École Supérieure d'Agricultures d'Angers
55 rue Rabelais
49007 ANGERS

CIRAD
Campus Agronomique de Kourou
97310 Kourou
Maître de stage : M. Stéphane Saj

CARACTERISATION DE LA CROISSANCE DE JEUNES PLANTS DE CACAOYERS EN SYSTÈMES AGROFORESTIERS OU ASSOCIÉS À LA CULTURE DE LA BANANE

Cas d'étude appliqué à la variété guiana dans le cadre du projet C_2G_2 pour le développement d'une filière cacao guyanaise

Mémoire de Fin d'Études
Promotion 2016 (119)
Date : 13/09/2021

MAZARDIN Agathe
Elève-Ingénieure ESA
Patron du mémoire : David Croissant

École Supérieure d'Agricultures d'Angers
55 rue Rabelais
49007 ANGERS

CIRAD
Campus Agronomique de Kourou
97310 Kourou
Maître de stage : M. Stéphane Saj

CARACTERISATION DE LA CROISSANCE DE JEUNES PLANTS DE CACAOYERS EN SYSTÈMES AGROFORESTIERS OU ASSOCIÉS À LA CULTURE DE LA BANANE

Cas d'étude appliqué à la variété guiana dans le cadre du projet C_2G_2 pour le développement d'une filière cacao guyanaise

Mémoire de Fin d'Études
Promotion 2016 (119)
Date : 13/09/2021

MAZARDIN Agathe
Elève-Ingénieure ESA
Patron du mémoire : David Croissant

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR : Agathe MAZARDIN, promotion 119 (ESA Angers)

Stage Mémoire de Fin d'Etudes : « Caractérisation de la croissance de jeunes plants de cacaoyers en systèmes agroforestiers ou associés à la culture de la banane : Cas d'étude appliqué à la variété guiana dans le cadre du projet C_2G_2 pour le développement d'une filière de cacao guyanaise »

Encadrement : Stéphane SAJ, responsable de l'équipe « Systèmes AgroForestiers Tropicaux » de l'UMR ABSys et correspondant adjoint de la filière cacao pour le Cirad

Mots clés : *Theobroma cacao L.,* agroforesterie, développement de filière, productions végétales tropicales, systèmes agroforestiers tropicaux, Guyane

RESUME D'AUTEUR

CONTEXTE

Le cacaoyer, Theobroma cacao L., plante originaire du bassin amazonien et ancrée dans la culture Maya et Aztèque pendant des siècles, s'internationalise au XVIe siècle à la suite des expéditions coloniales de espagnols au Mexique. Son importance à l'échelle mondiale pousse aujourd'hui des scientifiques à s'y intéresser. Une récente étude génétique a d'ailleurs mis en évidence l'existence de 10 groupes variétaux (Motamayor *et al.*, 2008). L'un de ces groupes, le guiana se trouve être une variété endémique de la Guyane Française.

BUTS DE L'ETUDE

L'étude présentée dans ce rapport porte sur la caractérisation des cacaoyers guiana (greffes et descendances libres) au sein de deux contextes de production (l'agroforêt et l'association bananes/ingas). Le but de générer des connaissances sur le potentiel des différents matériels végétaux est de soutenir la diversification de la filière guyanaise avec un cacao pure origine et variétale.

MATERIELS ET METHODES

Cette étude portée par le Cirad, est en partenariat avec 6 agriculteurs et 3 entités (station expérimentale, lycée agricole et association rurale). La gestion des exploitations est laissée à l'appréciation des partenaires, mais le protocole de plantation correspond à 3 blocs comprenant chacun 11 clones planté en ligne de 8 répétitions. La plantation des descendances libres est aléatoire. Enfin, des paramètres de mesures ont été déterminés pour évaluer la croissance des cacaoyers mais également l'état de l'environnement dans lequel ils évoluent.

RESULTATS

Finalement, pour les clones de cacaoyers issus de greffes, il est possible de classer leur niveau de croissance à l'aide d'indicateurs végétatifs, les clones 41 et 141 semblants se démarquer en termes végétatifs mais aucun clone ne ressorts en termes de production. Pour ce qui est de l'interaction des clones avec l'environnement, les clones 141 dans le système SAF semblent être ceux qui montrent le meilleur état végétatif de croissance. Pour les descendances libres, il est possible de caractériser leur croissance avec des indicateurs végétatifs. De plus, leur état de production semble être lié à leur état végétatif. Concernant leur interaction avec la nature du contexte de production, ils sont significativement plus développés en système associé à la banane.

CONCLUSION

L'étude ne donne pas de résultats statistiquement significatifs concernant le potentiel des greffes dans leur environnement mais permet de concevoir une méthodologie robuste de caractérisation de la croissance des cacaoyers juvéniles.

BIBLIOGRAPHIC NOTE

AUTHOR: Agathe MAZARDIN, promotion 119 (ESA, Angers)

Final Thesis of studies: "Growth evaluation of young cocoa trees either using agroforestry or associated with bananas trees: case study based on Guiana variety as part of a developed local project in the cocoa sector called C_2G_2"

Supervisors: Stéphane SAJ, Head of the "Tropical Agroforestry Systems" team and deputy correspondent for the cocoa sector

Key words: *Theobroma cacao L., agroforestry, cocoa sector development, tropical crops production, tropical agroforestry systems, French Guiana*

AUTHOR SUMMARY

CONTEXT

The cocoa tree, also called *Theobroma cacao* L, is a native Amazonian specie that was part of Mayas and Asztec tribes custom for many years. The crop got then sprayed all around the world by Spanish settlers. Because of the importance of cocoa in international business, scientists investigated characterizing the plant and its agronomy. A relatively new genetic study demonstrated that there are 10 groups of cocoa varieties existing, one of which is called "guiana" and originates from french Guyana. (Motamayor *et al.*, 2008)

STUDY PURPOSES

The following study is about finding a way to characterize the growth of young Guiana cocoa trees (coming from graft or seed) either using agroforestry or associated with bananas trees. The objective is to generate knowledge to support the development and the diversification of the cocoa sector in French Guyana.

MATERIELS AND METHODS

As the head of this study project called C_2G_2, Cirad is working with 6 farmers, an experimental station, an agricultural college, and a local agricultural association. They are managing their own fields but have one guideline to follow: to create 3 blocks with the 11 grafting, straight planted, where each line corresponds to 8 repetitions. Trees coming from a seed can be planted wherever it is easiest for the producers. Different parameters have been chosen and measured to evaluate trees growth and characterize tree's environment. A statistic method has been developed to characterize the general growth and to compare it with the environment.

RESULTS

The vegetative state of the graft number 141 and 41 seem to be significantly higher than the other. However, not one grafting has shown a better production state than any another, though, it seems that better vegetative growth is, better the production is. Concerning the interaction with the environment, productive indicator is not significantly correlated with the interaction grafting/agricultural system while vegetative are. Finally, analysing the grafting with the agricultural systems through vegetative indictors shows up a higher potential but not totally significant for the number 141 in agroforestry. Regarding the cocoa trees coming from seeds, their vegetative growth is significantly correlated with the productive growth. Furthermore, the general state of those cocoa trees is better when they are associated with bananas.

CONCLUSION

To conclude, the study does not give a direct answer concerning the agronomic potential of graft. While the developed method to characterize the growth is strong, more production data would be interesting to estimate the complete agronomic potential.

REMERCIEMENTS :

Je tiens tout d'abord à remercier Stéphane Saj, pour sa confiance, ses précieux conseils, et les temps d'échange qui m'ont tant appris. Merci de m'avoir permis de mieux comprendre les enjeux de l'agroforesterie en zone tropicale, de m'avoir transmis des connaissances passionnantes sur la culture du cacao et de m'avoir accompagnée dans cette aventure du mémoire de fin d'étude qui signe la fin d'une étape. Enfin, merci de m'avoir fait comprendre que l'on n'est jamais sûr de partir tant que l'on n'est pas monté dans l'avion… !

Ce stage n'aurait pas été le même sans la présence d'Emma Decayeux, chargée de mission dans le cadre du projet. Merci d'avoir été là pour m'aider à prendre du recul sur mes travaux, pour m'avoir conseillé avec justesse et pour m'avoir éclairé avec empathie dans les moments de doutes. Merci pour la richesse de nos échanges et pour cette belle amitié.

Un merci particulier à l'ensemble des agriculteurs que j'ai rencontré dans le cadre de ce projet, pour leur accueil et les connaissances qu'ils m'ont transmises.

Un grand merci à toutes les équipes du Cirad de Kourou et de la station expérimentale de Combi qui m'ont toujours accueillies avec grande sympathie et bonne humeur.

Un merci particulier à David Croissant pour m'avoir suivi tout au long de mon stage, pour sa pédagogie, ses conseils concernant mon travail et tout le temps qu'il a pu m'accorder.

Merci à toutes ces rencontres lumineuses que la Guyane m'a donné à vivre. A vous Johanna, Sarah, Balthazar, Aymeric, Lucile, Lily, Manu', Pia, Jous', Charlo', Margaux. Un merci particulier à Capucine pour tous les moments partagés dans cette coloc' d'Ebène qui auront donnés beaucoup de folie et de bonne humeur à cette aventure !

Cinq années d'études s'achèvent au travers de ce mémoire et je tiens à remercier avec beaucoup d'émotions les copains de l'ESA. A toi Maxime pour ton soutien et ta présence infaillible, merci pour ta simplicité et ta précieuse amitié. A toi Inès, solaire, avec ta force de caractère, et tes belles inspirations. A toi aussi Léna pour nos passionnantes conversations, nos projets communs et l'inoubliable aventure au Pérou. A toi Laura pour ta bonne humeur qui jamais ne s'éteint, pour ta générosité et pour toutes nos aventures partagées. A toi Camille, pour ta vision enrichissante du monde, ta belle sensibilité, et le fait d'avoir grandi ensemble durant ces années. A toi Juliette pour avoir été là dès le début, pour ta folie et tout ce que tu as pu me faire découvrir près de chez toi. A toi aussi Marine pour ton soutien et ta folie ! Enfin à toi Thibault, pour ta grande générosité et pour la façon précieuse que tu as d'aimer les gens. Un grand merci à tous ceux que j'ai pu rencontrer et qui donnent à ces années leur singularité. Un merci particulier à Clémence, pour ta force de caractère, ta ténacité, ta persévérance, pour être la chaque jour qui passe et entreprendre sans cesse avec passion. Merci pour tes relectures et tes conseils toujours bienveillants. Merci d'être l'amie que certains cherchent toute une vie.
Pour conclure, je tiens à remercier ma famille, qui plus que jamais a été présente ces dernières années, pour leur soutient, et cette cohésion forte qui nous porte. A tous les moments qu'ils nous restent à VIVRE ensemble, allez hop l'aventure continue… !

SIGLES ET ABREVATIONS :

ACP : Analyse en composantes principales (méthode statistique)

ANOVA : Analyse de la variance

ARAG : Association agricole rurale de Guyane

BAN : Système en association cacao/banane/(ingas)

C_2G_2 : « Vers la Capacitation et l'émergence de la filière Cacao Guiana de Guyane »

CAH : Classification ascendante hiérarchique

CANEYE : Logiciel développé par l'INRAE pour analyser des photos de canopée

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

DAAF : Direction de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt

DFP : Domaine forestier permanent

DL: Cacaoyer de descendance libre

EPLEFPA : Etablissement public local d'enseignement et de formation professionnelle agricole

Ha: Hectare

INRAE : Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

KW : Kruskal-Wallis

Log : Logarithme (fonction mathématique)

m : mètre

mm : millimètre

Nb : Nombre

ODEADOM : Office de développement de l'économie agricole d'outre-mer

PAG : Parc Amazonien de Guyane

SAF : Système agroforestier

SAFc : Système agroforestier à base de cacaoyers

SAU : Surface agricole utile

Sqrt : 'Square root' ou racine carré en Français

LISTE DES ANNEXES :

Annexe 1 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 1

Annexe 2 : Plans des parcelles d'essai - Station Combi

Annexe 3 : Plan de parcelle d'essai - Agriculteur extérieur

Annexe 4 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 2

Annexe 5 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 3

Annexe 6 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 4

Annexe 7 : Plans des parcelles d'essai - ARAG

Annexe 8 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 5

Annexe 9 : Protocole d'analyse de la canopée sur le logiciel CANEYE

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX :

1) Figures

Figure 1: CARTOGRAPHIE DE L'ENSEMBLE DES CLUSTERS VARIETAUX DE CACAOYERS PRESENTS DANS LE BASSIN AMAZONIEN (Motamayor et al.,2008) 4
Figure 2: LOCALISATION DE LA GUYANE DANS LE MONDE (Maps) 5
Figure 3: ACCROISSEMENT ET REPARTITION DE LA POPULATION EN GUYANE (Insee, 2018) 5
Figure 4: CARTE DE LA PLUVIOMETRIE EN GUYANE ENTRE 1981 ET 2010 (Mazardin, 2021) 6
Figure 5: SCHEMA ORGANISATIONNEL DU CIRAD AVEC UN FOCUS SUR L'UNITE DE STAGE (Mazardin,2021) 8
Figure 6: SCHEMA DES DIFFERENTS VOLETS DE TRAVAIL DU PROJET C_2G_2 (Saj,2019) 9
Figure 7: SCHEMA DU RESEAU PARTEARIAL DU PROJET C_2G_2 (MAZARDIN,2021) 10
Figure 8: COUPE LONGITUDINALE D'UNE GRAINE DE CACAO (Mossu, 1990) 11
Figure 9: CABOSSE COUPEE EN DEUX DE CACAOYER ET SES FEVES FRAICHES (Café sciences, 2014) 11
Figure 10: GERMINATION EPIGEE DE LA SEMENCE DE CACAOYER (Mossu,1990) 12
Figure 11: ARCHITECTURE D'UN CACAOYER DE DESCENDANCE LIBRE EN PRODUCTION (Mossu, 1990) 14
Figure 12: ARCHITECTURE D'UN CLONE (MULTIPLICATION VEGETATIVE PAR BOUTURES) (Charrier, 1969) 14
Figure 13: PHOTOS D'UN CACAOYER DE DESCENDANCES LIBRES SUR L'EXPLOITATION DE L'AGRICULTEUR PARTENAIRE N°1 (Mazardin,2021) 15
Figure 14: DESSIN D'UNE INFLORESCENCE DE CACAOYER (Mossu,1990) 16
Figure 15: DESSIN D'UNE FLEUR DE CACAOYER 16
Figure 16: SCHEMA EN COUPE LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DE CABOSSE (Mossu,1990) 16
Figure 17: SIX FORMES DE CABOSSES DE CACAO (Lachenaud et Labouise, 2019) 17
Figure 18: DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES DE PRODUCTIONS DE CACAO (Amiel et al.,2018) 21

Figure 19: REPRESENTATION TYPOLOGIQUE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS SELON LES COMPOSANTES DE TEMPS ET D'ESPACE (Torquebiau et al.,2002 ; Van Nordwijk, 1995) 22
Figure 20: RENDEMENTS DES CACAOYERES EN FONCTION DE LEUR AGE ET SELON DIFFERENTES CONDUITES TECHNIQUES (Ahenkorah, Akrofi & Adri, 1974; Jagoret et al., 2015) 25
Figure 21 : LOCALISATION DES PARTENAIRES DU PROJET C2G2 SUR LE TERRITOIRE DE LA GUYANE (Mazardin, 2021) 29
Figure 22: SCHEMA DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR L'INSTALLATION D'UNE CACAOYERE (projet C2G2) (Mazardin, 2021) 32
Figure 23: NOMBRE DE GREFFES ET DE DL ANALYSES ENTRE 2020 ET 2021 DANS LES PARCELLES PARTENAIRES DU PROJET (Mazardin, 2021) 33
Figure 24: PRESENTATION DES EXPLOITATIONS AYANT FAIT L'OBJET DE RELEVES DE DONNEES ENTRE FEVRIER ET AOUT 2021 (Mazardin, 2021) 34
Figure 25: SCHEMA DE MESURES ARCHITECTURALES RELEVEES SUR CLONES (Mazardin,2021) 35
Figure 26: SCHEMA DES MESURES ARCHITECTURALES RELEVEES SUR LES CACAOYERS DE DESCENDANCES LIBRES (Mazardin, 2021) 36
Figure 27: POSITION DE L'APPAREIL POUR LES PRISES DE PHOTOS DE LA CANOPEE (Mazardin, 2021) 37
Figure 28: BLOC 1 DE GREFFES DIVISE EN 2 BLOCS D'ANALYSE PHOTOS SUR LA PARCELLE ASSOCIEE A LA BANANES A LA STATION COMBI (Decayeux & Mazardin, 2021) 38
Figure 29: ILLUSTRATION DE L'UTILISAITON DU LOGICIEL CAN EYE POUR LE SOUS BLOC 1 DU BLOC 1 DE GREFFES DE LA PARCELLE ASSOCIEE A LA BANANES SUR LA STATION COMBI (Mazardin,2021) 38
Figure 30: SCHEMA DU DISPOTIF DE MESURE DE LA HAUTEUR DES BANANIERS PAR RAPPORT A LA PRISE DE PHOTO DE LA CANOPEE (Mazardin, 2021) 39
Figure 31: SCHEMA DU RAISONEMENT STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 1 (Mazardin, 2021) 42
Figure 32: SCHEMA DU RAISONEMENT STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 2 (Mazardin,2021) 43
Figure 33: SCHEMA DE LA METHODOLOGIE STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 3 (Mazardin, 2021) 45
Figure 34: METHODOLOGIE STATISTIQUE EN REPONSE A L'HYPOTHESE 4 46
Figure 35: RESULTATS DE L'ACP SUR LES VARIABLES VEGETATIVES DES GREFFES 47
Figure 36: CONTRIBUTION DES VARIABLES A LA CONTRUCTION DE L'AXE 1 – ACP GREFFES 47
FIGURE 37: REPRESENTATION EN ARBRE 3D DE LA TYPOLOGIE DE CROISSANCE VEGETATIVE DES GREFFES 48
Figure 38: ACP DES VARIABLES DE CROISSANCE VEGETATIVE MESUREES SUR LES DL 50
Figure 39: CONTRIBUTION DES VARIABLES A LA CONSTRUCTION DE L'AXE 1 DE L'ACP 50
Figure 40: REPRESENTATION EN ARBRE 3D DE LA TYPOLOGIE DE CROISSANCE VEGETATIVE DES DL 51
Figure 41: SIGNIFICATIVITE DE LA REPRESENTATION DES CLONES DANS LES GROUPES DE TYPOLOGIE 53
Figure 42: ACP DES VARIABLES DE PRODUCTION 55
Figure 43 : ANNALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE SUR LES VARIABLES DE PRODUCTION POUR LES CACAOYERS DE DESCANDANCES LIBRES 56
Figure 44: RESULTATS TEST DE TUKEY CONCERNANT LE NIVEAU DU DIAMETRE SOUS B1 PAR RAPPORT A L'INTERACTION (CLONES/SYSTEME) 59

2) Tableaux

Tableau 1: ELEMENTS NUTRITIFS NECESSAIRES DANS LES SOLS POUR PRODUIRE DU CACAO (Mossu,1990 ; Deheuvels 2011) 19
Tableau 2: SYNTHESE DE LA NATURE DES PARTENAIRES DU PROJET C2G2 (Mazardin, 2021) 30
Tableau 3: REPARTITION DU NOMBRE DE DL OU DE GREFFES EN FONCTION DU CONTEXTE DE PRODUCTION (Mazardin, 2021) 33
Tableau 4: NOMBRE D'INDIVIDU PAR GROUPES DE TYPOLOGIE (GREFFES) 48
Tableau 5: RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA SIGNIFICATIVITE DES VARIABLES MESUREES PAR RAPPORT AUX GROUPES DE TYPOLOGIE - GREFFES 49
Tableau 6: NOMBRE D'INDIVIDUS PAR GROUPE DE TYPOLOGIE (DESCENDANCES LIBRES) 51
Tableau 7: RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA SIGNIFICATIVITE DES PREMIERES VARIABLES MESUREES PAR RAPPORT AUX GROUPES DE TYPOLOGIE 52
Tableau 8: RESULTATS DES TESTS DE KRUSKAL WALLIS ENTRE ES VARIABLES DE PRODUCTIONS ET LE FACTEUR "COMBINAISON" 53
Tableau 9: RESULTATS DES TESTS DE DUNNETT POUR LES 5 VARIABLES DE PRODUCTION PAR RAPPORT AU FACTEUR "COMBINAISON" 54
Tableau 10: ANALYSE DES VARIABLES DE PRODUCTION SELON LA TYPOLOGIE VEGETATIVE 56
Tableau 11 : ANALYSE DES CONTEXTES DE PRODUCTION SAF ET BAN 57
Tableau 12: ANOVAs VARIABLES VEGETATIVES PAR LES FACTEURS CLONES ET CONTEXTES DE PRODUCTION 58
Tableau 13: MOYENNE DES VARIABLES VEGETATIVES SELON LES SdC ET LA NATURE DES CLONES 60
Tableau 14 : ANOVAs VARIABLES PRODUCTIVES PAR LES FACTERUS CLONES ET CONTEXTES DE PRODUCTION 61
Tableau 15: NIVEAU DES INDICATEURS VEGETATIFS DANS LES DEUX CONTEXTES DE PRODUCTION - DL 62
Tableau 16: NIVEAU DES INDICATEURS DE PRODUCTION DANS LES DEUX CONTEXTES DE PRODUCTION - DL 62

Table des matières

INTRODUCTION **1**

I- Contexte général de l'étude : **2**

a. Le cacao : histoires et origines d'une culture millénaire **2**

i. LES DEFIS DE LA FILIERE A L'ECHELLE INTERNATIONALE 2

b. Les avancées de la recherche variétale dans la filière cacao et la mise en lumière du guiana **3**

i. TROIS VARIETES HISTORIQUES 3

ii. LA DECOUVERTE DU GUIANA ET LES TRAVAUX DE MOTAMAYOR 4

c. La production du cacao en Guyane Française : **5**

i. LA GUYANE : UN TERRITOIRE FRANÇAIS AU CŒUR DE L'AMAZONIE TROPICALE 5

ii. ETAT DES LIEUX DE L'AGRICULTURE GUYANAISE 6

iii. LA PLACE DU CACAO DANS LES EXPLOITATIONS GUYANAISES 6

iv. Un Contexte favorable à la mise en place d'un projet de développement de filière sur le territoire **7**

i. UN CHEF DE FILE : LE Cirad 7

ii. C_2G_2 : UN PROJET DE RECHERCHE MULTIPARTENARIAL SUR LE TERRITOIRE DE LA GUYANE 8

II- Etat de l'art : physiologie des cacaoyers et environnement de culture **11**

a. Etapes de croissances du cacaoyer **11**

i. SEMENCES ET GERMINATION 11

ii. SYSTEME RACINAIRE 12

iii. SYSTEME AERIEN 13

iv. SYSTEME FOLIAIRE 15

b. Indicateurs de vigueurs végétatives et reproductives **17**

i. NATURE ET RELATIONS ENTRE LES INDICATEURS 17

c. Le rôle de l'environnement sur le développement de l'arbre **18**

i. CLIMAT 18

ii. SOL 19

iii. MALADIES ET CARENCES 20

d. Systèmes de cultures favorables à la culture du cacaoyer **20**

i. LES SYSTEMES AGROFORESTIERS 20

ii. LES SYSTEMES AGROFORESTIERS SIMPLIFIES : EXEMPLE DE L'ASSOCIATION BANANES/INGAS/CACAO 23

iii. MISE EN PLACE D'UNE CACAOYERE AGROFORESTIERE 24

iv. INTERETS DES SAF POUR LE CACAO 24

e. Etat des lieux de la caractérisation de la croissance du cacaoyer dans son environnement : **27**

III- Question d'étude et hypothèses **28**

IV- Matériels et méthodes : **29**

a. Les producteurs partenaires du projet **29**

b. Les parcelles et le matériel végétal associé 31
i. MATERIEL VEGETAL : NATURE DES CACAOYERS DU PROJET C2G2 31
c. Mesures effectuées sur les cacaoyers 34
d. Mesures effectuées sur l'environnement associé : 36
V- Résultats..... 46
a- Typologie architecturale et les indicateurs de la croissance végétative 46
i. GREFFES 46
ii. DL- DESCENDANCES LIBRES 50
b- Différenciation de l'état végétatif et reproductif des cacaoyers à l'aide des indicateurs de croissance : 53
i. CLONES 53
ii. DL- DESCENDANCES LIBRES 56
c- Niveau des indicateurs de croissance et potentiel agronomique des clones selon les deux contextes de production : 57
i. CARACTERISATION DES DEUX SYSTEMES DE CULTURES 57
ii. CLONES 58
iii. DL- DESCENDANCES LIBRES 62
VI- Discussion..... 63
a- Construction de la typologie végétative des cacaoyers : 63
i. GREFFES ET DL 63
b- Différencier les cacaoyers entre eux par rapport aux indicateurs de croissance végétative et productive 64
i. CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT : 66
ii. CLONES 66
iii. EVALUATION DU POTENTIEL AGRONOMIQUE DES CLONES (hypothèse 4) 67
iv. DL-DESCENDANCES LIBRES 68
Conclusion 69

Bibliographie

Annexes

INTRODUCTION

Enclavée entre le Suriname et le Brésil, la Guyane, territoire français depuis le XVIIe siècle à la suite d'explorations coloniales, est aujourd'hui la première région du pays en termes de superficie (85 500 km²). Unique par sa diversité ethnique, des peuples Amérindiens aux descendants d'esclaves, ainsi que par sa richesse biologique, elle abrite notamment une partie de la forêt amazonienne à hauteur de 96% de son territoire (ONF, 2021). Dans ce contexte socio-environnemental, l'agriculture n'occupe que 0,3% de SAU sur l'ensemble du territoire (DAAF, 2014). Il y a donc un réel potentiel de développement agricole en Guyane avec des objectifs de diversification en matière d'approvisionnement alimentaire des marchés locaux et de structuration des filières à haute valeur ajoutée pour l'export. Deux types d'agricultures sont par ailleurs recensés avec d'une part une agriculture manuelle qui représente 80 % des exploitations et d'autre part une agriculture plus diversifiée et mécanisée, généralement présente sur la bande littorale (DAAF, 2015).

C'est dans ce contexte porteur que la culture du cacao, dont l'histoire remonte à l'époque coloniale, voit sa filière se restructurer ces dernières années. De nombreux défis se posent notamment pour ce qui est de générer et transmettre des connaissances résultantes de l'évaluation et de la caractérisation des systèmes produisant du cacao en Guyane. Ces systèmes se doivent également d'être viables d'un point de vue agronomique (rendement, diminution des risques sanitaires etc..), environnemental (réduction de l'utilisation d'intrants chimiques, rentabilisation des bénéfices écosystémiques…) et économique (revenus descends). De façon plus générale, il s'agit de structurer les réseaux d'acteurs, de la parcelle à la distribution du produit fini, grâce notamment à des références technico-économiques communes. Différents projets, généralement soutenus par le Cirad en partenariat avec des agriculteurs locaux, ont vu le jour sur le territoire guyanais ces dernières années. Ils ont permis de mettre au point une technique de greffage ou d'évaluer la génétique des cacaoyers afin de connaître les probables résistances aux maladies. Par ailleurs, la découverte d'un variété endémique à la Guyane le long du fleuve Camopi dans les années 80 et reconnue comme une variété à part entière en 2008 (Motamayor *et al.*, 2008) donne de nouvelles perspectives en termes de diversification de la filière. Cette variété nommée « guiana », représente une possibilité pour les agriculteurs de produire un cacao pure variétal endémique au territoire.
Le projet C2G2 « Vers l'émergence et la Capacitation de la filière Cacao de Guyane », porté par le CIRAD et consistant à tester la variété guiana en conditions réelles de culture, voit le jour en 2019. De la mise en place d'une cacaoyère aux formations sur les processus post-récolte, ce projet de recherche participative prend alors part à la génération de connaissances sur les cacaoyères de Guyane ainsi qu'à la structuration des acteurs autour de cette filière.
Au travers de ce rapport, il s'agira alors d'analyser la croissance et le développement de onze clones issus de greffage ou des descendances libres (issues de semences) de cacaoyers guiana plantés dans des systèmes agroforestiers ou en association avec la culture de banane et d'ingas. Les résultats attendus sont divers : (i) la réalisation d'une typologie de l'état végétatif des clones et des descendances libres qui permette de révéler des indicateurs de croissances ; (ii) la définition d'un état végétatif et reproductif qui permet de faire une différence entre les clones et entre les descendances libres ; (iii) la caractérisation de l'influence de l'environnement associé aux cacaoyers sur le niveau des indicateurs de l'état végétatif et reproductif ; et (iv), une synthèse des résultats permettant d'aboutir à la détermination du potentiel génétique du matériel végétal au stade juvénile en fonction du système de culture.

I- Contexte général de l'étude :

a. Le cacao : histoires et origines d'une culture millénaire

Le cacao, de la famille des Malvacées et connu sous le nom scientifique de Theobroma cacao L., trouve ses origines dans le bassin amazonien où l'un des plus importants berceaux botaniques de l'espèce se situe au niveau du cours supérieur du fleuve Amazone. Il existe 22 espèces du genre Theobroma (Mossu, 1990) et leur exploitation par les populations locales pour la préparation du chocolat, de boissons ou autres dérivées alimentaires est fréquente. L'espèce Theobroma cacao L. est la seule à être aujourd'hui cultivée à des fins commerciales à l'échelle internationale. En effet *Theobroma grandiflorum,* plus connu sous le nom de Cupaçu en Guyane, est également cultivée et consommée mais son commerce n'est pas comparable à celui du cacao.
Historiquement, la culture du cacao a été mise en lumière par les Espagnols lors de leurs explorations du Mexique au XVIe siècle. Cependant, il faut remonter 3000 ans avant Jésus-Christ pour comprendre que cet arbre a été rapporté par les Olmèques sur les terres mexicaines après leurs explorations de la Colombie et du Venezuela. La culture du cacao sera par la suite perpétuée par les Mayas qui découvrent la possibilité de consommer les graines, et non seulement la pulpe (Barrel, 2015). C'est au XVIe siècle que la culture du cacao prend un tournant avec les premières explorations coloniales et notamment celle d'Hernando Cortès. Ce dernier arrive sur la côte du Tabasco en 1519 et entreprend rapidement l'exploitation du cacao. En associant les fèves fermentées au sucre, le cacao comme produit transformé est rapidement adopté et on voit se développer de nombreuses plantations en Amérique centrale, du sud ainsi que dans les caraïbes (Trinidad). Par la suite, les Espagnols entreprennent des explorations en Malaisie et aux Philippines où ils importent des variétés de cacao *forastero* (qui représentent aujourd'hui plusieurs variétés ou groupes variétaux dont l'amelonado) au XVIe siècle et *criollo* sur l'île de Java au XVIIe siècle (Barrel, 2013). Concernant le continent Africain, il faudra attendre le XIXe siècle pour que cette culture fortement développée en Amérique du Sud et Amérique centrale ne commence à être exploitée. Cette diffusion est permise par les débouchés de transformation grandissants en Europe (naissance de Van Houten ou encore Cadbury en 1815) qui impulsent notamment la mise en place des premières cacaoyères Africaines sur les îles de Sao Tomé et Fernando Poo ainsi qu'à Madagascar. La culture prendra de l'importance par la suite au Ghana, au Nigéria, au Cameroun et en Côte d'Ivoire (Braudeau, 1969). En parallèle, l'Asie originalement marquée par les premières importations, ne voit la culture de son cacao se développer qu'à partir des années 1950 avant de décliner dans les années 1990 (Barrel, 2013).

i. LES DEFIS DE LA FILIERE A L'ECHELLE INTERNATIONALE

Le cacao, bien que non essentiel sur le plan nutritionnel, représente la troisième matière première la plus échangée au monde après le sucre et le café (De la Chesnaie, 2009), ce qui implique de forts enjeux économiques, politiques et sociaux de l'échelle régionale à l'échelle internationale. Aujourd'hui, la production mondiale de cacao est menée par la Côte d'Ivoire et le Ghana qui représentent environ 80% de la production Africaine et plus de 60% de la production mondiale (ICCO, 2021). Dans ces pays et de façon générale, l'instabilité du revenu des cacaoculteurs est liée à la spéculation effectuée dans les bourses de New York et de Londres par les importateurs. Ce fonctionnement du marché international, libéralisé au début des années 1990, freine aujourd'hui la

construction d'une filière basée sur une équitable répartition de la valeur crée entre tous les acteurs (Bastide, 2007).

Ces derniers temps, la domination des multinationales qui transforment le chocolat sur les producteurs ne cesse de prendre de l'ampleur. En effet, d'après un dernier communiqué de Commerce internationale France en date du 2 avril 2021, une majorité des producteurs et productrices perçoivent « 6% de la valeur générée par le chocolat » (Commerce équitable France, 2021). Les familles de producteurs qui basent une grande majorité de leur revenu sur la culture du cacao se voient vivre sous des importants seuils de pauvreté, déterminés comme tels à partir de moins de 1.90 USD/jour perçu (Banque mondiale, 2018). Ceci est une des causes de l'inégale répartition de la richesse crée et réduit les possibilités pour les producteurs de générer des fonds pour investir dans le développement de nouveaux systèmes de production innovants et basés sur une démarche de transition agroécologique. Ces innovations semblent pourtant essentielles pour répondre aux défis d'adaptions des systèmes au changement climatique et ainsi pérenniser ces systèmes dans le temps au niveau économique (revenus stables), agronomique (diminuer les risques sanitaires, rendements stables) et environnemental (exploitation raisonnée des ressources, meilleure compréhension et utilisation des bénéfices écosystémiques au travers des associations d'espèces…).

Afin de contourner ce système de domination, de nouveaux marchés identifiés comme des marchés de niches se développent dans le but d'assurer une meilleure rémunération aux producteurs et de proposer aux consommateurs, un chocolat de haute qualité avec une assurance de traçabilité. Le concept du « bean-to-bar », né dans les années 90 aux Etats-Unis, signifie littéralement de la fève à la tablette et s'attache à travailler autour de ces valeurs de juste rémunération, de traçabilité et de construction de la qualité tout au long de la filière

b. Les avancées de la recherche variétale dans la filière cacao et la mise en lumière du guiana

i. TROIS VARIETES HISTORIQUES

Le cacaoyer est une plante diploïde à 20 chromosomes dont les variétés connues se regroupent historiquement autour de trois groupes que sont les Criollo, les Forastero et les Trinitario. Ces groupes variétaux identifiés comme tels par leurs caractéristiques morphologiques et leurs origines géographique(Motamayor *et al.*, 2008) sont inter-fertiles et peuvent donc donner des hybrides fertiles. Le groupe des criollo, principalement cultivé en Amérique centrale, au nord de l'Amérique du Sud ainsi qu'à Madagascar ou encore en Indonésie, possède des cabosses plutôt longues et est principalement utilisé en chocolaterie pour sa complexité aromatique. Un autre groupe variétal appelé « Forastero», connu pour sa diversité de cacaoyers, trouve ses origines en Haute Amazonie (Pérou, Colombie, Equateur) et également au Brésil ou encore dans les Guyanes et au Vénézuela. Les cabosses sont vertes avant d'être à maturité et sont de formes et de tailles variables. Enfin, le groupe variétal des Trinitario qui semble être le résultat d'un croisement entre des cacaoyers Forastero et Criollo, est cultivé dans une grande majorité de continents, de l'Afrique à l'Amérique centrale en passant par l'Asie. Cependant, l'appellation Trinitario tient son nom du lieu de la sélection de ses cacaoyers à savoir la région de Trinidad dans les Caraïbes (Mossu, 1990).

ii.LA DECOUVERTE DU GUIANA ET LES TRAVAUX DE MOTAMAYOR

En 2008, une équipe de chercheurs a proposé une nouvelle classification des cacaoyers qui a abouti à l'identification de 10 clusters variétaux. La mise en lumière de ces nouveaux groupes variétaux a pour but d'aider aux processus de sélection du matériel végétal ainsi qu'à la conservation de lignées génétiques de cacao. L'étude a été réalisé sur 952 individus retenus, issus de différentes localisations géographiques. Afin d'aboutir au classement de 10 groupes identifiés, la proximité génétique entre les cacaoyers a été établit à l'aide de marqueurs microsatellites.
Ainsi, le cluster variétal guiana a été identifié comme étant originaire de la Guyane. Il est représenté par 99 individus sur l'ensemble des 952 testés (Motamayor *et al.*, 2008) (cf. figure 1).

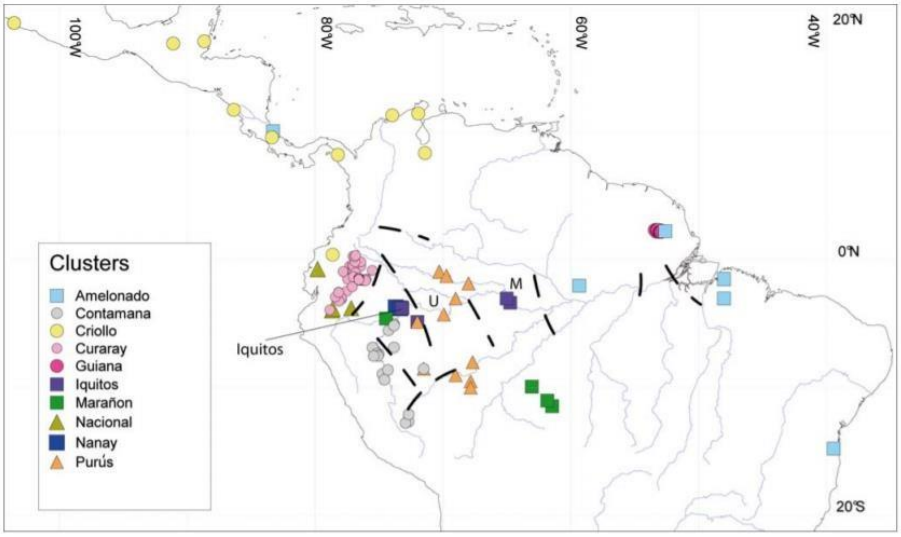


Figure 1. Localization of the origin of individuals analyzed; colors indicate the inferred genetic cluster to which they belong. Approximated location of Amazon ancient ridges ("palaeoarches") is shown, after [26], in order of apparition clockwise: Fitzcarrald, Marañon, Serra do Moa, Iquitos, Vaupés, Carauari, Purús, Monte Alegre and Gurupa. U: Upper and M: Middle Solimões.
doi:10.1371/journal.pone.0003311.g001

Figure 1: CARTOGRAPHIE DE L'ENSEMBLE DES CLUSTERS VARIETAUX DE CACAOYERS PRESENTS DANS LE BASSIN AMAZONIEN (Motamayor et al.,2008)

Depuis 1978, Le Cirad étudie les cacaoyers sur le territoire de la Guyane au travers d'actions de prospection, de collecte ou de sauvegarde de ce matériel végétal dans le but d'améliorer les programmes de sélection génétique. A la fin du XXe siècle, trois grandes missions de prospection ont été entreprises (1987,1990,1995). Elles ont permis de ramener des cabosses et du bois de cacaoyers spontanés de Guyane provenant des rivières de Camopi, de Tanpok, de l'Oyapok, de l'Euleupousing ainsi que des rivières de Kerindioutou et de Yaloupi (Lachenaud, Sounigo & Sallée, 2005) . La station expérimentale de Combi, appartenant au CIRAD et située sur la commune de Sinnamary, conserve aujourd'hui une partie de ces prospections. En 2004, on dénombrait dans cette collection, 198 pieds mères issus de descendances libres[1] ou de clones[2] et divisées en 19 populations selon les zones de prospection. Le statut de ces cacaoyers spontanés de Guyane est aujourd'hui reconsidéré. Au vu des dernières études (Motamayor *et al.*, 2008), il semble

[1] Descendance libre : Cacaoyer issu de la germination d'une graine de cabosse provenant d'un arbre mère.
[2] Clones : Cacaoyers issus d'une technique de reproduction végétative (exemple : greffage)

qu'ils n'appartiennent pas à un groupe de Forastero « bas Amazonien» mais bien à un groupe à part entière du fait de leur morphologie et leur situation géographique. Ces arguments s'appuient sur une discontinuité entre l'Amazonie et le plateau des Guyanes(Lachenaud *et al.*, 2005) ainsi que sur des comparaisons génétiques de différents cacaoyers à l'aide de marqueurs moléculaires (Motamayor *et al.*, 2008). Les cacaoyers spontanés de Guyane issus des prospections évoquées précédemment et conservés actuellement à la station de Combi sont aujourd'hui considérés comme appartenant au groupe variétal guiana.

c. La production du cacao en Guyane Française :

i.LA GUYANE : UN TERRITOIRE FRANÇAIS AU CŒUR DE L'AMAZONIE TROPICALE

La Guyane est une région de France située sur le continent sud-américain à la frontière du Suriname au nord-ouest, et du Brésil à l'est et au sud (cf. figure 2). Territoire colonisé par la France au XVIIe siècle, l'esclavage y sera aboli en 1848. Il s'agit aujourd'hui de la plus grande région de France en superficie, avec plus de 270 000 habitants, elle fait état d'une croissance de sa population de 2.3% par an depuis 2008 (France Inter, 2017; INSEE, 2018). La plupart des habitations se situent sur la côte ou le long des deux fleuves qui bordent le territoire à savoir l'Oyapock à l'est et Le Maroni à l'Ouest (cf. figure 3). Cette répartition s'explique notamment par l'immensité de la forêt tropicale amazonienne qui représente 8,3 millions d'hectares soit 96% du territoire ce qui limite les zones d'habitations au centre du territoire où les forêts ne sont pas aménagées et trop hostile à la vie humaine (DAAF & ONF, 2018).

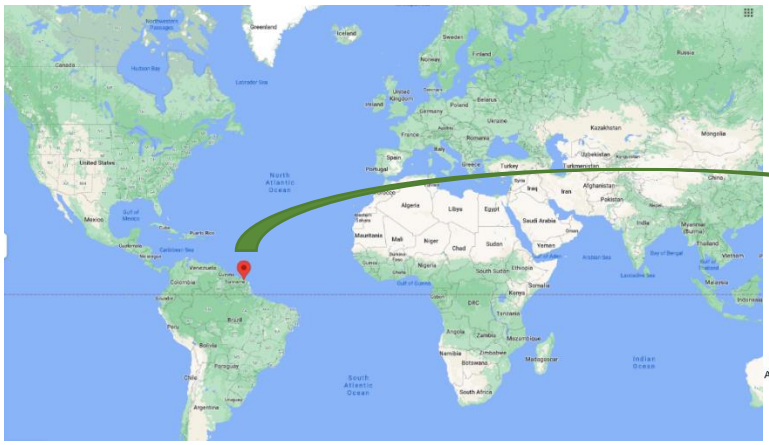


Figure 2: LOCALISATION DE LA GUYANE DANS LE MONDE (Maps)

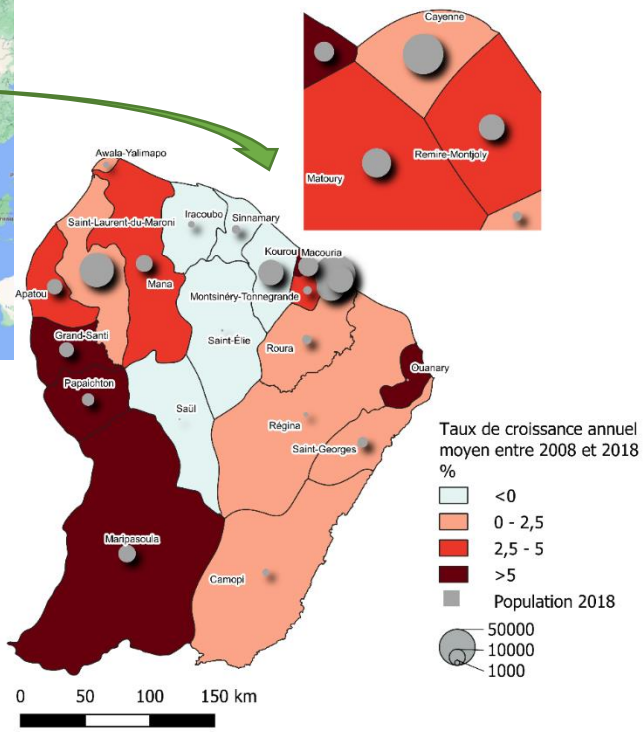


Figure 3: ACCROISSEMENT ET REPARTITION DE LA POPULATION EN GUYANE (Insee, 2018)

Concernant le climat de la Guyane il se situe entre un climat de forêt tropicale et un climat tropical de la mousson. La saison des pluies est importante de janvier à août avec un mois de mars généralement plus sec appelé « petit été de mars ». On observe un gradient ascendant pluviométrique sur le territoire allant des communes de Mana et Awala-Yalimapo (1800 à 2000 mm par an) aux communes de Roura et Matoury à l'Est (3500 à 4000 mm par an). L'arrière-pays perçoit environ 2500 mm d'eau chaque année (Gouvernement Français, 2021a; Météo France, 2021) (cf. figure 4).

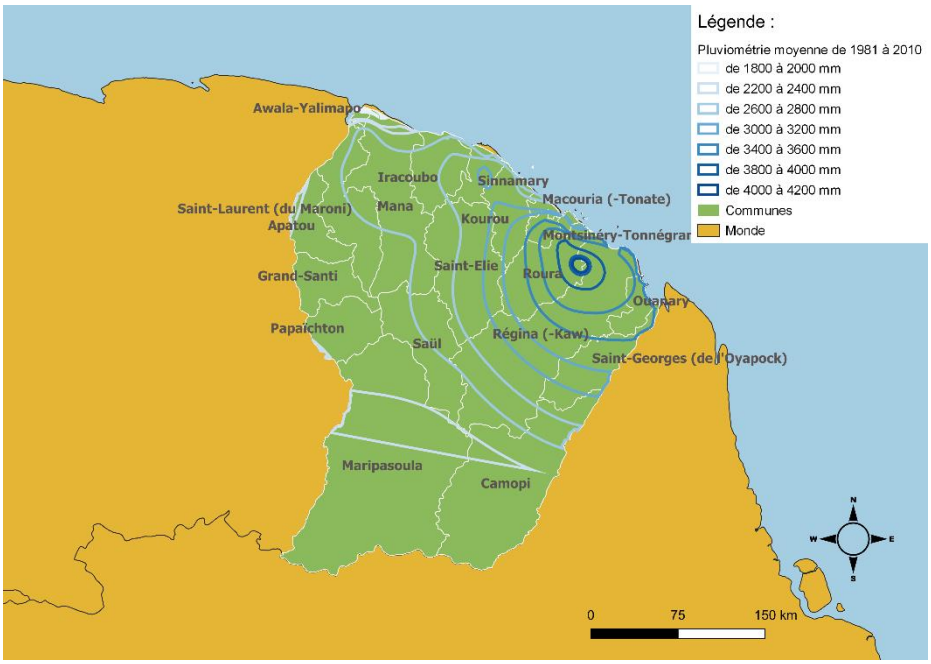


Figure 4: CARTE DE LA PLUVIOMETRIE EN GUYANE ENTRE 1981 ET 2010 (Mazardin, 2021)

ii. ETAT DES LIEUX DE L'AGRICULTURE GUYANAISE

Le contexte de production guyanais se caractérise par des exploitations de petites tailles, dont 85% ont une taille inférieure à 5ha. La SAU agricole totale couvre quant à elle, 0.3% du territoire et la gestion des exploitations se réalise à 50% par des femmes. L'agriculture guyanaise est principalement construite sur le système d'abattis-brûlis (75% des exploitations) à base de tubercules et de bananes, permettant d'assurer la sécurité alimentaire des populations intérieures ainsi que celles des fleuves (Maroni et Oyapock)(DAAF, 2010). Pour ce qui est des productions végétales, elles représentent en 2019, une SAU de plus de 33 000 hectares au sein de laquelle il y a des terres arables, des cultures permanentes, des surfaces toujours en herbées ainsi que des jardins et vergers familiaux.

iii. LA PLACE DU CACAO DANS LES EXPLOITATIONS GUYANAISES

A ce jour, il n'existe pas de filière cacao à proprement parlé sur le territoire guyanais, c'est-à-dire une organisation des acteurs du champ à la tablette dans le but de commercialiser un produit fini. Les précédents travaux de recensement des acteurs font état de 3 agriculteurs qui produisent, transforment et vendent le cacao localement. On peut citer notamment Monsieur Didier Rostaing pour la production du « Cacao Cœur de Saül »,

Madame Drupa Angénieux pour ses produits « Theobroma cacao Guyane » ou encore Monsieur Olivier Dumet pour son chocolat « Cacao d'Amazonie » (Decayeux, 2019). En parallèle, une récente étude réalisée par le bureau d'étude coopératif « TERO » (Johnson, 2020), confirme le fait que les producteurs en activité « se compte sur les doigts d'une main », mais que de nouveaux agriculteurs commencent à planter du cacao ce qui va dans le sens d'une dynamisation de cette filière. En Guyane, il existe de vieilles cacaoyères datant de l'époque coloniale plus ou moins récente (XVIIIe au début du XXe siècle) qui ont par la suite été abandonnées avec l'abolition de l'esclavage puis l'engouement pour l'activité aurifère (Dhelin, 2021). Aujourd'hui la reprise de cette activité de production se concentre autour de différents modèles de productions :

- Production du cacao au sein des cacaoyères patrimoniales
- Production du cacao sous ombrage avec défriche sélective
- Production du cacao en association avec des arbres fruitiers
- Production du cacao en système agroécologique

La structuration des réseaux d'acteurs se fait petit à petit avec notamment l'engament de la PME « Délices de Guyane » en faveur de la mise en place d'une ligne de production chocolat via les subventions accordée en 2021 par France relance. La filière cacao guyanaise est donc au début d'une structuration (Johnson, 2020).

iv. Un Contexte favorable à la mise en place d'un projet de développement de filière sur le territoire

i. UN CHEF DE FILE : LE Cirad

Le CIRAD (centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) en sa qualité d'Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), œuvre dans les pays du Sud et les régions méditerranéennes dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement et de la gestion des territoires. Les défis qui se posent dans ces différents domaines sont nombreux et amènent aujourd'hui le Cirad à coopérer avec plus de 100 pays dans l'hémisphère sud, ainsi qu'en Europe et en France. Cette coopération a pour but de soutenir la capacitation des sociétés rurales et des réseaux d'acteurs agricoles au travers notamment de la production de connaissances et de programmes de formation. Les champs d'actions stratégiques du Cirad sont multiples, allant du développement d'une ingénierie de transition agroécologique à l'accompagnement des agricultures au changement climatique, et ce, au travers de plusieurs filières. Parmi ces filières, on retrouve celle du cacao qui représente plus de 5 millions de producteurs dans les pays du Sud (CIRAD, 2020). L'importance du Cirad pour le développement de la filière se matérialise par un accompagnement des acteurs en amont sur différentes thématiques comme celle de proposer du matériel végétal adapté à des contextes de production ciblés ou encore celle de travailler à l'optimisation de la rentabilité économique des exploitations dans divers contextes de productions. Le Cirad, qui ne compte pas moins de 1650 salariés pour 800 chercheurs, organise ses actions au travers de trois départements scientifiques que sont : Bios (Systèmes Biologiques), Persyst (Performance des systèmes de production tropicaux et transformation) et ES (Environnement et sociétés). Ces départements se divisent en 33 unités de recherche dont les directeurs sont différents des directeurs de zones géographiques régionales. Concernant la Guyane, elle fait partie de la zone « Antilles, Guyane et Zone Caraïbe »,

sous la direction de Dominique Martinez basé en Guadeloupe et représenté en Guyane par Jacques Beauchêne (cf. figure 5).

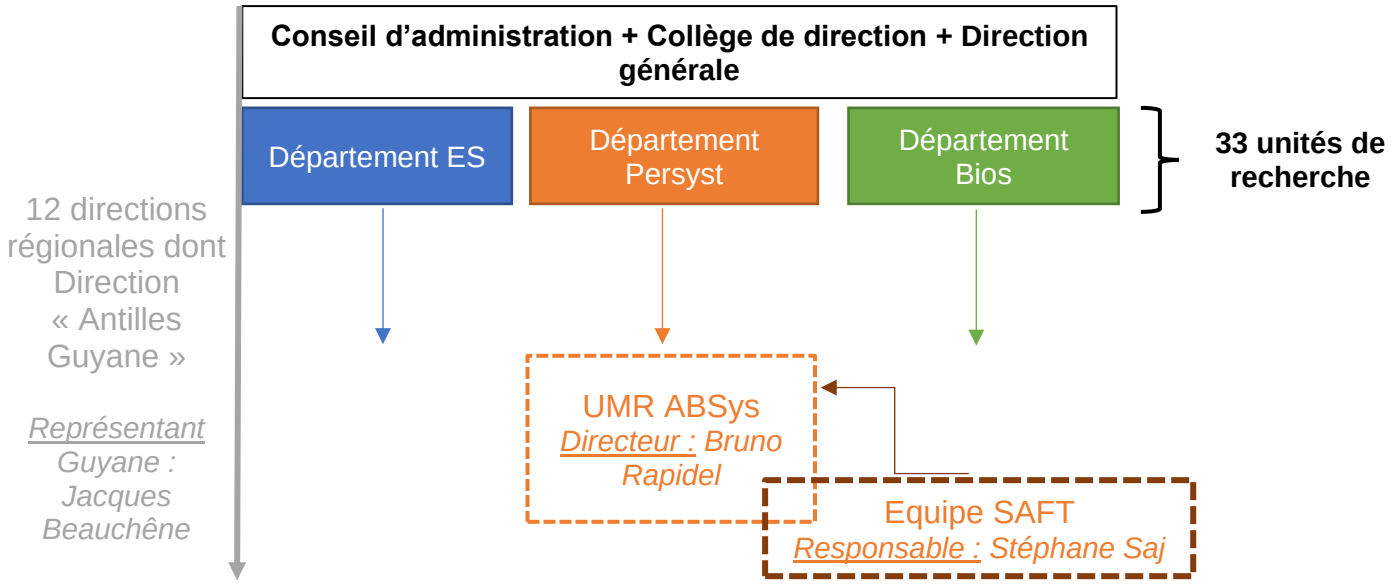


Figure 5: SCHEMA ORGANISATIONNEL DU CIRAD AVEC UN FOCUS SUR L'UNITE DE STAGE (Mazardin,2021)

Parmi les 33 unités de recherche que compte le Cirad, l'UMR ABSys (Agrosystèmes et biodiversités), fait partie du département de recherche Persyst, travaille sur les systèmes de culture tropicaux et méditerranéens à base de plantes pérennes (cacao, café…) et intègre également l'étude des systèmes agroforestiers. Différentes équipes de travail existent dans cette UMR. C'est le cas de l'équipe SAFT (Système AgroForestiers Tropicaux) (cf. figure 5), pilotée par Stéphane Saj, chercheur au Cirad et encadrant de ce mémoire, qui concentre ses travaux pour répondre aux enjeux économiques (modèles d'agricultures familiale), environnementaux (adaptation de la production sur plusieurs années face aux aléas climatiques) ou encore agronomiques de ces systèmes de culture en agroforesterie. Les thématiques de recherches du Cirad et plus particulièrement de l'équipe SAFT, assurent un cadre structurel à la mise en place de projets de développement de filière comme celui initié depuis plus de 2 ans maintenant sur la capacitation et l'émergence de la filière Cacao guiana de Guyane (C_2G_2).

ii. C_2G_2 : UN PROJET DE RECHERCHE MULTIPARTENARIAL SUR LE TERRITOIRE DE LA GUYANE

Le projet C2G2 « Vers l'émergence et la Capacitation de la filière Cacao guiana de Guyane », dont l'objectif premier est la valorisation du cacao guiana, s'inscrit dans la continuité des prospections de la fin du XXe siècle qui ont permis la découverte de ces cacaoyers spontanés de Guyane. Or, le potentiel agronomique et la viabilité technico-économique de leur exploitation (puis transformation) en conditions réelles de cultures restent encore à démontrer. L'objectif général du projet est de générer des connaissances sur ce potentiel et cette viabilité, en réalisant un essai multifocal et en accompagnant les agriculteurs partenaires guyanais souhaitant se lancer dans ce type de production.

Ce projet portant sur l'ensemble des étapes du champ à la tablette, a commencé en 2019 et s'inscrit dans une volonté grandissante des pouvoirs public et des acteurs du monde agricole de valoriser et structurer une filière cacao sur le territoire guyanais. Une volonté réaffirmée au cours de l'année 2021 dans un accord régional de relance entre l'Etat et le territoire Guyanais (Gouvernement Français, 2021b) qui soutient la mise en place d'une nouvelle ligne de transformation des cabosses locales en tablettes. En parallèle, au travers du projet C_2G_2, Le CIRAD en tant que porteur de projet, affirme également sa position de soutien au développement et à la diversification de cette filière, ainsi qu'à la capacitation de ses acteurs à produire, transformer et vendre un chocolat pure origine guyanaise. Pour mener à bien cette mission, le projet C_2G_2 se décompose en cinq volets (cf. figure 6) à savoir la construction d'un réseau de parcelles d'essai, l'augmentation des capacités de multiplication des cacaoyers guiana ou encore la formation des producteurs et acteurs de la filière aux processus post-récolte. Sur le plan agronomique, le rôle du CIRAD est de former à la préparation et à la gestion d'une cacaoyère et également de proposer des systèmes de cultures viables économiquement et environnementalement.

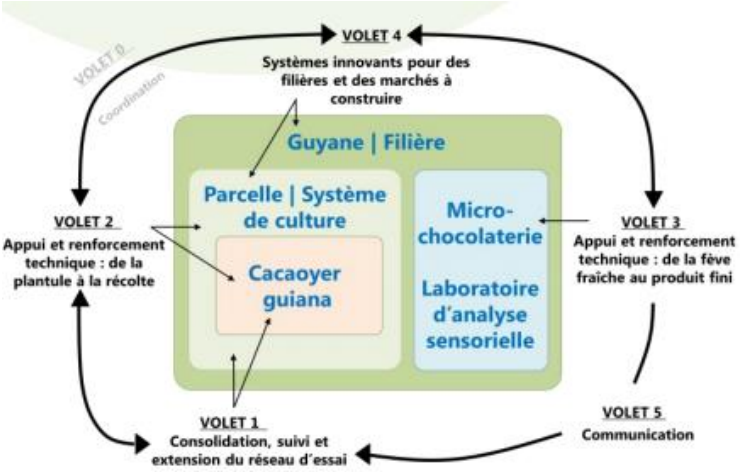


Figure 6: SCHEMA DES DIFFERENTS VOLETS DE TRAVAIL DU PROJET C_2G_2 (Saj,2019)

Dans les faits, Le projet C_2G_2 est un projet de recherche participatif multipartenarial, s'intégrant aux RITA (réseaux d'innovation et de transfert agricole dans les outre-mers) et soutenu par la collectivité territoriale de Guyane. Différents acteurs locaux tels que l'ARAG (association rurale agricole de Guyane) ou l'EPLEFPA de Matiti sont également partenaires du projet. Concernant les financements, l'Europe est un soutien essentiel au travers des fonds accordés par le FEADER. Enfin, le caractère participatif du projet C_2G_2 s'exprime au travers d'un partenariat avec 6 agriculteurs situés sur les communes de Saint Laurent du Maroni, Sinnamary, Montsinéry-Tonnegrande, Kourou et Remire-Montjoly (cf. figure 7). La recherche participative permet d'impliquer l'ensemble des acteurs concernés dans la création de connaissances en faisant des liens entre la logique et l'environnement de travail du chercheur et ceux du praticien (Millot, Neubauer & Storup, 2013). Ce type de recherche implique des conditions expérimentales moins contrôlées et donc une prise en compte de nombreux biais possibles dans les résultats.

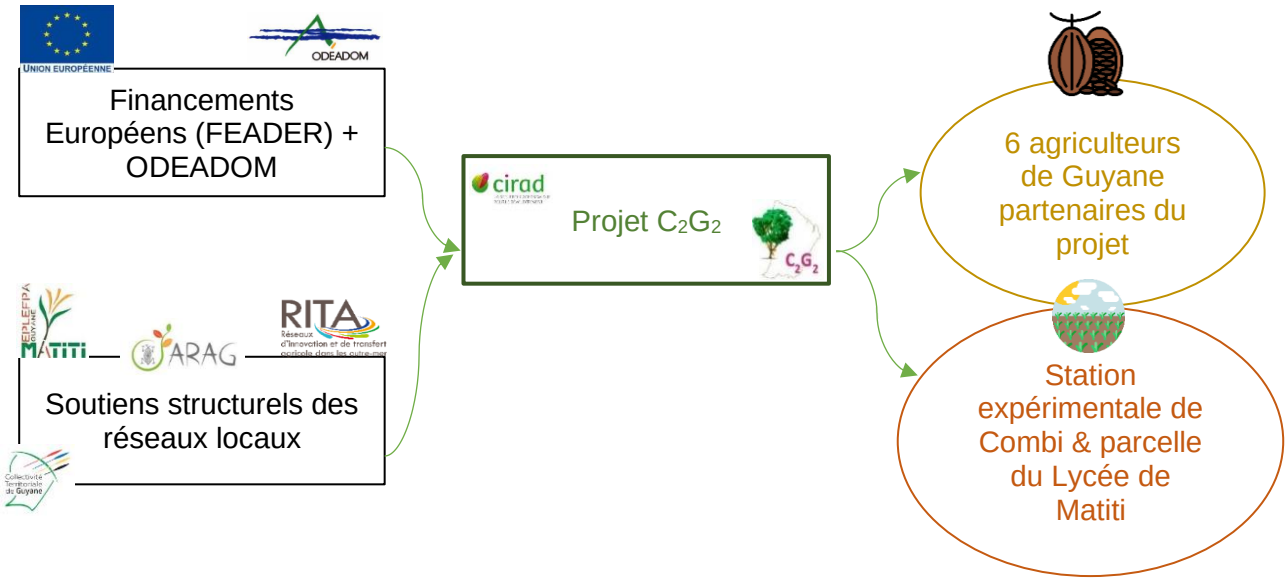


Figure 7: SCHEMA DU RESEAU PARTEARIAL DU PROJET C_2G_2 (MAZARDIN,2021)

A ce stade du projet, de nombreux travaux ont été réalisés à savoir la préparation du matériel végétal (multiplication par greffage des greffes de guiana sélectionnées), la mise en place de l'ensemble des systèmes de cultures à base de cacaoyers chez les agriculteurs partenaires, des formations de transformation du chocolat sur le site du Cirad à Kourou ou encore une évaluation technico-économique de la production de cacao et produits transformés issus de deux types de systèmes de cultures. A ce jour, de nombreux agriculteurs de Guyane ont planté des pieds de cacaoyers guiana mais seuls sont considérés comme partenaires, les agriculteurs qui ont planté des greffes au même titre que la station expérimentale de Combi et le Lycée Matiti (cf.figure 7).

A présent, les pieds de cacaoyers sont âgés de 2 à 3 ans et il devient intéressant de démarrer l'évaluation de leur potentiel de croissance végétative et productive en fonction de leur génétique et du système de culture dans lequel ils se développent à savoir une association bananes/ingas ou au sein d'une agroforêt. L'étude présentée dans ce rapport devrait permettre de caractériser de façon plus précise l'état de croissance des cacaoyers guiana issus de greffes et de ceux issus de descendances libres au sein de ces deux systèmes de cultures identifiés. Plus largement, le projet C_2G_2 touchant à sa fin en mars 2022, il s'agit d'être en mesure de communiquer des résultats à l'ensemble des partenaires sur les tendances en termes de potentiel de croissance des cacaoyers à un stade juvénile.

Ainsi, la bibliographie qui suit permettra de faire un point sur les différentes étapes de croissance des cacaoyers, qu'ils s'agissent de cacaoyers issus de greffes ou de descendances libres, de la germination au stade de production des cabosses. Puis, après avoir mis en lumière les différentes phases de croissance, ce travail s'attardera à définir l'environnement dans lequel les cacaoyers se développent et plus précisément les systèmes agroforestiers (du simple au complexe) et leurs intérêts pour la culture du cacao. Enfin, cet état de l'art s'interrogera sur les possibilités existantes pour caractériser la croissance des cacaoyers dans leur environnement.

II- Etat de l'art : physiologie des cacaoyers et environnement de culture

a. Etapes de croissances du cacaoyer

i. SEMENCES ET GERMINATION

- *Cas des cacaoyers de descendances libres*

La graine du cacaoyer, appelée aussi fève fraîche (cf. figure 8), a une forme propre aux cultivars mais ne dépasse généralement pas 30 mm de long. Cette graine est contenue dans un fruit appelé cabosse (cf. figure 9) (cf. « § La Fructification »). De l'extérieur vers l'intérieur, on observe tout d'abord une pulpe mucilagineuse qui protège l'intérieur de la graine et qui possède une saveur sucrée à acidulée. Un fois la fève séchée, elle ne présente plus ce mucilage sous lequel on trouve la coque qui protège l'intérieur de la graine et qui est issu du développement des téguments de l'ovule. Ensuite, l'endosperme forme une fine pellicule qui renferme deux cotylédons aux nombreux lobes cotylédonaires. Enfin, à la base de ces cotylédons se trouve le germe de la graine, sous-entendu l'association d'une gemmule et d'une radicelle. Il est important de préciser que la graine du cacaoyer ne possède pas d'albumen. (Mossu, 1990)

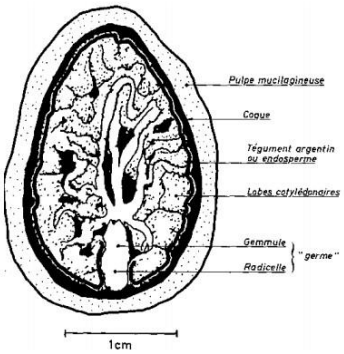


Figure 8: COUPE LONGITUDINALE D'UNE GRAINE DE CACAO (Mossu, 1990)

Figure 9: CABOSSE COUPEE EN DEUX DE CACAOYER ET SES FEVES FRAICHES (Café sciences, 2014)

Une fois le semis réalisé, la graine germe de façon épigée, c'est-à-dire que la racine principale pousse à la verticale dans le sol pour former un pivot tandis que les cotylédons sortent du sol grâce à une croissance verticale de l'hypocotyle. Comme l'indique la figure 10, après une dizaine de jours, on observe une ouverture des cotylédons qui laissent croître sous forme de tige, la gemmule portant les premières feuilles. Cette tige porte le bourgeon terminal

et va poursuivre son développement afin de former le tronc du cacaoyer. Le pouvoir germinatif de la graine décroît rapidement après la récolte du fruit (cabosse)(Mossu, 1990).

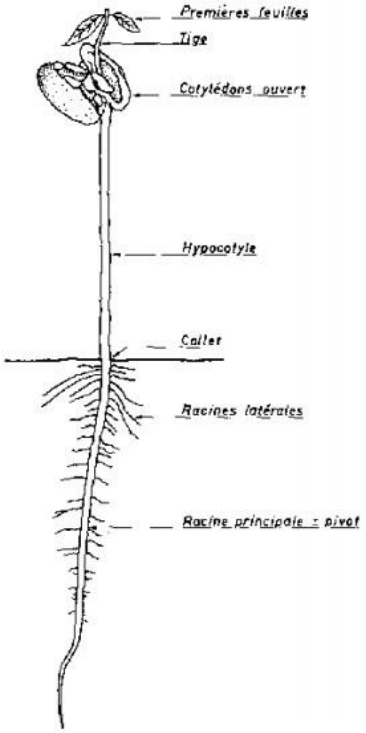


Figure 10: GERMINATION EPIGEE DE LA SEMENCE DE CACAOYER (Mossu,1990)

- *Cas des cacaoyers greffés*

Ce matériel végétal est conçu par multiplication végétative. La greffe est un bon exemple de multiplication végétative. Pour ce faire, il s'agit de prendre un porte greffe qui aura au préalable germé dans un tube. Ce porte greffe est souvent choisi pour ses potentiels agronomiques relatifs à sa vigueur, son adaptation à divers contextes pédologiques, ou encore sa résistance à certaines maladies. Ces portes greffes n'ont pas d'intérêt direct sur le greffon. La greffe sera réalisée au-dessous des cotylédons afin d'éviter une reprise du porte greffe. En parallèle, on sélectionne un greffon (cf. « § iii.Système aérien ») issu d'un pied mère de cacaoyer, si possible avec deux bourgeons dans le but d'équilibrer l'arbre par la suite. Ensuite on insère le greffon dans le porte-greffe selon la technique choisie (fente terminale, à l'anglaise, en couronne…) puis on fixe la greffe avec des bandes de paraffine (Rajaonarisolo, 2019; Cirad, 2020). Dans le cas des cacaoyers greffés la germination se fait au niveau du porte-greffe et non du cacaoyer en tant que tel.

ii. SYSTEME RACINAIRE

Après le semis, deux types de systèmes racinaires se mettent rapidement en place. Le premier est celui de la racine pivot dit orthotrope. Celle-ci croît rapidement à la verticale de façon à atteindre une quinzaine de centimètres au bout de deux à trois semaines. Cette racine pivot mesure jusqu'à 2m au moment où le cacaoyer atteint son plein développement, c'est-à-dire après 10 ans de mise en culture. Le second système racinaire est celui des racines latérales dites plagiotropes qui se développent à partir de la racine

pivot dans la partie supérieure du sol (0 à 15 cm de profondeur et 5 à 6 m de longueur) (Mossu, 1990).

- *Cas des cacaoyers greffés*

Dans le cas du greffage de cacaoyers, les portes greffes choisis sont adaptés uniquement à la culture du cacaoyer, ainsi le système racinaire développé par le porte-greffe est de nature similaire à celui du cacaoyer. (UPOV, 2011). Les deux portes greffes utilisés dans le cadre du projet C_2G_2 sont le « Pound-7 » et « l'IMC 67 » et sont originaires du Pérou. Pour le « Pound-7 », la collection des arbres a été initié en 1968 dans la région de Loreto au Pérou. Il est reconnu pour sa résistance au genre Phytophtora spp., plus connue comme la pourriture des cabosses. Pour ce qui est du porte greffe « IMC 67 », il est lui résistant au virus du Swollen shoot plus connu sous le nom de balai de sorcière. De façon générale ces deux cacaoyers sont rustiques (ICGD, 2020a, 2020b).

iii. SYSTEME AERIEN

- *Cas des Cacaoyers de descendances libres*

La tige issue du développement de la gemmule se développe pour donner une tige verticale, il s'agit d'un axe orthotrope. Cet axe se caractérise par une croissance verticale, une alternance de ses feuilles aux longs pétioles de façon spiralée (phyllotaxie en 3/8)[3]. La dégénérescence de son bourgeon terminal laisse apparaître des ramifications verticillées sous forme de rameaux à croissance subhorizontale qui formeront la première couronne de l'arbre. Ces rameaux sont des axes plagiotropes avec une phyllotaxie ½.
Une fois cette première couronne formée, des nouveaux bourgeons axillaires du tronc vont donner des rejets orthotropes et former ainsi de nouvelles couronnes plus hautes que la première (cf. figure 11). La sélection des rejets les plus vigoureux et correspondant à une structure en hauteur de l'arbre est importante pour la gestion de la cacaoyère en production. Une fois la deuxième couronne formée, la première disparaît.
Pour ce qui est de la couronne, ses rameaux plagiotropes ont une croissance par « flushes »[4] donnant chacun entre 5 à 6 feuilles alternes. Les bourgeons axillaires à l'aisselles des feuilles des branches plagiotropes, peuvent donner de nouveau, des axes plagiotropes. Cependant les bourgeons axillaires situées à la base de ces branches charpentières donnent parfois des axes orthotropes (Mossu, 1990).

[3] Phyllotaxie 3/8 : la fraction p/q renvoie à p : le nombre de tour d'hélices et q : le nombre d'extrémités rencontrées.
[4] Flushes : poussées foliaires successives

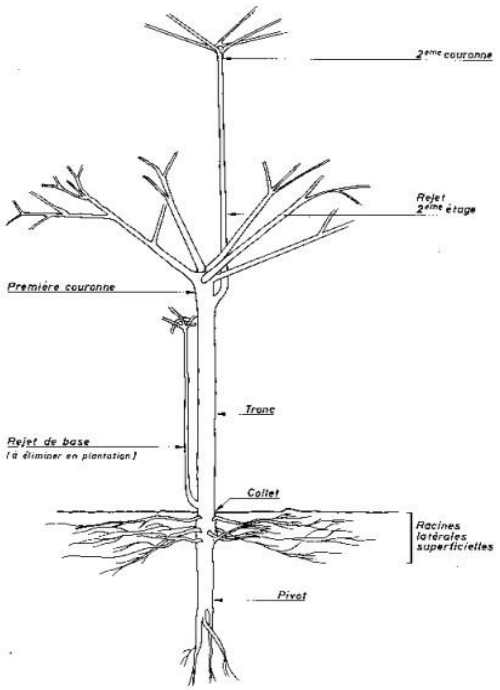


Figure 11: ARCHITECTURE D'UN CACAOYER DE DESCENDANCE LIBRE EN PRODUCTION (Mossu, 1990)

- *Cas des cacaoyers greffés*

Ces cacaoyers ne possèdent pas de première tige orthotrope formant le tronc de l'arbre. En effet, le greffon par nature est issu d'un rameau plagiotrope de cacaoyer. La première tige des clones est donc la première branche directive (Ap1 sur la figure 12). Le seul moyen d'obtenir des axes orthotropes sur ce type de cacaoyers repose sur le développement de bourgeons axillaires à la base des branches directives (Charrier, 1969). La structure des cacaoyers clonés n'est pas en étage mais dépend plutôt du nombre de branches directives et de leur structure dans l'espace. Sur la figure 12, il s'agit d'une bouture, la grande différence avec une greffe se trouve dans le fait que le greffon n'est pas mis en terre directement mais soudé à un porte greffe qui porte le système racinaire.

Fig. 6. — Architecture des systèmes aérien et souterrain d'un cacaoyer issu de bouture plagiotrope

(p : pivots ; rl : racines latérales horizontales ; R : rejet orthotrope ; Ap1 : tronc au port déjeté (axe plagiotrope) ; Ap2 : ramifications secondaires plagiotropes)

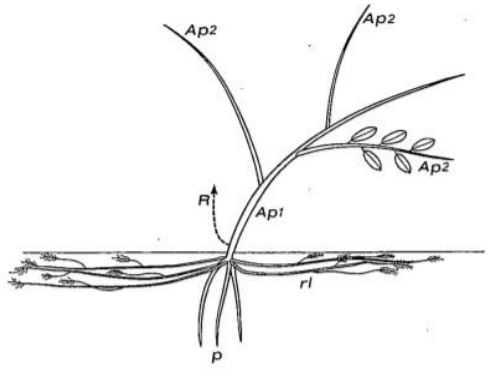


Figure 12: ARCHITECTURE D'UN CLONE (MULTIPLICATION VEGETATIVE PAR BOUTURES) (Charrier, 1969)

- *Focus sur la taille*

Le cacaoyer est une espèce pérenne cauliflore (fleurs et fruits sur tronc et branches) qui nécessite une taille régulière adaptée afin de favoriser la vigueur des troncs ou branches directives, permettre un meilleur suivi de la pression parasitaire, faciliter la récolte des cabosses et la quantité de lumière perçue par l'arbre. En fonction de l'âge du cacaoyer, on pratiquera une taille de formation jusqu'à ses 3 ans puis une taille d'entretien le reste de sa vie. La taille va avoir un impact sur l'architecture des cacaoyers. (Saj & Decayeux, 2020)

iv. SYSTEME FOLIAIRE

Qu'elles apparaissent lors de poussées foliaires ou sur les axes orthotropes, les feuilles font état d'un gradient de maturité visible selon leur couleur. En effet les jeunes feuilles ont une couleur rouge, rosée puis vert clair et ont une structure tombante. Elles deviennent ensuite vert foncé et plus rigides (figure 13, flushes et feuilles matures). Le cacaoyer porte des feuilles d'âges différent dont la durée de vie est de 1 an avant la sénescence. Leur optimum en matière d'activité photosynthétique est établi autour des 4 à 5 premiers mois.
Il est important de préciser que le pétiole des feuilles se trouvant sur des axes plagiotropes est plus court (2 cm) que celui des feuilles sur les axes orthotropes (8 cm). La longueur du limbe varie de 20 à 50cm selon les cultivars ainsi que l'exposition à la lumière. Concernant les stomates ils sont uniquement situés sur la face inférieure de la feuille (Mossu, 1990).

Figure 13: PHOTOS D'UN CACAOYER DE DESCENDANCES LIBRES SUR L'EXPLOITATION DE L'AGRICULTEUR PARTENAIRE N°1 (Mazardin,2021)

v. LA FLORAISON

Les premières floraisons sur le cacaoyer peuvent se produire après 2 ans de croissance mais sont plus fréquentes à partir de 3 ou 4 ans. Il est possible d'observer des fleurs sur l'ensemble du bois de l'arbre, bien que les fleurs sur le tronc apparaissent généralement après la formation de la première couronne (pour les descendances libres).
La figure 14 représente une inflorescence directement issue des bourgeons axillaires après que les feuilles soient tombées. Cette étape est irréversible pour les bourgeons qui se développeront chaque année au même endroit provoquant des boursoufflures sur le tronc appelées « coussinets floraux » et capables de porter de nombreuses fleurs au même moment.

La fleur du cacaoyer est hermaphrodite et de type 5, elle possède 5 sépales et 5 pétales formant un capuchon appelé « cuculle ». L'ovaire de la fleur comprend 5 loges de 6 à 12 ovules et est surplombé par le style. L'androcée comprend 5 étamines et 5 staminodes qui forment une graine tubulaire. Concernant les anthères, elles comportent chacune 4 sacs polliniques (cf. figures 14,15). La déhiscence des anthères à lieu au moment de l'épanouissement de la fleur, ce qui permet la libération du pollen fonctionnel et viable pour 48 heures. Cependant, la morphologie de la fleur de cacaoyer ne favorise pas l'autopollinisation directe, celle-ci est le plus souvent entomophile. Si les fleurs ne sont pas pollinisées, elles tombent alors au bout de 48 heures, (environ 60% d'entre-elles).
La pollinisation est considérée comme réussie lorsque la fleur atteint un stade dit « ovaire gonflé ». De nombreux cas d'incompatibilité existent chez le cacaoyer mais ne sont visibles que tardivement (chute des jeunes fruits) (Mossu, 1990).

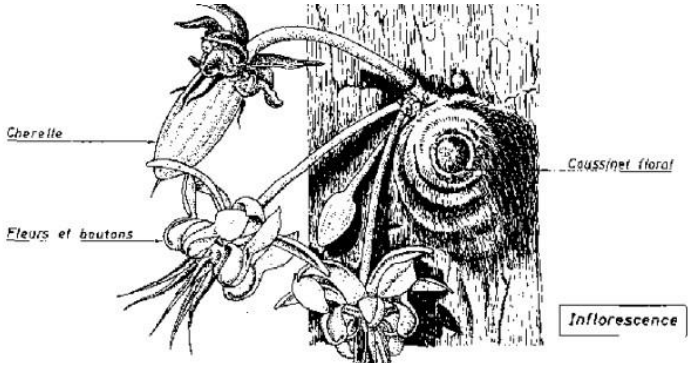


Figure 14: DESSIN D'UNE INFLORESCENCE DE CACAOYER (Mossu,1990)

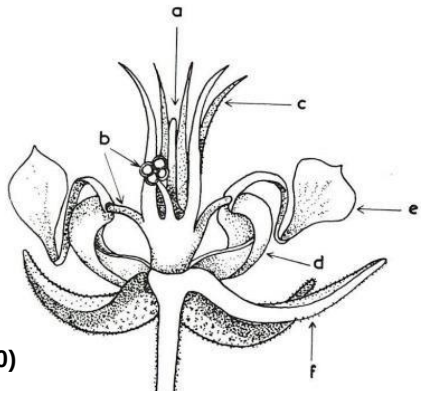


Figure 15: DESSIN D'UNE FLEUR DE CACAOYER

a = style, b = anthères, c = staminodes, d et e : cuculle et ligule (des pétales), f = sépale

Le fruit du cacaoyer issu d'une pollinisation réussi possède deux stades de croissance :

- Stade chérelle : fruit en croissance
- Stade cabosse : fruit à maturité

La cabosse est un fruit possédant une seule cavité dans laquelle on retrouve les grains de cacao entourés d'un mucilage blanc (Figure 16).

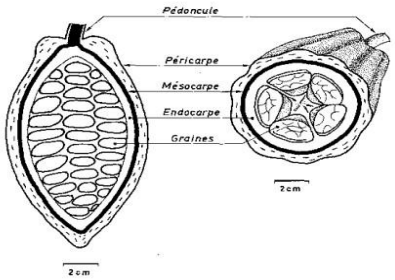


Figure 16: SCHEMA EN COUPE LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE DE CABOSSE (Mossu,1990)

Sur la partie externe de la cabosse se trouve le pédoncule qui est issu du pédicelle de la fleur. Puis, le péricarpe qui permet de protéger la cabosse, se décompose en trois couches différenciées à savoir :

- L'épicarpe : charnu avec un épiderme pigmenté
- Le mésocarpe : mince et dur
- L'endocarpe : charnue

Le taux de remplissage d'une cabosse varie en fonction de certaines composantes de rendement à savoir le taux d'ovules fécondées en graines ou le nombre minimale de graines contenues dans une chérelle pour éviter son flétrissement.
Concernant les formes et les couleurs de cabosses de cacaoyers, celles-ci sont variables en fonction du cultivar. De façon générale, on observe des cabosses violettes, vertes pigmentées de violet ou totalement vertes avant la maturité. Puis les cabosses vertes deviennent jaunes à maturité de la même façon que les cabosses pigmentées violet deviennent rouge-orangées (Mossu, 1990). Les formes de cabosses sont variables selon les groupes génétiques auxquelles elles appartiennent et peuvent également l'être à l'intérieur d'un même groupe. Une récente étude a dévoilé une clé de détermination permettant d'identifier le cacaoyer selon son fruit, ses graines, ses fleurs ou encore ses poussées foliaires (Lachenaud & Labouisse, 2019). Concernant les cabosses les chercheurs ont mis en avant 6 formes différenciées (cf. figure 17). La détermination de ces formes de fruit permet ensuite de déterminer le groupe génétique auquel appartient le cacaoyer.

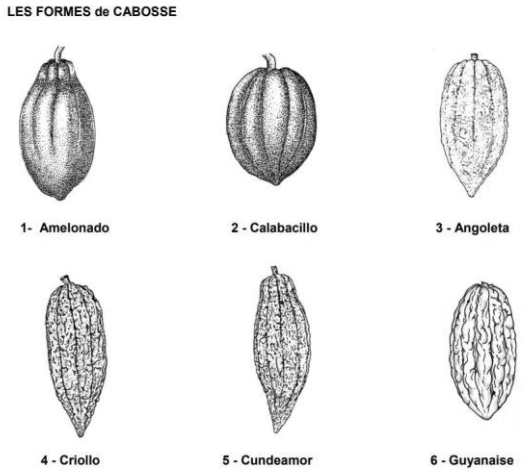


Figure 17: SIX FORMES DE CABOSSES DE CACAO (Lachenaud et Labouise, 2019)

b. Indicateurs de vigueurs végétatives et reproductives

i. NATURE ET RELATIONS ENTRE LES INDICATEURS

Qu'ils s'agissent de cacaoyers greffés ou de descendances libres, leur croissance végétative et productive résulte de l'influence de facteurs génétiques et/ou environnementaux. Ainsi, une pluviométrie trop faible ou la présence de gènes de résistance à certaines maladies peuvent jouer sur la croissance du cacaoyer. Il existe néanmoins des indicateurs directement visibles sur l'arbre permettant de déterminer un bon état de vigueur végétative ou productive. Pour ce qui est de la vigueur végétative, dans un article de la fin des années 90 sur l'influence d'éclaircies sur les rendements d'hybrides de cacao, elle a été définie au travers de la taille du diamètre au collet de l'arbre. Ainsi, plus l'arbre est vigoureux et plus son diamètre est important (Lachenaud & Olivier, 1998). D'autres paramètres comme la hauteur de l'arbre sont corrélés avec une bonne vigueur puisqu'ils vont dans le sens de la croissance verticale de l'arbre. Ceci est notamment vrai pour la hauteur sous la première branche pour les cacaoyers âgés de 2 à 4 ans (Miallet, 1990). Enfin, de façon plus générale, une bonne croissance végétative s'observe au travers de la présence de bourgeons axillaires qui donnent naissances à des axes plagiotropes à la croissance indéfinie mais discontinue par poussées foliaires appelées « flushes » (Boulay, 1998).

Pour ce qui est de la vigueur reproductive, celle-ci résulte des phénomènes de floraison puis de fructification (chérelles et cabosses). La présence de fleurs sur le tronc et les branches de l'arbre est synonyme d'une poussée de croissance. Cependant, il existe chez le cacaoyer, des mécanismes de compétition fruits/fleurs. Ainsi, plus il y a de cabosses observables et moins il y a de fleurs. De plus, le nombre de fleurs est un indicateur de production indirect puisque seulement 1% des fleurs formées donneront naissance à des fruits mûrs. Ceci résulte également du phénomène de « wilt » sur les chérelles issues de la pollinisation. Il s'agit d'un dessèchement qui intervient principalement sur les jeunes fruits et entraîne de 20 à 90 % de pertes. Finalement, le nombre de chérelles au même titre que le nombre de fleurs sont des indicateurs indirectes de la production potentielle d'un cacaoyer (Boulay, 1998).

c. Le rôle de l'environnement sur le développement de l'arbre

i. CLIMAT

- *Les températures*

Son habitat d'origine à savoir les forêts tropicales humides d'Amérique centrale et du sud situées pour la plupart entre une latitude de 18° Nord et 15° Sud lui confèrent les conditions de températures idéales. Les arbres jouent alors un rôle de régulateurs thermiques, qui plus est dans les zones éloignées de l'équateur ainsi que dans les zones de plus hautes altitudes (supérieures à 700m) ou le degré d'insolation tend à augmenter. En général, les températures moyennes pour qu'un cacaoyer puisse s'épanouir se situent autour de 25°C par jour toute l'année avec un minimum critique retenu à 10°C (Braudeau, 1969; Mossu, 1990).

- *Pluviométrie et humidité atmosphérique*

Selon Mossu (1990), les conditions en termes de pluviométrie pour le cacaoyer se situent entre 1500 et 2000 mm par an. Concernant l'humidité atmosphérique relative, elle est considérée optimale lorsqu'elle est comprise entre 70 et 100%.
Le vent peut avoir un effet asséchant, il faut donc éviter qu'il impacte le cacaoyer. Cela peut se faire au moyen de haies brise vent, du maintien d'arbres d'ombrages ou encore du choix d'une forte densité de plantation. De plus les arbres d'ombrages peuvent jouer un rôle sur la limitation de l'évapotranspiration (Mossu, 1990; Deheuvels, 2011).

- *Lumière et ombrage*

Le cacaoyer est considéré comme un arbre de sous-bois par ses origines ce qui fait que sa conduite sous ombrage est une conduite traditionnelle sans pour autant que la plante soit considérée comme une plante d'ombrage typique. De plus, sous un ombrage peu dense et avec une température moyenne avoisinant les 32°C, le cacaoyer se développe bien, cette adaptation s'oppose à considérer le cacaoyer comme une plante d'ombrage. Le sujet de la nécessité de l'ombrage chez le cacaoyer est donc controversé. L'ombrage peut être un facteur limitant du rendement si l'ensemble des autres facteurs environnementaux restent optimaux. La densité de l'ombrage est souvent laissée au bon vouloir du producteur et dépend également de la nature des arbres (légumineuses arborescentes, arbres de sous-bois, fruitiers) (Mossu, 1990).

- *Impact sur le développement de la plante*

ii. SOL

Afin de mener au mieux une plantation de cacaoyer, la profondeur minimale du sol doit être de 1,5m, et sa structure doit permettre une bonne implantation du système racinaire. Concernant la texture du sol, l'optimum est qu'elle ait la capacité de drainer ainsi que de retenir l'eau. Une texture sablo-argileuse est donc optimale pour la culture des cacaoyers. (Mossu, 1990)

- *Le pH*

Le cacaoyer est capable de se développer sur des sols avec un pH compris entre 5 et 8 avec un optimum autour de 6,5 (Mossu, 1990).

- *La matière organique*

Un seuil minimal de 3,5 % de matière organique contenue dans les 15 premiers centimètres du sol a été admis pour permettre une bonne croissance de la plante. Une détérioration de la couche superficielle du sol par des engins agricoles peut endommager la qualité de la matière organique mobilisable par les végétaux (Mossu, 1990).

- *Les éléments nutritifs*

Le tableau (cf. tableau 1) suivant présente les caractéristiques connues en termes d'équilibre en éléments nutritifs dans les sols pour permettre une bonne croissance des cacaoyers (Mossu, 1990; Deheuvels, 2011).

Tableau 1: ELEMENTS NUTRITIFS NECESSAIRES DANS LES SOLS POUR PRODUIRE DU CACAO (Mossu,1990 ; Deheuvels 2011)

Caractéristique	Valeurs	Objectifs
Profondeur	1 – 2 mètres	Développement de la racine pivotante.
Texture	Sablo-argileuse	Rétention et drainage, selon pluviométrie
pH	5 – 8	Sol neutre à très légèrement acide
Matière organique (0-20 cm)	>3,5%	Forte matière organique dans la zone d'absorption maximale du cacaoyer.
N total/P total	1,5	
Teneur en P assimilable	P~180 ppm P_2O_5~0,229%	
Teneur en bases échangeables	K(8%), Ca (68%), Mg (24%)	Equilibre des éléments nécessaire à la nutrition minérale du cacaoyer pour la production de cacao.
Taux de saturation minimal en bases échangeables	60%	
Relation d'équilibre optimal bases échangeables/azote	S = 8,9 N - 6,15	

Lors de la réalisation d'une fertilisation (minérale ou organique), il est important de connaître la composition en éléments minéraux dans le sol. Le pH du sol est aussi un élément important à prendre en compte car il joue sur la disponibilité de ces éléments minéraux et donc sur l'efficacité des engrais dans les sols. L'ajout d'un élément minéral en grande quantité alors qu'il est déjà présent dans le sol peut avoir un effet dépressif (Snoeck, 2010).
Par ailleurs, les besoins en engrais dépendent de l'âge des cacaoyers avec une augmentation diverses des besoins au cours du temps. L'engrais apporté est calculé en fonction du volume de sol à modifier dans un rayon de 2 m et de 30 cm de profondeur autour de racines (Snoeck, 2010).

- *Impact sur le développement de l'arbre*

iii. MALADIES ET CARENCES

Différents parasites ou virus peuvent avoir un effet négatif sur le rendement du cacaoyer ainsi que sur sa croissance. Pour ce qui est des parasites d'origine animale, les mirides sont connues dans l'ensemble des zones de production pour être des insectes piqueurs suceurs qui font des dégâts sur le bois, les chérelles et les cabosses. Concernant les parasites d'origine végétale, le plus connu est certainement le genre Phytophtora spp*.,* responsable de la pourriture des cabosses et également de dégâts sur les feuilles et les branches. Pour ce qui est de la maladie du « balai de sorcière », présente en Amérique Latine et dans la zone Caraïbe comme la pourriture, elle et causée par *Marasmius perniciosus* et peut affecter les cabosses, les coussinets floraux ainsi que les tissus végétatifs (Braudeau, 1969).
La Guyane reste très peu touchée par ces problèmes phytosanitaires. Par ailleurs, des tests de résistance à la pourriture pour certains clones spontanés se sont avérés positifs au laboratoire (Lachenaud *et al.*, 2005).
Les principaux dégâts constatés en parcelle sont des problèmes de chancre sur le bois ou de carences visibles au niveau des feuilles. Pour ce qui est du chancre, il peut résulter d'une attaque de mirides telle que *Calonectria sp* ou d'un parasite, le plus souvent *Phytophtora sp.* Il se caractérise par des dégâts sur les branches et le tronc de l'arbre qui peuvent nécroser les tissus de façon plus ou moins profondes et ainsi permettre l'entrée de parasites ou un ralentissement de la circulation de la sève (Mossu, 1990).

Pour ce qui est des déficiences en éléments minéraux, il ne s'agit pas de maladies mais elles soulignent soit un manque nutritionnel pas forcément compensé par des apports sur la parcelle soit des problématiques d'équilibre des éléments dans le sol. Elles résultent donc principalement de la conduite technique mise en place par chaque producteur. Les macronutriments à savoir l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium ou encore le calcium, ont des symptômes de carences reconnaissables au niveau foliaire ce qui permet d'ajuster les apports nécessaires dans la parcelle. Il en est de même pour les micronutriments à savoir le bore et le zinc (annexe …). Finalement, une limitation des carences permet au cacaoyer d'optimiser sa croissance végétative et reproductive et donc indirectement son rendement.
Enfin, certains dégâts foliaires, directement liés à gestion de l'ombre ou du vent dans la parcelle, peuvent entraîner des brûlures irréversibles sur les feuilles et par conséquent ralentir la croissance de l'arbre (Saj & Decayeux, 2021).

d. Systèmes de cultures favorables à la culture du cacaoyer

i. LES SYSTEMES AGROFORESTIERS

- *De la monoculture à l'agroforêt*

D'après la figure 18 issue d'une étude de l'IDDRI en 2018 sur la durabilité des cacaoyères, on observe un gradient allant de la monoculture du cacao en plein soleil aux systèmes agroforestiers « à fort ombrage ». Ce qui permet de définir ces différents systèmes, ce sont le nombre d'espèces d'arbres associés, le nombre de différentes strates qui différencient ces arbres associés et le pourcentage de couvert qu'ils offrent aux cacaoyers par hectare (Amiel, Muller & Laurans, 2018). Les systèmes agroforestiers complexe ou « agroforêts » sont alors

définis comme « des association multistrates de plusieurs espèces arborées et saisonnières aux utilisations multiples et complémentaires » (Torquebiau *et al.*, 2002). Lorsque l'on parle de systèmes simples, ils s'apparentent plutôt à des systèmes où les cultures sont conduites sous couvert arboré représentant généralement une strate (Torquebiau *et al.*, 2002). Ce système simple est constitué d'arbres plantés, souvent des fruitiers (Amiel *et al.*, 2018). Quels qu'ils soient, ces types de systèmes ont été plutôt caractérisés du point de vue de la structure et non de la biodiversité.

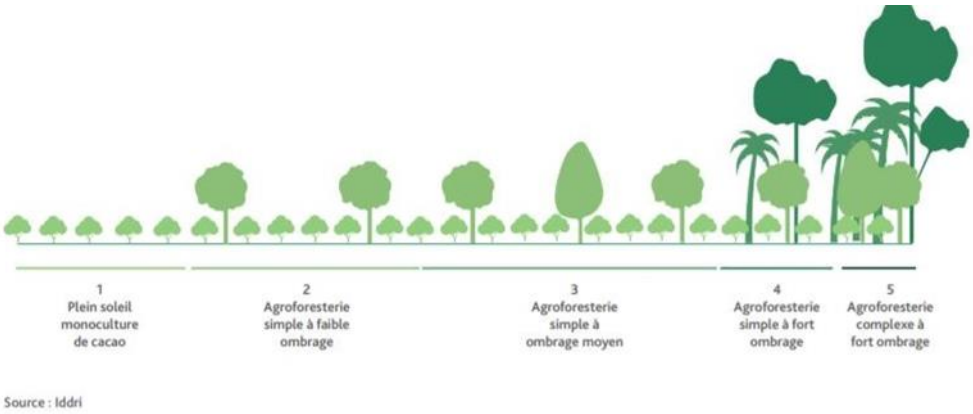


Figure 18: DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES DE PRODUCTIONS DE CACAO (Amiel et al.,2018)

- *Définition des systèmes agroforestiers*

Le concept d'agroforesterie, apparut dans les années 1970, renvoi à la notion d'intégration d'arbres dans les systèmes agricoles à base de productions végétales et/ou de l'élevage. Dans les années 2000, Torquebiau en donne une définition plus fine selon laquelle « l'agroforesterie est la mise en culture d'une parcelle avec une association, simultanée ou séquentielle d'arbres, de cultures annuelles ou de productions animales pour obtenir des biens et des services utiles à l'homme » (Torquebiau, 2000). Différentes caractéristiques des systèmes agroforestiers ont alors été mises en lumière afin de les différencier d'autres systèmes de production. La première concerne l'intégration structurelle et fonctionnelle de cultures multiples sur un même espace (cultures annuelles, pérennes, ligneuses, élevage...). Ces associations de cultures sont mises en place par l'homme et réfléchies pour maximiser les effets bénéfiques entre les ligneux, les cultures et/ou les animaux d'élevage. La diversité des espèces au sein des SAF (Systèmes agroforestier) a pour but d'optimiser la productivité de chaque composante du système et également de bénéficier de différents produits issus de l'arbre (bois d'œuvre, fruits, miels…) (Van Lerberghe, 2015).
Dans les zones tropicales, la pratique de l'agroforesterie est très répandue car elle permet d'associer différents types de cultures et donc d'augmenter les ressources alimentaires et/ou les revenus des agriculteurs sur des petites surfaces de parcelles, souvent non mécanisées. A cette utilité économique, s'ajoute une notion d'utilité écologique permise par la conservation d'espèces forestières (potentiellement endémiques) au sein des systèmes qui soutient le maintien d'un certain niveau de biodiversité (Michon, Foresta & Levang, 1995).

- *Typologie des systèmes agroforestiers*

Afin de structurer le concept d'agroforesterie, Torquebiau *et al, (2002)* proposent une classification en 5 catégories des différents systèmes agroforestiers basée sur des critères climatiques, de services entre les différentes espèces ainsi que sur leurs caractéristiques structures/fonctions (cf. figure 19) :
« Les cultures sous couvert arboré » : une strate arborée au-dessus des cultures qui assure des fonctions d'ombrage, de support ou de production (cas des arbres fruitiers).
« Les techniques agroforestières linéaires » : bandes boisées ou haies arbustives qui limitent l'impact de l'érosion, du vent ou des animaux.
« Les agroforêts » : (ou systèmes agroforestiers complexes) structurées en différentes strates et constituées de plusieurs espèces arborées aux fonctions diverses.
« Les techniques agroforestières séquentielles » : liées à des systèmes agroforestiers dans lesquels la composante temporelle est essentielle.
« Les techniques agroforestières mineures » : l'aquaforesterie, l'association d'arbres à des productions d'insectes ou encore le sylvopastoralisme.

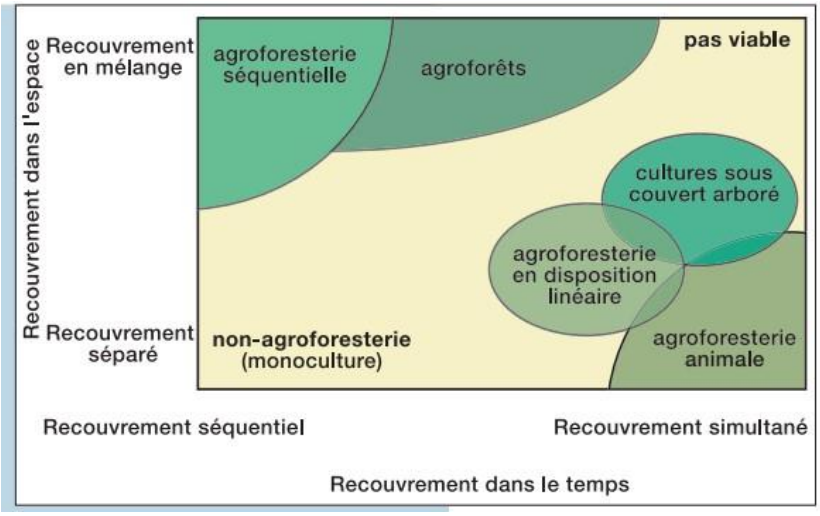


Figure 19: REPRESENTATION TYPOLOGIQUE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS SELON LES COMPOSANTES DE TEMPS ET D'ESPACE (Torquebiau et al.,2002 ; Van Nordwijk, 1995)

- *Indicateurs de caractérisation des SAF*

Les systèmes agroforestiers peuvent être classés selon différentes typologies en fonction de leurs structures et fonctions, de leur contexte géographique, de leurs types de conduite ou de leur âge. Afin de pouvoir les caractériser, certains outils existent pour concevoir les systèmes sous différents angles à savoir : leur composition en termes d'espèces, leur structure, les interactions spécifiques qui peuvent exister entre les espèces associées et l'environnement biophysique des parcelles agroforestières.

L'étude de la composition des SAF peut se faire grâce à un inventaire et une description des individus et des espèces ainsi qu'au travers de la détermination de l'indice de diversité végétale. La densité, l'arrangement spatial des espèces associées ou principales, leurs niveaux de stratification ou encore l'indice de surface foliaire sont autant d'outils qui permettent de caractériser les systèmes agroforestiers en termes de composition et de structure. (Lelong, Michel & Levang, 2015).

De façon plus précise, lors d'inventaires forestiers et pour caractériser les systèmes, certaines mesures peuvent être effectuées telles que le diamètre, la hauteur, le volume ou encore la surface terrière. Pour ce qui est de la hauteur d'un arbre, elle revient à définir la distance entre le pied au niveau du sol et l'extrémité du bourgeon terminal à l'aide d'un dendromètre. Concernant la mesure du diamètre, elle se réalise à 1,30m du sol. Elle est prise à l'aide d'un compas forestier ou bien d'un ruban si l'on mesure la circonférence du tronc. Une formule simple permet de passer d'une mesure à l'autre à savoir "$C = \pi/D$" avec « C » la circonférence et « D » le diamètre. Pour les arbres qui fourchent au-dessus d'un mettre trente de haut il faut mesurer la circonférence de chacun des troncs de l'arbre. Par ailleurs, la circonférence permet de calculer directement la surface terrière des arbres associés dans une parcelle agroforestière. Cet outil permet de mieux appréhender structurellement le système. Elle peut ainsi donner des indications sur le rapport entre la culture principale et les arbres associés en termes de surface au sol et ainsi expliquer des effets de compétitions ou de facilitations entre les espèces (CRFP, 2010). La formule de calcul de la surface terrière est la suivante : « $G = \pi * D^2/4$ ». Soit G la surface terrière et D le diamètre du tronc de l'arbre.

Concernant les interactions spécifiques, dans le cas d'une production de cacao sous agroforesterie, elles sont de différentes natures (facilitations et/ou compétitions) à l'échelle du sol ou au niveau aérien. Il est possible d'observer des concurrences en termes de ressource en eau, en nutriments du sol ou encore pour la lumière. Qu'ils s'agissent d'interactions positives ou négatives il est important de mettre en place des outils pour les analyser et les comprendre et ainsi, anticiper le potentiel de croissance des cacaoyers (Jagoret *et al.*, 2017).

ii. LES SYSTEMES AGROFORESTIERS SIMPLIFIES : EXEMPLE DE L'ASSOCIATION BANANES/INGAS/CACAO

Comme vu précédemment, la composition des systèmes agroforestiers peut être plus ou moins complexe. L'association d'une culture vivrière à savoir la banane et d'une culture de rente telle que le cacao rend compte de multiples bénéfices écosystémiques réciproques. En effet, les bananes représentent une source de diversification d'habitats pour la faune et permettent également de fournir de l'ombre aux cacaoyers dans leur jeune phase de croissance. De plus, cette culture a l'intérêt d'offrir un revenu supplémentaire et d'être une ressource alimentaire directe. Un exemple d'étude menée au Panama sur des systèmes associant des bananes plantains et des *Cordia alliodora* aux cacaoyers démontre qu'en 8 ans, ces systèmes rapportent plus de revenus nets que les systèmes de monoculture de cacao (Bentley, Boa & Stonehouse, 2004).

La banane (plantain ou dessert) du genre des Musacées, est une herbe géante qui se multiplie par rejets après chaque cycle. Ses besoins en eau, similaires à ceux du cacaoyer sont supérieurs à 2000 mm par jour. Elle nécessite des sols meubles et son enracinement reste peu profond (10 à 30 cm) (Direction de l'agriculture, 2018). Son implantation dans les systèmes cacaoyers se fait avant celle du cacao afin que celui-ci puisse bénéficier d'un ombrage déjà efficient. La gestion des feuilles de bananier par actions de coupe permet de ramener ces dernières au sol et donc de créer un mulch aux pieds des cacaoyers afin d'apporter de la matière organique tout en limitant l'évapotranspiration. Enfin, le bananier permet d'assurer un effet brise vent pour la culture du cacao. Dans ces plantations, les bananiers sont généralement associés avec les cacaoyers jusqu'à ce que ceux-ci aient établi leur frondaison (Adenikinju, 1983). Concernant l'inga ou *Inga eudulis,* il s'agit d'une légumineuse arborescente capable de fixer l'azote de l'air. Elle est souvent associée avec le cacao en Amérique du Sud

et fait l'objet de recherches afin de savoir si elle permet de favoriser les échanges d'azote dans le sol avec le cacaoyer en fonction du contexte de production. (Nygren & Leblanc, 2009 ; Nygren *et al.*, 2013).

iii. MISE EN PLACE D'UNE CACAOYERE AGROFORESTIERE

o *Techniques et conditions*

Préparer le terrain pour mettre en place une cacaoyère doit se faire au moins un an à l'avance avec un aménagement de l'ombrage en fonction des conditions du milieu. Si la plantation a lieu en milieu forestier, plusieurs actions sont importantes à mettre en place :

- Le débroussaillage et l'abattage sélectif de la forêt
- L'extraction des souches
- Le brûlis des souches
- Si besoins, il y a la mise en place d'un ombrage temporaire (exemple : bananes*)* pour éviter l'exposition directe à la lumière et protéger du vent
- Possibilité de mettre en place un couvert végétal
- Ombrage définitif : plantation d'arbres de type *Gliciridia sepium*, *Albizia spp*., ou *Inga edulis* (les terrains forestiers peuvent être réhabilités en faisant de la replantation sélective, totale, partielle)

Finalement, implanter une cacaoyère agroforestière à des conséquences sur plus de 20 ans de production. La densité de plantation dépend de l'ombrage fournit par les arbres associés ainsi que des conditions du milieu notamment de la pluviométrie. La disposition des cacaoyers doit être réfléchie par rapport à son environnement mais également pour faciliter les actions d'entretien (taille, fertilisation, protection phytosanitaire) et de récolte. La densité de plantation la plus répandue est de 1000 à 1100 pieds /ha. La plantation des cacaoyers est à réaliser de préférence en saison des pluies (Mossu, 1990).

iv. INTERETS DES SAF POUR LE CACAO

o *Retour sur investissement rapide des systèmes à faible ombrage*

Depuis quelques années, des chercheurs travaillent à caractériser les différences de l'impact d'un système agroforestier ou d'un système sans ombrage sur la culture du cacao. Il en résulte des divergences en termes de rendements qui dans certaines études à larges spectre sur des métadonnées donnent des différences de rendements en faveur de la culture sans ombrage (Niether *et al.*, 2020). Ces systèmes à faible ombrage associés à un apport d'engrais et une forte protection sanitaire montrent dans une étude réalisée en Côte d'Ivoire, une nette baisse des rendements après une quinzaine d'années conduisant à un abandon des parcelles après 25 ans de production (Snoeck, 2010). Ces modèles de production basés principalement sur des défriches forestières, ne semblent pas être durable dans ce sens car l'abandon des cacaoyères entraîne généralement la réalisation de nouvelles défriches (cf. figure 20) (Lachenaud, 1991; Jagoret, Deheuvels & Saj, 2015). Les conclusions sur les différences en termes de rendements entre les deux systèmes ne sont pas dichotomiques mais semblent tendre vers une production plus élevée lors des premières années de mise en culture pour les systèmes avec peu d'ombrage et de fort apport d'engrais (cf. figure 20)

(Jagoret *et al.*, 2015). De plus, une étude menée au Ghana à démontrée que l'investissement dans les engrais était rapidement rentable puisqu'il permettait de produire deux fois plus après trois années de plantation (Appiah, Ofori-Frimpong & Afrifa, 2000; Snoeck, 2010). Ces arguments économiques poussent donc les agriculteurs à investir dans des systèmes très productifs à court termes.

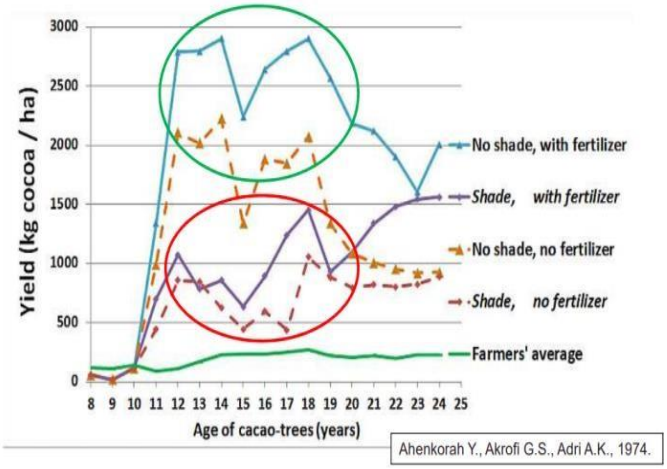


Figure 20: RENDEMENTS DES CACAOYERES EN FONCTION DE LEUR AGE ET SELON DIFFERENTES CONDUITES TECHNIQUES (Ahenkorah, Akrofi & Adri, 1974; Jagoret et al., 2015)

- *Les bénéfices au long terme des systèmes agroforestier*

Les systèmes agroforestiers dont la culture du cacao est la composante principale, sont plurifonctionnels grâce à la diversité d'espèces qu'ils comprennent (autoconsommation, vente, médicinal, ombrage…). Ils ont donc un premier intérêt en termes de diversification des revenus (Jagoret, 2011; Andres *et al.*, 2016).

L'intérêt de cacaoyères agroforestières fait l'objet de nombreuses études en zones tropicales humides et notamment en Afrique (Cameroun, Côte d'Ivoire), mais il est déjà possible d'affirmer que ces systèmes sont moins dépendants en intrants chimiques et permettent de conduire à la production de cacao sur de nombreuses années en y associant d'autres cultures (vivrières ou de rentes) (Jagoret *et al.*, 2015). Cela s'explique notamment par une notion d'équilibre naturel du potentiel de fertilité des sols. La fertilité des sols se définit par la gestion des flux de nutriments par rapport aux entrées (environnement, cultures associées, sol et engrais) et aux sorties (lessivage, évaporation, export des produits finis). Dans les systèmes agroforestiers ces entrées et sorties s'équilibrent au cours du temps (Snoeck, 2010). Une étude menée dans le centre Cameroun a montré que dans deux types de contextes de production à savoir la forêt ou la Savane, si les agriculteurs n'utilisaient pas d'engrais leur production s'équilibrait au cours du temps à hauteur des « entrées » disponibles. L'agro forêt étant le système bénéficiant des plus faibles rendement, il s'agit de modifier les entrées, en termes de fertilisation de manière à équilibrer les flux de nutriments entre les entrées et les sorties pour obtenir un équilibre de production plus élevé (Jagoret *et al.*, 2008; Snoeck, 2010). Par ailleurs, dans un contexte de climat tropical humide, les sols sont considérés comme pauvres notamment dû à une forte pluviométrie (>2000mm/an) et des températures élevées qui favorisent le lessivage des minéraux et les processus d'érosion. Cette dégradation des sols est renforcée par l'exportation de la matière organique et de minéraux lors de la récolte de produits agricoles, du travail du sol ou bien d'une fertilisation non raisonnée (Montaigne *et*

al., 2018). L'arbre, au centre de la conception du système agroforestier, peut jouer un rôle essentiel dans le maintien de la fertilité des sols. A titre d'exemple, le houppier permet de réduire l'impact des gouttes et donc de diminuer les risques de lessivages ou d'érosion. D'autre part, le système racinaire des arbres forestiers est généralement profond, ce qui permet de récupérer les minéraux lessivés verticalement (Louppe & Mille, 2015; Andres *et al.*, 2016).

- *Interactions existantes au sein des SAFc*

Au sein des parcelles cultivées, il existe des interactions entre les différents types de biodiversités présentes (aériennes, souterraines, telluriques, végétales, animales…). Ces interactions peuvent être de différentes natures (processus de facilitation ou de compétition) et leur connaissance favorise la mise en place de systèmes de cultures associés à l'échelle de la parcelle (Ratnadass, Blanchart & Lecomte, 2013). Dans le cas des cacaoyères agroforestières, certaines études ont démontré qu'ils existaient des espèces associées dont les caractéristiques physiologiques et les besoins ne s'associent pas de façon bénéfique avec celle des cacaoyers. Ainsi, en 1979 il a été mis en évidence de façon générale que les plantes à tubercules étaient à proscrire des parcelles de cacaoyers car elles risquaient d'endommager le système racinaire des cacaoyers au moment de l'arrachage (Liabeuf, 1979). De la même manière, une liste de 24 d'essences forestières antagonistes au développement du cacaoyer a été dressée à partir d'observations effectuées en Côte d'Ivoire et au Cameroun. Les effets négatifs des interactions entre ces peuplements associés et les cacaoyers peuvent être de différentes natures : compétition pour la lumière, espèces hôtes de bio-agresseurs communs au cacaoyer ou espèces affectant directement le rendement du cacaoyer (Deheuvels, 2011).

En parallèle, l'étude de la mise en place de légumineuses arbustives dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers a démontré une meilleure assimilation de l'azote par les cacaoyers qui nécessite de choisir les espèces les plus adaptées au contexte de production (Snoeck, 2010). De façon générale, la nature des interactions entre les arbres ligneux ou fruitiers et les cultures associées dépendent du contexte pédoclimatique. En effet, ces associations peuvent entraîner des processus de compétition pour l'eau, les minéraux ou la ressource lumineuse. A l'inverse, les arbres peuvent limiter les phénomènes d'évapotranspiration des cultures et jouer un effet brise-vent dans le cas des zones exposées : on parle alors de processus de facilitation. L'optimisation de ces systèmes tient donc en la connaissance des espèces qui les composent afin de maximiser les bénéfices écosystémiques possibles au sein du peuplement associé et entre les espèces. Cette technicité peut être perçue comme un frein en faveur des systèmes cacaoyers conduits sans ombrages qui nécessitent moins de connaissances. Il est certain que les arbres entraînent des modifications sur les conditions de culture du milieu (aériennes et souterraines) étant donné leur pérennité dans le temps. Cependant, l'agroforesterie ne donne pas de réponses linéaires à des problématiques de fertilité des sols ou de rendement des systèmes. (Louppe & Mille, 2015). Il est donc important de contextualiser l'étude de ces systèmes afin de déterminer le meilleur équilibre entre les effets favorables et défavorables ainsi qu'entre les entrées et les sorties.

e. Etat des lieux de la caractérisation de la croissance du cacaoyer dans son environnement :

Être en mesure de caractériser la croissance et le développement des cacaoyers dans leur environnement permet de générer des connaissances diffusable entre scientifiques ou bien d'adapter ces connaissances à divers contextes de production (Niemenak *et al.*, 2010). La croissance du cacaoyer passe par différentes phases à savoir la phase juvénile suivie du début de la production de fleurs et de fruits autour de sa troisième ou quatrième année puis de la phase de plein rendement autour de 10 ans. La production diminue après 25 à 30 ans de mise en culture (Mossu, 1990). Les études sur la caractérisation de la morphologie du cacaoyer au cours du temps se sont surtout intéressées à son état de production, c'est-dire à la floraison et la fructification. Une étude menée à Trinidad dans le but de caractériser un grand nombre d'individus de la variété Trinitario a utilisée des indicateurs de croissance tels que le rendement potentiel, le nombre de fèves de cacao dans les cabosse ou encore le poids de ces fèves fraiches (Bekele *et al.*, 2020). De même, en Guyane, les chercheurs se sont intéressés au remplissage des cabosses des cacaoyers ainsi qu'à leur fertilité apparente, c'est-à-dire le nombre moyen de fèves normales par rapport au nombre moyen d'ovules. Ceci a permis de constater que ces deux indicateurs testés dans les conditions de culture de la station expérimentale de Combi étaient faibles (Lachenaud *et al.*, 2006). Enfin, un autre exemple d'étude portant sur les réponses phénologiques des cacaoyers en fonction du milieu forestier humide a été menée en Colombie. Le nombre de fleurs ou de fruits a été comparé au cours du temp par rapport à l'environnement (quantité de pluies, PAR[5], bilan hydrologique…) (Gil, Leiva & Pisco, 2017).

Peu d'études relèvent alors de la caractérisation de l'état de croissance végétatif de jeunes cacaoyers dans leur environnement. Par ailleurs, l'intérêt de caractériser la croissance des cacaoyers dans leur milieu est de pouvoir estimer leur potentiel de production via des indicateurs de fructification. Une étude menée au Vanuatu sur douze hybrides de cacao (environ 600 individus par répétitions) s'est aussi bien intéressée à des indicateurs végétatifs (diamètre au collet, hauteur du plant à un an ou encore présence de couronne) qu'à des indicateurs de production (nombre moyen de cabosses par arbre à 5 ans). Le but de l'étude était donc de faire le lien entre l'architecture de l'arbre et sa production. Les résultats ont montré que le diamètre mesuré au collet autour de 18 mois d'âge du cacaoyer était corrélé de façon positive au nombre de cabosses produites 4 ans après (Aguilar *et al.*, 2006).

Très peu d'études ont ainsi été réalisées sur la caractérisation de la croissance végétative des cacaoyers juvéniles issus de différentes techniques de multiplication. Ce matériel végétal ne démontrant peu ou pas de caractéristiques de production, il pourrait être intéressant et novateur de voir à un stade juvénile s'il existe des tendances en termes de potentiel de croissance des arbres en fonction de leur génétique et d'environnement. Cela pourrait générer des connaissances pouvant être remobiliser dans quelques années sur les mêmes arbres pour voir si le potentiel de production des cacaoyers est corrélé à un certain état végétatif défini.

[5] PAR : Photosynthetically active radiation : rayonnement utile à la photosynthèse absorbé par le végétal

III- Question d'étude et hypothèses

En s'intégrant dans le cinquième volet d'action du projet C_2G_2, ce rapport tend à caractériser la croissance des cacaoyers juvéniles (issus de greffes ou de semences) au sein de deux contextes de production à savoir des agroforêts ou des systèmes en association avec la banane et l'inga. Cette étude est novatrice puisqu'elle aspire à caractériser la croissance des cacaoyers en phase juvénile dont l'état de production est très peu développé voire inexistant. Ce travail vise donc à mettre en avant des tendances en termes de potentiel de croissance des différents cacaoyers dans le but de générer des connaissances sur les diverses génétiques testées.

L'étude présentée dans ce mémoire s'attachera à répondre à la question d'étude suivante :

« L'analyse des caractéristiques architecturales de jeunes cacaoyers guiana permet-elle de mettre en évidence des indicateurs de croissance pour étudier leur potentiel de développement au sein de deux contextes de production guyanaise ? »

Différentes hypothèses de travail permettront d'étayer ce travail :

-Hypothèse 1 : La création d'une typologie architecturale pour les onze clones (issus de greffes) ainsi que pour les descendances libres (issus de semences) permet d'aboutir à l'identification d'indicateurs liés significativement à la croissance et à la vigueur de l'arbre.

-Hypothèse 2 : Les indicateurs identifiés permettent de différencier l'état végétatif et reproductif des cacaoyers : clones VS clones d'une part et DL d'autre part.

- Hypothèse 3 : Dans les deux contextes de production testés les niveaux des indicateurs identifiés sont différents (réponse des indicateurs à l'environnement)

-Hypothèse 4 : Les résultats de l'analyse des hypothèses 2 et 3 et de leurs interactions permettent de préciser le potentiel agronomique des greffes juvéniles selon le contexte de production.

IV- Matériels et méthodes :

a. Les producteurs partenaires du projet

Le projet C_2G_2 est un projet de recherche appliqué et participatif dont l'objectif est, d'évaluer des systèmes de culture à base de cacaoyers dans divers contextes de production du territoire guyanais. Il rassemble des agriculteurs (cf. figure 21) mais également la station expérimentale du Cirad en Guyane (Combi), le lycée de Matiti (EPLEFPA) ainsi que l'ARAG (Association Rurale Agricole de Guyane), où des greffes de cacaoyer guiana ont été plantées. Sur la figure 21, les agriculteurs participants au projet sont numérotés de 1 à 6 et se trouvent sur les communes de Saül, Saint-Laurent-du Maroni, Kourou ou encore Montsinery-Tonnegrande. Ils ont été sélectionnés après avoir répondu à un appel à manifestation d'intérêt lancé par le Cirad. Deux des agriculteurs partenaires sont également issus de précédents projets conduits par le Cirad sur la variété guiana. Par ailleurs, un agriculteur situé sur la piste de Wayabo dans la commune de Kourou, ne fait pas parti des partenaires directs car il n'a planté que des cacaoyers issus de semences et non des greffes. Les données récoltées sur sa parcelle seront néanmoins exploitées dans le cadre de ce mémoire. Ce producteur n'est pas indiqué sur la carte.

Le nombre de 9 partenaires au total comptant 6 agriculteurs pour le projet C2G2 est principalement dû aux besoins en main d'œuvre en termes d'heures et de budget pour la réalisation de l'ensemble des greffes mais également pour le suivi des parcelles des partenaires sur le terrain.

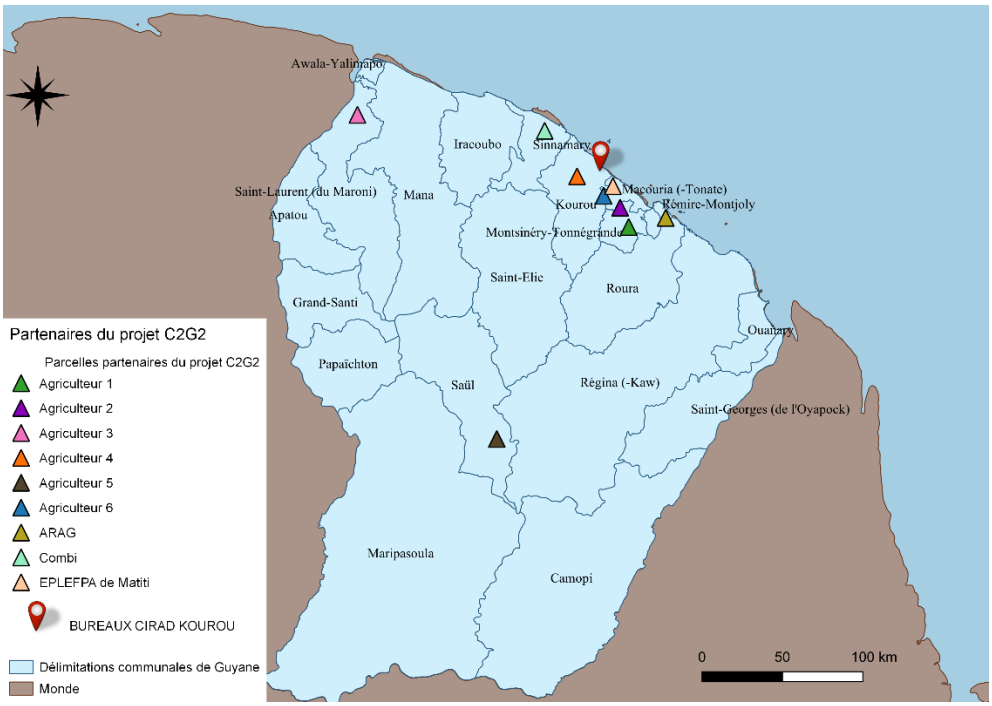


Figure 21 : LOCALISATION DES PARTENAIRES DU PROJET C2G2 SUR LE TERRITOIRE DE LA GUYANE (Mazardin, 2021)

Parmi les trois derniers partenaires, la station expérimentale de « Combi » appartient au Cirad. Elle est située sur la commune de Sinnamary et joue un rôle important dans le projet en tant que responsable de la multiplication végétative par greffage ainsi qu'en tant que gestionnaires de deux parcelles expérimentales à savoir une parcelle de cacaoyers en SAF et une parcelle de cacaoyers associés à de la banane et des ingas. Concernant le lycée de Matiti

(EPLEFPA), il détient une parcelle de cacaoyers en agroforesterie qui est utilisée pour la formation des élèves du lycée et gérée par le chef d'exploitation en collaboration avec un enseignant en production végétale. Enfin, l'ARAG située sur la commune de Rémire-Montjoly, abrite également une parcelle de cacaoyer en système SAF.
Ce dernier partenaire a malheureusement déposé le bilan mi-2020 et l'accès à la parcelle n'est plus possible depuis janvier 2021. Il n'y aura donc pas de résultats présentés concernant la campagne de récolte de données de l'année 2021, mais uniquement sur celle de 2020. Finalement, le tableau 2 permet de faire une synthèse de la nature des exploitations partenaires et révèle qu'elles sont les exploitations au sein desquelles des données ont été récoltées en cette année 2021 pour la réalisation de ce mémoire. Des mesures de cacaoyers réalisées en 2020 à la station Combi, à St Laurent-du-Maroni ou à Saül ont également été prises en compte. Pour ce qui est de Saül, aucune mesure n'a été réalisée pour cette étude en 2021 du fait de l'isolement de la commune (atteignable uniquement par avion) et de la situation sanitaire.

Tableau 2: SYNTHESE DE LA NATURE DES PARTENAIRES DU PROJET C2G2 (Mazardin, 2021)

Identification du partenaire	Nature fonctions	Nature de l'exploitation	Localité	Données récolter dans le cadre du mémoire
ARAG	Association	Système agroforestier	Rémire-Montjoly	NON
Combi	Station expérimentale (CIRAD)	Système agroforestier + Systèmes associé bananes et ingas	Sinnamary	OUI
EPLEFPA Matiti	Lycée agricole	Système agroforestier	Matiti	NON
Agriculteur 1	Agriculteur	Systèmes associés bananes	Montsinéry-Tonnegrande	OUI
Agriculteur 2	Agriculteur	Systèmes associés bananes	Montsinéry-Tonnegrande	OUI
Agriculteur 3	Agriculteur	Système agroforestier	Saint-Laurent-du-Maroni	OUI
Agriculteur 4	Agriculteur	Système agroforestier	Kourou	OUI
Agriculteur 5	Agriculteur	Système agroforestier	Saül	OUI (une vigtaine de donées de 2020)
Agriculteur 6	Agriculteur	Système agroforestier	Macouria	NON (trop de dégâts dus aux attaques de fourmis manioque)
Agriculteur extérieur 1	Agriculteur NON-PARTENAIRE	Système associé bananes	Kourou	OUI (uniquement des descendances libres)

b. Les parcelles et le matériel végétal associé

L'intérêt de cette étude dans le cadre du projet C_2G_2 est de caractériser la croissance, d'une part des clones, et de l'autre des descendances libres au stade juvénile, selon leur contexte de production.

La mise en place puis la gestion quotidienne des cacaoyères chez l'ensemble des partenaires ont été plus ou moins laissées à l'appréciation des agriculteurs qui avaient pour seule contrainte de planter les onze clones en bloc avec une densité de 3x3m. L'intérêt des blocs étaient de pouvoir planter de façon à avoir des répétitions à hauteur de 8 répétitions par clones dans chaque bloc.

Comme l'indique le tableau 2, il existe deux types de systèmes de culture choisis par les agriculteurs dans le cadre de cet essai : (i) le système agroforestier à base de cacaoyers (SAFc) qui résulte généralement du défrichement partiel et sélectif d'une forêt secondaire[6] et de son sous-bois ; (ii) le système à base de cacaoyers associés à la banane et la légumineuse arborescente, l'inga, appelée aussi « sucrin ».

Quelle que soit la nature du système de culture, deux types de matériels végétaux y sont implantés : des cacaoyers « clonés » et des cacaoyers de « descendances libres ». La figure 22 illustre le protocole expérimental d'installation théorique pour un système associant des bananiers et des ingas aux cacaoyers. Ce schéma d'installation s'adapte aux systèmes agroforestiers. Il comprend alors plus de diversités d'espèces d'arbres et plus de strates. L'implantation des systèmes a été effectuée il y a au moins 18 mois chez les producteurs.

i. MATERIEL VEGETAL : NATURE DES CACAOYERS DU PROJET C2G2

- *Cacaoyers greffés – Clones :*

Onze clones dont le potentiel agronomique et de résistance à certaines maladies ont été prétestés lors de précédentes études ont été sélectionnées pour intégrer ce projet (Lachenaud *et al.*, 2007, 2015; Clément & Lachenaud, 2018). Ces clones ont été numérotés comme suit : « 3, 6, 7, 29 ,41 ,48 ,59 ,62 ,83 ,141 ,148 ». Ces clones reproduit par greffage en fente terminale, sont (théoriquement) disposée en ligne à hauteur de huit répétitions par ligne dans chaque bloc de chaque parcelle expérimentale (cf. figure 22). En effet la plantation des cacaoyers a été effectuée par les partenaires qui n'ont pas toujours pu suivre ce schéma avec régularité (cf. annexes 1 à 8). Ce dispositif par bloc ne change pas qu'il s'agisse d'un système SAF ou associé, la différence se fait donc au niveau de la structure du système en lui-même (nombre d'arbres associés, nature, nombres de strates etc…). De même que ce schéma est expérimental, il n'y a pas toujours autant d'ingas que de bananiers, les bananiers ayant vocation à être supprimés au fur et à mesure de l'ombre apporté par les ingas.

- *Cacaoyers de descendances libres*

Selon le protocole, les cacaoyers de descendances libres issus de semences élevées en pépinière sont plantés autour des blocs de greffes (cf. figure 22). Cependant, certains partenaires ont choisi de les planter dans des blocs identifiés afin de les regrouper au même endroit. Cela dépend finalement de la place accordée dans les parcelles et de la conduite que décident de tenir les agriculteurs.

[6] Forêt secondaire : à l'inverse d'une forêt primaire c'est une forêt qui a subi des perturbations naturelles ou humaines (Hallé, 2013).

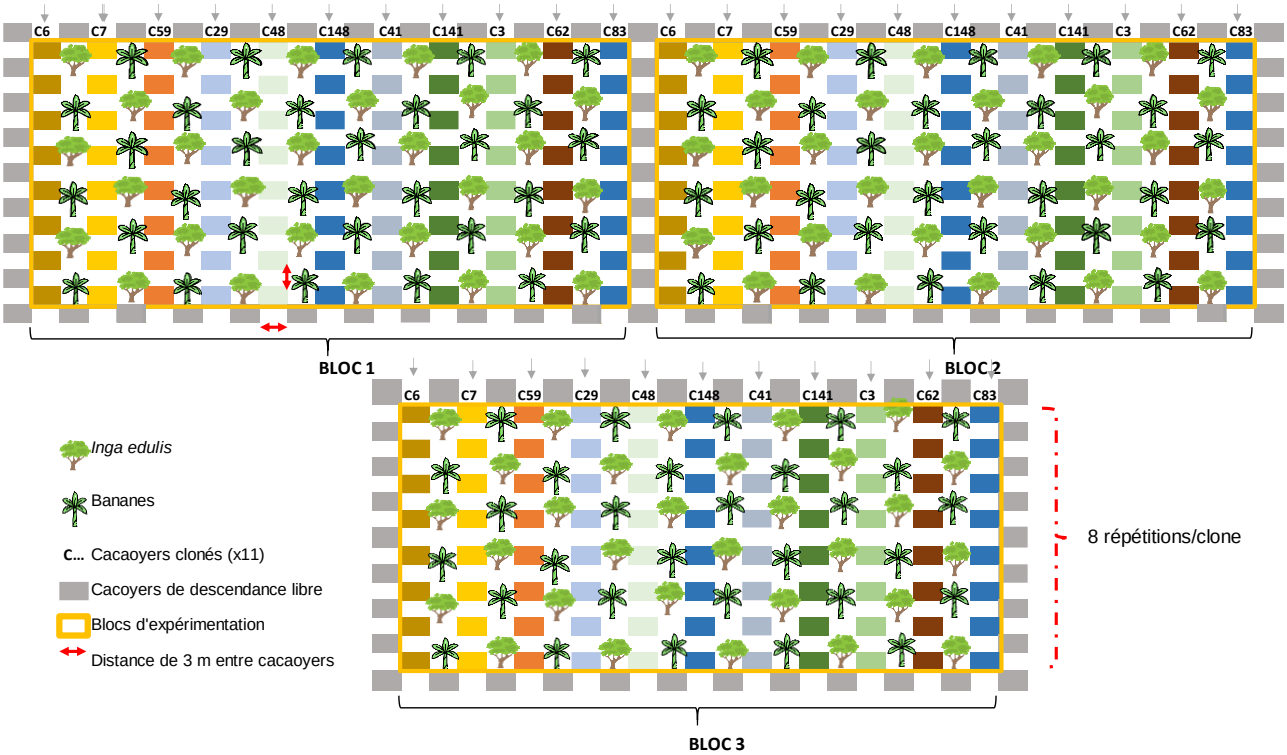


Figure 22: SCHEMA DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL POUR L'INSTALLATION D'UNE CACAOYERE (projet C2G2) (Mazardin, 2021)

ii. METHODOLOGIE DE RECOLTE DES DONNEES SUR LA PERIODE DE FEVRIER A AOUT 2021

- *Illustration des systèmes étudiés*

Bien qu'il existe un protocole théorique d'installation des cacaoyères, deux paramètres sont importants à prendre en compte pour comprendre les différences observables entre les différents sites expérimentaux ainsi que le choix des arbres à étudier dans le cadre de ce mémoire :

- « La conduite technique » adoptée par chaque partenaire : en effet, la préparation des parcelles et la plantation des cacaoyers sont laissées à l'appréciation des agriculteurs. Ainsi, ces derniers peuvent choisir de ne pas planter de DL autour des blocs mais en bloc(s) différencié(s).
- « La topographie des parcelles » empêche les lignes de clones d'être toujours droites.

Les procédés expérimentaux mis en place au sein des parcelles partenaires n'ont pas conduit à mesurer l'ensemble des blocs chez chaque partenaire. Cela s'explique notamment par une forte mortalité du matériel végétal ou une croissance trop faible de certains arbres. En effet, l'ensemble des cacaoyers plantés avaient tous plus d'un an lors du début des mesures en février 2021 mais présentaient, dans certains sites expérimentaux, une forte mortalité ou des difficultés de croissance dues aux conditions pédoclimatiques ou au bioagresseurs (par exemple au lycée Matiti (fort ombrage et concurrence au sol) ou chez l'Agriculteur 6 (nombreux dégâts dus aux fourmis manioc)). Ces problématiques de croissances et de mortalités ont conduit à redéfinir les blocs au sein des parcelles pour réaliser la prise de mesure (annexe 1 à 8). Ainsi, la figure 23 ci-dessous présente le nombre de cacaoyers (DL et/ou greffes)

analysés chez chaque partenaire, sans tenir compte des blocs. Les données concernent la campagne de février à août 2021 ainsi que la campagne de 2020 pour l'agriculteur 3, l'ARAG et Combi (greffes) ainsi que pour les agriculteurs 3, 5 et Combi (descendances libres).

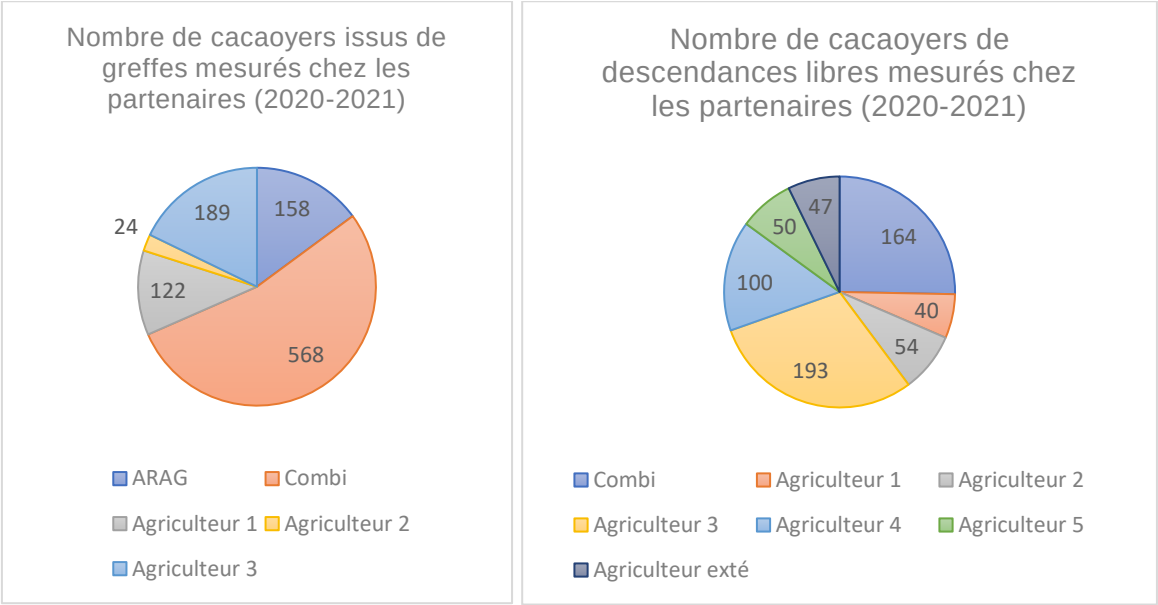


Figure 23: NOMBRE DE GREFFES ET DE DL ANALYSES ENTRE 2020 ET 2021 DANS LES PARCELLES PARTENAIRES DU PROJET (Mazardin, 2021)

La méthodologie d'étude choisie dans ce mémoire pour tenter de répondre à la question d'étude, s'attache à réaliser des mesures sur les cacaoyers ainsi que sur leur environnement associé. La figure 23 ci-dessus, met en avant le fait que 1061 greffes de cacaoyers ont été analysés entre les exploitations de trois agriculteurs ainsi que sur la station expérimentale de Combi et à l'ARAG de 2020 à 2021. Pour ce qui est des DL, 648 cacaoyers ont été analysés sur les exploitations de 5 agriculteurs partenaires, chez un agriculteur « extérieur » n'ayant planté que des DL ainsi que dans la station expérimentale de Combi de 2020 à 2021. La nature des mesures réalisées sur l'ensemble des cacaoyers sera décrite dans le paragraphe suivant (cf.$ « Mesures effectuées sur les cacaoyers »). Enfin, le tableau 3 ci-dessous permet de connaître le nombre de cacaoyers mesurés en fonction de leur nature et du contexte de production dans lequel ils se trouvent.

Tableau 3: REPARTITION DU NOMBRE DE DL OU DE GREFFES EN FONCTION DU CONTEXTE DE PRODUCTION (Mazardin, 2021)

Contexte de production	Nombre de greffes	Nombre de DL
Système SAF	591	507
Système BAN	470	141

La figure 24 vient récapituler les caractéristiques des exploitations partenaires, et notamment préciser les apports organiques et/ou chimiques réalisés par les agriculteurs. De manière générale, qu'ils soient organiques ou chimiques, les apports sont réalisés dans une majorité de sites sauf au sein de l'agro forêt de l'Agriculteur 4. Néanmoins, il n'est pas renseigné à quelle fréquence ils sont effectués ni avec quel nature de fertilisant.

Enfin pour les sites dans lesquels avaient déjà été réalisés des mesures en 2020 et qui ne se trouvent pas sur cette figure 24, le site de Saül (agriculteur 5) est en système agroforestier avec 1 bloc de descendances libres mesuré. Le site de l'ARAG est en système agroforestier avec deux blocs de DL mesurés dans l'année 2020.

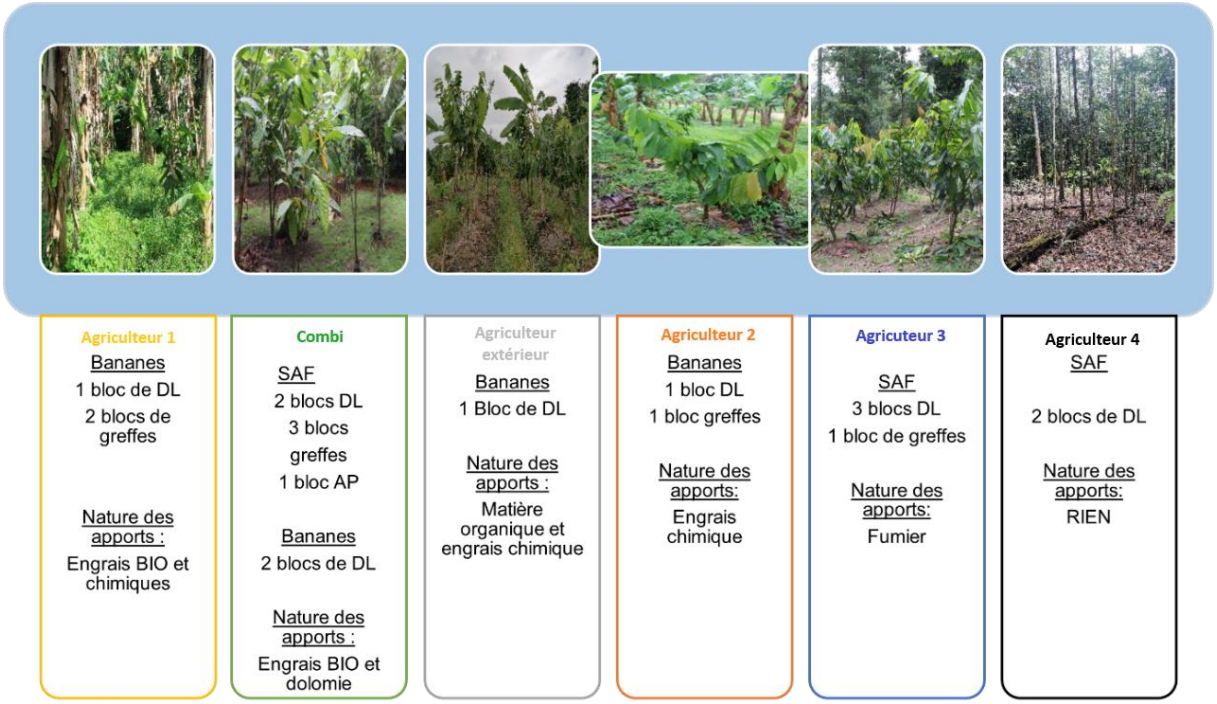


Figure 24: PRESENTATION DES EXPLOITATIONS AYANT FAIT L'OBJET DE RELEVES DE DONNEES ENTRE FEVRIER ET AOUT 2021 (Mazardin, 2021)

c. Mesures effectuées sur les cacaoyers

Afin d'évaluer les systèmes de cultures étudiés au travers de l'analyse des caractéristiques architecturales des cacaoyers et ainsi être en mesure de donner des indications sur le potentiel de développement de la variété guiana, les mesures effectuées sur les DL et sur les greffes ne sont pas les mêmes de par leurs différentes architectures. Ces deux matériels végétaux n'ayant pas une croissance similaire puisque l'un est issu d'une greffe et l'autre d'une semence, ils ont été décrits de façon différente. Les instruments utilisés pour mesurer les diamètres et hauteurs sont respectivement : un pied à coulisse et une règle de 5 mètres.

- *Greffes – onze clones*

Afin d'effectuer les mesures sur les clones, la structure de l'arbre a été réfléchie sous l'angle de ses branches directives. Les branches sont numérotées dans l'ordre de leur distance au sol (la plus proche du sol étant la première branche).

Concernant le développement végétatif de l'arbre, les données mesurées sous la première branche directive sont le diamètre au collet, le diamètre sous la branche 1, la hauteur sous la branche 1 et la hauteur du tronc original visible par le bourrelet de greffe. Il s'agit ensuite de compter le nombre de branches directive et de donner leur nature à savoir « plagiotrope » ou « orthotrope ». La figure 25 compte 3 branches directives dont deux plagiotropes (B1 et B2) et une branche orthotrope (B3).
Pour chacune de ces banches identifiées, il s'agit de renseigner le nombre de couronnes portées et leurs hauteurs, ainsi que le diamètre à la base de la branche et sa hauteur. Ainsi, la hauteur de la branche plus haute correspondra à la hauteur totale de l'arbre (cf. figure 25).

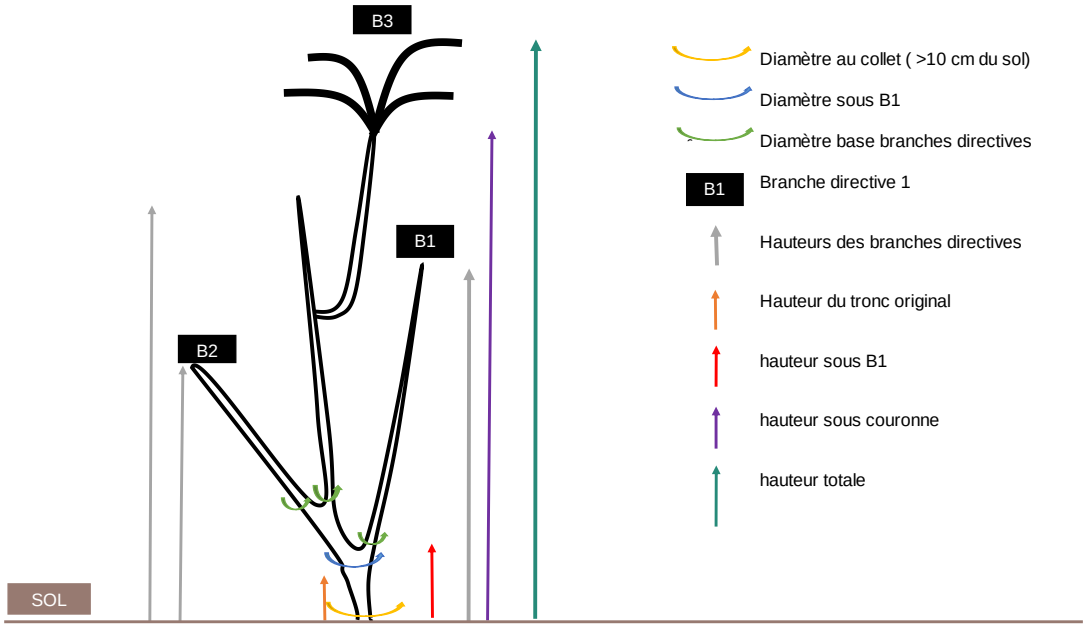


Figure 25: SCHEMA DE MESURES ARCHITECTURALES RELEVEES SUR CLONES (Mazardin,2021)

Des mesures pour qualifier l'état reproductif de l'arbre ont également été effectuées. Pour chaque branche, le nombre de chérelles, chérelles mortes, cabosses et cabosses perdues (piquées ou pourries) a été comptabilisé. Il est ainsi possible de faire la somme des données de production pour chaque cacaoyer afin d'avoir une idée de l'état productif global de l'arbre à un instant donné.

- *DL- descendances libres*

Les relevés de l'état reproductif des DL, sont identiques à ceux effectués sur les clones mais ils sont évalués par étages et non pas par branches.
En effet, l'architecture des descendances libre est classique, l'arbre a donc une croissance verticale permise par le développement de rejets orthotropes à l'aisselle des premières couronnes ou de façon plus sporadique à partir d'axes plagiotropes.

L'ensemble des relevés effectués sur les DL sont donc issus d'une réflexion par étage. Concernant les données végétatives, la partie basse de l'arbre est classée selon deux typologies : « la typologie 1 » qui signifie que la croissance de l'arbre se fait par un tronc simple et « la typologie 2 » qui signifie que l'arbre porte une fourche (2 ou 3 troncs). Dans le premier cas, il s'agit simplement de prendre une mesure du diamètre au collet. Dans le second cas,

les mesures constitueront à relever le diamètre au collet, le diamètre sous la fourche et la hauteur sous la fourche (cf. figure 26).
Pour chaque étage on relèvera le nombre de couronne(s), leur hauteur, le diamètre à leur base ainsi que le nombre de branches qu'elles portent. A partir de l'étage 2, on s'attachera à caractériser la position tronc inférieur portant les couronnes observées. Enfin, il existe des cacaoyers portant des fourches au-delà de l'étage 0 ou 1. Afin de renseigner cette particularité architecturale, la fourche sera intégrée à l'étage associée selon les mesures suivantes : hauteur sous la fourche, diamètre sous la fourche et nombre de branches de la fourche.

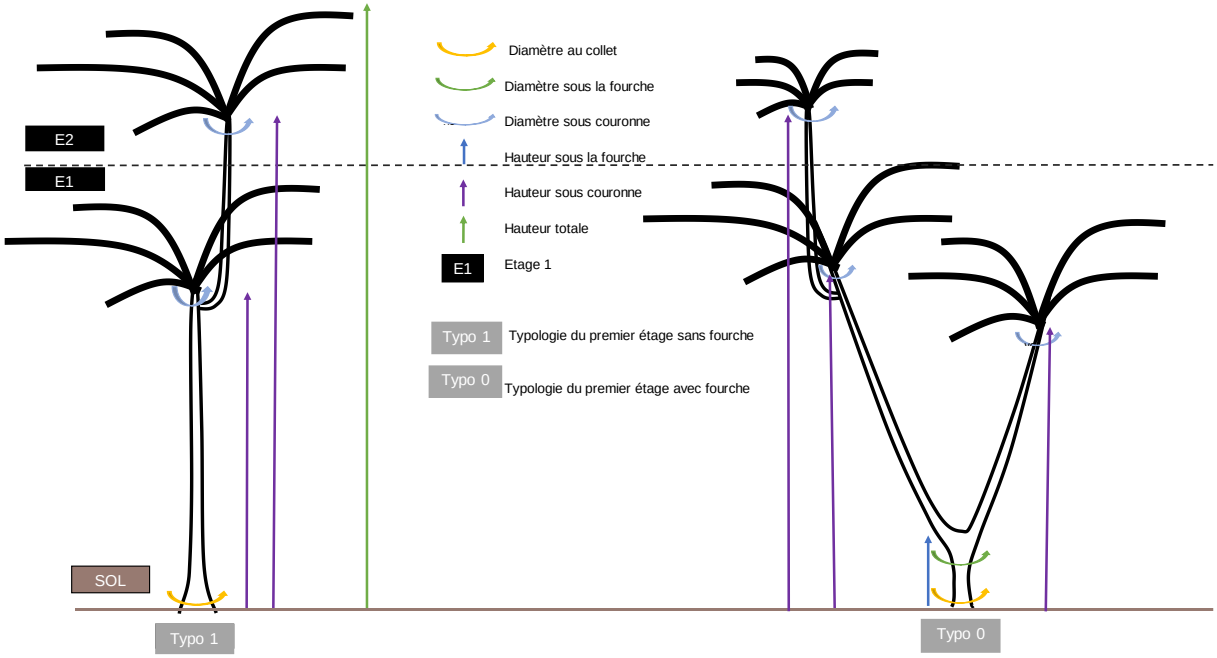


Figure 26: SCHEMA DES MESURES ARCHITECTURALES RELEVEES SUR LES CACAOYERS DE DESCENDANCES LIBRES (Mazardin, 2021)

d. Mesures effectuées sur l'environnement associé :

Deux contextes de production associés à la culture du cacao ont été identifiés dans le cadre de ce projet : (i) un système dit « système agroforestier à base de cacaoyers », ou « SAFc », qui consiste à conduire la cacaoculture en association avec différence essences d'arbres issues de la défriche partielle d'une forêt secondaire et de sous-bois ; et (ii) un système de culture où bananiers et/ou ingas sont associés à la culture du cacao.
Afin de caractériser ces systèmes et de pouvoir les différencier statistiquement, plusieurs indicateurs tels que l'ombrage, la surface terrière occupée par les arbres associés ainsi que leur hauteur ont été évalués. La définition d'un arbre associé dans le cadre de cette étude correspond à un arbre qui se situe dans un rayon inférieur ou égal à 3 mètres du cacaoyer étudié. Ceci est valable pour les deux types de systèmes rencontrés et s'appliquent seulement aux cacaoyers sur lesquels des mesures ont été pratiquées.

- *Indicateurs d'ombrage - FCOVER :*

Afin d'indiquer le niveau d'ombrage perçu par les cacaoyers dans les parcelles, le logiciel « CANEYE » développé par l'INRAE a été utilisé (Inrae, 2020). Il s'agit de prendre une photo de la canopée avec un appareil photo dont l'objectif est orienté à 0° verticalement par rapport

au sol et placé à 125 cm de hauteur (cf. figure 27). Le nombre de photos a été évalué en fonction du nombre de pieds de cacaoyers présents dans les blocs analysés (cf. annexe 9). Ainsi, lorsque les blocs étaient grands ils ont été divisés de façon à avoir environ 6 à 12 photos pour un nombre de pieds allant de 18 à 42 pieds de cacaoyers. Les emplacements des photos sont disposés de façon à couvrir l'ensemble de la parcelle ou du bloc analysé de manière à capter au mieux l'hétérogénéité de fermeture de canopée et obtenir un pourcentage du couvert moyen par contexte de production. Le choix du nombre de photos par bloc est donc proportionnel au nombre de pieds, le maximum autorisé par le logiciel étant de douze photos par échantillon. La figure 28 illustre le protocole de prise d'images effectué au sein de la parcelle de cacaoyers associés à des bananes et des ingas de la station Combi.

Concernant le traitement des photos, le logiciel « CANEYE » analyse les images selon une quantité de pixels perçu. Ainsi la part de pixels bleus expriment la part de lumière qui transperce de la canopée et la part de pixels verts sur le nombre de pixels total s'attache à donner un pourcentage de couverture offert par la canopée sur les cacaoyers. Il est important que les photos prises ne prennent pas en compte les feuilles de cacaoyers car celles-ci pourraient être comptées comme une partie de la canopée par erreur. La figure 29 indique un pourcentage moyen de 78.95% de couverture de canopée sur le sous bloc 1 du bloc 1 de greffes (cf. figure 28) de la parcelle de cacaoyers associés à la banane sur la station Combi.

Figure 27: POSITION DE L'APPAREIL POUR LES PRISES DE PHOTOS DE LA CANOPEE (Mazardin, 2021)

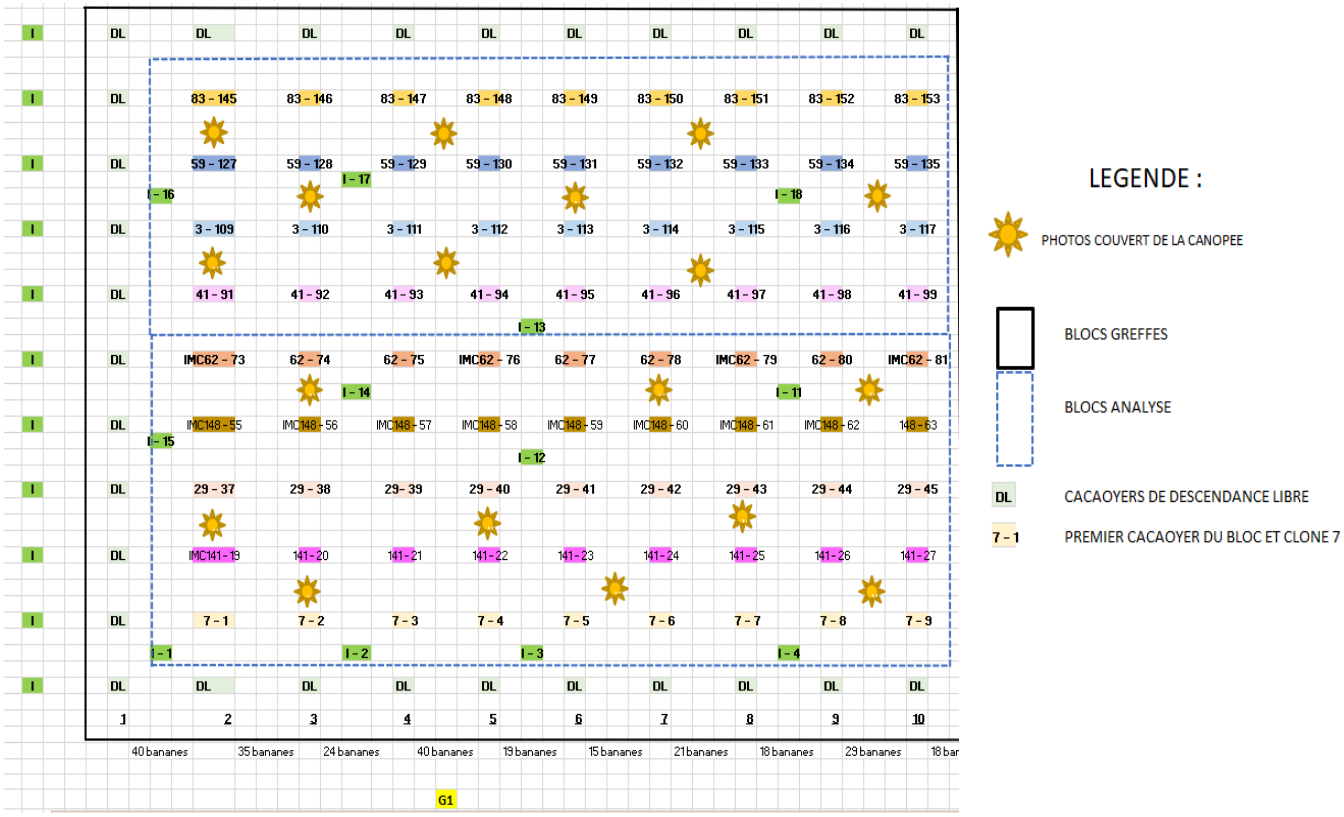


Figure 28: BLOC 1 DE GREFFES DIVISE EN 2 BLOCS D'ANALYSE PHOTOS SUR LA PARCELLE ASSOCIEE A LA BANANES A LA STATION COMBI (Decayeux & Mazardin, 2021)

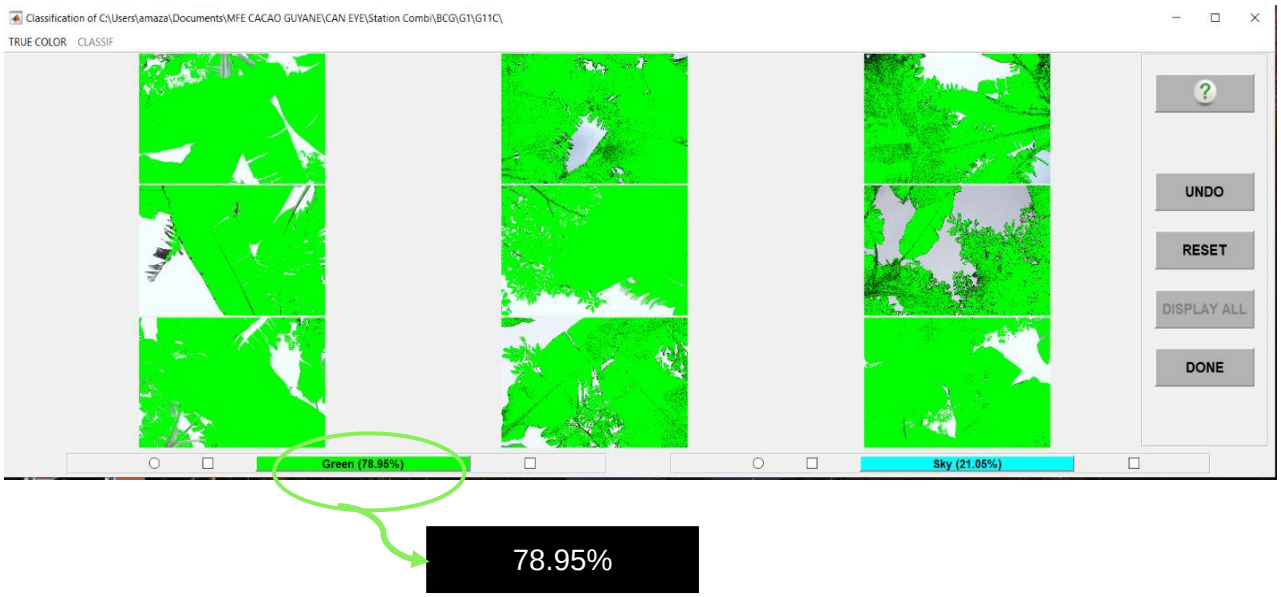


Figure 29: ILLUSTRATION DE L'UTILISAITON DU LOGICIEL CAN EYE POUR LE SOUS BLOC 1 DU BLOC 1 DE GREFFES DE LA PARCELLE ASSOCIEE A LA BANANES SUR LA STATION COMBI (Mazardin,2021)

- *Caractérisation des espèces associées (hauteur, diamètre, surface terrière…)*

- Parcelles de cacaoyers associés à des bananes et des ingas – « Système BAN » :

Les deux espèces associées dans ces systèmes sont de natures différentes, en effet, le bananier est une plante herbacée qui permet de fournir de l'ombre aux cacaoyers mais qui n'a pas pour vocation de se pérenniser au sein de la parcelle. A l'inverse l'*Inga edulis (*sucrin) est une légumineuse arborescente pérenne. L'ombrage qu'elle fournit a pour vocation, à termes, de remplacer celui des bananiers.

Les mesures prises sur les bananes concernent seulement leur hauteur. Ces dernières ne sont pas considérées comme des espèces pérennes associées c'est pourquoi elles sont mesurées lorsqu'elles sont comprises dans un rayon inférieur ou égal à 3 mètres par rapport au pied de l'appareil photo utilisé pour les mesures d'ombrage (cf. figure 30). Ces mesures permettent alors de générer une hauteur moyenne des bananes à l'échelle des blocs ou des parcelles. Elles sont réalisées à l'aide d'une règle de 5 mètres ou d'un dendromètre.

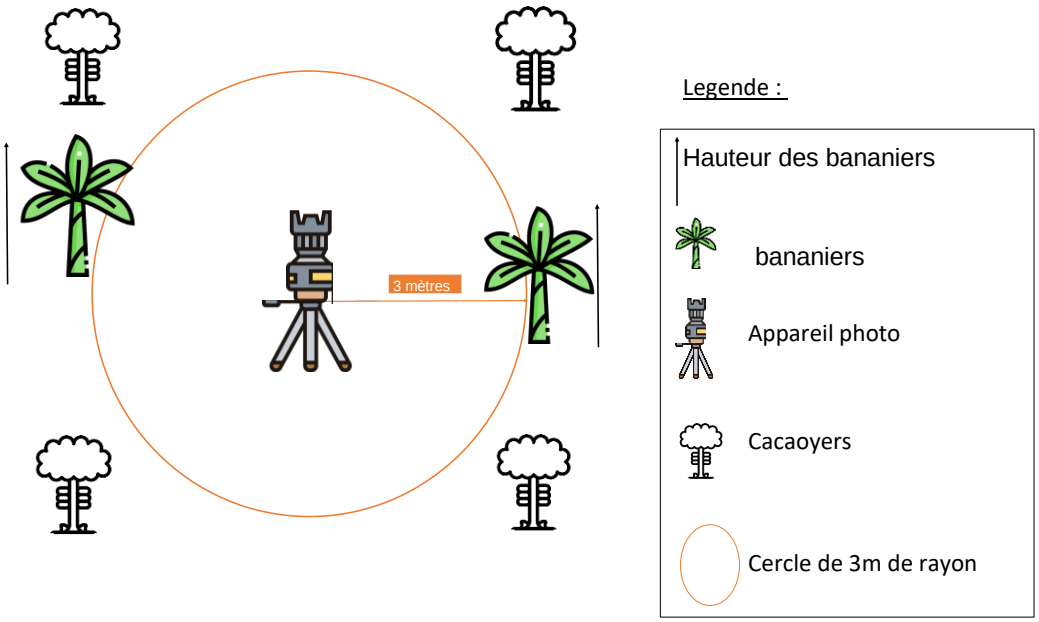


Figure 30: SCHEMA DU DISPOTIF DE MESURE DE LA HAUTEUR DES BANANIERS PAR RAPPORT A LA PRISE DE PHOTO DE LA CANOPEE (Mazardin, 2021)

Les ingas sont considérés comme des arbres associés à partir du moment où ils se situent à une distante inférieur ou égale à 3 mètres des cacaoyers. Les cacaoyers ainsi que les ingas concernés sont renseignés sur les plans de parcelle en annexes. Les mesures réalisées sur ces arbres associés concernent la circonférence de leur tronc à 1.30 m du sol qui permet de calculer la surface terrière occupée, ainsi que leur hauteur totale. La circonférence est mesurée à l'aide d'un décamètre.

- Parcelles de cacaoyers au sein d'une agroforêt :

Dans les systèmes agroforestiers, les arbres associés ont été définis de la même façon que dans le système associé à la banane et à l'inga, c'est-à-dire lorsqu'ils se trouvaient à une distance inférieure ou égale à 3 mètres des pieds de cacaoyers. Les mesures réalisées sont également similaires puisque les cacaoyers associés à chaque arbre ont été renseignés. De plus, l'ensemble des arbres associés ont été mesurés pour leur hauteur et pour la circonférence de leur tronc à 1.3 mètre du sol dans le but de calculer la surface terrière.

f. Méthodes statistique envisagée

Le traitement des données a nécessité l'utilisation du logiciel R (R Core team, 2017) ainsi que du logiciel Xlstat (Addinsoft, 2021).

- *Méthodologie statistique pour l'hypothèse 1 : « La création d'une typologie architecturale pour les greffes ainsi que pour les DL permet d'aboutir à l'identification d'indicateurs liés significativement à la croissance et à la vigueur de l'arbre »*

Pour les greffes, 55 variables qualitatives et quantitatives concernant les croissances productives et végétatives ont été mesurées. Parmi elles, 29 variables de croissance végétative ont été sélectionnées puis analysées au travers d'une analyse en composante principale de manière à relever les corrélations et l'importance de l'information portée par les variables (cf. figure 31). Les 26 variables qui n'ont pas été sélectionnées étaient des variables de croissance productives ainsi que des variables concernant les branches directives 3 et 4 dont la quantité de données était moindre. De plus le choix de ne pas analyser la production des arbres à ce stade de l'étude vient de l'idée de pouvoir réaliser cette typologie en tout temps de l'année soit à partir de variables tout le temps mesurable. Ainsi, pour les greffes, les variables retenues considérant un maximum de 4 branches directives sont les suivantes :

- Diamètre au collet
- Diamètre sous la première branche
- Hauteur sous la première branche
- Hauteur du tronc original
- Hauteur totale du cacaoyer
- Nombre de branches directives
- Nature des branches directives (*4)
- Nombre de couronnes sur chaque branches directives (*4)
- Diamètre à la base de chaque braches directives (*4)
- Hauteur totale de chaque branches directives (*4)
- Hauteur de la couronne 1 de la branche 1
- Hauteur de la couronne 2 de la branche 1
- Hauteur de la couronne 3 de la branche 1
- Hauteur de la couronne 1 de la branche 2
- Hauteur de la couronne 2 de la branche 2
- Hauteur de la couronne 1 de la branche 3
- Hauteur de la couronne 1 de la branche 4

Variables de Diamètre

Variables de Hauteur

Variables qui ne sont pas classables

(*4) : les valeurs de variables sont retenues pour les 4 branches directives

Des raccourcis pourront être utilisés dans le mémoire comme B1, B2, B3, B4 pour branche 1, 2,3 ou 4. Le raccourci « dia » sera également utilisé pour évoquer le diamètre. Enfin des abréviations tels que E1, E2 ou E3 signifieront les étages de l'arbres (pour les descendances libres).

Pour les cacaoyers de descendances libres, 58 variables ont été mesurées lors de la phase de terrain. Pour les mêmes raisons décrites précédemment, seuls 26 variables ont été

sélectionnées pour le traitement des données. Un ACP a été réalisée sur ces 26 variables et 32 variables n'ont pas été retenues car elles correspondaient à la croissance productive des cacaoyers ou bien qu'elles ne comptaient pas assez de mesures notamment pour les étages 3 et 4. Les 26 variables retenues en prenant en compte un maximum de 4 étage sont les suivantes :

- Diamètre au collet
- Hauteur totale du cacaoyer
- Typologie du premier étage (tronc ou fourche)
- Hauteur de la fourche de à l'étage 0 (si « typologie premier étage » = fourche)
- Diamètre sous la fourche à l'étage 0 (si « typologie premier étage » = fourche)
- Nombre de couronnes par étages (étage 1, 2 et 3) (*3)
- Nombre de troncs par étage (étage 1, 2 et 3) (*3)
- Hauteur des couronnes de l'étage 1 (*2)
- Diamètre sous les couronnes de l'étage 1 (*2)
- Nombre de branche sur les couronnes de l'étage 1 (*2)
- Hauteur de couronnes de l'étage 2 (*2)
- Nombre de branches dans les couronnes de l'étage 2 (*2)
- Diamètre sous les couronnes de l'étage 2 (*2)
- Hauteur sous la fourche de l'étage 2
- Diamètre sous la fourche de l'étage 2
- Nombre de troncs de la fourche de l'étage 2

Variable concernant la typologie du premier étage

(*2) : concerne les variables relatives aux couronnes lorsqu'il y en a plusieurs pour une même variable donnée ici

Il est important de préciser que pour pallier aux données manquantes sur les variables sélectionnées, la fonction « imputePCA » du package « missMDA » sera utilisée dans R avant de réaliser les ACP. Cette manipulation sera réalisée pour les greffes ainsi que pour les DL. Cette fonction permet de remplacer les valeurs manquantes à l'aide de l'algorithme itératif de l'analyse en composante principale (Josse & Husson, 2012, 2016) (cf.figure 31).
À la suite de la réalisation de l'ACP, il s'agira d'effectuer une classification hiérarchique ascendante. Cette analyse permet de classer les cacaoyers selon différents groupes en fonction de leur croissance végétative. Sur le logiciel R, la fonction utilisée est « HCPC ». Il s'agit d'une fonction qui combine la classification ascendante hiérarchique ainsi que la méthode des k-means (classement des individus en K groupes, K représentant le nombre optimal de groupes) avec les résultats de l'ACP (RDocumentation, 2021). Le nombre de groupe sera sélectionné par le critère de Ward qui différencie l'inertie entre les groupes d'individus. Ainsi, si l'inertie entre les groupes 2 et 3 est plus élevé que l'inertie entre les groupes 3 et 4 alors on sélectionnera 3 groupes.

Enfin, la dernière étape pour répondre à cette première hypothèse consistera à savoir quels sont les indicateurs de croissance significatifs. C'est-à-dire, qu'elles variables de croissances végétatives utilisées pour aboutir à la typologie (pour les greffes et les DL) ont un niveau significativement différent entre les groupes de cacaoyers de cette typologie. En effet, comme son nom l'indique, la CAH ou classification ascendante hiérarchique devrait permettre de mettre en évidence des groupes au travers desquels les variables de croissance végétative suivent un gradient croissant, le dernier groupe ayant l'état de croissance végétative le plus développé. Ainsi, être en mesure de confirmer que certaines variables sont des indicateurs de croissance reviendrait à dire qu'ils permettent de différencier les groupes comme des stades de croissance significatifs. La méthode utilisée pour cela est l'ANOVA ou l'analyse de la variance entre la variable « Typologie » (qualitative) et chacune des variables végétatives. Cette analyse doit remplir plusieurs conditions pour être effectuée. En effet, les variables

doivent être reparties selon la loi normale et présenter une homogénéité des résidus ou (homoscédasticité). La première condition se teste au moyen d'un test de « Shapiro ». Cependant, lorsqu'un échantillon de données est de taille importante, différentes études ont montré qu'il ne s'agissait pas d'une condition indispensable pour la réalisation de l'ANOVA (Vaudor, 2015; Tsagris & Pandis, 2021).

La condition pour laquelle il n'est pas possible de passer outre dans la réalisation d'une ANOVA, qu'elle soit à un ou deux facteurs, est l'homoscédasticité des résidus. Elle se vérifie au moyen d'un test de « Levene » (Kassambara, s. d.). Lorsque les données ne présentent pas d'homoscédasticité, il est d'usage de les transformer en appliquant les fonctions « log(x) », « 1/(x) » ou encore « $(x)^{1/2}$ » afin que cette condition soit appliquée. Autrement, dans le cas d'une ANOVA à un facteur il existe une alternative consistant à l'analyse de la variance des rangs des données réalisée à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis. Seulement, il n'existe pas d'alternative pour une ANOVA à deux facteurs. Il faudra alors la réduire en deux ANOVAs à un facteur ou constituer des groupes croissants de ces deux facteurs.

Dans le cas de l'hypothèse 1, il y aura seulement des ANOVAs à un facteur sur l'ensemble des variables végétatives testées pour réaliser la CAH des greffes et la CAH des DL. Ainsi, si celles-ci ne répondent pas à l'hypothèse de l'homoscédasticité et ce malgré la transformation des données pour chacune d'entre-elles, le test effectué sera un Kruskal-Wallis.

Pour conclure, des tests de « Tukey » seront réalisés sur les ANOVAS paramétriques de même que des tests de « Dunnettt » seront réalisés sur les analyses de variance des rangs. Ces tests permettront de classer les données testées dans des groupes statistiques en fonction de la typologie des cacaoyers. L'ensemble de cette réflexion est présentée dans le schéma de la figure 31.

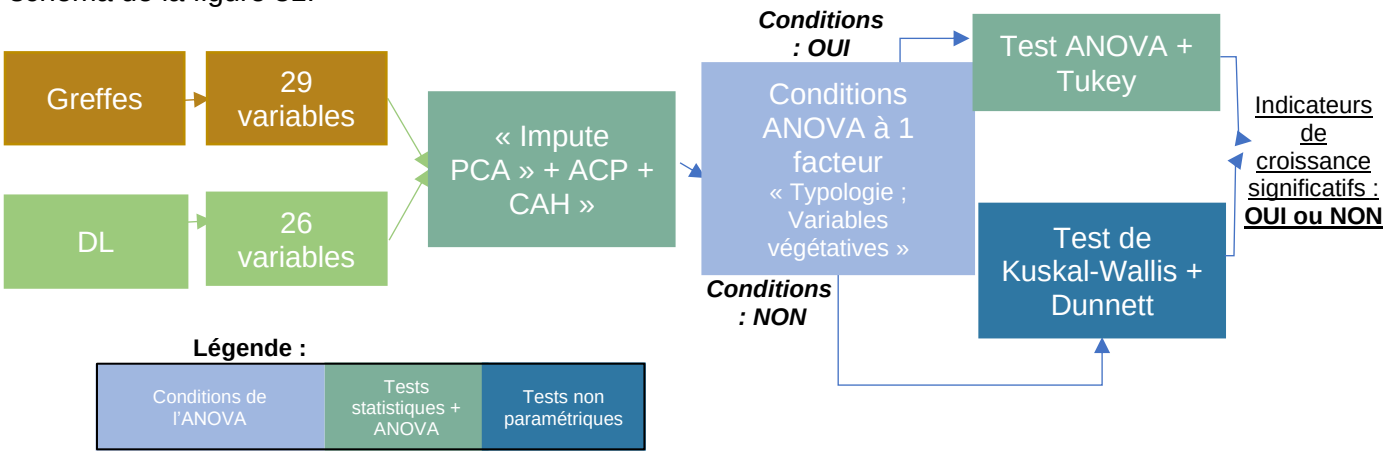


Figure 31: SCHEMA DU RAISONEMENT STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 1 (Mazardin, 2021)

- *Méthodologie statistique –hypothèse 2 : « Les indicateurs identifiés permettent de différencier l'état végétatif et reproductif des cacaoyers : clones VS clones d'une part et DL d'autre part. »*

Pour le travail statistique effectué sur les greffes, il s'agit tout d'abord de faire un test du Khi-Deux sur un tableau de contingence faisant la synthèse du nombre absolu de chacun des clones au sein des groupes de typologies déterminés précédemment. Ce test du Khi-deux sera alors suivi du test de Fisher afin de faire des comparaison deux à deux et ainsi observer si certaines greffes sont significativement présentes dans certains groupes issus de la typologie de croissances végétatives (cf. figure 32). Pour ce qui est des indicateurs de croissance reproductives, ils sont regroupés autour de 5 variables à savoir : le nombre de

fleurs totale par arbre ; le nombre total de chérelle ; le nombre total de chérelles mortes ; le nombre total de cabosses ; le nombre total de cabosses pourries ou piquées.

Afin de savoir si ces indicateurs permettent de différencier les greffes entre elles, une ANOVA à deux facteurs entre la typologie (variables végétatives) et les greffes par rapport à l'ensemble des variables de production doit être réalisée. Il s'agit de voir si les interactions entre la typologie et les greffes par rapport aux cinq variables de production sont significatives ou non. Si les tests de conditions de l'ANOVA à deux facteurs ne sont pas remplis alors il s'agira de faire une ANOVA à un facteur en créant une variable nommée « COMBINAISON » qui combinera le numéro de la greffe et le groupe de typologie auquel elle appartient et de la comparer à chacune des variables de production pour les greffes et les DL. Si les conditions de l'ANOVA sont remplies alors ce test sera suivi d'un test de Tukey afin de savoir si certaines des interactions sont significatives en termes de production. A l'inverse, si les conditions ne sont pas respectées, il s'agira de faire une analyse de la variance des rangs au moyen d'un test de Kruskal-Wallis suivi d'un test de Dunnett.

Enfin, pour visualiser les résultats de cette hypothèse pour les greffes, il est possible de réaliser un ACP sur les 5 variables de productions puis d'ajouter comme variables qualitatives supplémentaires la variable « COMBINAISON » correspondant aux greffes en fonction de leur groupe de typologie. Cela permettra d'illustrer le comportement productif de l'ensemble des greffes par rapport à la répartition des états végétatifs des greffes dans leur groupe de typologie.

Pour ce qui est des DL, il n'y a pas de dimension génétique à tester puisque l'on ne connaît pas précisément les parents (il s'agit à chaque fois de deux cacaoyers guiana issus de la collection de la station Combi). Cependant, il est intéressant de vérifier avec une ANOVA à un facteur si l'interaction entre la typologie végétative et les quatre variables de productions (nombre total de fleurs, de chérelles, de chérelles wiltées et de cabosses) est significative. La variable du nombre de cabosses pourries ne sera pas conservée dans l'analyse puisqu'elle est toujours égale à zéro. Pour chacune des quatre variables il faudra vérifier si l'ANOVA à un facteur est réalisable sinon il faut passer par un test de Krustal-Wallis suivi d'un test de Dunnett. On représentera ensuite, au moyen d'un ACP, ces quatre variables en plaçant l'ensemble des cacaoyers en fonction de leur groupe d'appartenance de typologie végétative. Ce travail effectué sur les DL permet donc de savoir si ces cacaoyers se comportent de façon logique ou non en fonction de la typologie végétative ainsi qu'en fonction de la nature des interactions entre les variables reproductives et végétatives (comprises dans la typologie).

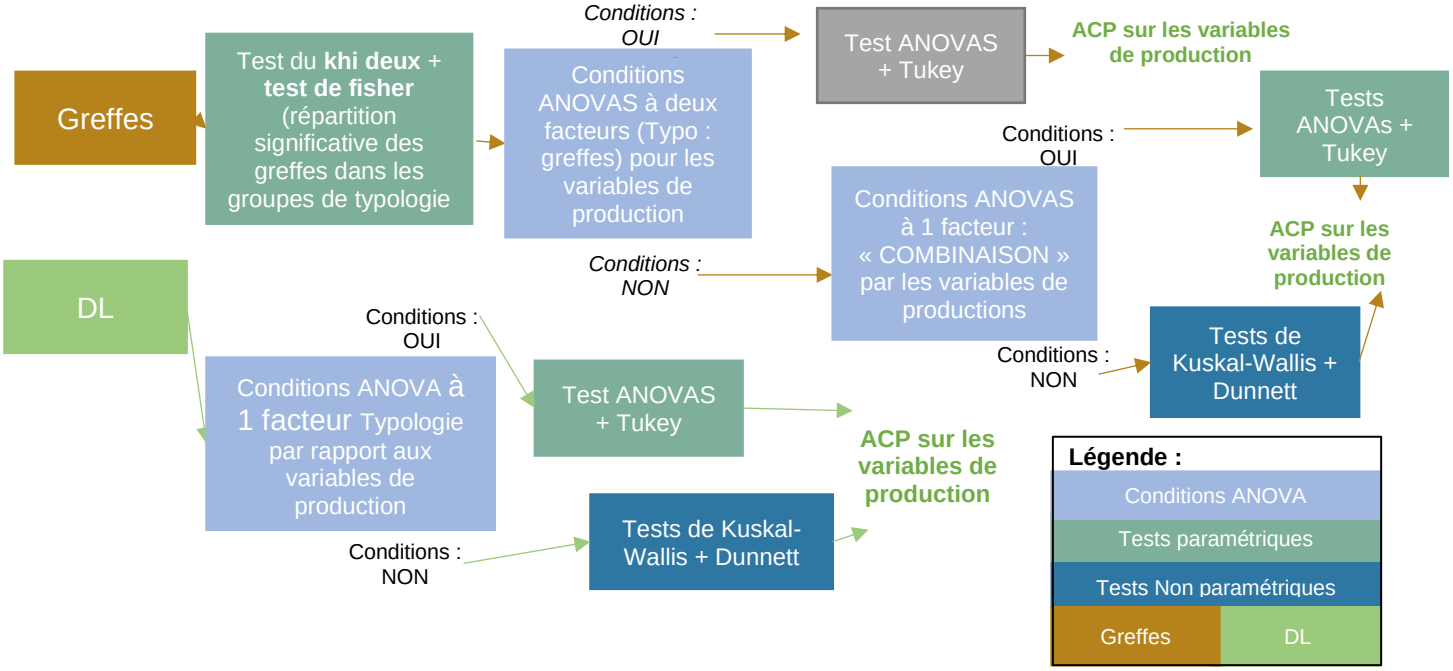


Figure 32: SCHEMA DU RAISONEMENT STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 2 (Mazardin,2021)

- *Méthodologie statistique – hypothèse 3 : » Dans les deux contextes de production testés les niveaux des indicateurs identifiés sont différents (réponse des indicateurs à l'environnement) »*

Pour répondre à cette hypothèse il faut différencier significativement les contextes de production. Trois variables ont été choisies dans le cadre de cette étude à savoir « la hauteur des arbres associés », le « FCOVER moyen » puis « l'indicateur1 ». Pour ce qui est de la hauteur des arbres associés, l'ensemble des hauteurs ont été rassemblées dans un fichier en fonction du bloc d'analyse auxquels ils appartenaient (l'ensemble des blocs d'analyse sont présentés en annexe 1 et ne concernent que la récolte de données 2021). Par ailleurs, la moyenne du pourcentage de couvert (FCOVER) a été recensé pour chacun de ces mêmes blocs d'analyse (cf. figure 28). Ainsi, si un bloc d'analyse compte 5 arbres associés, il rendra compte de cinq valeurs de hauteur d'arbres, chacune liée à la valeur moyenne du pourcentage de couvert de ce bloc. Pour ce qui est de l'indicateur 1, il donne la valeur du produit des deux précédents indicateurs. Cet indicateur composite permet pondérer le pourcentage de couvert par la moyenne de hauteur des arbres. Les valeurs de ces trois indicateurs seront toujours mises en relation avec la nature du système de culture dans lequel ils se trouvent à savoir SAF ou associé à la banane/sucrin.

Afin d'évaluer la différence significative entre ces deux systèmes à savoir l'agroforêt ou le système associé à la banane/inga, des ANOVAs à un facteur seront réalisées entre le facteur « SYSTEME » et les trois indicateurs cités précédemment, et ce, si les conditions le permettent. Encore une fois, si ce n'est pas le cas il s'agira d'utiliser le test de kruskal-Wallis. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un autre test ensuite puisqu'il n'y a que deux systèmes qui seront comparés. Pour cette étape, il n'y a pas d'analyses différenciées entre les systèmes qui contiennent des DL ou des greffes. Le but est donc de pouvoir conclure, selon les indicateurs choisis, que l'étude comporte deux systèmes identifiés et différenciés de façon significative (étape 1 de la figure 33).

L'étape suivante de cette hypothèse consiste à développer une méthode statistique pour pouvoir comparer l'état de développement des greffes et des DL au sein des deux systèmes identifiés. Il s'agit alors de choisir des variables de croissances végétatives et productives significatives pour les deux types de matériels végétaux.

Pour ce qui est des greffes, le principe est alors de choisir trois variables végétatives caractéristiques et de sélectionner également les cinq variables de production. Pour les variables végétatives, il doit s'agir d'après la typologie végétative, d'indicateurs de croissance significatifs. D'autre part, elles doivent facilement être identifiables par l'agriculteur et donc être présentes sur une majorité d'arbres. Ainsi, les trois premiers indicateurs choisis sont « le diamètre au collet », « la hauteur totale » ainsi que « la hauteur de la couronne 1 de B1 » (cf. figure 33). Il s'agit ensuite de vérifier comment se comportent ces indicateurs dans le cadre de la réalisation d'une ANOVA à deux facteurs entre les greffes et le système de culture. Si les trois indicateurs ne répondent pas aux conditions de l'ANOVA, et ce malgré une transformation des données en « log(x) », « 1/(x) » ou (x)^1/2 » alors l'ANOVA à deux facteurs n'est pas réalisable. Dans le cas de notre étude nous analyserons les variables végétatives les plus corrélées aux premières choisies puisqu'elles ne permettent pas de réaliser une ANOVA à deux facteurs. De ce fait, il s'agira de sélectionner trois nouvelles variables qui permettent de réaliser l'ANOVA à deux facteurs, qui puissent se substituer (sélection réalisée à partir des corrélations obtenues lors des ACP réalisées en hypothèse 1) aux trois premières variables choisies et également et qui soient à la fois des indicateurs significatifs de croissance et facilement identifiable par le producteur. Les analyses de corrélation se feront par le test de

Pearson et les conditions de l'ANOVA seront vérifiées sur les nouvelles variables choisies. Ainsi pour les greffes les trois variables végétatives retenues seront « le diamètre sous la branche 1 », « le diamètre à la base de la branche 2 » et « la hauteur en haut de la branche 2 » (cf.figure 33). L'ensemble de ces variables sera analysé sous forme logarithmique pour répondre aux conditions d'homoscédasticité de l'ANOVA. Il s'agira alors de constater si l'ANOVA à deux facteurs (clones/systèmes de culture) par rapport au logarithme de ces trois variables est significatives. Si c'est le cas, cela démontrera que le niveau de la croissance végétative des arbres dépend de la nature du système de culture. Cette ANOVA à deux facteurs sera également réalisée sur les cinq variables de productions pour lesquelles les conditions de l'ANOVA sont respectées (nombre de fleurs, de chérelles, de chérelles mortes, de cabosses pourries et de cabosses). Les conclusions attendues seront les mêmes à savoir une dépendance significative des variables de production au contexte de production.

Pour les DL, il n'y a pas d'interaction à tester entre deux facteurs, il s'agit seulement de tester comment se comportent les indicateurs végétatifs et productifs en fonction des systèmes de cultures. Pour sélectionner les variables végétatives de façon caractéristique, les critères sont les mêmes que pour les greffes. En effet, ils doivent avoir été définis comme des indicateurs significatifs de croissances d'après la typologie végétative et doivent être facilement identifiables. Les indicateurs choisis sont « la hauteur totale », « le diamètre au collet » et « le nombre de couronne de l'étage 1 » (cf.figure 33). Concernant les conditions de réalisation de l'ANOVA sur le facteur système de culture, il est possible de la réaliser sur les valeurs de la hauteur totale et sur le logarithme du diamètre au collet. Pour le nombre de couronne de l'étage 1, si malgré la transformation des données il n'est pas possible de réaliser l'ANOVA il s'agira de faire un test de Kruskal-Wallis. Concernant les données de production des DL, quatre d'entre-elles seront analysées puisque le nombre de cabosses pourries est constant. Il s'agira alors de faire des ANOVA ou des tests de Kruskal-Wallis si les conditions de l'ANOVA ne sont pas remplies pour ces variables de production afin d'observer si le niveau de production des descendances libres dépend de l'environnement (cf.figure 33).

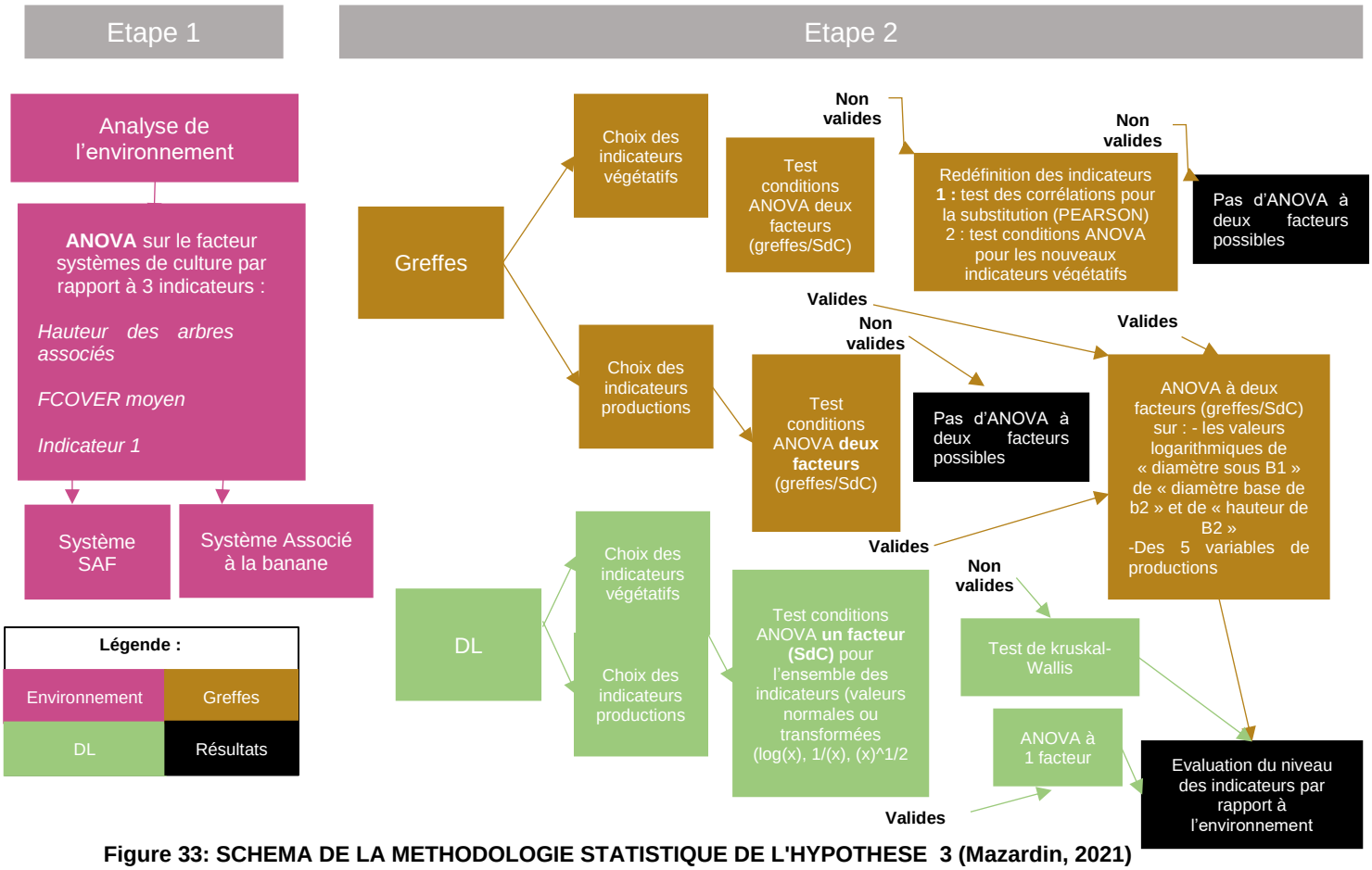


Figure 33: SCHEMA DE LA METHODOLOGIE STATISTIQUE DE L'HYPOTHESE 3 (Mazardin, 2021)

- *Méthodologie statistique – hypothèse 4 : « Les résultats de l'analyse des hypothèses 2 et 3 et de leurs interactions permettent de préciser le potentiel agronomique des greffes juvéniles selon le contexte de production. »*

La dernière hypothèse de cette étude consiste à travailler sur le potentiel agronomique globale des greffes au sein des différentes systèmes de culture. Cette dernière hypothèse ne traite pas des descendances libres. Ainsi il s'agit dans un premier temps de reprendre les résultats de l'hypothèse 3 à savoir quels indicateurs (végétatifs et/ou reproductifs) réagissent de façon significative au système de culture et à l'interaction greffes VS Système de culture. Puis, les indicateurs qui réagissent de façon significative seront alors testés au moyen d'un test de Tukey pour l'ensemble des interactions greffes VS Système de culture. Si le test de Tukey montre que pour l'ensemble des indicateurs testés une ou plusieurs des interactions est toujours significativement supérieures aux autres alors il s'agira du ou des meilleurs comportements de croissance des cacaoyers à ce stade de l'étude (cf.figure 34).

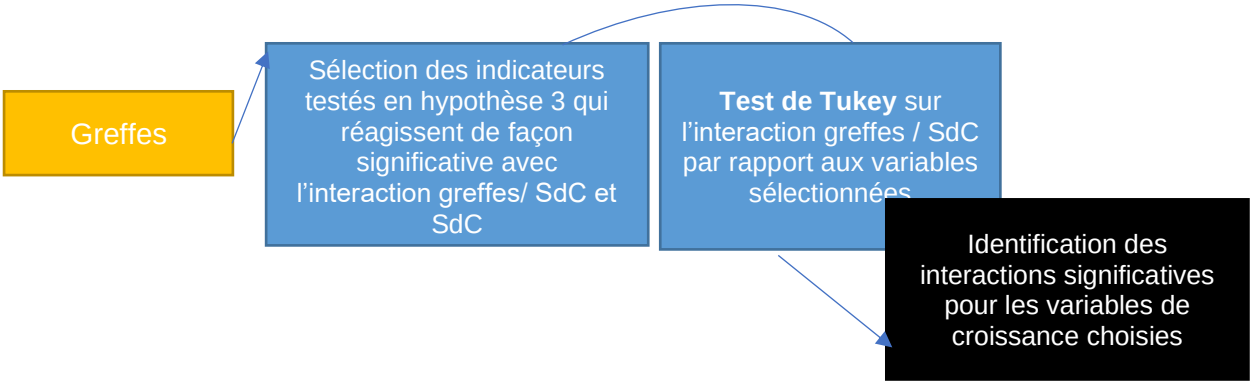


Figure 34: METHODOLOGIE STATISTIQUE EN REPONSE A L'HYPOTHESE 4

V- Résultats

Dans cette partie, les résultats sont présentés de façon à répondre aux quatre hypothèses d'études présentées plus haut. Il s'agit de présenter : (i) la typologie architecturale déterminée pour les onze clones et pour les DL ainsi que les indicateurs de croissance végétative que ces typologies révèlent. Dans un deuxième temps ; (ii) le potentiel de différenciation en termes de croissance végétative et reproductive induit par ces indicateurs aussi bien pour les onze clones que pour les DL ; (iii) l'évaluation des indicateurs dans les deux contextes de production étudiés à savoir (a) le système agroforestier et (b) le système en association bananes, ingas et cacao. Enfin, (iv) associé à la partie (iii), il s'agit de préciser le potentiel agronomique (végétatif et/ou productif) des clones dans leur environnement de culture à ce stade du projet.

a- Typologie architecturale et les indicateurs de la croissance végétative

i. GREFFES

La réalisation de la typologie architecturale passe tout d'abord par une analyse en composante principale. Elle concerne 29 variables quantitatives, et fournit 64% de l'information sur les axes 1 et 2 (cf.figure 35). Le choix des axes d'études, aussi appelés dimensions, se fait grâce au critère du coude de Kaiser. On observe alors un décrochement sur le diagramme de représentation du pourcentage de variance expliquée entre la 3e et la 4e dimension qui permet de ne sélectionner que la 1ère et la 2e dimension pour l'ACP. Sur la figure 35

représentant la corrélation des variables entre-elles ainsi que leur qualité de représentation sur les axes, on observe un grand nombre de variables qui semblent être corrélées à l'axe 1 représentées par des flèches de couleur orange. Cela s'explique par le fait qu'elles soient éloignées du barycentre et qu'elles aient un cos² élevé (>0,5).

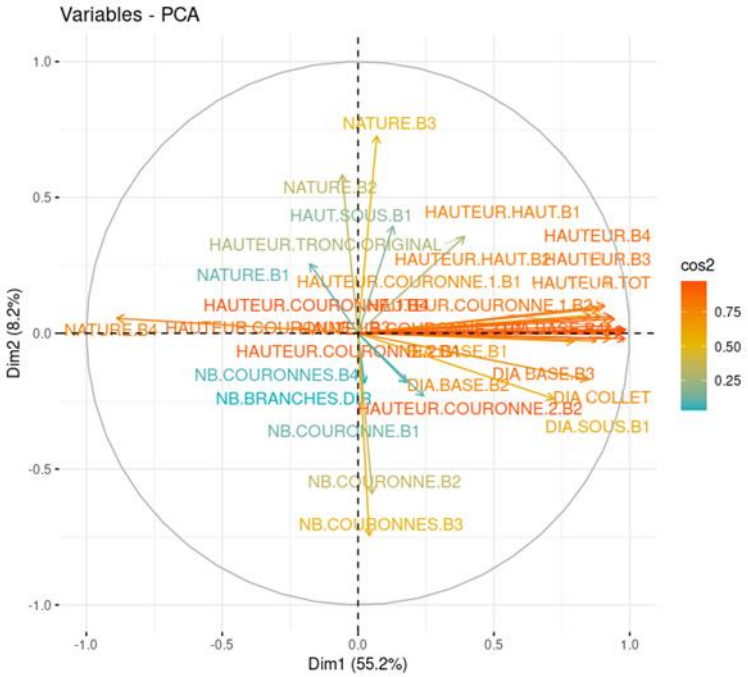


Figure 35: RESULTATS DE L'ACP SUR LES VARIABLES VEGETATIVES DES GREFFES

Afin de mieux comprendre la figure 35, il est possible de se référer à la figure 36 qui exprime la contribution de chaque variable à la construction de l'axe 1. L'ensemble des variables qui se situent au-dessus de la ligne rouge ont une contribution supérieure à la contribution moyenne de l'ensemble des variables. Ainsi, cette figure 36 suggère que l'ensemble des 18 variables entourées pour leur contribution à l'axe 1 sont corrélées. Concernant l'axe 2, les 6 variables qui contribuent le plus à la construction de cet axe et qui sont par conséquent corrélées sont « Nombre de couronnes de B3 », « Nature de B3 », « Nombre de couronne de B2 », « Nature de B2 », « Hauteur sous B1 » et « Hauteur du tronc original ».

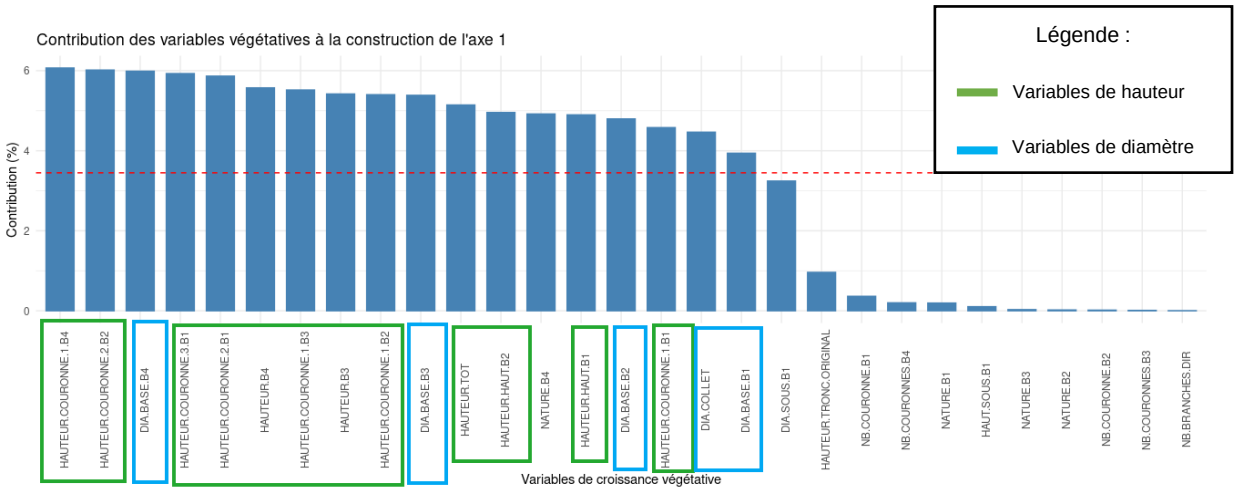


Figure 36: CONTRIBUTION DES VARIABLES A LA CONTRUCTION DE L'AXE 1 – ACP GREFFES

Cette première phase d'analyse permet de mettre en avant des tendances en termes de corrélation entre les variables de croissance végétatives recensées sur l'ensemble des cacaoyers mesurés. Cependant, les tendances de corrélations visibles sur l'ACP ne donnent pas d'informations concernant la contribution des variables à la réalisation de la classification hiérarchique définit ci-après (cf.tableau 4).

Tableau 4: NOMBRE D'INDIVIDU PAR GROUPES DE TYPOLOGIE (GREFFES)

Typologie	Nombre d'individus
Groupe A	521
Groupe B	396
Groupe C	144

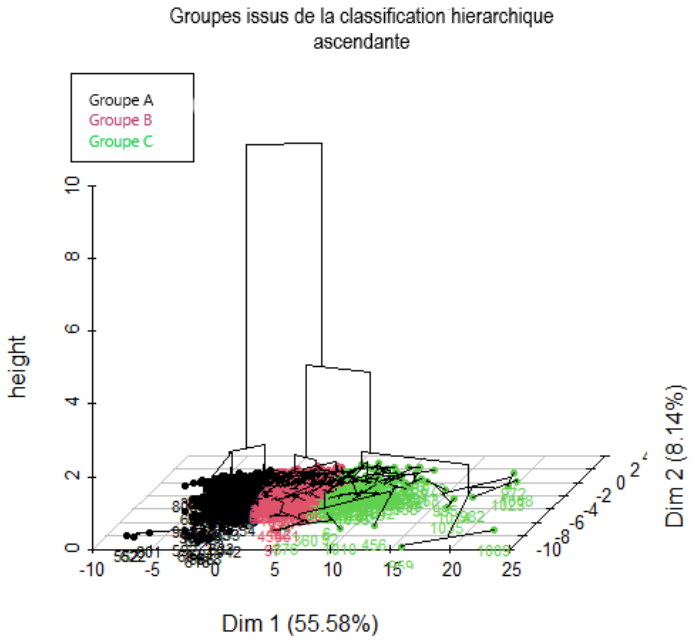


FIGURE 37: REPRESENTATION EN ARBRE 3D DE LA TYPOLOGIE DE CROISSANCE VEGETATIVE DES GREFFES

Cette classification hierarchique indique que l'ensemble des cacaoyers issus d'une greffe sont classés en trois groupes. Le groupe A contient 521 invidus, alors que le groupe B et C en comptent respectivement 396 et 144 (Tableau 4 et figure 37). On considère cette disbrition en trois groupes comme la plus significative selon le crière de ward (cf. matériel et méthode - statistiques).

Pour répondre à la première hypothèse, il s'agit de caractériser les groupes de la typologie en déterminant qu'elles variables permettent de les décrire. Les résultats des tests d'ANOVAs ou de Kruskal-Wallis, sur le facteur « Typologie » (cf.tableau 4) par rapport à l'ensemble des variables de croissance végétatives permettent de déterminer des indicateurs significatifs de croissance c'est-à-dire des indicateurs qui permettent de différencier les trois groupes de typologie de façon significative (cf.tableau 5).

Le tableau 5 ci-dessous permet de synthétiser les résultats des variables significatives qui serviront pour la suite du travail statistique. Les valeurs des variables sont en centimètre. Dans le tableau 7, pour l'ensemble des variables considérés comme des indicateurs de croissance significatifs, le groupe C a donc un meilleur état végétatif que les groupes A et B. La notion de bon état végétatif signifie que l'architecture du cacaoyer est plus développée. Il a donc un plus gros diamètre au collet, et une grande hauteur totale par exemple.
D'autre part on observe pour les variables tel que le nombre de branche directive, qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes. On pourra donc dire de cette variable qu'elle n'est pas un indicateur significatif de la croissance végétative. L'ensemble des 29 variables ont été évaluées de la même manière pour connaître leur significativité. Elles ne sont pas présentées dans ce rapport ne servant pas pour la suite des analyses statistiques.

Tableau 5: RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA SIGNIFICATIVITE DES VARIABLES MESUREES PAR RAPPORT AUX GROUPES DE TYPOLOGIE - GREFFES

VARIABLES	***F ou X^2***	***p-value***	***Groupe « A »***	***Groupe « B »***	***Groupe « C »***	***Indicateurs significatifs***
Dia collet	X^2=668.84	<2 e-16	2.94 c	4.47 b	6.88 a	OUI
Dia sous B1	F= 545.9	<2 e-16	2.56 c	3.97 b	6.42 a	OUI
Hauteur Tot	X^2=742.88	<2 e-16	114.79 c	180.32 b	252.31 a	OUI
Hauteur couronne 1 de B1	X^2=749.52	<2 e-16	57.25 c	77.49 b	109.37 a	OUI
Dia base de B2	F= 918.2	<2 e-16	1.97 c	2.85 b	3.91 a	OUI
NB couronnes B1	X^2=33.294	**6 e-8**	0.27 b	0.34 b	0.60 a	NON
Hauteur Haut B2	F=904.5	<2 e-16	115.63 c	166.06 b	226.92 a	OUI

Légende :

Indicateurs significatifs non transformés

Indicateurs significatifs transformés (en log(x)) pour réaliser l'ANOVA. Les valeurs moyennes du tableau 7 ne sont pas les valeurs modifiées.

F : Valeur du F-test ou test de Fisher réalisé dans le cadre d'une ANOVA
x^2 : Valeur du Chi-deux test dans le cadre d'un test de Kruskal-Wallis

L'ensemble des cacaoyers greffés sont distinguables en trois groupes caractérisés par des indicateurs de croissance végétative qui renvoient à trois états de croissance significativement ifférent. Le groupe A comporte les cacaoyers ayant un diamètre au collet moyen de 2.94 centimètres et une hauteur totale moyenne de 114.79 centimètres. A l'inverse le diamètre au collet moyen du groupe C est de 6.88 centimètres et sa hauteur totale moyenne est de 252.31 centimètres. Parmi les 29 variables de croissances végétatives testées pour réaliser cette classification hierarchique, quelque soit leur nature, si elles sont définies comme étant des indicateurs significatifs de croissance, cela signifie que leurs valeurs moyennes sont plus élevées pour les cacaoyers du groupe C et différentes entre les trois groupes. Selon ces indicateurs, les cacaoyers les moins développés sont dans le groupe A et les plus développés, dans le groupe C. il y a un gradient positif de l'état de croissance du groupe A au groupe C.

ii. DL- DESCENDANCES LIBRES

La première étape pour réaliser la typologie des cacaoyers dits de descendances libres passe également par la réalisation d'une ACP. Pour cette analyse on gardera deux axes puisque la différence entre l'axe 2 et 3 est seulement de 1,4% et que les deux premiers axes donnent en somme 50,5 % de l'information.

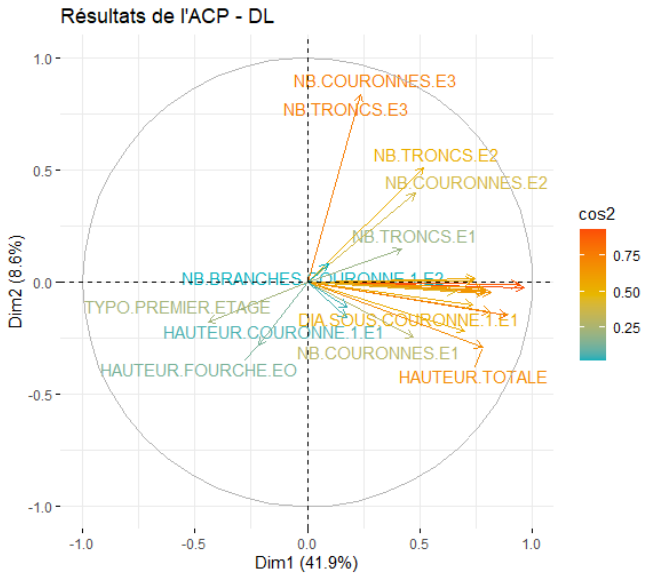


Figure 38: ACP DES VARIABLES DE CROISSANCE VEGETATIVE MESUREES SUR LES DL

La figure 39 confirme les corrélations visibles sur la figure 38. L'ensemble des variables situées au-dessus de la ligne rouge ont une contribution supérieure à la contribution moyenne et ont donc de forte chance d'être corrélées. Les variables telles que « NB.couronnes.E3 » ou « NB.troncs .E3 » semblent mieux représentées sur l'axe 2 (cf. figure 38). Enfin, les variables « NB. Branches.couronnes.1.E2 » ou encore « Hauteur.couronne.1.E1 » sont signifiées par de petites flèches et ont une qualité de représentation très faible. Il est alors fort probable que ces variables ne soient ni représentées par la dimension 1, ni par la dimension 2 (cf.figure 38).

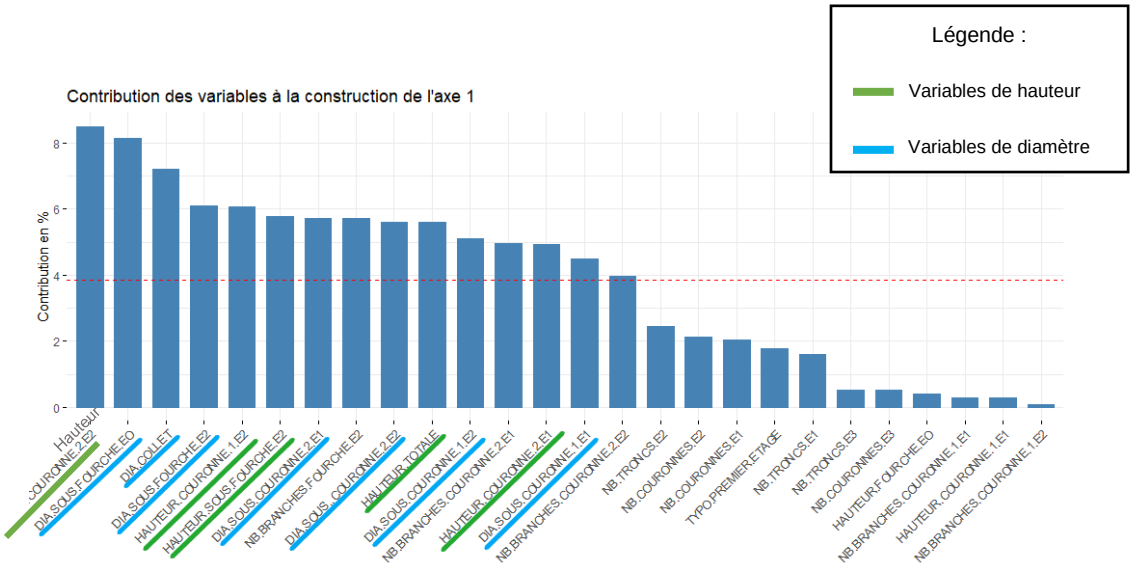


Figure 39: CONTRIBUTION DES VARIABLES A LA CONSTRUCTION DE L'AXE 1 DE L'ACP

Les résultats de l'ACP présentés ci-dessus (cf.figure 39) montre qu'un grand nombre de variables (15) semble contribuer à la constuction de l'axe 1 de cette ACP. Cependant, ces observations ne sont pas en lien avec la nature des variables permetttant de construire la classification ascendante.
Les résultats de cette classifcation sont présentés ci-après (cf.tableau 6). Le groupe A contient alors 400 individus, le groupe B en contient 188 et e groupe C en compte 60.

Tableau 6: NOMBRE D'INDIVIDUS PAR GROUPE DE TYPOLOGIE (DESCENDANCES LIBRES)

Typologie	Nombre d'individus
Groupe A	400
Groupe B	188
Groupe C	60

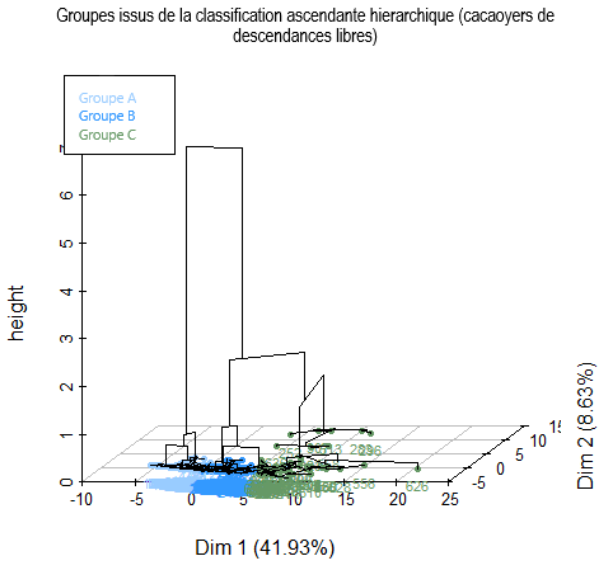


Figure 40: REPRESENTATION EN ARBRE 3D DE LA TYPOLOGIE DE CROISSANCE VEGETATIVE DES DL

La classification en trois groupes a été déterminée à partir du critère de Ward mentionné plus haut. La figure 40 permet de visualiser la répartition des trois différents groupes de typologie en trois dimensions. L'étape suivante consiste à caractériser les composantes de ces trois groupes. De la même manière que pour les cacaoyers issus de greffes, l'ensemble des 26 variables végétatives utilisées pour réaliser cette classification est analysées soit à l'aide de test ANOVAs ou de Kruskal-Wallis afin de voir si elles discriminent les trois groupes de façon significative (cf. tableau 7).

Tableau 7: RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA SIGNIFICATIVITE DES PREMIERES VARIABLES MESUREES PAR RAPPORT AUX GROUPES DE TYPOLOGIE

VARIABLES	***F ou X^2***	***p-value***	***Groupe « A »***	***Groupe « B »***	***Groupe « C »***	***Indicateurs significatifs***
Dia collet	F= 490.2	<2 e-16	2.66 c	4.34 b	6.00 a	OUI
Hauteur Totale	F= 253.8	<2 e-16	149.35 c	210.51 b	262.83 a	OUI
Nb de couronnes de l'étage 1	X^2=120.01	<2 e-16	0.86 c	1.28 b	1.55 a	OUI
Hauteur couronne 1 de l'étage 1	F= 5.64	0.00373	116.89 c	121.31 b	131.22 a	OUI
Dia sous la couronne 1 de l'étage 1	X^2=260.17	<2 e-16	*1.42 c*	***2.54 ab***	**2.97 a**	NON
Dia sous couronne 2 de l'étage 1	X^2=377.17	<2 e-16	1.51 b	2.01 b	2.99 a	OUI

Légende :

Indicateurs significatifs non transformés

Indicateurs significatifs transformés (en log(x) ou sqrt(x) pour réaliser l'ANOVA. Les Valeurs moyennes du tableau 9 ne sont pas les valeurs modifiées.

F : Valeur du F-test ou test de Fisher réalisé dans le cadre d'une ANOVA
x^2 : Valeur du Chi-deux test dans le cadre d'un test de Kruskal-Wallis

Parmi les variables décrites dans le tableau 7, seulement la variable du diamètre sous la couronne de l'étage ne permet pas de décrire les trois groupes de la typologie par rapport aux résultats du test de deux à deux de Dunett. Pour ce qui est des autres variables, elles permettent de discriminer les trois groupes de la typologie de sorte que le groupe C soient toujours celui comptant les cacaoyers avec les meilleures valeurs moyennes de croissance végétative. Dans le cas de la suite de l'étude, les variables du diamètre au collet, de la hauteur totale ou du nombre de couronne de l'étage 1 seront utilisées pour décrire l'état végétatif global des cacaoyers de descendances libres et le considérer en fonction de l'environnement.

b- Différenciation de l'état végétatif et reproductif des cacaoyers à l'aide des indicateurs de croissance :

i. CLONES

La première étape de cette partie consiste à savoir si certaines greffes sont significativement représentées dans l'un ou l'autre des trois groupes de la typologie. La figure 41, en synthétise les résultats à partir du nombre absolu d'individus de chaque clone dans les groupes. La présence supérieure ou inférieure de façon significative dans les groupes est signifiée par un signet rouge au seuil alpha de 0.05. Les clones 41 et 141 montrent une présence significativement supérieure dans le groupe C, celui au meilleur état végétatif. A l'opposé, les clones 6, 7 et 62 présentent un niveau de croissance plus faible au vu de leur présence significativement supérieure avec le groupe A. Enfin, les clones 3,29,48,59,83, ou 148 ne sont pas présents significativement dans l'un ou l'autre des groupes de la typologie. Il n'est pas possible d'apporter de conclusion sur leur état végétatifs.

Significativité par case (Test exact de Fisher) :

	A	B	C
3	<	>	>
6	>	<	<
7	>	<	<
29	>	>	<
41	<	>	>
48	<	>	<
59	>	<	<
62	>	<	<
83	<	>	<
141	<	>	>
148	<	>	>

Figure 41: SIGNIFICATIVITE DE LA REPRESENTATION DES CLONES DANS LES GROUPES DE TYPOLOGIE

En ce qui concerne les variables de reproduction (cf. tableau 8), l'interaction avec le facteur « COMBINAISON » (agrégation du nom du clone et du groupe de typologie) donne les résultats suivants (cf.tableau 8). Les 5 variables de production mesurées à savoir le « nombre de fleurs », le nombre de « chérelles » et de «chérelles pourries » ainsi que le nombre de « cabosses » et le nombre de « cabosses pourries » sont significatives pour le facteur testé.

Tableau 8: RESULTATS DES TESTS DE KRUSKAL WALLIS ENTRE ES VARIABLES DE PRODUCTIONS ET LE FACTEUR "COMBINAISON"

Variables	***Facteur***	***F ou*** X^2	*p-value*
Nb de fleurs	COMBINAISON	X^2=203.34	<0,0001
Nb de chérelles	COMBINAISON	X^2= 57.316	0,003
Nb de chérelles pourries	COMBINAISON	X^2=132.98	<0,0001
Nb de cabosses pourries	COMBINAISON	X^2=55.797	0,004
Nb de cabosses	COMBINAISON	X^2=132.73	<0,0001

Tableau 9: RESULTATS DES TESTS DE DUNNETT POUR LES 5 VARIABLES DE PRODUCTION PAR RAPPORT AU FACTEUR "COMBINAISON"

COMBINAISON	FLEURS		CHERELLES		CHERELLES MORTES		CABOSSES POURRIES		CABOSSES	
	M R	*Dun*	*M R*	*Dun*	*M R*	*Dun*	*M R*	*Dun*	*M R*	*Dun*
3A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
3B	499.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
3C	664.6		544.9	ab	650.5	b	544.4	ab	608	b
6A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
6B	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
6C										
7A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
7B	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
7C	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
29A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
29B	499.0	a	508	a	504.5	a	520.8	ab	498	a
29C	590.3		508	a	555.6	a	508	a	549	ab
41A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
41B	514.1	a	508	a	504.5	a	521.8	ab	526	ab
41C	688.5		508	a	504.5	a	536.4	ab	526	ab
48A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
48B	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
48C	486.5	a	508	a	561.5	ab	564.7	b	614	
59A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
59B	507.9	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
59C	645.7		508	a	504.5	a	508	a	599	ab
62A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
62B	503.1	a	525.5	ab	521.4	a	508	a	498	a
62C	714.7		565.2	b	561.3	ab	508	a	613	
83A	511.9	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
83B	578.8		517	ab	504.5	a	508	a	507	a
83C	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	534	ab
141A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
141B	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	510	a
141C	554.6	a	508	a	549	a	508	a	609	
148A	486.5	a	508	a	504.5	a	508	a	498	a
148B	498.3	a	508	a	527.5	a	508	a	522	ab
148C	634.6		545.1	ab	541	a	544.5	ab	572	ab

Moyennes des rangs, supérieures mais pas significatives	Moyennes appartenant aux deux groupes	Moyennes appartenant au deuxième groupe	**MR :** moyenne des rangs **DUN :** Test Dunnett

Afin d'étudier la significativité des variables de production sur le facteur « COMBINAISON », le test de Dunnett ci-dessus (cf. tableau 9) permet d'apporter des éléments de réponse. Tout d'abord aucune des 33 combinaisons ne montrent un état de production significatif qu'ils s'agissent des fleurs, des chérelles ou des cabosses. Cependant, les cases colorées en rose avec une meilleur moyenne des rangs[7] correspondent à des cacaoyers qui se trouvent dans le groupe C mis à part pour le nombre de fleurs du « 83B ». A l'inverse, les cacaoyers qui se trouvent dans le groupe A sont toujours associés au groupe statistique le plus faible à savoir le « a ». Ce tableau 11 permet de dégager des tendances sur le fait que les cacaoyers pour lesquels le niveau de production est plus élevé quel que soit le

[7] Moyenne des rangs : ici employée car les résultats des tests de Dunnett sont relatifs à une comparaison de moyennes des rangs (Kruskal-Wallis) et non de moyenne des valeurs (ANOVA)

facteur, se situent plutôt dans le meilleur groupe de typologie. Ces résultats tendent à dire que l'état végétatif des cacaoyers serait donc corrélé à l'état de production.

Afin de synthétiser la réponse à l'hypothèse 2 à savoir si oui ou non il est possible de différencier l'état végétatif et ou reproductif des différents clones en fonction des indicateurs de croissance, une ACP a été réalisée sur les sommes des cinq variables de production en fonction de chacune des 11 clones (cf. figure 42). Les groupes de la typologie « A », « B » et « C » sont uniquement projetés sur les axes construits à partir des variables de production. Les résultats de cette analyse mettent en avant le fait que le « Nombre de chérelles mortes » et le « Nombre de cabosses totale » semblent corrélés de la même manière que le sont le « Nombre de cabosses pourries et « nombre de fleurs totales ». Pour ce qui est du « Nombre de chérelles » ils semblent peu en lien avec l'une ou l'autre des variables de production.

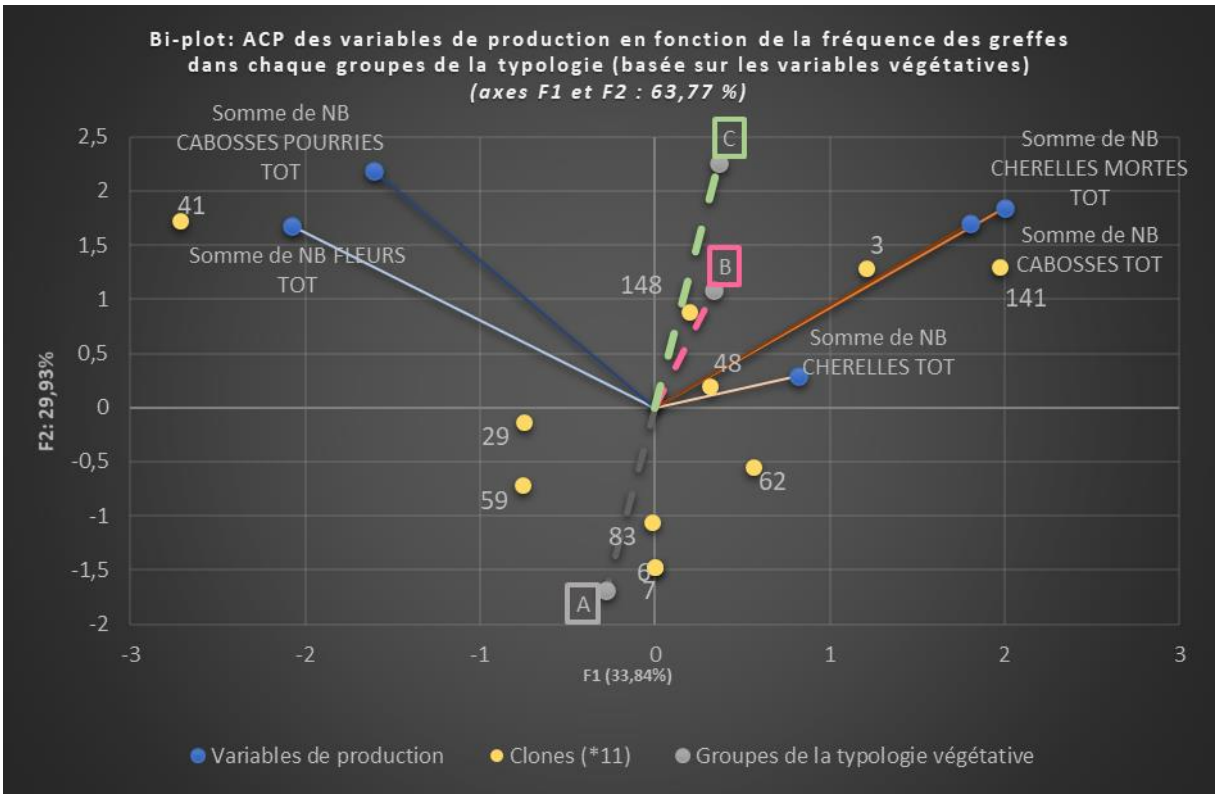


Figure 42: ACP DES VARIABLES DE PRODUCTION

Les tests de Dunnett (cf.tableau 9) ont révélé qu'aucuns cacaoyers situés dans le groupe A n'avaient un état reproductif supérieur à un cacaoyer du groupe B ou C. La figure 42 ci-dessus montre que le groupe A est projeté à l'opposé des groupes B et C qui semblent eux corrélés. Par ailleurs, il a été démontré (cf.figure 41) que les clones 41 et 141 étaient significativement plus présents dans le groupe C. Ici, ces clones semblent également corrélés aux variables de production à savoir aux cabosses pour le 141 et aux fleurs pour le 41. A l'opposé, les clones 6 et 7, sont bien représentés sur la figure 42 puisqu'ils sont significativement présents dans le groupe A et ne sont pas liés à un bon état de croissance productive (cf.tableau 9).

Il n'est pas possible de caractériser l'état végétatif du clone 3 mais son état de production, (cf.tableau 9) montre que les clones appartenant au groupe C ont un meilleur état reproductif par rapport à ceux des groupes A ou B. Le comportement du clone semble logique dans la mesure ou son état végétatif semble corrélé à son état productif. Pour les clones 59,29,83,62 ou 48, il n'est pas évident de déduire une tendance productive à partir de cette figure. Enfin,

le clone 148 semblent être corrélé à un bon état végétatif (groupe B et C) et les tests de Dunnett pour les clones du groupe C tendent vers un état reproductif plutôt meilleur.

ii. DL- DESCENDANCES LIBRES

Dans le cas des cacaoyers de descendance libre, il s'agit d'observer de quelles manières se comportent les arbres en croisant leur état végétatif (répartition dans les groupes) avec leur état productif analysé à l'aide de quatre variables de production se trouvant dans le tableau 10. Le nombre de cabosses pourries est constant, il n'est donc pas utilisé dans l'analyse.

Tableau 10: ANALYSE DES VARIABLES DE PRODUCTION SELON LA TYPOLOGIE VEGETATIVE

VARIABLES	FACTEUR	*F ou* X^2	p-value	Groupe « A »	Groupe « B »	Groupe « C »	Significativité Indicateur
NB fleurs total	Typologie	X^2=161.06	2 e-16	0.23c	7.45b	34.3a	OUI
Nb chérelles total	Typologie	X^2=91.511	2 e-16	0.002c	0.21b	0.72a	OUI
Nb de chérelles mortes total	Typologie	X^2=83.516	2 e-16	0.00b	0.01b	1.06a	NON
Nb de cabosses total	Typologie	X^2=127.88	2 e-16	0.00c	0.19b	1.68a	OUI

Le tableau 10 ci-dessus donne la significativité des indicateurs de productivité des arbres en fonction du facteur « Typologie ». L'activité productive des cacaoyers de façon générale est faible. Les cacaoyers du groupe C sont ceux qui ont significativement le plus grand nombre de fleurs, de chérelles, de chérelles mortes et de cabosses, puis viennent ensuite les cacaoyers des groupes B et A. Pour le nombre de chérelles mortes, il n'y a pas de différences significatives entre les cacaoyers du groupe A et ceux du groupe B. Ce tableau affirme l'effet du niveau de l'état végétatif sur les variables de production testées. La figure 43 ci-dessous illustre cette tendance, l'ACP est construite sur les variables de production et projette également les individus selon les groupes typologique. La taille des points est proportionnelle au nombre de cacaoyers qu'ils représentent. Les points gris des cacaoyers du groupes C semblent les plus corrélés aux variables de production.

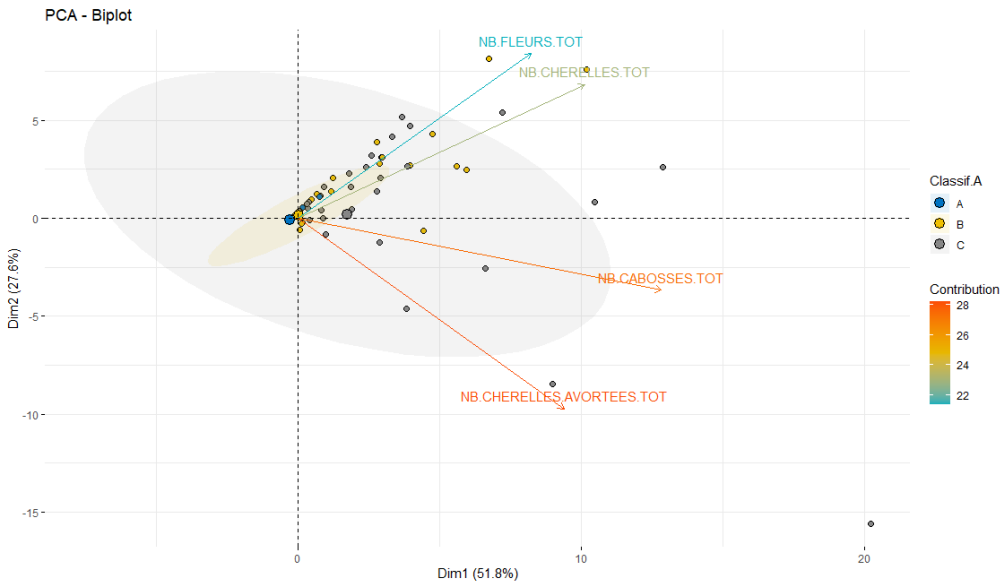


Figure 43 : ANNALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE SUR LES VARIABLES DE PRODUCTION POUR LES CACAOYERS DE DESCANDANCES LIBRES

c- Niveau des indicateurs de croissance et potentiel agronomique des clones selon les deux contextes de production :

i. CARACTERISATION DES DEUX SYSTEMES DE CULTURES

Trois indicateurs (FCOVER, Hauteur des arbres associés et le produit des deux premiers indicateurs) ont été choisis pour caractériser l'environnement de culture des cacaoyers plantés soit dans un système de culture en association bananes, ingas et cacao (BAN) (3 agriculteurs) soit sous couvert agroforestier (SAF) (2 agriculteurs et 1 station expérimentale) (cf. figure 33 Etape 1).

Le tableau 11, donne l'ensemble des résultats pour l'évaluation de ces trois indicateurs. L'ANOVA concernant le premier indicateur (FCOVER), permet de conclure que le pourcentage de couvert est significativement plus élevé (p-value <0.05) en SAF (53.6%) qu'en système associé à la banane (45 %). Pour ce qui est de la hauteur des arbres associés, le test de Kruskal-Wallis permet d'affirmer significativement (p-value <0.05) qu'elle est plus élevée en système SAF (17,1836 m) qu'en système BAN (3,3839 m). Enfin, l'ANOVA sur le dernier indicateur affirme de façon significative (p-value <0.05) que le pourcentage de couvert en fonction de la hauteur des arbres est supérieur pour les systèmes SAF (994) qu'en système BAN (149.61).

Tableau 11 : ANALYSE DES CONTEXTES DE PRODUCTION SAF ET BAN

INDICATEURS	F OU x^2	P-VALUE	MOYENNE SAF	MOYENNE BAN	SIGNIFICATIF
FCOVER moyen	F= 0.89	0.0028	0.536	0.451	OUI
Hauteur des arbres associés (encm)	X^2=190.97	2.2e-16	17.18 36	3.3839	OUI
*FCOVER * Hauteur moyenne des arbres associés*	F= 623.3	2.2^e-16	994.5	149.61	OUI

Légende :

Indicateur transformé en log(x) pour réaliser l'ANOVA. Les valeurs moyenne ne sont pas les valeurs modifiées.

Les analyses présentées dans ce tableau permettent donc d'affirmer qu'il est possible de différencier de façon significative les deux contextes de production de cette étude, le dernier indicateur étant celui qui en définitive permet de séparer les deux environnements le plus clairement, afin de les utiliser comme les modalités d'un facteur « Contexte de production ».

ii. CLONES

Il s'agit à présent de déterminer si les clones montrent une croissance différenciée entre les deux environnements caractérisés plus haut et si une interaction existe entre la nature du clone et ces deux environnements.
Pour ce faire, des ANOVAs à deux facteurs (Nature du Clone et Contexte de production) ont été réalisés sur des variables de croissance végétatives et productives.
Pour ce qui est de la croissance végétative de l'arbre, le choix des indicateurs a été réalisé selon plusieurs critères mentionnés dans le matériel et méthode. Les trois premiers indicateurs choisis étaient le « Diamètre au collet », la « Hauteur totale » et la « Hauteur de la couronne 1 de la branche 1 ». Cependant, ces indicateurs ne permettaient pas de réaliser d'ANOVAs à deux facteurs car ils ne respectaient pas les trois conditions de réalisation de ce test. Ainsi, dans le but de pouvoir réaliser cette ANOVA et donc de tester l'interaction entre les clones et le contexte de production, il a fallu déterminer de nouveaux indicateurs avec les mêmes critères de sélection et en prenant en compte la qualité des corrélations avec le diamètre au collet, la hauteur totale et la hauteur de la couronne 1 de B1. L'ensemble de ces critères mis bout à bout a permis d'aboutir au choix des indicateurs suivants comme les représentants principaux de l'état de croissance végétative des greffes : « *Diamètre sous la branche 1* » dont la corrélation de (R^2) est de 0.90 avec la variable « Diamètre au collet » ; « *Diamètre à la base de B2* » dont la corrélation (R^2) est de 0.72 avec « Hauteur de la couronne 1 de B1 » et « *Hauteur de la branche 2* » donc la corrélation (R^2) est de 0.87 avec la « Hauteur totale ». Afin de respecter les conditions de l'ANOVA et notamment l'hypothèse d'homoscédasticité, le travail d'analyse sera effectué sur le logarithme de ces trois variables.

Tableau 12: ANOVAs VARIABLES VEGETATIVES PAR LES FACTEURS CLONES ET CONTEXTES DE PRODUCTION

Variables	**Facteur 1 : Contexte de production**				**Facteur 2 : Nature du Clone**		**Interaction facteurs 1 et 2**	
	F	p-value	Moyenne BAN	Moyenne SAF	F	p-value	F	p-value
Diamètre sous la branche 1	44.659	3.89e-11	3.26	3.96	7.146	6.07e-11	2.494	0.00588
Diamètre à la base de B2	48.469	6.07e-12	2.39	2.69	7.019	1.03e-10	2.815	0.00189
Hauteur de la branche 2	54.879	2.72e-13	138.54	157.58	9.454	3.91e-15	3.539	0.000129

Indicateur transformé en log(x) pour réaliser les ANOVAs.

Le tableau 12, donne les résultats des ANOVAs pour l'ensemble des variables végétatives. Ainsi pour les trois variables testées, l'interaction entre la nature des clones et le contexte de production est significative. Pour affiner ces observations, il est possible d'étudier variable par variable leur significativité à l'aide d'un tesT de Tukey sur l'interaction des clones dans leur environnement.

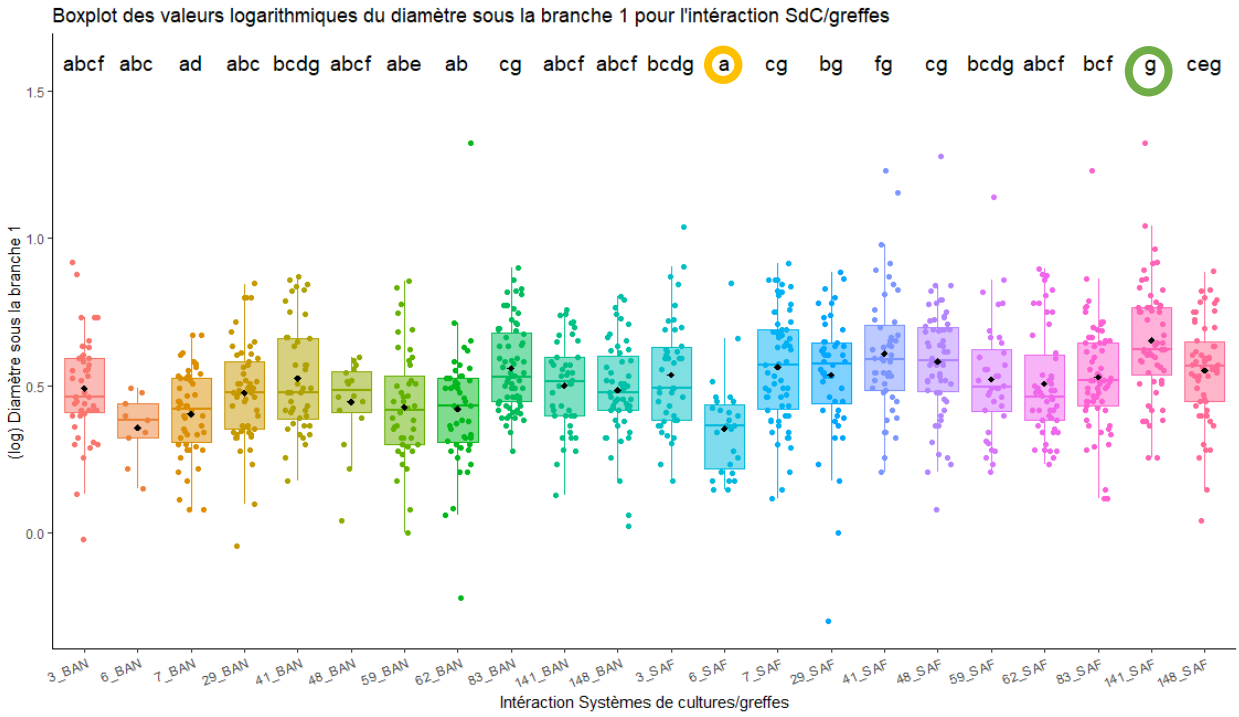


Figure 44: RESULTATS TEST DE TUKEY CONCERNANT LE NIVEAU DU DIAMETRE SOUS B1 PAR RAPPORT A L'INTERACTION (CLONES/SYSTEME)

La figure 44 permet d'affiner l'analyse du tableau 12 concernant la variable du diamètre sous la branche 1. Les résultats des tests de Tukey permettent de faire des groupes statistiques afin de comparer les moyennes de chaque combinaison clones/système. Sur la figure 44, les clones 6 en système SAF sont les seuls à appartenir uniquement au groupe « a ». Ils ne sont pas significativement différents des combinaison « clones/Système » dont les résultats des tests de Tukey comprennent un « a ». Néanmoins, ce sont ceux qui ont la moyenne la moins élevés pour le diamètre sous la branche 1. A l'opposé, les clones 141 dans le système SAF appartiennent au groupe statistique « g » et sont les seuls de cet unique groupe. Ils sont significativement plus élevés que le clones 6 dans le système SAF et de l'ensemble des combinaisons ne comprenant un « g » dans leur classement statistique. De façon générale, ces tests ne donnent pas avec précision un classement hiérarchique permettant de différencier chacune des combinaisons entre-elles pour le diamètre sous la branche 1. En effet, l'ensemble des combinaisons partageant au moins une lettre en commun ne sont pas différentes de façon significatives.

L'étude des résultats des test de Tukey pour les variables du diamètre à la base de la branche 2 et de la hauteur en haut de cette branche 2 sont précisés dans le tableau ci-après (cf.tableau 13). Pour ces deux variables les valeurs moyennes des clones 6 dans le système SAF sont une nouvelle fois uniquement dans le groupe « a » qui donne les valeurs les plus faibles. Quelle que soit l'une des trois variables végétatives testées, le niveau de ces clones dans le système SAF et toujours le plus faible. Deux autres interactions à savoir les clones 7 dans le système BAN pour le diamètre à la base de B2 et le clones 6 dans le système BAN pour la hauteur de la branche 2, sont également uniquement dans le groupe « a » à la suite de cette étude. Pour l'étude du diamètre à la base de la branche 2 ainsi que pour la moyenne de cette branche 2, l'ensembles des combinaisons portant un « a » dans leur classement de groupe

statistique ne sont pas significativement différentes des cacaoyers décrits précédemment mais ont tendance à avoir des moyennes plus élevées.
Le plus intéressant de l'étude sur les trois variables concerne les résultats de clones 141 dans le système SAF. En effet, cette combinaison se trouve toujours et uniquement classée dans le groupe avec les valeurs les plus élevées (groupe « g » pour le diamètre sous B1, groupe « e » pour le diamètre à la base de B2 et groupe « f » pour la hauteur en haut de la branche de B2) (cf.tableau 13). Ces lettres dépendent du classement de l'ensemble des autres combinaisons pour une variable donnée. Ainsi, bien que les clones 141 dans le système SAF ne soient pas statiquement différents de l'ensemble des autres combinaisons portant la lettre identique à leur classement, ils présentent en moyenne un meilleur état végétatif que l'ensemble des autres combinaison pour les trois variables analysées ci-dessous (cf.tableau 13).

Tableau 13: MOYENNE DES VARIABLES VEGETATIVES SELON LES SdC ET LA NATURE DES CLONES

Clones	Moyenne Diamètre sous B1 (cm)		Moyenne Diamètre à la base de B2 (cm)		Moyenne Hauteur en haut de la branche 2 (cm)	
	BAN	SAF	BAN	SAF	BAN	SAF
3	3.35 abcf	3.79 bcdg	2.57 bcd	2.74 bce	145.78 cde	167.14 ef
6	2.34 abc	2.43 a	1.63 ab	1.92 a	98.22 a	108.39 a
7	2.67 ad	4.01 cg	2.09 a	2.65 bcd	116.36 ab	154.26 cde
29	3.21 abc	3.79 bg	2.37 ac	2.75 be	135.95 ac	162.43 cf
41	3.66 bcdg	4.63 fg	2.68 bcd	2.84 bcd	156.17 cdf	161.43 cf
48	2.92 abcf	4.25 cg	2.28 ab	2.75 de	119.24 ac	165.22 ef
59	2.96 abe	3.72 bcdg	2.27 abd	2.55 bcd	133.50 ac	148.27 cde
62	3.09 ab	3.53 abcf	2.08 ac	2.73 bcd	129.54 ad	151.19 cde
83	3.83 cg	3.73 bcf	2.65 bcd	2.60 bcd	148.81 cde	148.27 cde
141	3.35 abcf	5.03 g	2.37 bcd	3.02 e	145.42 bcde	190.61 f
148	3.27 abcf	3.83 ceg	2.49 bcd	2.66 bcd	147.48 cde	152.03 cde

Après avoir conclu que les trois variables choisies pour décrire l'état de croissance végétatif des greffes dépendent significativement de l'interaction entre l'environnement et la nature des clones, il s'agit d'effectuer les mêmes analyses pour les variables de production.

Tableau 14 : ANOVAs VARIABLES PRODUCTIVES PAR LES FACTERUS CLONES ET CONTEXTES DE PRODUCTION

	Facteur 1 : Contexte de production		**Facteur 2 :** Nature du Clone		Interaction facteurs 1 et 2	
	F	p-value	F	p-value	F	p-value
Nb de fleurs	4.612	0.0320	1.975	0.03229	0861	0.5694
Nb de chérelles	2.238	0.135	0.779	0.649	0.538	0.864
Nb de chérelles mortes	3.069	0.0801	1.335	0.2069	1.210	0.2798
Nb de cabosses pourries	1.946	0.163	0.895	0.537	1.119	0.344
Nb de cabosses	1.209	0.272	1.466	0.147	1.023	0.421

Le tableau 14 ci-dessus fait état des résultats des ANOVAs à deux facteurs pour les cinq variables de production. Aucune interaction significative n'a été détectée pour les variables étudiées. Le nombre de fleurs semble dépendre significativement d'une part des clones ou d'autre part du contexte de production. La moyenne du nombre de fleurs par arbre est alors significativement plus élevée dans le système SAF (3.63) que dans le système BAN (1.31). Le nombre de chérelles mortes par arbre dépend également du contexte de production avec une occurrence plus élevée en système SAF (0,06) qu'en système BAN (0,01).
Les autres variables testées ne sont pas significativement dépendantes du contexte de production ni de la nature des clones.

iii. DL- DESCENDANCES LIBRES

La démarche permettant de répondre au fait que la croissance des descendances libres soit influencée par l'environnement, est similaire à la méthode effectuée pour les cacaoyers greffés. Il s'agit tout d'abord d'analyser le niveau des indicateurs de l'état végétatif (cf.tableau 15) des cacaoyers avec le contexte de production puis de faire de même avec les indicateurs de production (cf.tableau 16).
Les critères de choix de ces indicateurs végétatifs sont similaires à ceux utilisés dans le cadre de l'évaluation des greffes (cf. paragraphe précédent).

Tableau 15: NIVEAU DES INDICATEURS VEGETATIFS DANS LES DEUX CONTEXTES DE PRODUCTION - DL

Variables	F ou X^2	p-value	Moyenne BAN	Moyenne SAF
Hauteur Total (cm)	F= 0.72	0.397	181.127	176.6
Diamètre au collet	F= 88.62	<2e-16	4.36	3.21
Nb de couronne de l'étage 1	X^2= 11.346	0.000756	1.199	1.006

Indicateur transformé en log(x). Les valeurs moyennes ne sont pas transformées.
Non significatif Significativement supérieur

Le tableau 15 ci-dessus montre que le niveau moyen du diamètre au collet et du nombre de couronne de l'étage 1 est significativement supérieur en système BAN.
Concernant les indicateurs de productions, il semble que le nombre de fleurs, de chérelles et de cabosses soit significativement supérieurs dans le système BAN (cf.tableau 16). Seule le nombre de chérelles mortes n'est pas significativement supérieure dans l'un ou l'autre des contextes de production.

Tableau 16: NIVEAU DES INDICATEURS DE PRODUCTION DANS LES DEUX CONTEXTES DE PRODUCTION - DL

Variables	F ou X^2	p-value	Moyenne BAN	Moyenne SAF
Nb de fleurs	X^2= 160.67	2.2e-16	23.14	0.57
Nb de chérelles	X^2= 82.91	2.2e-16	0.55	0.001
Nb de chérelles mortes	F= 1.838	0.176	0.23	0.067
Nb de cabosses	X^2= 58.952	1.616e-14	0.77	0.055

Non significatif Significativement supérieur

Pour ces cacaoyers de descendances libres, les statistiques affirment que l'état de croissance à la fois productif et végétatif est meilleur en système BAN qu'en SAF. Seule la hauteur totale n'est pas significativement supérieure en BAN mais elle tend à l'être.

L'ensemble de ces résultats traitent d'un côté des clones et de l'autre des DL. Il n'y a pas eu à ce stade de tentative de comparaison des deux en termes de croissance, principalement dû au fait de leur différentes architectures.

VI- Discussion

a- Construction de la typologie végétative des cacaoyers :

i. GREFFES ET DL

La réalisation d'une typologie sur l'état de croissance permet de classer, avec robustesse, l'état de développement des cacaoyers greffes et DL en trois groupes. Le groupe C désigne avec significativité, les greffes et les DL les plus développés. Ces résultats permettent de démontrer qu'ils existent des d'indicateurs de croissance végétatifs tels que le diamètre au collet ou la hauteur totale de l'arbre, directement impliqués dans la différenciation des états de croissance. Le nombre de variables utilisées pour réaliser ces typologies à savoir 29 pour les cacaoyers greffés et 26 pour les descendances libres permet de dire que les résultats obtenus sont précis et représentatifs de l'architecture détaillée de l'arbre. Diverses variables de hauteurs de branches, de diamètres ou de nature de branche semblent redondantes mais permettent de révéler des corrélations entre certaines mesures, donnant des indications sur les relations de croissance existantes au sein de la plante. Ces corrélations permettent également de sélectionner des indicateurs en mesure de différencier les groupes de la typologie ainsi que de suivre les conditions d'homoscédasticité pour la réalisation d'ANOVAs à deux facteurs dans la suite des analyses. L'exemple le plus frappant est celui du diamètre au collet corrélé à 90% avec le diamètre sous la branche 1. Les valeurs du diamètre au collet ne suivant pas les conditions d'homoscédasticité ont impliqué de le substituer au diamètre sous la branche 1 pour tester l'interaction des clones et de l'environnement sur ce paramètre de croissance végétatif.

L'étude menée dans le cadre du projet C2G2 innove par sa prise en compte d'une grande diversité de variables végétatives pour décrire la croissance de chaque cacaoyer à un stade juvénile. La caractérisation de la croissance des cacaoyers a fait l'objet de diverses études mais sans pour autant prendre en compte un si grand nombre de paramètres. Des travaux menés au Cameroun se sont attachés à décrire des cacaoyers semés en les caractérisant en 5 types en fonction de leur architecture globale (présence de la première couronne (type 1), cacaoyer bi-troncs (type 3) etc…) (Jagoret, 2011). Une étude menée au Nigeria a combiné l'évaluation de l'état végétatif de 44 clones avec leur état productif mais les variables végétatives utilisées concernaient essentiellement la hauteur totale, la hauteur sous la première branche, ou le diamètre au collet (Apshara *et al.*, 2009). Les études menées sur la caractérisation de la croissance des cacaoyers associent souvent les facteurs de productions aux facteurs végétatifs afin de voir le lien qu'il existe entre ces deux paramètres. Il est rare comme dans le cas du projet C2G2, de caractériser le niveau de croissance des arbres uniquement au travers d'indicateurs végétatifs. Une équipe de chercheurs Indien à travailler sur les cacaoyers de 10 ans d'âge afin de déterminer les individus les plus intéressants pour des programmes de clonages ou de croisement génétique. Pour ce faire, ils ont utilisé une diversité de variables de production et seulement trois variables végétatives tels que la hauteur sous la première branche, le diamètre au collet ou encore le nombre de branches de la première couronne (Thondaiman *et al.*, 2013).

Bien que robustes, les typologies proposées dans ce rapport restent des photographiques permettant de différencier les états de croissance des cacaoyers à l'aide d'indicateurs à un moment donné. Ces architectures pouvant changer, entre autres, en fonction de la conduite technique employée par les agriculteurs (Jagoret, 2011), il se peut que si l'ensemble des

cacaoyers soit remesuré selon le même protocole à un ou deux ans d'intervalle, les groupes de typologies changent et que les indicateurs permettant de les différencier ne soient plus exactement les mêmes. Cette méthode est donc à contextualiser aussi bien dans le temps qu'en terme géographique et variétal.

b- Différencier les cacaoyers entre eux par rapport aux indicateurs de croissance végétative et productive

i. CLONES :

Le travail mené pour alimenter la deuxième hypothèse montre que les clones 141 et 41 sont significativement présents dans le groupe C associé à un état de croissance végétative supérieur. A l'inverse, les clones 6,7 et 62 se trouvent significativement dans le groupe A qui témoigne d'un état de croissance plus médiocre. L'ensemble des cacaoyers étant à un stade juvénile, il est intéressant de voir que ces résultats permettent de dégager certaines tendances en termes de croissance végétative et surtout de voir que deux des clones, quel que soit leur environnement, montrent un meilleur état de développement.

Pour les autres clones, les analyses ne permettent pas de connaître significativement leur état de croissance. Le fait de ne pas être en mesure de qualifier ou différencier l'état de croissance de certains des clones (3, 29,48,59,83 et 148) en fonction des trois groupes définit par la typologie peut s'expliquer de différentes manières. Tout d'abord, il se peut qu'ils ne soient pas possibles de différencier ces clones car ils ne sont ni significativement bons ni significativement médiocres selon la typologie présentée et les indicateurs de croissance choisis. Ensuite, un même clone peut avoir été mesurés dans des systèmes de cultures différents. La notion de système de culture renvoie entre autres, à la notion de la conduite technique (Papy, 2008), c'est-à-dire aux modalités techniques mises en place pour gérer le système (taille, fertilisation etc..). Ce paramètre est laissé à l'appréciation des agriculteurs dans le cadre du projet C_2G_2 et il est impossible de savoir dans quelle mesure il peut impacter le phénotype de croissances des différents clones. Ainsi, en fonction de la conduite technique, l'état de croissance d'un même clone peut se compenser d'un système à l'autre et être évalué comme ni bon ni mauvais (Jagoret, 2011).

La suite de l'étude à démontrer que l'interaction des facteurs clones et typologie ne révélait pas un potentiel de production plus élevé significativement pour un clone, qu'il se trouve dans le groupe A, B ou C. Cependant, une tendance principale se dégage à savoir que les clones 3, 41, 48, 62 ou 148 issus du groupes C tendent à avoir des niveaux de production supérieurs que l'ensemble des clones des groupes A ou B. Différents scientifiques ont travaillé sur ces corrélations existantes entre l'état végétatif et reproductif des cacaoyers. Une étude menée au Vanuatu pendant 5 ans sur 600 individus issus de 10 hybrides de cacaoyers a montré que la taille du diamètre au collet était corrélé de façon significative aux nombres de cabosses produites après 5 ans, et ce, à hauteur de 52% (Aguilar *et al.*, 2006). Par ailleurs, au Nigeria, une équipe de scientifique a démontré après avoir analysé 44 clones différents, que la hauteur des cacaoyers, ainsi que la hauteur sous la première branche étaient corrélées significativement au rendement de cabosses mesuré sur les arbres (Apshara *et al.*, 2009). La tendance permettant de corréler l'état végétatif à l'état de production semble donc être un paramètre déjà observé dans différents contextes.

Le fait de ne parler que de tendances et de ne pas pouvoir conclure de façon significative, peut s'expliquer par le jeune âge des clones (entre 18 mois et 3 ans) qui commencent seulement à entrer en production (Mossu, 1990). Par ailleurs les tests statistiques ont été menés sur les variances des rangs et non sur les données brutes ce qui est statistiquement moins précis puisqu'il était impossible de suivre les conditions d'homoscédasticité des résidus.

ii. DL- DESCENDANCES LIBRES

Les analyses sur les descendances libres ont permis d'affirmer que l'état végétatifs des cacaoyers était significativement lié à leur état de production. Le nombre de fleurs, de chérelles et de cabosses est significativement plus élevés pour les cacaoyers du groupe C que pour ceux des groupes A et B. Il ne s'agit plus pour les DL d'une tendance observable (comme c'est le cas pour les greffes) mais bien d'une affirmation statistique qui semble suivre le fait qu'il y a une corrélation entre l'état végétatif et productif dans la croissance des cacaoyers. Des études se sont appliquées à montrer la corrélations entre ces facteurs de croissances végétatives et reproductives (Aguilar *et al.*, 2006; Apshara *et al.*, 2009). De Almeida & Valle (2007), affirment même que mesurer les diamètres au collet, la hauteur du tronc, la surface foliaire ou estimer la moyenne du diamètre sous les couronnes, sur des cacaoyers entre 12 mois et trois ans, permet de prédire le rendement potentiel des cacaoyers atteignant sa pleine production après 8 ans de plantation.

Le fait que les cacaoyers, clones et DL mesurés soient à un stade juvénile, implique des moyennes de production faible par arbre. Dans cette étude, le faible nombre de cabosses peut également s'expliquer par les besoins importants en nutriments des cacaoyers pour mener à bien la fructification, notamment en termes de potassium et de phosphore (Adden, 2017). L'apport de nutriment sur la parcelle relève de la conduite technique laissée à l'appréciation de l'agriculteur. Si ce paramètre est ajouté aux problèmes liés à l'érosion et au lessivage des sols en Guyane (Montaigne *et al.*, 2018), ainsi qu' à une fertilisation aléatoire entre les différents sites partenaires, il est possible d'expliquer le très faible nombre de cabosses recensées.

Par ailleurs, la productivité potentiel du cacaoyer dépend de sa capacité à mener à bien la fructification et non de sa capacité à fleurir (Boulay, 1998). Cette capacité à fructifier résulte du bon déroulement de nombreux phénomènes abiotiques telles que la photosynthèse et la respiration ou encore de la forme que prend la chérélle lors de son développement en cabosse (de Almeida & Valle, 2007). Ces paramètres ne faisaient pas l'objet de l'étude mais permettent de comprendre que le passage de la floraison à la fructification est régi par des phénomènes complexes et pas toujours mesurables. Ainsi, observer des fleurs est un bon signe de l'entrée en production du cacaoyer juvénile car sans fleurs il n'y a pas de fructification. Cependant, afin d'évaluer le potentiel de rendement, il faut passer par l'observation du nombre de cabosses. En conclusion, tant qu'il ne sera pas possible d'observer des cabosses sur ces arbres, il sera difficile de juger avec précision de leur aptitude à réaliser de bons rendements bien que l'état végétatif des cacaoyers reste un indice très pertinent.

Qu'ils s'agissent des greffes ou des DL, le faible taux productif observé peut résulter des phénomènes météorologiques ou des conditions environnementales. Les cacaoyers sont en général très sensibles à la température extérieure. Ces sensibilités, dépendantes de la génétique des cacaoyers, peuvent affecter le rendement.(Daymond & Hadley, 2003;

de Almeida & Valle, 2007). Par ailleurs, la quantité des pluies en saison sèche et la capacité de rétention d'eau dans les sols sont également des paramètres qui peuvent jouer directement sur le rendement et donc la mise à fruit des cacaoyers (Zuidema *et al.*, 2005)

c- Niveau des indicateurs et potentiel agronomique des clones en fonction de l'environnement :

i. CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT :

Les mesures de croissance réalisées sur les cacaoyers sont effectuées au sein de plusieurs parcelles. De façon générale, ces cacaoyers évoluent dans deux contextes de production à savoir l'association du cacao à la banane et aux ingas ou le contexte sous couvert agroforestier.Ces deux contextes sont significativement différents en réponse à trois indicateurs que sont le pourcentage de couvert, la hauteur de arbres associés et le produit de ces deux indicateurs.

La volonté de cette étude est de voir si les cacaoyers mesurés réagissent de façon significative à un facteur environnement ayant deux modalités (« SAF » ou « BAN »). L'objectif est donc de caractériser cet environnement de façon simple puisqu'il ne s'agit pas de savoir quels paramètres de l'environnement influencent ou non le niveau de croissance mais bien de savoir si le facteur environnement interagit avec les clones et leur état de croissance général.

Les paramètres sélectionnés pour décrire l'environnent agroforestier concernent essentiellement les interactions aériennes mais d'autres paramètres auraient pu être choisis pour caractériser ces systèmes agroforestiers à l'échelle des peuplement associés (la densité, l'architecture, l'âge, la surface terrière) ou de l'état du milieu (texture du sol, teneur en carbone totale, pH…) (Jagoret, 2011).

Au-delà du fait de tester l'interaction du contexte de production avec les clones, il aurait été intéressant de regarder selon quels paramètres environnementaux, les systèmes associés pouvaient avoir des effets bénéfiques ou concurrentiels avec la croissance des cacaoyers. Il existe des références sur le sujet incitant à investiguer plus précisément la nature des interactions entre les cultures et les peuplements associés pouvant servir à concevoir des leviers d'amélioration de l'efficience des interactions bénéfiques au sein des systèmes. Dans le cas de cette étude, la légumineuse arborescente *Inga edulis,* intégrée dans les deux contextes de production, pourrait avoir un effet bénéfique sur les transferts d'azote avec les cacaoyers dans le sols et ne générait pas de compétition racinaire pour les nutriments dans la mesure ou leur système racinaire serait superficiel (Nygren *et al.*, 2013). Il s'agit ici d'un bénéfice écosystémique fournis par les ingas.

Même si les trois indicateurs choisis permettent d'ores et déjà de répondre aux interrogations posées dans le cadre de ce rapport, les propositions d'améliorations décrites précédemment, permettraient d'étoffer les analyses et de mieux comprendre les interactions climat-sol-plante au sein des systèmes agroforestiers guyanais.

ii. CLONES

L'interaction des clones dans leur environnement est significative pour les trois indicateurs de croissance végétative choisis. A l'inverse, l'ensemble des paramètres de productivité ne dépendent pas significativement de cette interaction. Pour les mêmes raisons que celles

décrites précédemment, cela peut s'expliquer par l'état juvénile des clones qui ne permet pas d'avoir une quantité significative de fleurs ou de cabosses qui soit corrélée à un clone en fonction de son environnement. D'autre part l'ensemble du travail réalisé sur les paramètres végétatifs, permet bien de lier l'état de croissance des cacaoyers à l'interaction de la nature du clone et de l'environnement.

iii. EVALUATION DU POTENTIEL AGRONOMIQUE DES CLONES (hypothèse 4)

L'analyse du potentiel agronomique des clones dans leur environnement permet d'évaluer différentes tendances de croissances bien qu'aucune ne soit statistiquement significative. Le clone 141 dans le système SAF, pour les trois variables végétatives testées, est le plus avancé en termes de croissance végétative dans ce système. A l'opposé, le clone 6 dans le système SAF est le moins performant pour les trois indicateurs. Concernant les variables de production, les résultats de cette étude s'appliquent à dire que la moyennes des fleurs et des chérelles par arbres, aussi faible soit-elle, semble plus élevée de façon significative dans le système SAF.

Cette tendance productive est discutable puisque les systèmes de culture associant le cacao à un ombrage léger voire inexistant produisent généralement plus, et plus rapidement que les systèmes associés à un fort ombrage. Cette culture de plein soleil nécessite des fertilisants et notamment du phosphore sans quoi les rendements sont amenés à décliner (Ahenkorah *et al.*, 1974; Owusu, 1980; de Almeida & Valle, 2007). Cette exposition importante à la lumière peut également impacter les mécanismes de photosynthèses qui se produisent au niveau des feuilles (Raja Harun & Hardwick, 2002).

L'agroforesterie peut alors s'imposer comme une alternative aux systèmes peu ombragés. Les enjeux concernant la conduite du cacao sous ombrage sont divers. En effet, un couvert forestier trop important peut entraîner l'apparition de maladies ou la réduction du potentiel photosynthétique des cacaoyers. Cependant, ces systèmes semblent être favorables à de jeunes plants de cacaoyers grâce à l'interaction d'une exposition modérée au soleil et d'une diminution de l'impact du vent sur la plante (Alvim & Kozlowski, 1977). Ils permettent également réduire les effets de baisse de fertilité des sols, du vent et d'évapotranspiration. De plus, d'autres scientifiques ont démontré que la conduite du cacao sous agroforêts semblait contribuer au maintien de la matière organique dans les sols, à la séquestration du Carbon et au renouvellement des cycles de nutriments (de Almeida & Valle, 2007; Müller Manfred & Gama-Rodrigues, 2012).

Dans le cadre de cette étude, la stabilité des systèmes agroforestier a pu fournir, un environnement propice à l'apparition des premières composantes productives sur les clones (fleurs et chérelles…). Il serait nécessaire de continuer les investigations dans l'année à venir pour voir si cette tendance de production se confirme dans les systèmes agroforestiers ou si elle devient plus importante dans les systèmes associant la banane.

Enfin il est important de mettre en perspective que le manque de données de production ne permet pas de conclure sur le potentiel global de la croissance des clones dans leur environnement. En effet la tendance de développement en faveur du clone 141 en SAF ne tient que dans l'analyse des paramètres végétatifs et non productifs.

iv. DL-DESCENDANCES LIBRES

L'analyse des comportements productifs et végétatifs des DL en fonction des deux contextes de production de cette étude montre que l'ensemble des paramètre mis à part la hauteur des cacaoyers dépendent significativement de l'environnement. L'état de croissance des cacaoyers de descendances libres étant significativement supérieur dans les systèmes associés à la banane.

Le comportement de ces cacaoyers semble correspondre au fait que les cacaoyers entre plus vite en production dans un système avec peu d'ombrage (de Almeida & Valle, 2007; Niether *et al.*, 2020). Ces observations restent à confirmer par la suite, les cacaoyers montrant des niveaux de production encore très bas.

De façon générale le comportement végétatif des greffes et des DL est significativement lié à l'environnement. Concernant l'état de production, il serait intéressant de pousser les investigations pour voir si les tendances observées dans les SAF pour les clones et dans les systèmes associés à la banane pour les descendances libres se confirment avec l'âge des cacaoyers.
Par ailleurs, de nombreux paramètres concernant l'environnent associé, ou la conduite technique entrepris par les partenaires ne sont pas pris en compte et pourraient permettre de faire des liens différents en termes de croissance des cacaoyers dans leur environnement.

Dans sa globalité, cette étude montre pour les onze clones, la possibilité de les différencier en trois groupes végétatifs. Bien qu'il ne soit possible de conclure statistiquement au potentiel plus élevé d'un ou plusieurs clones par rapport à leur environnement de culture, des tendances de croissances sont observables. Les clones 6 quel que soit le contexte de production et le clone 7 en système BAN font état d'une croissance végétative faible à l'opposé des cacaoyers tels que le 141 en système SAF. Par ailleurs, le fait de ne pas observer des signes de production des arbres est également normal pour l'âge du matériel végétal. La caractérisation de ces arbres sera intéressante à réitérer lorsqu'ils seront en production de manière à évaluer leur potentiel agronomique (rendement).

Finalement, il s'agit du temps zéro du projet, c'est-à-dire des premiers résultats observables par rapport aux mesures effectuées entre 2020 et 2021. Afin de confirmer les premières tendances de cette étude et d'affiner la définition du potentiel agronomique des clones ainsi que des DL, il serait intéressant de trouver de nouveaux indicateurs pour caractériser la croissance (indice de la surface foliaire, entre-nœuds, longueur du pétiole…). D'autre part, il pourrait être intéressant de relever les itinéraires techniques mis en place par les producteurs pour les comparer aux états de croissance observés entre les différents sites, dans la mesure ou le nombre de sites seraient significatifs. Enfin des données de production plus importantes en termes de qualité et de quantité pourraient être recueillies afin d'affiner cette notion de potentiel agronomique des arbres au travers du lien entre état végétatif et productif.

Conclusion

L'ensemble de l'étude menée au cours de ce rapport, s'attachait à répondre à la question d'étude suivante : « L'analyse des caractéristiques architecturales de jeunes cacaoyers guiana permet-elle de mettre en évidence des indicateurs de croissance pour étudier leur potentiel de développement au sein de deux contextes de production guyanaise ? ». Quatre hypothèses de travail ont été définies afin de répondre à cette question.

La première hypothèse suggérant le fait que la création d'une typologie architecturale pour les greffes d'une part et pour les DL de l'autre, permettait d'aboutir à l'identification d'indicateurs liés à la croissance et à la vigueur de l'arbre, a été affirmée. En effet, parmi les 29 et 26 variables sélectionnées respectivement pour classifier la croissance des greffes et des DL, une bonne partie d'entre-elles étaient des indicateurs de croissances significatifs permettant de différencier les trois groupes de typologie pour les deux types de cacaoyers.

La deuxième hypothèse consistant à savoir si les indicateurs identifiés dans la première hypothèse, permettaient de différencier les états végétatifs et reproductifs, des clones entre eux, et des DL, a été affirmée en partie. Pour l'état végétatif au travers des groupes de la typologie, les clones 41 et 141 avaient une vigueur végétative supérieure à l'inverse des clones 6, 7 et 62, significativement inférieure. Pour les autres clones, il n'était pas possible de les caractériser significativement. Concernant la comparaison du potentiel productif des clones en fonction de leur état végétatif (groupe de typologie), les clones les plus vigoureux semblent produire plus mais il n'est pas possible de classer les clones en fonction de cet état de production. Pour ce qui est de DL, il est possible de conclure sur le fait que plus leur état végétatif est vigoureux (en fonction de la typologie), plus les cacaoyers sont susceptibles de produire.

L'hypothèse 3 évoquant le fait que les niveaux des indicateurs testés étaient différents en fonction de l'environnement a également été affirmée en partie. En effet, le facteur environnement a été défini en deux modalités à savoir le contexte de production en système agroforestier et le contexte associé à la culture de la banane. Pour les clones, les analyses ont montré que les indicateurs végétatifs étaient significatifs par rapport à l'interaction des facteurs clone et environnement. Ceci n'est pas vrai pour les indicateurs de productions. Concernant les DL, les indicateurs végétatifs et les indicateurs de production réagissent de façon significative avec le facteur environnement. Les analyses montrent mêmes que la moyenne de chaque indicateur testé est supérieure lorsque les cacaoyers de descendances libres sont associés à la banane plutôt qu'à un système agroforestier.

Enfin, l'hypothèse 4, concernant exclusivement les clones et la possibilité de préciser leur état de croissance en fonction de l'environnement n'a pas été affirmée. Le travail mené a donné des éléments de réponse à savoir que les clones 141 démontraient un état de croissance végétatif plus élevé en système SAF bien que non significatif statistiquement. Les clones 6 dans les systèmes SAF et BAN témoignent des moins bons états de croissance végétative. Aucune des interactions clone/environnement ne s'est montrées significativement supérieures ou inférieures ne permettant pas d'affirmer l'hypothèse 4.

Pour en revenir à la réponse à la question d'étude, il est possible d'affirmer, quel que soit le matériel végétal (clone ou DL), que l'analyse des caractéristiques architecturales des cacaoyers guiana permet de révéler des indicateurs de croissances considérant le temps de cette étude, et son contexte (géographique, social, variétal.). Par ailleurs, l'environnement dans lequel évoluent les cacaoyers a pu être caractérisé selon deux contextes de production afin d'étudier le potentiel de développement des cacaoyers en leur sein. Cependant, l'étude des indicateurs de production et de croissance végétative en fonction de l'environnement, ne donne pas les mêmes résultats pour les clones et les DL. Les résultats des clones révèlent qu'il n'est pas possible d'étudier leur potentiel productif au travers de l'interaction clone/environnement, celles-ci n'étant pas significatives. Pour les DL, il est possible d'étudier leur développement (productifs et végétatifs) au sein des contextes de production puisque l'interaction entre l'ensemble des indicateurs sélectionnés et l'environnement est significative.

L'étude réalisée au travers de ce rapport a permis de construire une méthodologie de caractérisation de la croissance des cacaoyers adaptée à leur l'architecture qu'ils soient issus de greffes ou de semences. Des indicateurs de croissances végétative ont été révélé et permettent de différencier l'état de croissances des cacaoyers. Pour les indicateurs de productivité, l'étude a confirmé le stade juvénile des cacaoyers par le fait qu'il y avait peu de signe de production visibles. Finalement il est possible de répondre à la question pour les descendances libres et dans une moindre mesure pour les clones, dont le potentiel de développement (notamment productif) est faiblement relié à leur interaction avec l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

Adden A.K. 2017. Amélioration de la productivité des vergers de cacaoyers (Theobroma cacao Linn.) pour une gestion forestière durable au Togo. Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé, Thèses.

Addinsoft 2021. XLSTAT | Statistical Software for Excel. XLSTAT Your Data Anal. Solut.

Adenikinju S.A. 1983. L'importance du plantain pour la production du cacao et pour les paysans

Aguilar P., Bastide P., Paulin D., Bouletare G. 2006. Relation entre la croissance et le potentiel agronomique de douze hybrides de cacaoyers au Vanuatu

Ahenkorah Y., Akrofi G.S., Adri A.K. 1974. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science*, **49** (1) : 43-51. doi : 10.1080/00221589.1974.11514550.

Alvim P. de T., Kozlowski T.T. 1977. Ecophysiology of Tropical Crops. Elsevier, 285-313 p.

Amiel F., Muller A., Laurans Y. 2018. Produire un cacao durable : à quelles conditions ? (14): 4.

Andres C., Comoé H., Beerli A., Schneider M., Rist S., Jacobi J. 2016. Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. In: Lichtfouse E. (ed). *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19*. Cham: Springer International Publishing : p. 121-153 (Coll. Sustainable Agriculture Reviews).

Appiah M.R., Ofori-Frimpong K., Afrifa A.A. 2000. Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science*, **33** (2) : 183-190. doi: 10.4314/gjas.v33i2.1869.

Apshara E., Bhat V., Ananda K., Nair R., Suma D. 2009. Evaluation and identification of high yielding trees in Nigerian cocoa germplasm. *Journal of plantation crops*, **37** : 111-116.

Banque mondiale 2018. L'extrême pauvreté continue de progresser en Afrique subsaharienne

Barrel M. 2013. Qualité du cacao : l'impact du traitement post-récolte

Barrel M. 2015. Quel est le meilleur Chocolat ? QUAE, 136 p.

Bastide P. 2007. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'ouest; Série Economie Le cacao

Bekele F.L., Bidaisee G.G., Singh H., Saravanakumar D. 2020. Morphological characterisation and evaluation of cacao (Theobroma cacao L.) in Trinidad to facilitate utilisation of Trinitario cacao globally. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **67** (3) : 621-643. doi: 10.1007/s10722-019-00793-7.

Bentley J.W., Boa E., Stonehouse J. 2004. Neighbor Trees: Shade, Intercropping, and Cacao in Ecuador. *Human Ecology*, **32** (2) : 241-270. doi: 10.1023/B:HUEC.0000019759.46526.4d.

Boulay M. 1998. Etude de la phénologie de différents hybrides de cacaoyer associés à six espèces d'arbres d'ombrage

Braudeau J. 1969. Le cacaoyer

Charrier A. 1969. DU CACAOYER (Theobroma CQCQO L.)19.

CIRAD 2020. CIRAD

Cirad 2020. GUYANE - greffage en fente terminale de cacaoyers

Clément D., Lachenaud P. 2018. Liste des clones de cacaoyers spontanés de Guyane (Theobroma cacao L.) pré-sélectionnés « candidats élites ».

Commerce équitable France 2021. [Communiqué] Multinationales du chocolat versus petits producteurs de cacao : l'indécent bras de fer. Commer. Équitable Fr.

CRFP 2010. Connaître et utiliser la surface terrière

DAAF 2010. Nombre d'exploitations et classement de la SAU par sous-commune -RGA 2010

DAAF 2014. Exploitations agricoles

DAAF 2015. Filières agricoles

DAAF, ONF 2018. La gestion forestière en Guyane

Daymond A., Hadley P. 2003. The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (Theobroma cacao). *Annals of Applied Biology*, **145** (3) : 257-252.

De la Chesnaie E. 2009. Le cours du cacao atteint des records. LEFIGARO.

de Almeida A.-A.F., Valle R.R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree

Decayeux E. 2019. L'agroforesterie de sous-bois en Guyane. Cas des systèmes agroforestiers composés de cacao, café, vanille et poivre.

Deheuvels O. 2011. Compromis entre productivité et biodiversité sur un gradient d'intensité de gestion de systèmes agroforestiers à base de cacaoyers de Talamanca, Costa Rica185.

Dhelin T. 2021. La renaissance du cacao guyanais. Réussir Fruits Légumes FLD.

Direction de l'agriculture 2018. Fiche technique: la banane dessert et plantain genre Musa

France Inter 2017. La Guyane, ce gros bout de France qu'on connaît mal

Gil J.P., Leiva E., Pisco R. 2017. Phenology of cocoa tree in a tropical moist forest. *Científica*, **45** : 240. doi: 10.15361/1984-5529.2017v45n3p240-252.

Gouvernement Français 2021a. geo.data.gouv.fr

Gouvernement Français 2021b. Signature de l'accord régional de relance entre l'Etat et la collectivité territoriale de Guyane

Hallé F. 2013. [VIDÉO] Forêt primaire & forêt secondaire par Francis Hallé

ICCO 2021. Production_QBCS-XLVII-No.-1.pdf

ICGD 2020a. IMC 67

ICGD 2020b. Pound 7

Inrae 2020. CAN-EYE

INSEE 2018. Recensement de la population en Guyane : 276 128 habitants au 1er janvier 2018 - Insee Flash Guyane - 131

Jagoret P. 2011. Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au Centre Cameroun. Montpelier SupAgro, 288 p.

Jagoret P., Bouambi E., Menimo T., Domkam I., Batomen F. 2008. Analyse de la diversité des systèmes de pratiques en cacaoculture. Cas du Centre Cameroun. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **12** :

Jagoret P., Deheuvels O., Saj S. 2015. L'agroforesterie en zone humide une opportunité pour une nouvelle cacaoculture

Jagoret P., Michel I., Ngnogué H.T., Lachenaud P., Snoeck D., Malézieux E. 2017. Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, **37** (6) : 60. doi: 10.1007/s13593-017-0468-0.

Johnson P.W. 2020. En Guyane, l'émergence d'un cacao et d'un chocolat français durable

Josse J., Husson F. 2012. Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods. *Journal de la société française de statistique*, **153** (2) : 79-99.

Josse J., Husson F. 2016. missMDA: A Package for Handling Missing Values in Multivariate Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, **70** (1) : 1-31. doi: 10.18637/jss.v070.i01.

Kassambara A. s. d. Transformer les Données en Distribution Normale dans R

Lachenaud P. 1991. Facteur de la fructification chez le cacaoyer (THEOBROMA CACAO L.) Influence sur le nombre de graines par fruit.186.

Lachenaud P., Labouisse J.-P. 2019. Lachenaud-&-Labouisse-2019-Guide-identification-type-cacaoyers.pdf

Lachenaud P., Oliver G., Bastide P., Paulin D. 2006. Le remplissage des cabosses des cacaoyers spontanés de Guyane (*Theobroma cacao* L.). *Acta Botanica Gallica*, **153** (1) : 105-114. doi: 10.1080/12538078.2006.10515525.

Lachenaud P., Olivier G. 1998. Infleunce d'éclaircies sur les rendements d'hybrides de cacaoyers

Lachenaud P., Paulin D., Ducamp M., Thevenin J.-M. 2007. Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (Theobroma cacao L.) from French Guiana

Lachenaud P., Rossi V., Thevenin J.-M., Doaré F. 2015. The « Guiana » genetic group: A new source of resistance to cacao (Theobroma cacao L.) black pod rot caused by Phytophtora capsici

Lachenaud P., Sounigo O., Sallée B. 2005. Les cacaoyers spontanés de Guyane française: état des recherches. *Acta Botanica Gallica*, **152** (3) : 325-346. doi: 10.1080/12538078.2005.10515493.

Lelong C., Michel I., Levang P. 2015. WP1 : Caractérisation de la composition, structure, dynamique du système / Programme scientifique - SAFSE - Recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers tropicaux

Liabeuf J. 1979. Les tendances actuelles de la recherche cacaoyère et les acquis récents dans l'amélioration de la production du cacao. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, **26** (3) : 247-266. doi: 10.3406/jatba.1979.3804.

Louppe D., Mille G. 2015. Mémento du forestier tropical

Météo France 2021. Régimes pluviométriques - Pluies extrêmes en Guyane

Miallet I. 1990. Le cacaoyer, THEOBROMA CACAO L. Modélisation de son architecture et de sa croissance. Exemple de l'hybride UPA402*C410.

Michon G., Foresta H. de, Levang P. 1995. Stratégies agroforestières paysannes et développement durable : les agroforêts à damar de Sumatra. *Natures Sciences Sociétés*, **3** (3) : 207-221. doi: 10.1051/nss/19950303207.

Millot G., Neubauer C., Storup B. 2013. La recherche participative comme mode de production et de savoirs. Un état des lieux des pratiques en France

Montaigne W., DeBon H., Domenach A.-M., Roggy J.-C. 2018. Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques : retours d'expérience en Guyane Française

Mossu G. 1990. Le cacaoyer. Maisonneuve et Larose. 159 p.

Motamayor J.C., Lachenaud P., Brown S., Schnell R.J. 2008. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (Theobroma cacao L). *PLoS ONE*, **3** (10) : 8.

Müller Manfred W., Gama-Rodrigues A. 2012. Cacao agroforestry systems. *Science, technology and management of cacao tree*, 246-271.

Niemenak N., Cilas C., Rohsius C., Bleiholder H., Meier U., Lieberei R. 2010. Phenological growth stages of cacao plants (Theobroma sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, **156** (1) : 13-24. doi: 10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x. [c

Niether W., Jacobi J., Blaser W.J., Andres C., Armengot L. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, **15** (10) : 104085. doi: 10.1088/1748-9326/abb053.

Nygren P., Leblanc H.A. 2009. Natural abundance of 15N in two cacao plantations with legume and non-legume shade trees. *Agroforestry Systems*, **76** (2) : 303-315. doi: 10.1007/s10457-008-9160-3.

Nygren P., Leblanc H.A., Lu M., Gómez Luciano C.A. 2013. Distribution of coarse and fine roots of Theobroma cacao and shade tree Inga edulis in a cocoa plantation. *Annals of Forest Science*, **70** (3) : 229-239. doi: 10.1007/s13595-012-0250-z.

ONF 2021. ONF - ONF Guyane

Owusu J.K. 1980. Light requirements of cocoa: a review. *Light requirements of cocoa: a review.*, 112-121.

Papy F. 2008. Le système de culture: un concept riche de sens pour penser le futur. *Cahier Agricultures*, **17** (3) : 7.

R Core team 2017. R: The R Project for Statistical Computing

Raja Harun R.M., Hardwick K. 2002. The effects of prolonged exposure to different light intensities on the photosynthesis of cocoa leaves. 10th International Cocoa Researh Conference. COPAL, LAGOS, NIGERIA

Rajaonarisolo H.M.F. 2019. LA PRATIQUE DU GREFFAGE POUR L'AMÉLIORATION DE L'ENSEIGNEMENT DE LA BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE AU LYCÉE113.

Ratnadass A., Blanchart E., Lecomte P. 2013. Interactions écologiques au sein de la biodiversité des systèmes cultivés. In: *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*

RDocumentation 2021. HCPC function - RDocumentation [

Saj S., Decayeux E. 2020. Guide de taille projet C2G2

Saj S., Decayeux E. 2021. Identification des manques nutritionnels observés sur jeunes cacaoyers guiana en Guyane FR Identification of nutrient deficiencies observed in young cocoa trees in French Guiana ENG

Snoeck D. 2010. Importance d'une bonne gestion de la fertilité des sols pour une cacaoculture durable8.

Thondaiman V., K R., N S., A J.J., N S. 2013. Variability studies and identification of high yielding plus trees of cocoa (Theobroma cacao L.) in Tamil Nadu. *African Journal of Agricultural Research*, **8** (26) : 3444-3453. doi: 10.5897/AJAR12.7230.

Torquebiau E. 2000. A renew perspective on agroforestry concepts and classification

Torquebiau, Emmanuel, Sibelet N., Nicole, Mary, Fabienne 2002. Les associations agroforestieres et leurs multiples enjeux - The multiple challenges of agroforestry associations. *Bois et Forets des Tropiques*, 23-35.

Tsagris M., Pandis N. 2021. Normality test: Is it really necessary? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **159**: 548-549. doi: 10.1016/j.ajodo.2021.01.003.

UPOV 2011. International union for the protection of the new varieties of plants cacaoyer

Van Lerberghe P. 2015. Foret-entreprise-num-225-agroforesterie-Introduction-dossier-Philippe-Van-Lerberghe.pdf

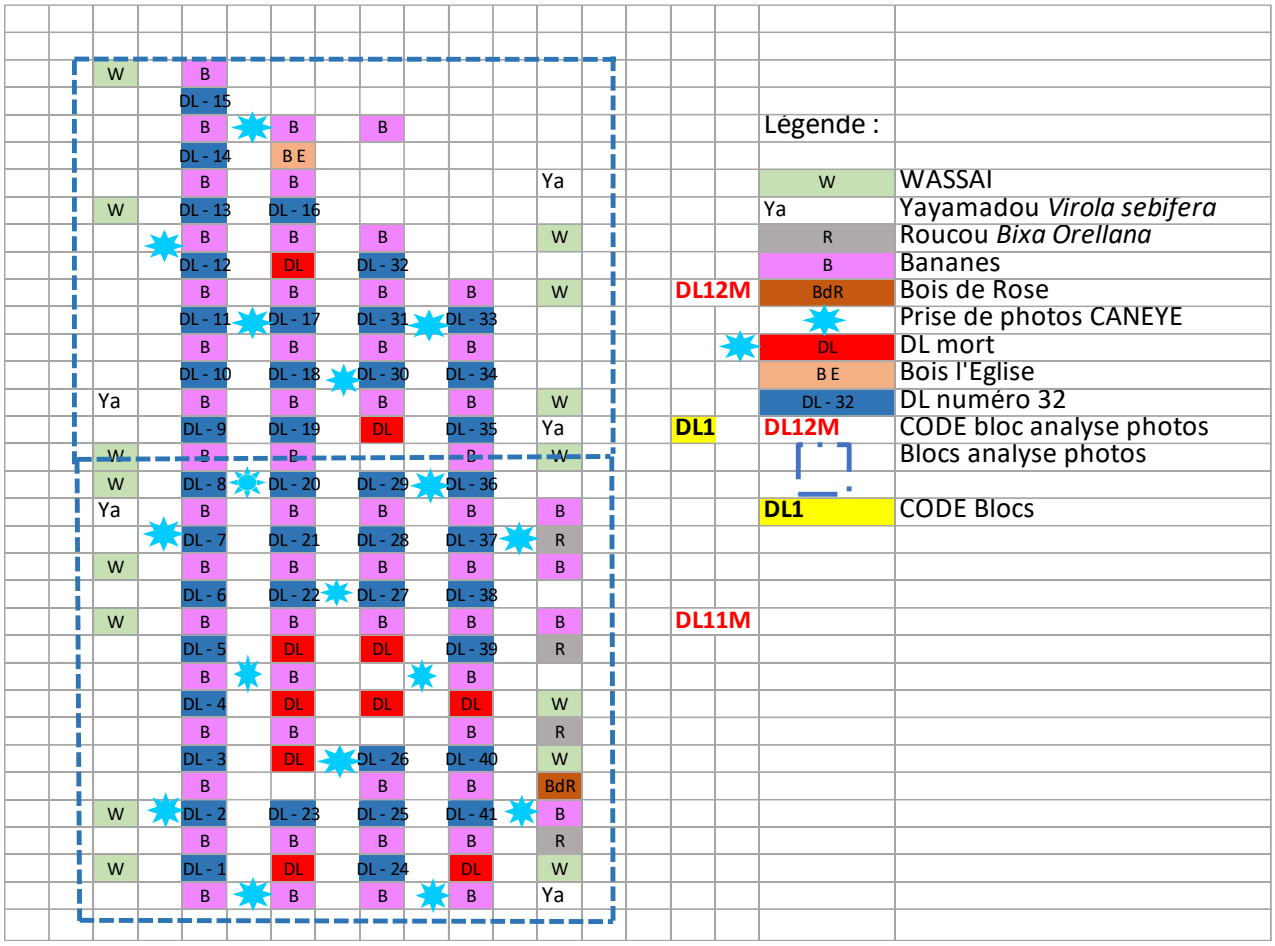
Vaudor L. 2015. Non-respect des hypothèses du modèle linéaire (ANOVA, régression): c'est grave, docteur?? R-Atique.

Zuidema P.A., Leffelaar P.A., Gerritsma W., Mommer L., Anten N.P.R. 2005. A physiological production model for cocoa (Theobroma cacao): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, **84** (2) : 195-225. doi: 10.1016/j.agsy.2004.06.015.

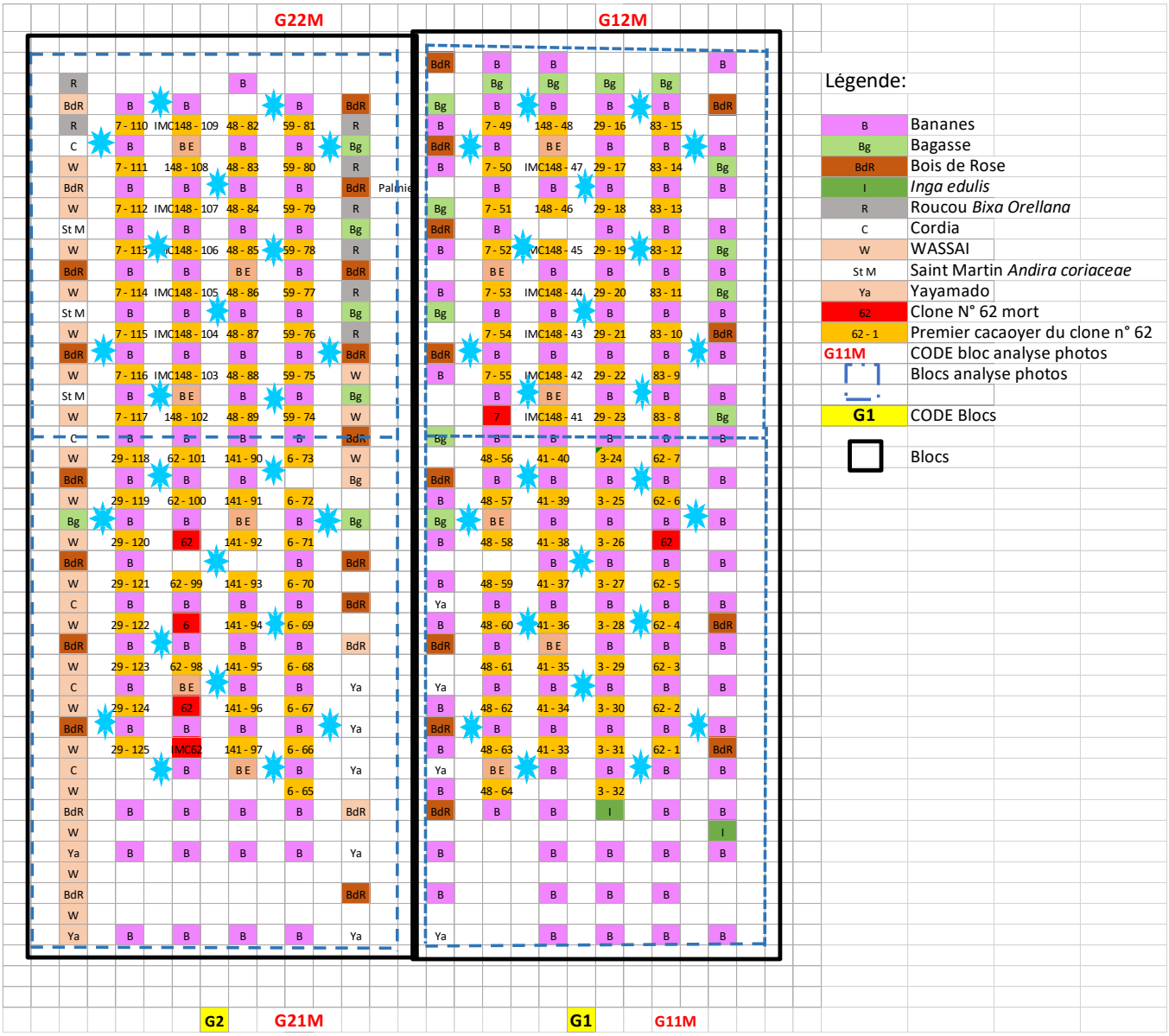
ANNEXES :

Annexe 1 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 1

- *Bloc DL :*

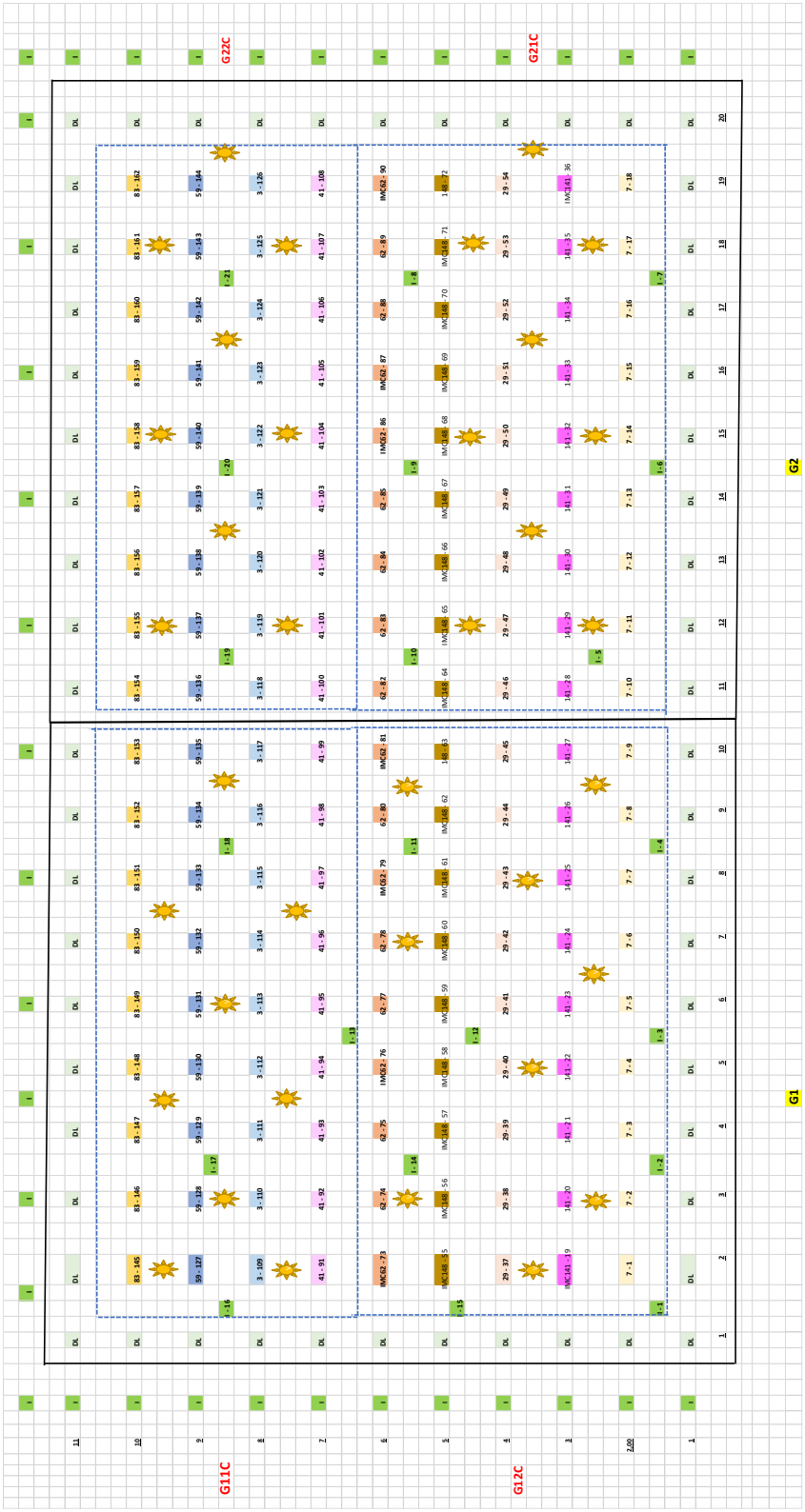


- *Blocs greffes :*



Annexe 2 : Plans des parcelles d'essai - Station Combi

- *Blocs greffes associées aux bananes*



Légende:

Prise de photos CAN EYE

G12C CODE DES BLOCS ANALYSE

G1 Code des blocs

BLOCS GREFFES

BLOCS ANALYSE

DL Cacaoyers de descendances libres

7 - 1 Premier cacaoyer du clone n° 7

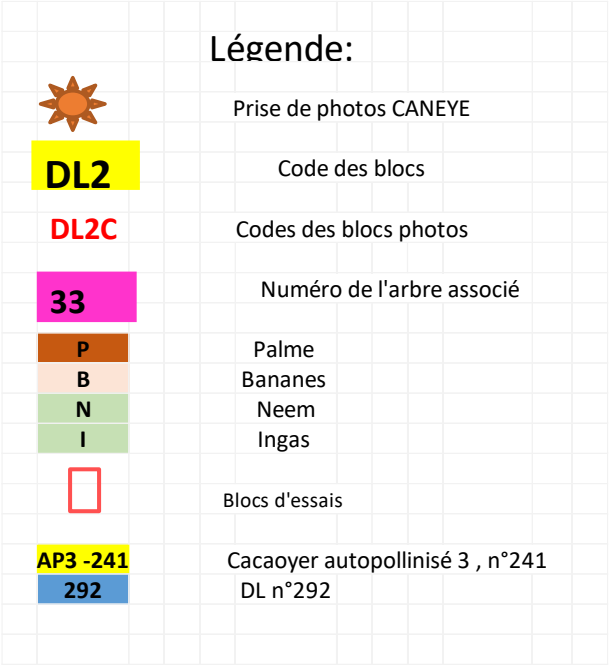
I Ingas

I - 2 Le deuxième Ingas est un arbre associé

40 bananes Nombre de bananes par colone

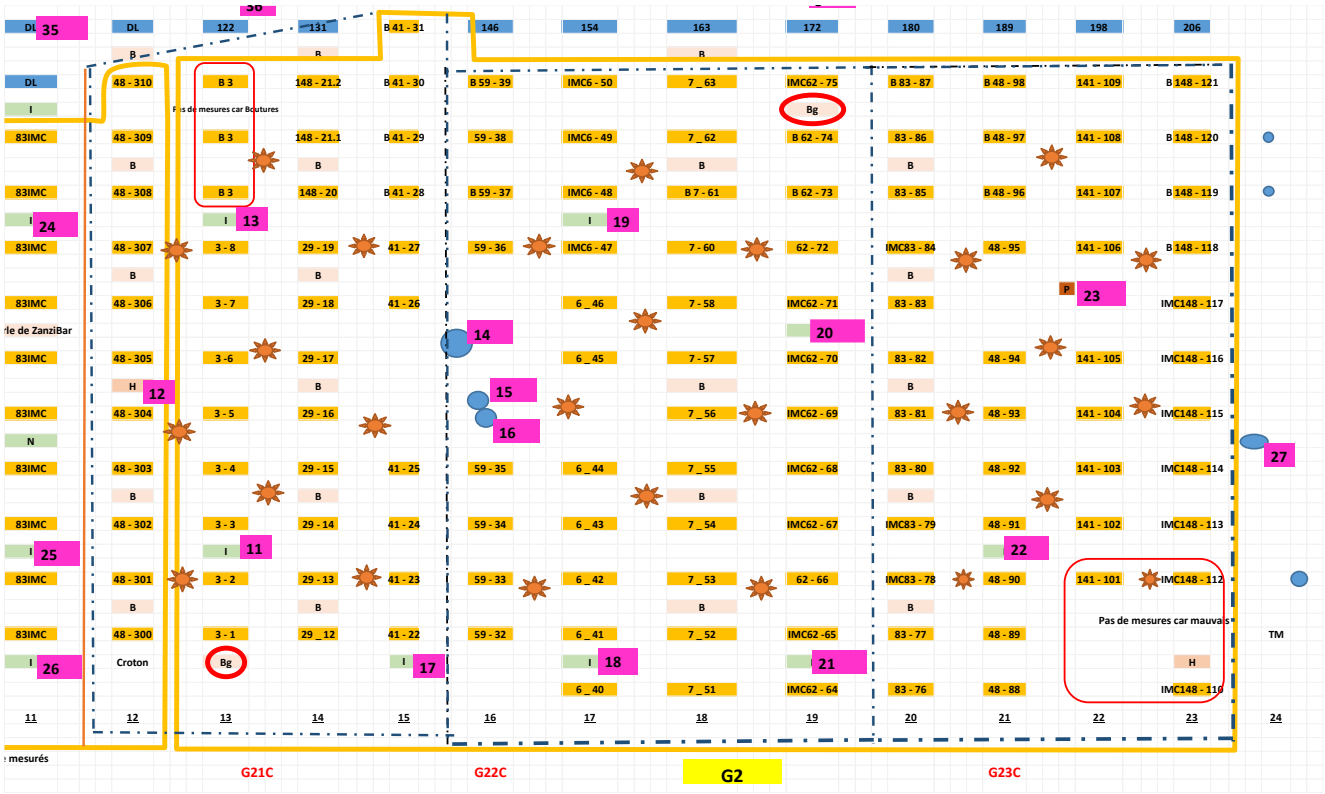
Attention : l'intégralité des greffes du système Bananes ont été mesurées en 2020 et en 2021

- *Blocs de DL en système SAFc :*



Les blocs délimités en rouge représentent les cacaoyers mesurés en 2021. Cependant 75 DL ont également été mesurés en 2020 et se trouvent parfois en dehors de ces blocs rouges.

- *Blocs de greffes dans la parcelle SAFc*

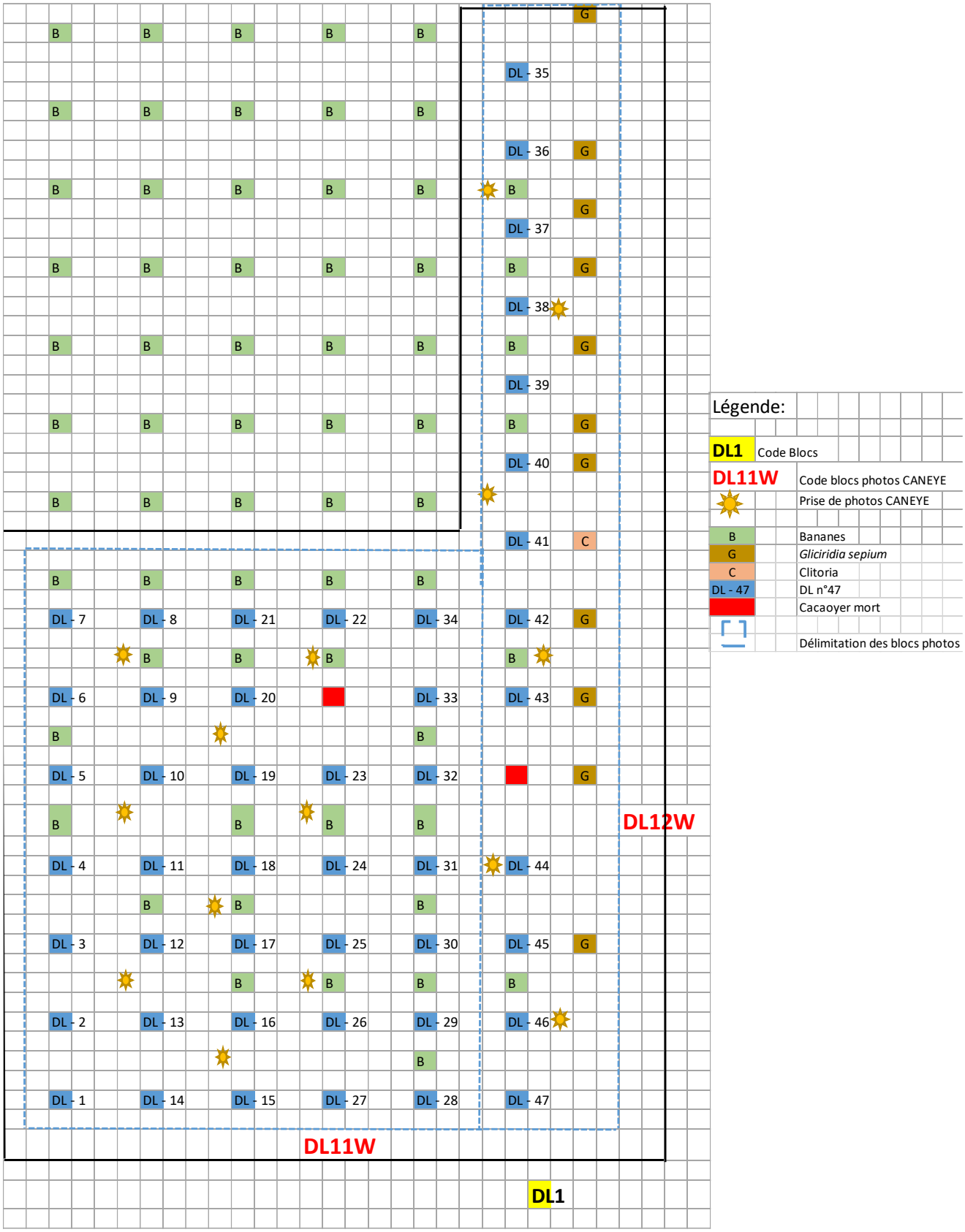


	Légende:
	Prise de photos CANEYE
G2	Code des blocs
G21C	Codes des blocs photos
17	Numéro de l'arbre associé
	Arbres
B	Bananes
N	Neem
I	Ingas
Bg	Bagasse
	Blocs d'essais
AP3 -241	Cacaoyer autopollinisé 3 , n°241
6 _ 40	Greffes n°40 du clone N°6
IMC6 - 47	Greffes n°47 du clones n°6 sur le porte greffes IMC67

L'intégralité des greffes du bloc 2 en système SAFc mis à part la ligne de la greffe 300 à 310 ont été mesurées en 2020 et en 2021

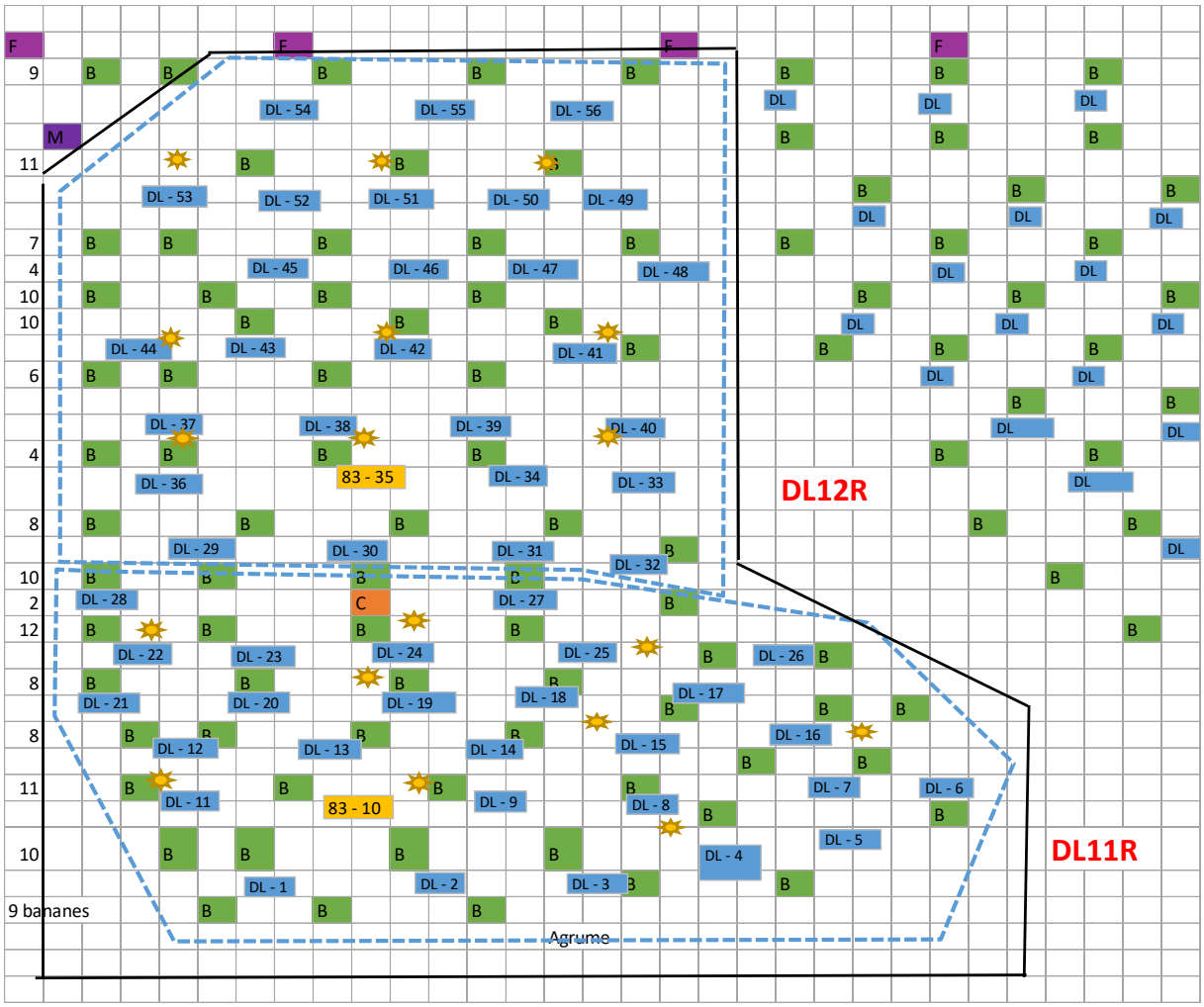
Annexe 3 : Plan de parcelle d'essai - Agriculteur extérieur

- *Bloc de DL associés à la banane :*



Annexe 4 : Plans des parcelles d'essai - Agriculteur 2

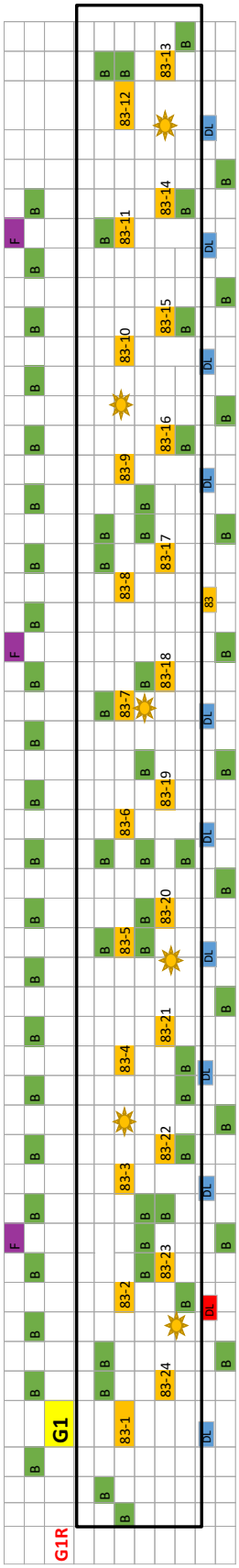
- *Bloc de DL associé aux bananes*



Légende :

✸	Prise de photos CANEYE
DL1	Code bloc
DL11R	Code bloc photos CANEYE
B	Bananes
C	Courbaril
F	Flamboyant
M	Manguier
83-10	Greffes n°10 du clone 83
DL-2	DL n°2
☐	Bloc essais
⬚	Bloc Analyse de photos

- *Bloc de greffes associées aux bananes*

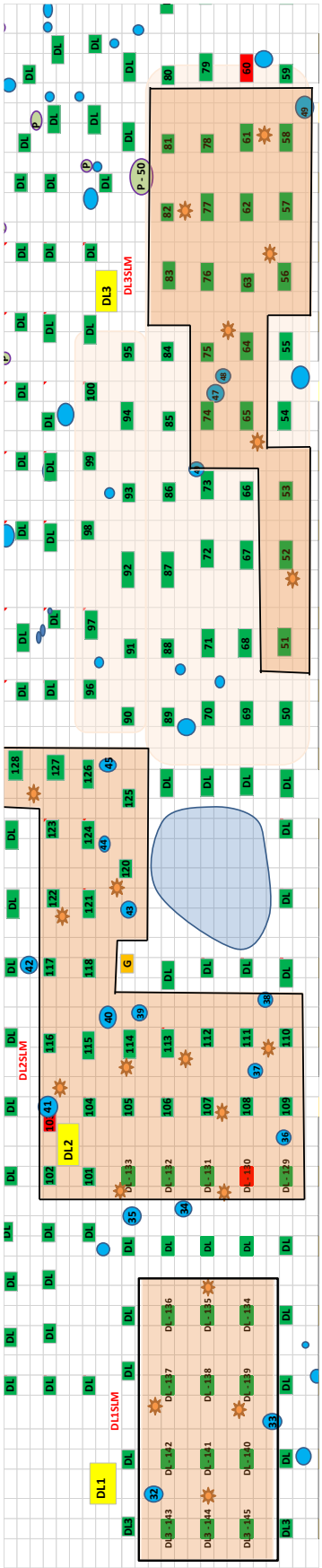


Légende :

✸	Prise de photos CANEYE
G1	Code bloc
G1R	Code bloc photos CANEYE
B	Bananes
C	Courbaril
F	Flamboyant
83-22	Greffes n°22 du clone 83
DL	DL
☐	Bloc essais

Annexe 5 : Plans parcelles essai - Agriculteur 3

- *Blocs DL en SAFc*



Légende :

Prise de photos CANEYE

DL1 Code Bloc

49 Arbre asscocié n°49

P - 50 Palme associée n° 50

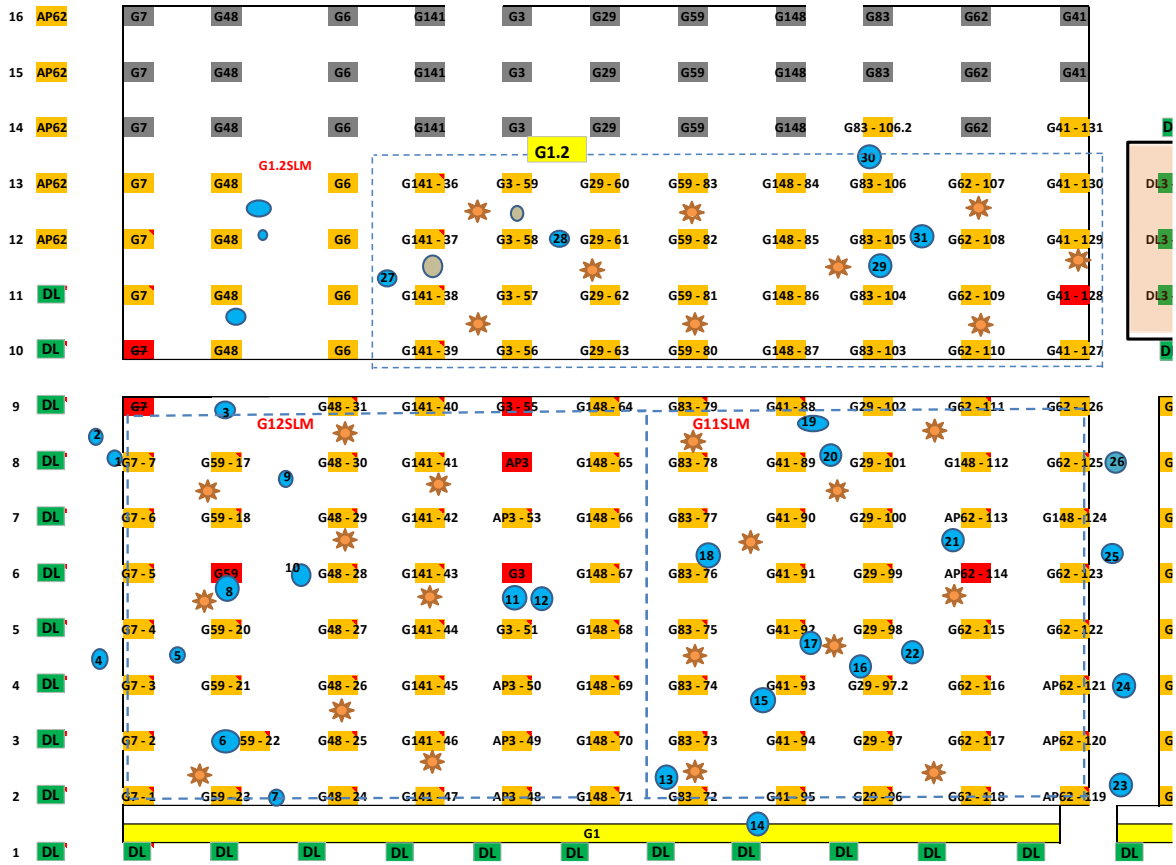
56 DL n°56

DL3SLM Code de bloc photos CANEYE

Blocs essais

Les blocs plus clairs sans contours noir sont ceux représentants les cacaoyers mesurés en 2020

- *Blocs greffes en SAFc*



Légende :

Prise de photos CANEYE

G1.2 Code Bloc

14 Arbre asscocié n°14

DL DL

G11SLM Code de bloc photos CANEYE

Blocs essais

Blocs prise de photos CAN EYE

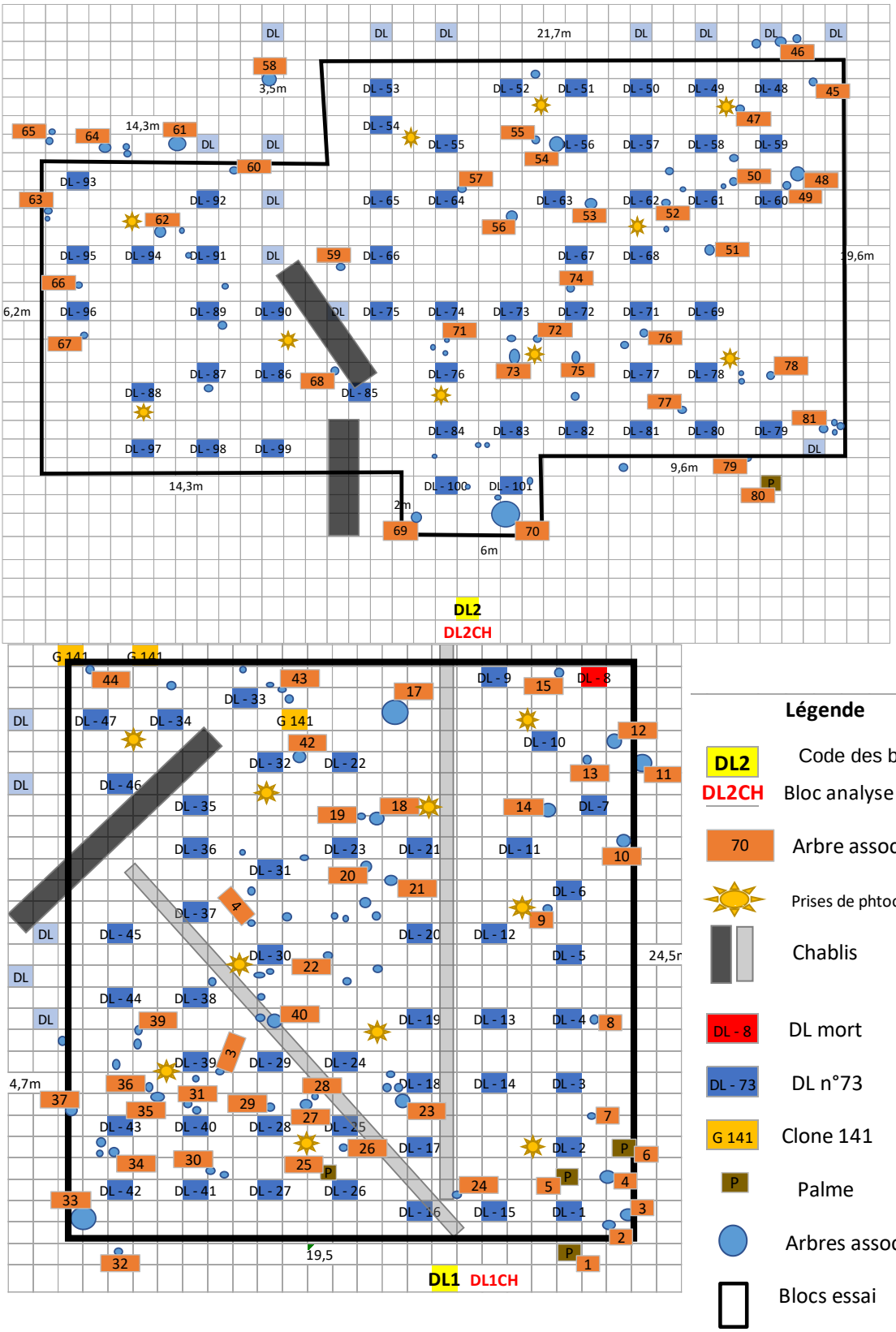
AP3 - 53 Cacaoyer n°53 - Autopolinisé N°3

G3 Clone n° 3 mort

Attention : les deux blocs de greffes ici ont été mesurés en 2020 et en 2021

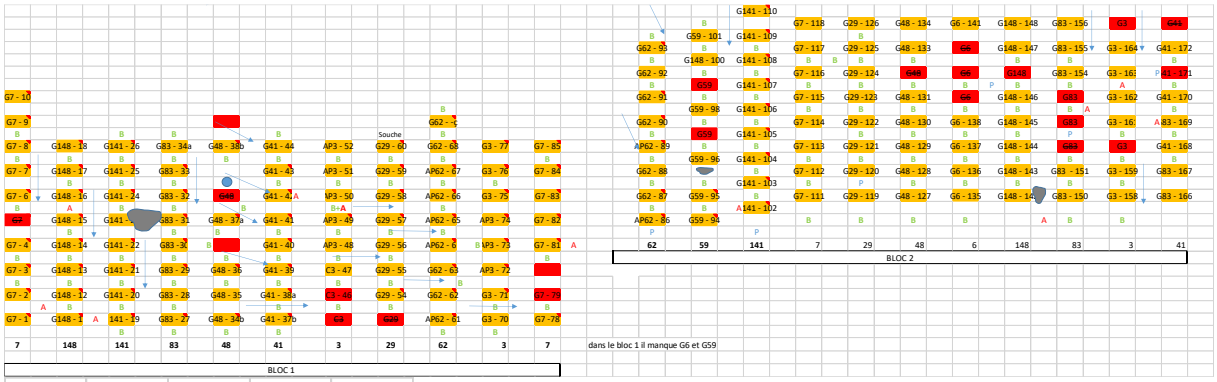
Annexe 6 : Plan parcelle essai - Agriculteur 4

- *Bloc de DL en SAFc*



Annexe 7 : Plan parcelles essai - ARAG

- *Bloc de greffes en SAFc*



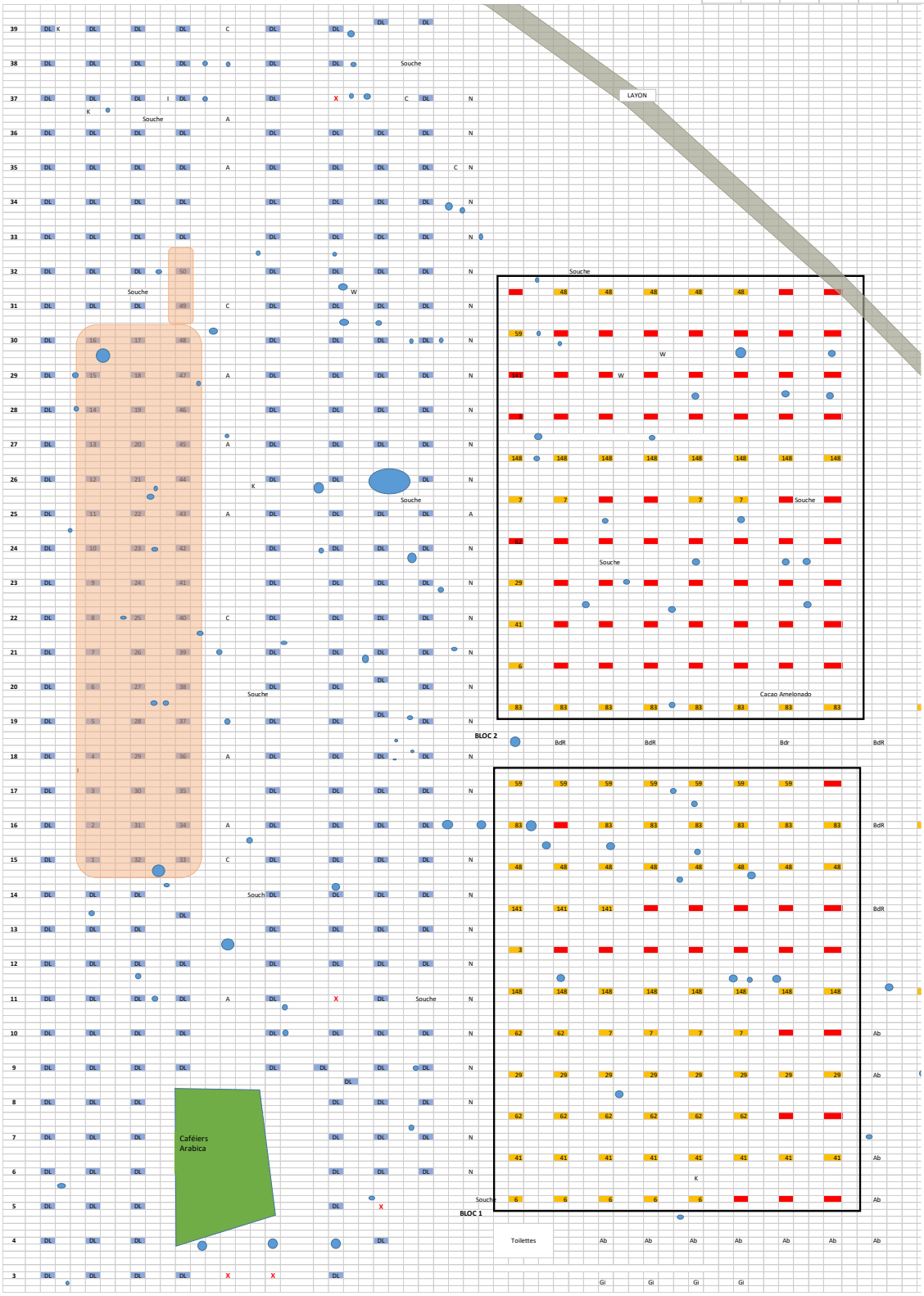
	A planter si disponibilité
	planté
G	Gréffé
AP	Auto pollinisation
→	Sens de la pente
B	Bananier
A	Arbre d'ombrage
	Roche
P	Papayer
I	Inga

DL	Descendance libre planté
	Mort
X	Non
Coco	Cocotier
W	Wassaï
●	Arbre
C	Cordia
I	Inga
N	Noix de Cajou
A	Avocat
K	Kapokier
Ab	Abriba
Gi	Greffe indéterminée
BdR	Bois de Rose

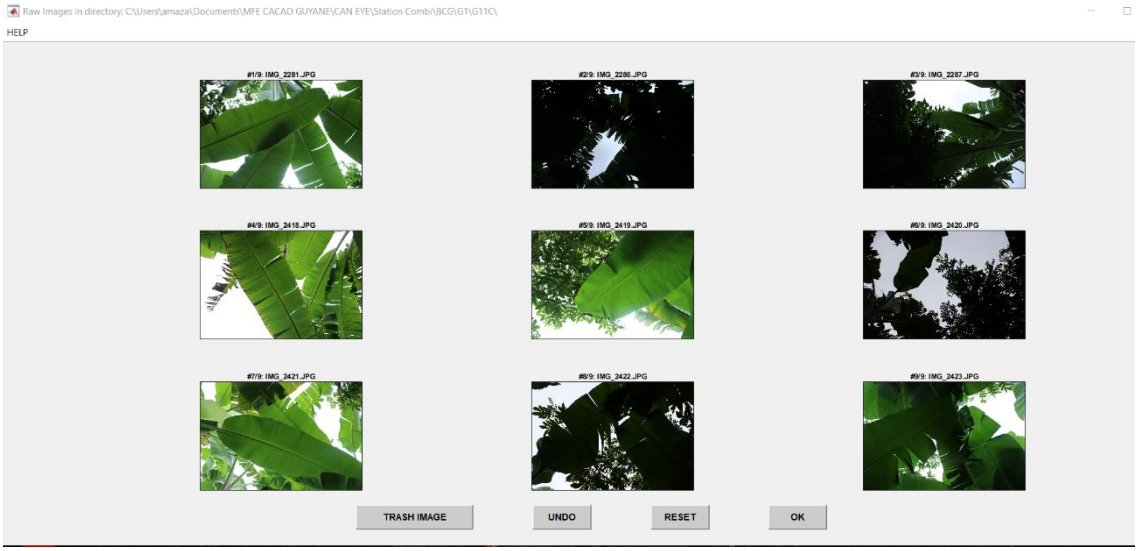
Annexe 8 : Plan parcelles essai - Agriculteur 5

- *Bloc de DL parcelle SAFc*

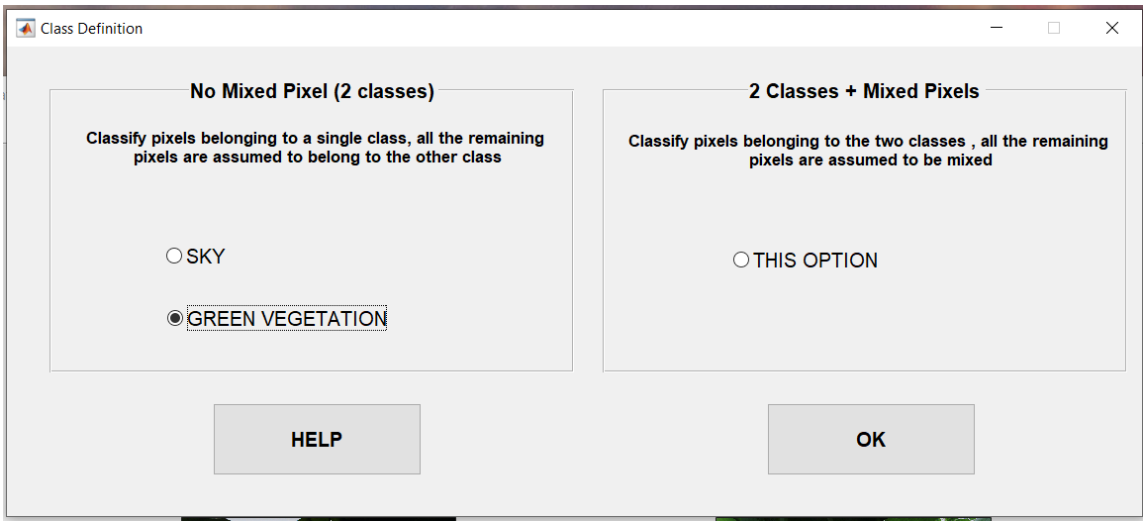
Le bloc de DL mesuré est en orange



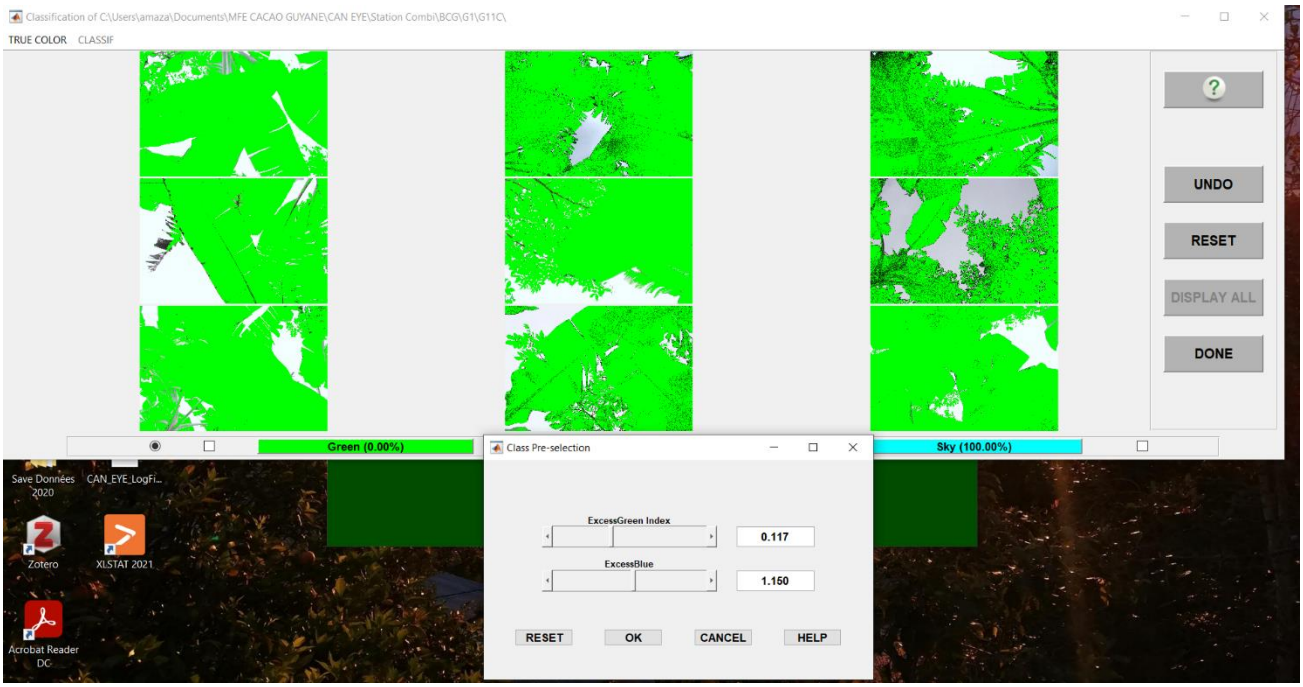
Annexe 9 : Protocole d'analyse de la canopée sur le logiciel CANEYE



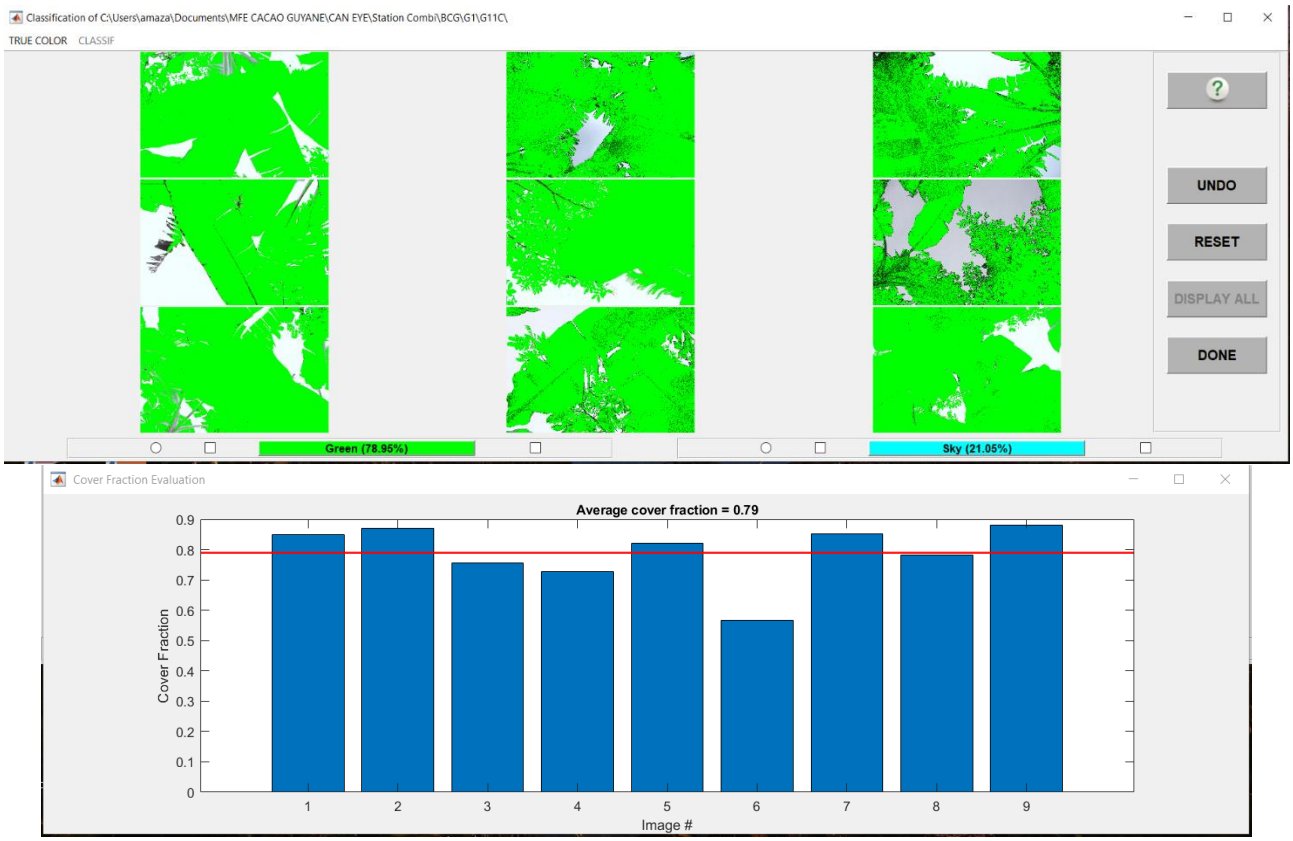
L'ensemble des images prises dans le bloc d'analyse sont sélectionnées en même temps. Le logiciel ne peut en analyser que douze maximums à la fois.



Le logiciel interroge ensuite sur le mode d'évaluation des photos. Il s'agit alors de sélectionner une analyse bi-pixels par la végétation verte. Dans ce cas l'ensemble des autres pixels appartiendront à la catégorie « ciel ».



Une fois l'analyse lancée le logiciel interroge sur la pertinence des indices de pixels. Ainsi, il est possible d'ajuster la précision de la répartition des pixels végétation/ciel.



Enfin, les résultats donnés par le logiciel rendent compte d'un pourcentage de couvert moyen (Average cover fraction) ainsi que du pourcentage de couvert pour l'ensemble des photos.