique ;
- combiner les différentes méthodes de lutte testées contre l'encoche sèche de l'hévée (faibles doses de stimulation, couteau de saignée à lame changeable, fertilisation minérale, application du gel de *Aloe vera*) sur une même parcelle en vue d'observer les différentes interactions ;
- étudier l'incidence des différentes méthodes de lutte contre l'encoche sèche sur le profil physiologique des hévées ;
- évaluer la rentabilité économique des différentes méthodes de lutte.

RÉFÉRENCES

- Adou B.Y.C. (2018). Effet des technologies de récolte du latex sur la production de caoutchouc de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae)) et contribution du micro-diagnostic latex à la gestion moderne des plantations hévéicoles en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat unique, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 124 p.
- Ahamidé I.D.Y., Tossou M.G., Dassou H.G., Yedomonhan H., Houenon J.G. & Akoegninou A. (2017). Usages des plantes parasites de la famille des Loranthaceae et variation du niveau de leur connaissance au Nord-Bénin : Implications pour la gestion durable des hémiparasites. *Afrique Science*, 13(5) : 222-235.
- Ahoba A. (2011). Évaluation de quelques caractéristiques dendrométriques de trois clones d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (PR 107, PB 86, GT1). *Agronomie Africaine*, 23(3) : 227-236.
- Allé Y.J. (2016). Evaluation de l'effet de la fertilisation minérale sur les propriétés physiques et chimiques du sol et les paramètres agro physiologiques pour une productivité rentable du clone PB 235 de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae) au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 198 p.
- Amira Z., Soulaf Z. & Dalila Z. (2020). Etude de l'effet de la fertilisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (variété Vitron) dans la région de Guelma. Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma (Guelma, Algérie), 76 p.
- Andrew B., Ahmad. K. & Ismail S.I. (2021). Disease prevalence and molecular characterisation of *Rigidoporus microporus* associated with white root rot disease of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) in Malaysia. *Journal of Rubber Research*, 24 : 175-186.
- Anonyme 1 (2009). Licultures Ontario. Qu'est-ce que la lutte intégrée ? <https://www.omafra.gov.on.ca/ipm/french/ipm-basics/what-is-ipm.html>. Consulté le 20 décembre 2023.
- Anonyme 2 (2018). Hornbill Rubber Tapping Knife. www.advanceq.com. Consulté le 19 mars 2023.
- ANRPC (2024). The Association of Natural Rubber Producing Countries. Annual report. (Indonésie), 47 p.
- APROMAC (2021). Atelier sur les problèmes de la filière hévéa en Côte d'Ivoire. www.apromac.ci. Consulté le 21 juillet 2021.
- APROMAC (2023). Production de caoutchouc en Côte d'Ivoire. www.apromac.ci. Consulté le 12 novembre 2023.

- Assani A.A. (1999). Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916 - 1996) à Lumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Nino/La Nina). *Sécheresses*, 10(4) : 245-252.
- Atsin G.J.O. (2017). Contribution à la mise à point de système de récolte du latex sans stimulation hormonale chez les clones d'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae)), de la classe d'activité métabolique rapide cultivés au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat unique, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 152 p.
- Azib C. & Hammache R. (2019). Evaluation des propriétés antioxydantes et fonctionnelles de l'*Aloe Vera* et élaboration d'un jus à base de cette plante. Mémoire de Master, Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi (Algérie), 35 p.
- Ballo K.E. (2019). Effet de différentes techniques culturales sur les paramètres agro-physiologiques et sanitaires de l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 208 p.
- Bataglia O.C., Santos W.R., Igue T. & Gonçalves P.S. (1998). Tree clone RRIM 600 to NPK fertilization on red, yellow podzolic soil. *Bragantia*, 57(2) : 367-377.
- Bernardes I., Felipe R.M.P., Bacelli G.K., Munin E. & Alves L.P. (2012). *Aloe vera* extract reduces both growth and germ tube formation of *Candida albicans*. *Mycoses*, 55 : 257-261.
- Boussim I.J. (2002). Les Phanérogames parasites du Burkina Faso : inventaire, taxonomie, écologie, et quelques aspects de leur biologie. Cas particulier des Loranthaceae parasites du karité. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou (Burkina-Faso), 306 p.
- Boussim I.J., Sallé G. & Guinko S. (1993). Tapinanthus parasite du karité au Burkina-Faso. 2^{ème} partie : phénologie, biologie et dégâts. *Bois et Forêt des Tropiques*, 238 : 53-65.
- Boyer J. (1982). Les sols ferrallitiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols. Tome X, Initiation-Documentations Techniques n°52, ORSTOM, (Paris, France), 384 p.
- Bremner J.M. & Mulvaney C.S. (1982). Nitrogen-total, In Methods of Soil Analysis. *American Society of Agronomy*, 9 : 595-624.

- Breton F. (1997). Réactions de défense dans l'interaction *Hevea brasiliensis* / *Corynespora cassiicola* et implication d'une toxine dans le déterminisme de la réponse clonale. Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2 (Montpellier, France), 128 p.
- Brou Y.T (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques, Universités des Sciences et Technologies de Lille (France), 213 p.
- Bruneton J. (1999). Pharmacognosie Photochimie. Plantes médicinales 3^{ème} édition, *Edition Lavoisier*, 13 : 435- 443.
- Canh T.V. (1999). Recherche pour le secteur hévéicole en Côte d'Ivoire. *Plantation, Recherche, Développement*, 6(2) : 102-105.
- Castillo S., Navarro D., Zapata P.J., Guillen F. & Martinez-Romero D. (2010). Antifungal efficacy of *Aloe vera* in vitro and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3) : 183-188.
- Chrestin H. (1985). La stimulation à l'Éthrel de l'hévéa, jusqu'où ne pas aller trop loin. *Caoutchouc Plastic*, 647(648) : 75-78.
- CIRAD (1993). Recueil de fiches de clones *Hevea*. Abidjan, Côte d'Ivoire : CIRAD-CP. 170 p.
- CIRAD (2001). La production de caoutchouc naturel menacée. Reportage. Le caoutchouc naturel, Masson, M. www.cirad.fr/publication/documents/produitstrop/1999/. Consulté le 05 mars 2020.
- Commère J., Eschbach J.M. & Serres E. (1989). Tapping panel dryness in Côte d'Ivoire. IRRDB workshop on tree dryness. 26-27 June, Penang (Malaysia), pp 83-98.
- Compagnon P. (1986). Le caoutchouc naturel. Edition G.P. Maisonneuve et Larose, Paris (France), 595 p.
- Coulibaly L.F., Diarrassouba M., Obouayeba S., Yapi G.C.V. & Ake S. (2011). Système d'exploitation en saignée inversée du clone PB 235 de *Hevea brasiliensis* en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 9(2) : 1147-1160.
- Coulibaly F.L., Soumahin E.F. , Koné C.H.K. , Traore S.M., Obouayeba S. & Aké S. (2014). Systèmes de récolte du latex adaptés à la saignée descendante du clone PB 235 d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 26(1) : 57- 67.
- Coupé M. & Chrestin H. (1989). The hormonal stimulation of latex yield : Physico-chemical and biochemical mechanisms of hormonal (ethylene) stimulation. Editions Physiology of rubber Tree Latex, Boca Raton (Floride) : 295-319.

- Dang K.T.H., Singh Z. & Swinny E.E. (2008). Les enrobages comestibles influencent la maturation, la qualité et la biosynthèse des arômes des mangues. *Journal of Agronomy Food Chemistral*, 56 : 1361-1370.
- D'Auzac J. (1989). Factors involved in the stopping of flow after tapping. Editions Physiology of rubber Tree Latex, Boca Raton (Floride, Etats-Unis) : 257-285.
- D'Auzac J. & Jacob J.L. (1989). The composition of latex from *Hevea brasiliensis* as a laticiferous cytoplasm. Editions Physiology of rubber Tree Latex, Boca Raton (Floride, Etats-Unis) : 59-96.
- D'Auzac J. & Ribaillier D. (1989). L'éthylène, un nouvel agent stimulant de la production de latex chez *Hevea brasiliensis*. *Journal Rubber Research*, 18(2) : 23-48.
- Dabhade S.B. (1983). Non edible oils in surface coating paint India. *Tropical Sciences*, 10 : 18-20.
- De Faye (1981). Histologie comparée des écorces saines et pathologiques (maladie des encoches sèches) de l'*Hevea brasiliensis*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Montpellier II (France), 75 p.
- De Faye E. & Jacob J.L. (1989). The bark dryness disease (*brown bast*) of hevea. In : Physiology of rubber tree latex. Jacobs Eds, CRC Press (Boca-Raton), 407-430.
- Déon M. (2012). Importance de la cassiicoline en tant qu'effecteur de la *Corynespora* Leaf fall (CLF) chez l'hévéa : développement d'outil pour le contrôle de la maladie. Thèse de Doctorat, Ecole doctorale Sciences de la vie, Santé, Agronomie, environnement, Université Blaise Pascal (France), 179 p.
- Dian K. (1993). Bases moléculaires du syndrome de l'encoche sèche chez *Hevea brasiliensis* Muell Arg : compréhension des phénomènes moléculaires à l'origine de la « maladie », recherche de marqueurs de résistance par électrophorèse des protéines totales. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Faculté des Sciences et Techniques, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 152 p.
- Dian K. (1997). Tapping Panel Dryness Research : list of questions. Institute of Rubber Research Development Board (IRRDB). 1. *Annual meeting, Ho Chi Minh City, Vietnam*, pp 12-16.
- Dian K., Sangaré A., Obouayeba S. & Boa D. (1999). Exploitation extensive d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 10(1) : 7-17.

- Dibong S.D., Biyon B.N., Obiang N.E., Din N., Priso R.J., Taffouo V.D. & Akoa A. (2010). Faut-il éradiquer les Loranthaceae sur les ligneux à fruits commercialisés de la région littorale du Cameroun ? *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(3) : 1991-8631.
- Dick E.A., Traoré M.S., 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 rapide. *International Journal of Biology and Chemistry Sciences*, 8(3) : 956-974.
- Dixon R.A, Harrison M.J. & Lamb C.J. (1994). Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Review of Phytopathology*, 32 : 479-501.
- Dohou N., Yamni K. Badoc A. & Douira. A. (2004). Activité antifongique d'extrait de *Thymelaea lythroides* sur trois champignons du riz. *Bulletin société pharmacie bordeaux*, 143 : 31-38.
- 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, Université Blaise Pascal (Montpellier, France), 346 p.
- Elabo A.A.E. (2009). Recherche de marqueurs biochimiques et protéiques pour la sélection de clones à fort potentiel de production de caoutchouc chez l'hévéa : *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 129 p.
- 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, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 234 p.
- Faye B., Barnouin J. & Lescourret F. (1989). Objectifs principaux et stratégie de l'enquête écopathologique Bretagne sur la vache laitière. *Epidémiol Santé Animal*, 15 : 25-31.
- FIRCA (2013a). Gestion des plantations matures d'hévéa. FIRCA/APROMAC-Guide du conseiller agricole Tome 3, *document interne*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 42 p.
- FIRCA (2013b). Maladies et ravageurs de l'hévéa. FIRCA/APROMAC-Guide du conseiller agricole hévéa Tome 4, *document interne*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 94 p.

- FIRCA (2013c). Mise en place et entretien des cultures immatures d'hévéa. FIRCA/APROMAC-Guide du conseiller agricole Tome 2, *document interne*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 55 p.
- FIRCA (2013d). Production de matériel végétal d'hévéa. FIRCA/APROMAC-Guide du conseiller agricole Tome 1, *document interne*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 40 p.
- Garcia D. (1997). Rapport bibliographique : la biologie, la diversité et les méthodes de lutte contre deux parasites foliaires de l'hévéa : *Corynespora cassiicola* et *Colletotrichum gloeosporioides*, 45 p.
- George S., Punnoose K.I., Mathew M., Pothen J., Mani J., George E.S. & Jessy M.D. (1997). Response of two high yielding Hevea clones to applied fertilizers during immature phase. *Indian Journal Natural Rubber Research*, 10(1&2) : 80-85.
- Gnagne Y.M., Elabo A.A.E., Obouayeba S., Akanvou R., Wahounou P.J., Soumahoro B., Doumbia A., Koto B., Yao B.J., Assiri M.T. & Démange A.C. (2016). Sélection de nouveaux clones performants d'hévéa en Côte d'Ivoire : résultats préliminaires de l'évaluation des champs de clones à grande échelle (CCGE) de 1974 à 1999. *Atelier régional de l'IRRDB*, 28-30 septembre 2016, Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), pp 16.
- Gohet E., Dian K., Prévôt J.C., Obouayeba S., Kély J. Z. & Jacob J. L. (1997). Relation between clone type, latex sucrose content and the occurrence of Tapping Panel Dryness in *Hevea brasiliensis*. *IRRDD A Workshop on Tapping Panel Dryness of Hevea*, Hainnan (Chine) : 29-30.
- Gohet E., Lacrotte R., Obouayeba S. & Commere J. (1991). Tapping systems recommended in West Africa. Edition Proceed Rubber Growers, Conference Rubber Restitute Institute Malaysia, Kuala Lumpur (Malaysia) : 235-254.
- Gohet E., Prévôt J.C., Eschbach J.M., Clément A. & Jacob J.L. (1996). Clone, croissance et stimulation, facteurs de la production de latex. *Parcelle Recherche Développement*, 3(1) : 30-38.
- Gohet E. (1996). La production de latex par *Hevea brasiliensis*, relation avec la croissance, influence de différents facteurs : origine clonale, stimulation hormonale, réserves hydrocarbonées. Thèse de Doctorat, Sciences et Techniques du Languedoc, Université de Montpellier II (France), 343 p.
- Gohet E., Dian K., Prévôt J.C., Obouayeba S., Kéli J.Z. & Jacob J.L. (1997). Relation between clone type, latex sucrose content and the occurrence of Tapping Panel Dryness in *Hevea brasiliensis*. *IRRDD a Workshop on Tapping Panel Dryness of Hevea*, Hainnan (Chine), pp 1-8.

- Halle F. & Martin R. (1968). Etude de la croissance rythmique chez l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Euphorbiaceae). *Adansonia*, 8 : 475-503.
- Ignacio S., Alfonso J., Ilaria C. & Carmen G.M. (2020). Encapsulation of Bioactive Compounds from *Aloe vera* Agrowastes in Electrospun Poly (Ethylene Oxide) Nanofibers, polymers. *Polymers*, 12(6) : 13-23.
- IRD (2005). La nécrose de l'hévéa enfin élucidée. *Fiches scientifiques*, 221 : 5-9.
- Jackson M.L. (1967). Soil chemical analysis. *Prentice-hall of India*, New Delhi (India), 480 p.
- Jacob J.L., Prévôt J.C. & D'auzac J. (1982). Physiological activors of invertase from *Hevea brasiliensis* latex. *Phytochemistry*, 21 : 851-853.
- Jacob J.L., Eschbach J.M., Prévôt J.C., Roussel D., Lacrotte R., Chrestin H. & D'Auzac J. (1985). Physiological basis for latex diagnosis of the functioning of the laticiferous system in rubber trees. In : *Rubber Research Institute, Malaysia, édition Proceed of International Rubber Conference*, Kuala Lumpur (Malaysia) : 101-112.
- Jacob J.L., Serres E., Prévôt J.C., Lacrotte R., Vidal A., Eschbach J.M. & D'auzac J. (1988). Mise au point du diagnostic latex chez l'hévéa. *Agritrop*, 12(12) : 97-118.
- Jacob J.L. & Prévôt J.C. (1989). Bark dryness : histological, cytological and biochemical aspect. IRRDB. Workshop on tree dryness, Penang (Malaysia) : 37-54.
- Jacob J.L., Prévôt J.C., Eschbach J.M., Lacrotte R., Serres E. & Vidal A. (1990). Latex flow, cellular regeneration and yield of *Hevea brasiliensis*. Influence of hormonal stimulation. *International congress of plant physiology*, 1 : 426-433.
- Jacob J.L., Prévôt J.C. & Lacrotte R. (1994). Tapping panel dryness in *Hevea brasiliensis*. *Plantations, Recherche et Développement*, 1(3) : 22-24.
- Jacob J.L., Prévôt J.C., Lacrotte R. & Eschbach J.M. (1995). Le diagnostic latex. *Fiche technique CIRAD-CP*, Montpellier (France), 5 p.
- Jacob J.L., Prévôt J.C., Lacote R., Gohet E., Clément A., Gallois R., Joet T., Pujad-Renaud V. & D'Auzac J. (1998). Les mécanismes biologiques de la production de caoutchouc par *Hevea brasiliensis*. *Plantation Recherche Développement*, 7 : 5-13.
- Jayasinghe C.K. (2000). *Corynespora* Leaf Fall : the most challenging rubber disease in Asian and African continents. *Bulletin of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 42 : 56-64.
- Jessy M.D. (2011). Potassium management in plantation crops with special reference to tea, coffee and rubber. *Karnataka Journal of Agriculture and Science*, 24(1) : 67-74.
- Joseph M.R.B., Nair M., Mathew & Punnoose K.I. (1998). Potassium nutrition of mature rubber. *Indian Journal Natural Rubber Research*, 11(1&2) : 58-66.

- Kadir A.B., Gitz V., Gohet E., Jacob J., Nair L., Pinizzotto S., Nghia N.A., Blagodatsky S., Brady M., Cerutti P., Chen B., Duchelle A., Fairuzah Z., Febbiyanti T.R. & Gay F. (2022). Contribution du caoutchouc naturel à l'atténuation du changement climatique. *World forestry congress. Building a Green, Healthy and Resilient Future with Forests*, 2-6 mai 2022. Seoul, Republic of Korea, pp 19.
- Kéli Z.J., Obouayeba S. & Zéhi B. (1992). Influence de quelques systèmes vivriers sur le comportement de jeunes hévéas en basse Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 4(2) : 91-101.
- Kimuni L.N., Mwali M.K., Mulembo T.M., Lwalaba J.W., Lubobo A.K., Katombe B.N. & Louis B.L. (2014). Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de Chine (*Brassica chinensis* L.) installé sur un sol acide de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences*, 77 : 6509-6522.
- Koffi A.A., Kouassi F.A., N'Goran S.B.K. & Soro D. (2014). Les Loranthaceae, parasites des arbres et arbustes : cas du département de Katiola, au nord de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(6) : 2552-2559.
- Koffi A. (2023). Caractérisation agro-pédologique de nouvelles zones de production hévéicole en Côte d'Ivoire : cas des départements de Man, Toumodi et Prikro. Thèse de Doctorat, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 154 p.
- Koko L.K., Yoro R.G., N'Goran K. & Assa A. (2009). Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20(1) : 81-95.
- Koné C.B. (2020). Influence des blessures de saignée sur la croissance, la production et la sensibilité à l'encoche sèche de l'hévéa. Mémoire de Master, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 59 p.
- Kouadio A.N. (2021). Effet du gel de Aloe vera dans la conservation post-récolte de deux fruits et légumes cultivés dans la localité de Daloa (Côte d'Ivoire) : cas de la tomate (*Solanum lycopersicum*) et du piment (*Capsicum* sp.). Mémoire de Master, Bioressources-Agronomie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 58 p.
- Kouakou K.G.Y. (2020). Etude du parasitisme des Loranthaceae sur les plantations hévéicoles de la société SCASO (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire de fin de cycle de Licence professionnelle, Institut de gestion agropastorale, Université Péléforo Gon Coulibaly (Korhogo, Côte d'Ivoire), 26 p.
- Kouakou N.K.P. (2022). Contribution de la saignée inversée à l'amélioration de la productivité des clones d'hévéa [*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae)] en Côte d'Ivoire.

- Thèse de Doctorat unique, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 132 p.
- Lacharme M. (2001). La fertilisation minérale du riz. *Mémento Technique de Riziculture*. Ministère de la coopération Française. Paris (France), 17 p.
- Lacrotte R. (1991). Etude des relations entre la teneur en sucres du latex et la production : approche des mécanismes du chargement en saccharose des laticifères d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier, France), 266 p.
- Landon J.R. (1984). Booker Tropical Soil Manual : a Handbook for Soil Survey and Agriculture Evaluation in the Tropics and Sub-Tropics. *Longman, Harlow*, Floride (Etats-Unis), 228 p.
- 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, Centre d'excellence africain en changement climatique, biodiversité et agriculture durable, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 175 p.
- Le roux Y. (1994). Mise en place de l'architecture racinaire d'*Hevea brasiliensis*. Etude comparée du semis et de la microbouture. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques Saint-Jérôme, Université d'Aix Marseille (France), 140 p.
- Mann H.B. & Whitney D.R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of mathematical statistics*, 18 : 50-60.
- Marcantoni G. (2018). Des extraits végétaux pour soigner les vignes ? *Agricultures & Territoires chambre d'agriculture*, Paris (France), 43 p.
- Masson M. (2001). La production de caoutchouc naturel menacée. Reportage sur le caoutchouc naturel, CIRAD. www.cirad.fr/publication/documents/produitstrop/1999. Consulté le 31 janvier 2020.
- Michayewicz N. (2013). *Aloe vera*, plante médicinale traditionnellement et largement utilisée depuis des millénaires, aux nombreuses propriétés thérapeutiques. Plante miracle ? Thèse Doctorat en Pharmacie, Université de Lorraine (Lorraine, France), 148 p.
- Michels T. (2005). Adapter la conduite des plantations d'hévéa à la diversité des exploitations villageoises : étude de cas au Cameroun. Thèse de Doctorat, Unité Agronomie, Institut national agronomique Paris-Grignon (Paris, France), 302 p.
- Mpiana T.P., Koto-te-Nyiwa N., Damien S., Jason T., Benjamin Z., Domaine T., Clément L., Emmanuel M., Clément M., Aristote M., Gédéon N. & Dorothée D. (2020).

- Identification of potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease from *Aloe vera* compounds : a molecular docking study. *Chemical Physics Letters*, 754 : 137-151.
- Nandris D. (1985). Pathogénèse et épidémiologie des pourridiés de l'*Hevea brasiliensis*. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie-Curie (Paris, France), 222 p.
- Nandris D., Thouvenel J.C., Nicole M., Giannotti J., Declert C., Chrestin H., Rio B. & Noirot M. (1991). La nécrose du phloème du tronc de l'hévéa en Côte d'Ivoire : étiologie de la maladie. *European Journal Forest Pathology*, 21 : 340-353.
- Nelson D.W. & Sommers L.E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. Methods of soils analysis. *Chemical methods*, 5 : 961-1010.
- Neobot (2020). Géolocalisation de Zagné. *La carte topographique de Côte d'Ivoire*, Guiglo (Côte d'Ivoire), 4 p.
- N'Guema N.P., Ondo O.P., Ondo-Azi A.S., Mouketou M.A., Ondo O.E.V. & N'Kodo 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.
- Nicholson S.E., Jim J. & Hoopingarner J. (1988). Atlas of African rainfall and its interannual variability. Department of Meteorology, Florida State University Tallahassee (Floride, USA), 237 p.
- Nicole M., Thouvenel J.C., Giannotti J., Chrestin H., Geiger J.P., Nandris D. & Rio B. (1991). The histology of *Hevea brasiliensis* phloem necrosis. *European Journal Forest Pathology*, 21 : 27-35.
- Obouayeba S. (1991). Cultures vivrières intercalaires des jeunes hévéas en milieu villageois du Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Système Agricole en Afrique*, 1(2) : 21-32.
- Obouayeba S., Boa D., Gohet E., Dian K., Ouattara N. & Kéli 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., Boa D. Aké S. & Lacrotte R. (2002). Influence of age and girth at opening on growth and productivity of Hevea. *Indian Journal of Rubber Research*, 15(1) : 38-45.
- Obouayéba S. (2005). Contribution à la détermination de la maturité physiologique de l'écorce pour la mise en saignée d'*Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae) : Norme d'ouverture. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 225 p.

- Obouayeba S., Boko A.M.C., Soumahin E.F., Elabo A.A.E., Dea G.B., Badou E.A., Kouamé C., Zehi B. & Kéli Z.J. (2015). Natural rubber-based intercropping systems in Côte d'Ivoire : a review of forty years of work. *Rubber Sciences*, 28(3) : 211-226.
- Obouayeba S., Diarrassouba M., Soumahin E.F., Essehi J.L., Okoma. M.K., Adou C.B.Y. & Obouayeba A.P. (2016). Latex Harvesting Technologies Adapted to Clones IRCA18, IRCA 111, IRCA 130, PB 235 and PB 260 of *Hevea brasiliensis* (Rubber Tree) of the Class to Active Metabolism in South-Western Côte d'Ivoire. *Journal of American Engeneering Research International*, 9(4) : 1-14.
- 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 de 3^{ème} cycle, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 108 p.
- Okoma K.M. (2008). Étude de la sensibilité au syndrome de l'encoche sèche chez *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 160 p.
- Okoma K.M., Dian K., Allou D. & Sangaré A. (2009). Etude de la sensibilité des clones d'*Hevea brasiliensis* (Muell. Arg.) à l'encoche sèche. *Sciences & Nature*, 6(1) : 17-26.
- Okoma M., Dian K., Obouayéba S., Elabo A., Gnage M., Koffi E., Soumahin F., Doumbia S. & Kéli J. (2011a). Comment minimiser l'encoche sèche chez l'hévéa. *Fiche technique N°3*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 2 p.
- Okoma M., Dian K., Obouayéba S., Elabo A., Gnage M., Koffi E., Soumahin F., Doumbia S. & Kéli J. (2011b). Bien diagnostiquer l'encoche sèche chez l'hévéa en Côte d'Ivoire. *Fiche technique N°2*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 2 p.
- Olsen S.R. & Dean L.A. (1965). Phosphorus. Methods of soils analysis. *Chemical methods*, 2 : 1038-1049.
- Pettit A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28(2) : 126-135.
- Punnoose K.I., Potty S.N., Abdulkalam M., Karthikakutty-Amma M. & Mathew M. (1978). Studies on the direct and residual effect of N, P and K on the growth and yield of rubber (*Hevea brasiliensis*) in the red loam soils of South India. *Proceedings of Placrosym*, Hainan (China), 175 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 of Natural and Science*, 39(4) : 403-411.

- RRIM (2009). Rubber plantation et processing technologies. *Malaysian Rubber Board*, Kuala Lumpur (Malaysia), 404 p.
- Soalla W.R. (2011) Efficacité d'extraits aqueux de plantes contre les champignons pathogènes du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) au Burkina Faso, Mémoire d'ingénieur du Développement Rural, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 71 p.
- SAPH (2019). Contrôle de la qualité de la saignée. *Fiche technique*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 29 p.
- Schultes B.H. (1990). A brief taxonomic view of the genus *Hevea*. *Edition IRRDB*, Kuala Lumpur (Malaysia) : 3-12.
- Sékongo K. (2002). Recherche de corrélations entre les dégâts de vents et les caractéristiques clonales, les techniques culturales. Mémoire de fin d'études, Diplôme D'agronomie Approfondie (DAA), École Supérieure d'Agronomie (ESA), Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (Yamoussoukro, Côte d'Ivoire), 47 p.
- Serrier J. B. (1993). L'histoire du Caoutchouc, *Éditions Desjonquères*, Paris (France), 273 p.
- Sey J. (2020). Evaluation de la qualité de saignée en hévéaculture : cas des plantations de Yamoussoukro, Tiassalé et Anguédédou. Mémoire de Master, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 43 p.
- Shafar J.M., Noordin W.D. & Che F.I. (2012). Response of *Hevea brasiliensis* (RRIM 2001) planted Oxisol to different rates of fertilizer application, *Malaysian Journal of Soil Science*, 16 : 57-69.
- Silpi U., Thaler P., Kasemsap P., Lacoïnte A., Chantuma A., Adam B., Gohet E., Thanisawanyangkura S. & Améglio T. (2006). Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. *Tree physiology*, 26 : 1579-1587.
- Simien A. (2005). Caractérisation socio-économique et modélisation des explications hévéicoles de la Thaïlande stage thématique et méthodologique de 2^{ème} année, CIRAD TERA (Paris, France), 78 p.
- Sivakumaran S., Leong S.K., Ghouse M., Ng A.P. & Sivanadyan K. (1994). Influence of some agronomic practices on tapping panel dryness in *Hevea* trees. *IRRDB Workshop on Tree Dryness*, Kuala Lumpur (Malaysia) : 94-110.
- Sobhana P., Gopalakrishnan J., Jacob J & Sethuraj M.R (2001). Physiological and biochemical aspects of stock-scion interaction in *Hevea brasiliensis*. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 14 : 131-136.

- Sumner M.E. & Miller W.P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soils analysis. Chemical methods*, 5 : 1201-1230.
- Soro K. (2010). Les Loranthaceae (Guis) des agroécosystèmes dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire : flore, parasitisme et usages dans les Départements de Oumé, de Gagnoa et de Soubré. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 159 p.
- Soumahin E.F. (2010). Optimisation des systèmes d'exploitation en hévéaculture par la réduction des intensités de saignée. Thèse de Doctorat de Physiologie végétale, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 117 p.
- Soumahin E., Obouayeba S., Kassin E. & Allé Y. J. (2010). Etude d'impact de la fertilisation en plantation mature et de l'utilisation de la fumure organique en hévéaculture. Rapport de fin de projet Juin 2010-Juin 2013. Projet FIRCA N°3. Abidjan, 104 p.
- Thaler P. (2013). Saigner sans tuer, ou la récolte durable du caoutchouc. *Quatre-temps, Hiver 2013*, Paris (France) : 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.
- Thomas G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soils analysis. Chemical methods*, 3 : 475-490.
- Tra B.G.O. (2022). Evaluation de l'effet du couteau de saignée Hornbill sur la qualité de saignée en hévéaculture à Yamoussoukro et Tiassalé. Mémoire de Master, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 29 p.
- Traoré D., Da K.P. & Soro D. (2003). Lutte contre les plantes vasculaires parasites du Karité, dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Cas du parc naturel à karités de Tengrela. Rapport du PEP, AISA-CI , UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 116 p.
- Traore 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.

- Van De Sype H. (1984). The dry eut syndroms of *Hevea brasiliensis*, evolution, agronomical and physiological aspects. *Amelioration of Hevea, Edition IRCA-CIRAD*, Montpellier (France) : 249-271.
- Vawa O.S.T., Yao K.A.P. & Djézou K. (2021). Évaluation de l'efficacité d'un atomiseur porté par quatre personnes dans la lutte contre la maladie de chute des feuilles causée par *Corynespora cassiicola* en plantation villageoise adulte d'hévéa en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 160(1) : 16454-16459.
- Webster C.C. & Paardekooper E.C. (1989). The botany of the rubber tree. *In Webster editions Rubber*, London (Angleterre) : 57-84.
- Wilson V. (2020). Effect of *Aloe vera* foliar spray on control of insect damage and growth of egyptian plant (*Solanum melongena* L.). <https://www.imed.pub>. Consulté le 5 mai 2023.
- Wijaya T., Ardika R. & Saputra J. (2013). The Effect of Omission Fertilizer Application on Rubber Yield of PB 260. *Curricula Agricultural Research*, 2(2) : 201-213.
- Xavier R. (2012). Protection intégrée : principes et définitions. <https://agriculture.gouv.fr/protection-integree-principes-et-definitions>. Consulté le 23 décembre 2023.
- Zean G.M., Ahon D.B, Béné J.C. & Koffi B.J.C. (2018). Peuplement avifaunique du Campus Universitaire Jean Lorougnon Guédé, Daloa et sa périphérie (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6) : 2503-2518.
- Zeinabou H. (2017). Contribution du niébé et des fumures organiques et minérales à la nutrition azotée et aux rendements du mil dans les systèmes de cultures en zone sahélo-soudanienne au Niger. Thèse de Doctorat, Université Nazi Boni (Burkina-Faso), 128 p.
- Zro B.F.G, Soro D. & Abobi D.H.A. (2018). Analyse comparée des effets de deux amendements organiques sur le statut organo-minéral et la productivité d'un sol sableux. *Journal of Applied Biosciences*, 124 : 12416-12423.

ANNEXES

Annexe 1. Recommandation de conduite du panneau de saignée de l'hévéa en Côte d'Ivoire
pour une fréquence de saignée d4 6d/7 12m/12 (Gohet *et al.*, 1991)

Annexe 2. Fiche d'enquête

FICHE D'ENQUÊTE

Date : _____ Ville : _____ Parcelle : _____

Site : _____ Emplacement : _____ N° de parcelle saignée : _____

Facteurs agronomiques

Dispositif de plantation 6 m x 3 m 7 m x 2,8 m Autres

Date de planting Superficie Date de mise en saignée

Nom du clone Classe d'activité métabolique

Nom du couteau de saignée Orientation de saignée

Longueur d'encoche drainée fréquence de saignée

Hauteur du panneau de saignée Nature de l'écorce

Durée d'exploitation Nom du produit stimulant

Dose de stimulation Fréquence de stimulation

Annexe 3. Fiche de relevé encoche sèche pour l'évaluation des pratiques agronomiques

Fiche de relevé encoche sèche des pratiques agronomiques											
N°	LEM	N°	LEM	N°	LEM	N°	LEM	N°	LEM	N°	LEM
1		21		39		57		75		93	
2		22		40		58		76		94	
3		23		41		59		77		95	
4		24		42		60		78		96	
5		25		43		61		79		97	
6		26		44		62		80		98	
7		27		45		63		81		99	
10		28		46		64		82		100	
11		29		47		65		83		101	
12		30		48		66		84		102	
13		31		49		67		85		103	
14		32		50		68		86		104	
15		33		51		69		87		105	
16		34		52		70		88		106	
17		35		53		71		89		107	
18		36		54		72		90		108	
19		37		55		73		91		109	
20		38		56		74		92		110	

LEM = Longueur d'encoche malade

Annexe 4. Fiche de relevé encoche sèche pour l'évaluation des facteurs biologiques

Fiche de relevé des principaux bioagresseurs de l'hévéa								
N°	LEM	<i>Corynespora</i> sp.	N°	LEM	<i>Fomes</i> sp.	N°	LEM	Loranthaceae
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		
9			9			9		
10			10			10		
11			11			11		
12			12			12		
13			13			13		
14			14			14		
15			15			15		
16			16			16		
17			17			17		
18			18			18		
19			19			19		
20			20			20		
21			21			21		
22			22			22		
23			23			23		
24			24			24		
25			25			25		
26			26			26		
27			27			27		
28			28			28		
29			29			29		
30			30			30		

LEM = Longueur d'encoche malade

Annexe 5. Codification internationale des systèmes d'exploitation (Soumahin, 2010)

Paramètres	Variation des paramètres	Symbole (exemples)	Signification Des paramètres
Encoche de saignée	Longueur	S/2 ; S/4	Demi-spirale ; quart de spirale
	Direction	U	Remontante (U=Upward)
Fréquence de saignée	Théorique	d3 ; d4	Saignée tous les trois jours, saignée tous les quatre jours (d = day)
	Pratique	d3 6d/7	Saignée tous les trois jours, six jours sur sept
	Périodicité	10 m /12	Saignée 10 mois sur 12
Panneau de saignée	Position de l'encoche	H	Sur panneau haut (au-dessus de la hauteur d'ouverture)
		B	Sur panneau bas (en dessous de la hauteur d'ouverture)
	Type d'écorce	O	Ecorce vierge
		I	Ecorce de 1 ^{ère} régénération
		II	Ecorce de 2 ^{ème} régénération
Stimulation	Matière active	ET	Ethephon
	Concentration	2,5 % , 5 % , 10 %	Concentration de la matière active
	Quantité	2(2)	2 g par arbre sur une bande d'écorce de 2 cm
	Mode d'application	La	Sur encoche de saignée, sernamby retiré (<i>lace application</i>)
		Ga	Sur encoche de saignée, sernamby non retiré (<i>groove application</i>)
		Ba	Sur écorce grattée (<i>bark application</i>)
		Pa	Sur panneau de régénération (<i>panel application</i>)
Fréquence d'application	6/y(6w), 10/y(m)	6 fois par an, à intervalle de 6 semaines ; 10 fois par an, à intervalle d'un mois (w = week, y = year)	

**PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES
ET DISTINCTIONS**

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE (jointes au présent document)

Zoh O.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Doumbia A. & N’Goran K.D. (2023). Influence des pratiques agronomiques 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 Science*, 58(1) : 10636-10651.

Zoh O.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Joseph K.K.J. & Doumbia A. (2023). Study of biological factors likely to influence sensitivity to dry notch disease of rubber tree in three rubber production zones of Côte d’Ivoire. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(6) : 273-283.

AUTRES PUBLICATIONS

N’Goran K.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., **Zoh O.D.**, Sey J. & Akaffou D.S. (2023). Effect of organic amendments on *Aloe vera* growth in nursery in Daloa, Côte d’Ivoire. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(6) : 2-9.

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

COMMUNICATIONS ORALES

Zoh O.D., Tonessia D.C. & Soumahin E.F. (2021). Impact des facteurs biologiques et physiques du milieu sur l’incidence de l’encoche sèche de l’hévéa en Côte d’Ivoire. *1^{ères} Journées Scientifiques de l’Agroforesterie (JSAgrof)*, 12-13 mars 2021, Université Jean Lorougnon GUÉDÉ (Daloa, Côte d’Ivoire), pp 70.

Zoh O.D., Tonessia D.C. & Soumahin E.F. (2023). Etude de l’efficacité d’un produit biologique à base d’extraits de végétaux sur la régénération des encoches sèches de l’hévéa. *Colloque International de l’Agroforesterie Tropicale (CIAT)*, 13-15 décembre 2023, Université Jean Lorougnon GUÉDÉ (Daloa, Côte d’Ivoire), pp 150.

DISTINCTIONS

1. Cette thèse a obtenu le **premier prix** du concours international « Ma Thèse en 180 secondes » édition 2021 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 2021 de l'Institut Français (Abidjan, Côte d'Ivoire).
3. Cette thèse a **représenté la Côte d'Ivoire en France** à la finale internationale du concours international « Ma Thèse en 180 secondes » édition 2021 organisée par l'ACFAS et l'AUF (Paris, France).

PUBLICATION 1

Zoh O.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Doumbia A. & N’Goran K.D. (2023).
Influence des pratiques agronomiques 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 Science, 58(1) : 10636-10651.

PUBLICATION 2

Zoh O.D., Tonessia D.C., Soumahin E.F., Joseph K.K.J. & Doumbia A. (2023).
Study of biological factors likely to influence sensitivity to dry notch disease of rubber tree in
three rubber production zones of Côte d'Ivoire. *International Journal of Environment,
Agriculture and Biotechnology*, 8(6) : 273-283.

RÉSUMÉ

Dans le but d'évaluer plusieurs méthodes de lutte contre le syndrome de l'encoche sèche de l'hévéa et partant, augmenter la production de caoutchouc naturel en Côte d'Ivoire, cette étude a été entreprise. La méthodologie a débuté par un état des lieux à travers les principales zones de production hévéicole ivoirienne en vue d'actualiser les données sur l'encoche sèche. Pour ce faire, des enquêtes et collectes de données agronomiques et biologiques en rapport avec les longueurs d'encoche malade (LEM) des hévéas ont été réalisées d'octobre 2020 à février 2021. Ensuite, l'influence de la pluviométrie a été étudiée sur la sensibilité à la maladie. Enfin, des expérimentations ont été mises en place à San-Pedro et à Daloa de novembre 2021 à janvier 2024. Elles visaient à évaluer l'incidence des faibles doses de stimulation hormonale, du couteau de saignée à lame changeable Hornbill, de la fertilisation minérale et du gel de *Aloe vera* dans la lutte contre l'encoche sèche de l'hévéa. Les dispositifs expérimentaux utilisés ont été des blocs de Fisher et le dispositif monoarbre « one tree plot design ». Les paramètres mesurés ont été essentiellement les LEM et les productions de caoutchouc. Les résultats ont révélé que l'encoche sèche persiste dans les plantations agro-industrielles des zones de Zagné, de San-Pedro et d'Anguédédou avec un taux de prévalence de 34,65 %. Les pratiques agronomiques ayant fortement influencé ce taux ont été les dispositifs de plantation 7 m x 2,8 m (52,95 %), le clone PB 235 (55,93 %) et les fréquences de stimulation de 6 à 15 applications annuelles. Les bioagresseurs *Fomes* sp. (50,56 %) et Loranthaceae (38,41 %) ont également induit plus de LEM aux hévéas attaqués. En outre, la rupture pluviométrique de 2008 a partiellement contribué à rendre la zone d'Anguédédou sensible à la maladie. Quant aux expérimentations, les résultats ont révélé que la plus faible dose de stimulation hormonale exogène de 1,5 % d'Éthéphon a réduit les LEM de l'ordre de 76 % (1,93 %) et généré une production de caoutchouc statistiquement identique (63 g.a⁻¹.s⁻¹) à celle du témoin stimulé à 2,5 %. Le couteau de saignée d'origine Thaïlandaise Hornbill a également réduit les LEM de l'ordre de 57 % (3,45 %) et induit une meilleure production (106 g.a⁻¹.s⁻¹) contrairement au couteau de saignée témoin Aunain. Les effets bénéfiques de la fertilisation minérale ont, par ailleurs, été rapportés sur les LEM avec un taux de réduction de 58 % (5,12 %) et une meilleure production (103 g.a⁻¹.s⁻¹) induite par la dose 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.an⁻¹). L'effet curatif du gel de *Aloe vera* a été testé relativement aux LEM et a conduit à un taux de régénération de 50 % et une meilleure production (110 g.a⁻¹.s⁻¹) comparativement aux hévéas témoins non traités. Cette étude a révélé que les méthodes de lutte évaluées ont toutes été efficaces pour réduire les taux d'encoche sèche et augmenter la production de caoutchouc des hévéas.

Mots-clés : *Aloe vera*, Côte d'Ivoire, couteau de saignée, encoche sèche de l'hévéa, méthodes de lutte, production de caoutchouc, stimulation hormonale exogène

ABSTRACT

To evaluate several methods of combating the syndrome of the dry notch of the rubber tree and therefore increase the production of natural rubber in Côte d'Ivoire, this study was undertaken. The methodology began with an inventory across the main production areas Ivorian rubber to update the data on the dry notch. To do this, surveys and collections of agronomic and biological data relating to the panel sick lengths (PSL) of rubber trees were carried out from October 2020 to February 2021. Then, the influence of rainfall was studied on sensitivity to the disease. Finally, experiments were set up in San-Pedro and Daloa from November 2021 to January 2024. They aimed to evaluate the impact of low doses of stimulation hormonal, the Hornbill changeable blade tapping knife, mineral fertilization and *Aloe vera* gel in the fight against dry notch in rubber trees. The experimental devices used were Fisher blocks and the single-tree device "one tree plot design". The parameters measured were mainly the PSL and rubber production. The results revealed that dry notch persists in agro-industrial plantations in the areas of Zagné, San-Pedro and Anguédédou with a prevalence rate of 34.65%. The agronomic practices that strongly influenced this rate were the 7 mx 2.8 m planting devices (52.95%), the PB 235 clone (55.93%) and the stimulation frequencies of 6 to 15 annual applications. The bioaggressors *Fomes* sp. (50.56%) and Loranthaceae (38.41%) also induced more PSL in the attacked rubber trees. In addition, the 2008 rainfall break partially contributed to making the Anguédédou area susceptible to the disease. As for the experiments, the results revealed that the lowest dose of stimulation exogenous hormonal by 1.5% of Ethephon reduced PSL by about 76% (1.93%) and generated statistically identical rubber production (63 g.a⁻¹.s⁻¹) to that of the 2.5% stimulated control. The bleeding knife of Thailand origin Hornbill also reduced PSL by 57% (3.45%) and induced better production (106 g.a⁻¹.s⁻¹) unlike the control Aunain tapping knife. The beneficial effects of mineral fertilization have also been reported on PSL with a reduction rate of 58% (5.12%) and better production (103 g.a⁻¹.s⁻¹) induced by the dose 60N 60P 180K (kg.ha⁻¹.year⁻¹). The curative effect of *Aloe vera* gel was tested in relation to PSLs and led to a 50% regeneration rate and better production (110g.a⁻¹.s⁻¹) compared to untreated control rubber trees. This study found that the control methods evaluated were all effective in reducing rates dry notch and increase rubber production from rubber trees.

Keywords : *Aloe vera*, Côte d'Ivoire, bleeding knife, dry notch of the rubber tree, control methods, rubber production, stimulation exogenous hormonal