

UNIVERSITÉ DE
YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE
SUPÉRIEURE

DÉPARTEMENT DES
SCIENCES BIOLOGIQUES



UNIVERSITY OF
YAOUNDE I

HIGHER TEACHERS'
TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF
BIOLOGICAL SCIENCE

EFFET DE DEUX ISOLATS DE *Phytophthora megakarya* SUR QUELQUES CLONES PARENTAUX ET HYBRIDES DE CACAOYER (*Theobroma cacao* L.) DU GROUPE FORASTERO

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur de l'Enseignement
Secondaire, 2^e Grade (DI.P.E.S. II)

Par :

PORNEY Berangere Zita

Mle : 11Y117

Licenciée ès-sciences

Option : Biologie des organismes végétaux

Sous la direction de :

Dr EFFA ONOMO Pierre

Chargé de Cours

Année académique 2015-2016

DEDICACE

A
Mes parents

NDEMEKON Jean et GNOUZEBOU Martine

REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de ce travail, j'exprime ma reconnaissance:

–au Professeur Bonaventure SONKE, Chef de Département des Sciences biologiques de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé ;

–au Dr EFFA ONOMO Pierre, pour avoir accepté de diriger, guider et surveiller le déroulement et l'exécution de ce travail de mémoire en me prodiguant tout aide possible, et en me consacrant beaucoup de son temps précieux ;

–au Dr ONDOBO Martine Louise Epse ATANGANA pour son soutien et ses conseils;

–à tout le personnel enseignant en particulier aux Professeurs NIEMENAK Nicolas et BOUDJEKO Thaddée du Laboratoire de Phytoprotection et de valorisation des ressources végétales (LPVRV), pour leur assistance technique;

–à M. MANGA NDJAGA Jude pour sa grande disponibilité, ses conseils, sa patience; et pour avoir suivi et veillé sur nos expérimentations et l'élaboration de ce document;

–à tous les étudiants du Laboratoire de Biochimie et Physiologie Végétales de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé I en particulier AKOA Simon P., KAMSU W., OUMAROU., MEKUE Q., ITEM P., ABOU R., OHANJA D., EKANE Y, DONGMO H., pour leur apport pour la bonne réalisation des manipulations ;

–à mon fiancé KOUMENE TAFFO Gildas Igor et notre bébé pour leur soutien moral et financier;

–à la famille MOUGOU à Mengang pour leur accueil et leur ample soutien;

–à la grande famille FECKEKAN pour leur soutien moral, financier et spirituel;

–à la grande famille TAFFO KAMLONG pour leur soutien moral et financier;

–à M. EFFA Antoine et son épouse MATHE Gilberte pour leur soutien moral et financier;

–à mes grands frères KOUEYING Alexis et DJOTANE Billy Rossi et à leurs épouses respectives MOGOU Viviane et FOSSO Lofline pour leur soutien moral et financier;

–à mes frères et sœurs: Paulin, Ricardo, Luis, Maxime, Fabrice, Vanessa, Larry, Linda, Floris, Chancelin, Merveille, Capwelle, Desnis, Sonita et Marquise que cet œuvre leurs servent d'exemple.

TABLE DES MATIERES

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I.....	i
UNIVERSITY OF YAOUNDE I	i
DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES.....	iii
ABSTRACT.....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I.....	3
REVUE DE LITTERATURE.....	3
I.1. Généralités sur le cacaoyer.....	4
I.1.1. Origine et dispersion	4
I.1.2. Taxonomie	4
I.1.3. Ecologie du cacaoyer.....	5
I.1.4. Culture et répartition géographique	5
I.1.4.1. Culture	5
I.1.4.2. Répartition géographique.....	6
I.1.5. Diversités morphogéographiques du cacaoyer	8
I.1.5.1. Type Criollo.....	8
I.1.5.2. Type Forastero	8
I.1.5.3. Type Trinitario.....	8
I.1.5.4. Type Nacional.....	9
I.1.6. Caractéristiques morphologiques et biologiques.....	9
I.1.7. Importance du cacao	12
I.2. Pourriture brune des cabosses : <i>P.megakarya</i>.....	13
I.2.1. Origine	13
I.2.2. Taxonomie	13
I.2.3. Biologie et reproduction	14
I.3. Problèmes liés à la culture du cacaoyer	15
I.3.1. Maladies du cacaoyer	15

I.3.2. Insectes parasites et ravageurs du cacaoyer	17
I.3.3. Problèmes économiques	18
I.3.4. Stratégies de lutte	18
I.3.4.1. Lutte agronomique	18
I.3.4.2. Lutte biologique	19
I.3.4.3. Lutte génétique	19
I.4. greffage	20
I.4.1. Types de greffage	20
I.4.1.1. greffage en fente (latérale et terminale)	20
I.4.1.2. greffage en couronne	20
I.4.1.3. greffage en écusson.....	21
I.4.1.4. greffage à l'anglaise.....	21
I.4.1.5. greffage par approche	21
I.5.Hétérosis	21
I.6.Héritabilité	22
CHAPITRE II.	23
MATERIEL ET METHODES	23
II.1. Cadre du travail	24
II.2. Matériel	24
II.2.1. Matériel végétal	24
II.2.2. Matériel fongique	24
II.3. Méthodes	24
II.3.1. Reconstitution des clones par greffage	24
II.3.2. Culture du champignon et préparation de la solution sporale	25
II.3.3. Inoculation des feuilles	27
II.4.4. Détermination de l'hétérosis.....	27
II.3.5. Détermination de l'héritabilité.....	28
II.3.6. Analyses statistiques	28
CHAPITRE III.	29
RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
III.1. RESULTATS	30
III.1.1. Taux de réussite du greffage	30
III.1.2.Variations de l'index de sévérité à la pourriture brune	30
III.1.2.1. Comparaison des différents traitements sur les clones	31
III.1.2.2. Effets des coïnfections sur les différents clones	31
III.1.2.3. Echelle de sensibilité des clones	32
III.1.3. Comparaison des différents traitements sur les géotypes hybrides.....	33
III.1.4. Statut de résistance.....	33
III.1.5. Classification hiérarchique des clones et des hybrides des familles F19 et F23.....	34
III.1.6. Evolution de l'effet hétérosis	35

III.1.6.1. Effet hétérosis par rapport au parent moyen	35
III.1.6.2. Effet hétérosis par rapport au meilleur parent	36
III.1.7. Héritabilité des familles F19 et F23	37
III-2. DISCUSSIONS.....	38
<i>CHAPITRE IV.</i>	40
<i>INTERET DIDACTIQUE</i>	40
IV.1. Intérêt didactique de la leçon.....	41
IV.3 Préparation d'une leçon.....	41
<i>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</i>	48
IV.1. Conclusion.....	49
IV.2. Perspectives	49
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	50
<i>ANNEXE</i>	58

ABSTRACT

The black pod disease caused by *Phytophthora megakarya* is the most common and most important disease in Cameroon's cocoa production. She is responsible for the decrease of production yield to about 80%. To overcome this problem the study was performed to determine the behavior of two isolates of *P. megakarya* together with a co-infection (two isolates) on clones and hybrids of *T. cacao* Forastero group. Semi-aoutes leaves of four clones (SCA 12; UPA 134; T79 / 501; T79 / 467) reconstituted by grafting *T. cacao* Forastero group and two hybrid families were inoculated with a zoospore solution of two isolates of *P. megakarya* (NPV and NGF) calibrated. 10^6 zoospores / ml. Then the index of severity was measured three, five and seven days after inoculation. The results showed that clones T 79/467 and UPA 134 had the best percentage of success (85%) after performing grafting side slit. Isolates of the three that were studied; only the strain NPV + NGF (coinfection) showed a high degree of virulence (75%) on the leaves of *Theobroma cacao* L. On the other hand, the NGF strain was more virulent on hybrid genotypes with 55.55 % contrary to coinfection (11.11%). However, SCA 12 clone proved the more tolerant compared to strains used. Similarly, hybrid F19.04, F23.03, F19.03 and F23.01 have been very tolerant. The calculation of heritability (h^2) in the strict sense of the nature area of necrosis crosses gave for F19 and F23 families the values 0.613 and 0.722 respectively. All these results reflect a better performance of clones T 79/467 UPA and 134 for vegetative multiplication. In general the SCA 12 'clone was more tolerant *P. megakarya*.

Keywords: *Theobroma cacao* L., *Phytophthora megakarya*, coinfection, isolate, hybrid

LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA	:	Analyse des variances
H²	:	Héritabilité
HF1(%)	:	Taux d'hétérosis
ICCO	:	International Cocoa Organization
IRAD	:	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
LPVRV	:	Laboratoire de Phytoprotection et de valorisation des ressources végétales
<i>P. megakarya</i>	:	<i>Phytophthora megakarya</i>
PCB	:	Pourriture brune des cabosses
SCA	:	Scavina
SODECAO	:	Société de Développement du Cacao
SPSS	:	Statistical Package for Social Sciences
T	:	Tafo
<i>T. Theobroma</i>	:	<i>Theobroma cacao</i>
UPA	:	Upper Amazonian
V8	:	milieu de culture du champignon

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Répartition des zones de production et des principaux producteurs et consommateurs de cacao.....	7
Figure 2. Zone de production du cacao au Cameroun.....	7
Figure 3. Morphologie du cacaoyer	10
Figure 4. Couleur des fèves à l'état frais	12
Figure 5. Cycle de reproduction des <i>Phytophthora</i>	15
Figure 6. Schématisation du cycle de vie (environ 11 jours) et des symptômes de la pourriture brune de la cabosse du cacaoyer.....	16
Figure 7. Plants greffés de <i>T. cacao</i> d'âge de 5 mois.....	24
Figure 8. Etape du greffage	25
Figure 9. Différents ensemencement de <i>P. megakarya</i>	26
Figure 10. Production des zoospores A, Cabosse nécrosée; B, Sporocystes libérant les zoospores.. ..	26
Figure 11. Feuilles inoculées par les zoospores de <i>P. megakarya</i>	27
Figure 12. Effet traitement sept jours après infection des feuilles. NGF	30
Figure 13. Index de sévérité des différents traitements chez les clones à 7 jours d'incubation.	31
Figure 14. Evolution de l'index de sévérité des traitements à différents jours d'incubation chez les clones.....	32
Figure 15. Echelle de sensibilité des clones.....	33
Figure 16. Index de sévérité des différents traitements chez les hybrides des familles F19 et F23 7 jours après incubation.....	33
Figure 17. Classification hiérarchique des clones et des hybrides des familles F19 et F23 en fonction de l'indice de sévérité de différents traitements.	35
Figure 18. Héritabilité entre les génotypes hybrides et parentaux obtenue à partir de l'indice de sévérité des familles F19 (A) et F23 (B).	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Taxonomie du genre <i>Theobroma</i>	5
Tableau 2. Taux de réussite du greffage des clones de cacaoyer du groupe Forastero.....	30
Tableau 3. Les tests sur feuilles ont permis d'estimer le niveau de tolérance de chaque parent et hybride.....	34
Tableau 4. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au parent moyen en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F19 et F23	36
Tableau 5. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au meilleur parent en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F19	36
Tableau 6. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au meilleur parent en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F23.	37

INTRODUCTION

Le cacaoyer est une plante native de la forêt tropicale humide d'Amérique du Sud d'où il a été naturellement dispersé dans toute l'Amérique centrale (Bearden *et al.* 2000). La première culture du cacaoyer date de plus de 1500 ans et a été réalisée par la civilisation Maya (Motamayor *et al.* 2002). De son nom scientifique *Theobroma cacao* signifiant littéralement nourriture des dieux, le cacaoyer est l'espèce la plus cultivée dans le monde (Santos *et al.* 2012).

Les pays qui jouissent d'un climat et d'un environnement idéaux pour la culture du cacao ont la possibilité de générer grâce à ce produit des recettes à l'exportation considérables, lesquelles peuvent bénéficier à leurs économies nationales de même qu'à leurs communautés rurales. Le cacao est probablement plus connu aujourd'hui en tant que matière première du chocolat, lequel absorbe environ 90 % de la production mondiale de cacao. En moyenne, près de 3 millions de tonnes de cacao en fèves sont produites chaque année. Le chocolat fait du cacao aujourd'hui un produit d'échange très important. Vu son importance, le cacao a été implanté dans presque tous les continents. En Afrique en particulier, il a été introduit en 1822 à Sao Tomé (Aguilar 1997). Le continent africain est devenu aujourd'hui le premier producteur de cacao dans le monde. Cette production était estimée dans les années 1950 à 700 000 tonnes (Babin 2009). Aujourd'hui, la production de cacao en Afrique est évaluée à 3,061 millions de tonnes, pour une production mondiale d'environ 4,232 millions de tonnes (Anonyme 2015).

Selon les prévisions de l'année 2014/2015, la production mondiale du cacao est assurée à 72 % par l'Afrique. Le Cameroun couvre 5,3 % de cette production et est 5^{ème} derrière la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigéria et l'Indonésie, (Anonyme 2015). Au Cameroun, l'exportation du cacao représente 16,1 % des exportations totales du pays. En moyenne, les rendements sont de 300 à 500 kilogramme par hectare.

Cependant, le cacaoyer est la cible de plusieurs ravageurs, des maladies et des conditions climatiques extrêmes qui créent ainsi un impact négatif sur la production baissant de ce fait le rendement annuel. Les quantités récoltées peuvent grandement varier d'une année à l'autre. Les producteurs ont par conséquent recours à diverses options pour accroître la valeur de leurs exportations de cacao en fèves notamment la sélection des variétés d'arbres, les programmes de lutte contre les maladies et les organismes nuisibles, les services de traitement après récolte et d'appui, etc.

Pourtant, l'une des maladies les plus redoutables du cacaoyer reste la pourriture brune des cabosses causée par *Phytophthora* sp., champignon appartenant à la classe des Oomycète. Au Cameroun, des études ont mis en évidence la prédominance de l'espèce *P.megakarya* (Nyassé 1997); celle-ci est considérée comme l'espèce la plus agressive au champ (Maddison & Griffin 1981). Une étude à plus large échelle, portant sur 161 isolats provenant de six pays d'Afrique Centrale et de l'Ouest, a été réalisée à partir de marqueurs biochimiques (isozymes) et moléculaires de type (RAPD) a permis d'identifier deux groupes génétiques majeurs distincts: un groupe homogène en Afrique de l'Ouest et un groupe plus hétérogène au Cameroun. Aucune étude n'a encore été réalisée quant à la détermination de la souche la plus virulente de *P. megakarya* parmi les différentes souches retrouvées au Cameroun.

Notre travail a pour objectif d'évaluer l'agressivité de deux isolats de *P.megakarya* en mono et coinfection sur des clones et hybrides de *T. cacao* du groupe des Forastero.

Spécifiquement, il s'agit de:

- reconstituer les différents clones du groupe Forastero par greffage;
- déterminer le traitement le plus agressif et l'influence de la coinfection sur la surface de nécrose;
- déterminer l'échelle de tolérance croissante des clones et de quelques hybrides.
- Evaluer l'hétérosis et l'héritabilité du caractère sévérité de la maladie.

**CHAPITRE I.
REVUE DE LITTERATURE**

I.1. Généralités sur le cacaoyer.

I.1.1. Origine et dispersion

A l'origine, le cacaoyer pousse à l'état sauvage dans la région tropicale de l'Amérique du Sud depuis 4000 ans avant Jésus-Christ. Ce n'est que vers 1500 avant Jésus-Christ que les olmèques (ancien peuple précolombien de la Mésoamérique) dégustèrent pour la première fois le cacao, sous forme de boisson, soit des fèves de cacao broyées et mélangées à l'eau et à des épices. Des études de la génétique de *T. cacao* ont montré que le cacaoyer est originaire de la haute Amazonie (Motamayor 2002). En 1753, le suédois Linné lui donna le nom de *Theobroma cacao* (du grec, Theo qui signifie dieux et bromo qui signifie nourriture) (Mossu 1990).

Certains auteurs situent sa zone de dispersion dans les vallées des bassins fluviaux de l'Amazonie et de l'Orénoque. Le cacaoyer a été dispersé par les hommes dans toute l'Amérique centrale au XVIe siècle, sa domestication a été faite par les indiens (Eskes & Lanaud 1997). Il a été introduit en Afrique en 1857, particulièrement au Ghana, par les missionnaires suisses (Wanner 1966). 35 ans plus tard, les allemands l'introduisent au Cameroun à partir des îles de Sao Tomé et Princes (Nya Ngatchou 1979).

I.1.2. Taxonomie

La taxonomie du cacaoyer selon Withlock *et al.* (2001), est la suivante :

Règne	: Végétal
Embranchement	: Spermaphytes
Sous-embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotylédones
Sous-classe	: Dilleniidae
Ordre	: Malvales
Famille	: Malvaceae
Genre	: <i>Theobroma</i>
Espèce	: <i>Theobroma cacao</i>

Le genre *Theobroma* compte 22 espèces dont les plus connues sont réparties en six sections (tableau 1) (Cuatrecasas 1964).

Tableau 1. Taxonomie du genre *Theobroma*. (Cuatrecasas 1964)

Section	Espèces
<i>Rhithidocarpus</i>	<i>T.bicolor</i>
<i>Oeanthes</i>	<i>T.sylvestre, T.speciosum, T.velutinum, T.glaucum, T.bernouilli</i>
<i>Theobroma</i>	<i>T. cacao</i>
<i>Telmatocarpus</i>	<i>T.gileri, T.microcarpum</i>
	<i>T.cirmolinae, T.stipulatum, T.simiarum, T.chocoense,</i>
<i>Glossopetalum</i>	<i>T.angustifolium, T.grandiflorum, T.obovatum, T.sinuosum,</i>
	<i>T.canumanense, T.subincanum, T.hylacum, T.nemorale</i>
<i>Andropetalum</i>	<i>T.mammosum</i>

I.1.3-Ecologie du cacaoyer

Le cacaoyer est assez vulnérable et ne supporte pas les températures très basses ou très élevées, une température maximale de 33,5°C et minimum de 13 °C lui est convenable (Roseau 1976). Il tolère une précipitation d'environ 4,8 à 42,9 dm bien répartie avec une saison sèche d'au plus trois mois. Le climat idéal pour la culture du cacaoyer est celui qui prévaut dans son foyer d'origine : le climat des forêts tropicales humides de l'Amazonie (Cilas & Despréaux 2004). Le cacaoyer est généralement cultivé sur divers types de sols. Un bon drainage du sol est nécessaire, pour une bonne aération des racines pendant la saison de pluies. Cependant, la capacité de rétention d'eau du sol doit être élevée pour pallier aux effets néfastes du déficit hydrique. Le cacaoyer a besoin d'un sol riche en phosphore et en potasse, en matières organiques et en oligo-éléments. Le biotope de cette plante est donc délimité dans des zones tropicales humides entre le 18° de latitude Nord et le 15° de latitude Sud et à une altitude inférieure à 1250m. L'humidité relative (optimum à 85%) doit toujours être élevée afin de prévenir le dessèchement et la chute des feuilles.

I.1.4. Culture et répartition géographique du cacaoyer.

I.1.4.1. Culture

Le cacaoyer pousse idéalement dans les régions tropicales, sur une ceinture qui s'étend approximativement entre 20° Nord et 20° Sud de l'Équateur. Le cacaoyer est un arbre des sous-bois qui demande des conditions écologiques particulières, il est cultivé de préférence, à une

température moyenne de 24 à 28°C, les températures en dessous d'un minimum de 21°C ou supérieur à 32°C lui sont défavorables (Mossu1990). La croissance et la production du cacaoyer sont étroitement liées à l'alimentation en eau. En effet, cet arbre est très sensible au déficit hydrique (Cuatrecasas 1964). Un minimum annuel de 1500 mm et un maximum de 2000 mm de précipitation, régulièrement répartie au cours de l'année sont les plus favorables à sa culture. Le cacaoyer supporte mal une saison sèche supérieure à 3 mois (Mossu 1990). Les sols des cacaoyères doivent être de préférence profonds et favoriser la rétention en eau (Enriquez 1985). La présence d'ombrage est indispensable au cours des premières années

La graine est prête à germer, avant même la maturité du fruit. Mais, comme elle perd vite son pouvoir germinatif, il faut la semer rapidement après l'avoir sortie de la cabosse. La germination se produit en 4 à 5 jours et les premières feuilles apparaissent une quinzaine de jours après. Les jeunes plantules issues de semis sont d'abord entretenues pendant huit mois en pépinière avant d'être transplantées, au début de la saison des pluies, soit sous couvert forestier aménagé, soit sous des ombrages artificiels, soit encore sous des végétaux plus grands (bananiers, cocotiers...).

Les cacaoyers peuvent atteindre près de 10 mètres de haut lorsqu'ils sont abrités par de grands arbres. La longueur du fruit, ou cabosse, va de 15 cm à 25 cm et il contient entre 30 et 60 graines, qui deviennent des fèves de cacao après fermentation et séchage. Les cabosses poussent à la fois le long de la tige principale de l'arbre et sur sa voûte. Un cacaoyer devient productif quatre à cinq ans après avoir été planté et peut rester productif plusieurs décennies durant.

I.1.4.2.Répartition géographique

Les espèces du genre *Theobroma* se rencontrent à l'état naturel dans les étages inférieurs des forêts tropicales humides de l'Amazonie (Cilas & Despréaux 2004). C'est ainsi qu'on observe une répartition de la cacaoculture autour de l'équateur dans les pays d'Afrique (Côte d'Ivoire, Ghana et Cameroun), de l'Amérique centrale en (Inde; Trinidad et Tobago, Equateur et Brésil) voir figure 1.

Au Cameroun, le cacaoyer est surtout produit dans la zone forestière. Les estimations de la superficie forestière au Cameroun varient de 155 000 km² (33 % du territoire national) à 206 000 km² (44 % du territoire national), en fonction de la classification utilisée et de la méthode d'estimation. Les trois bassins de grande production (figure 2) sont : les bassins de forte

production du Centre, du Sud et du Sud-Ouest. Les deux bassins de moyenne production sont ceux de l'Est et du Littoral. La zone marginale de production comprend le bassin de l'Ouest et du Nord-Ouest.

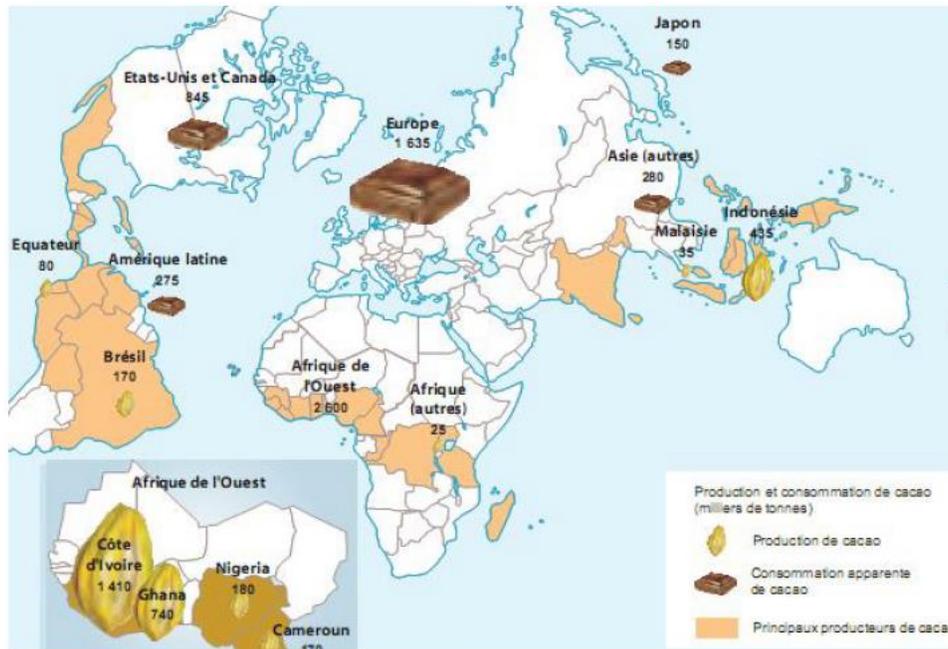


Figure 1. Répartition des zones de production et des principaux producteurs et consommateurs de cacao (Anonyme2007).

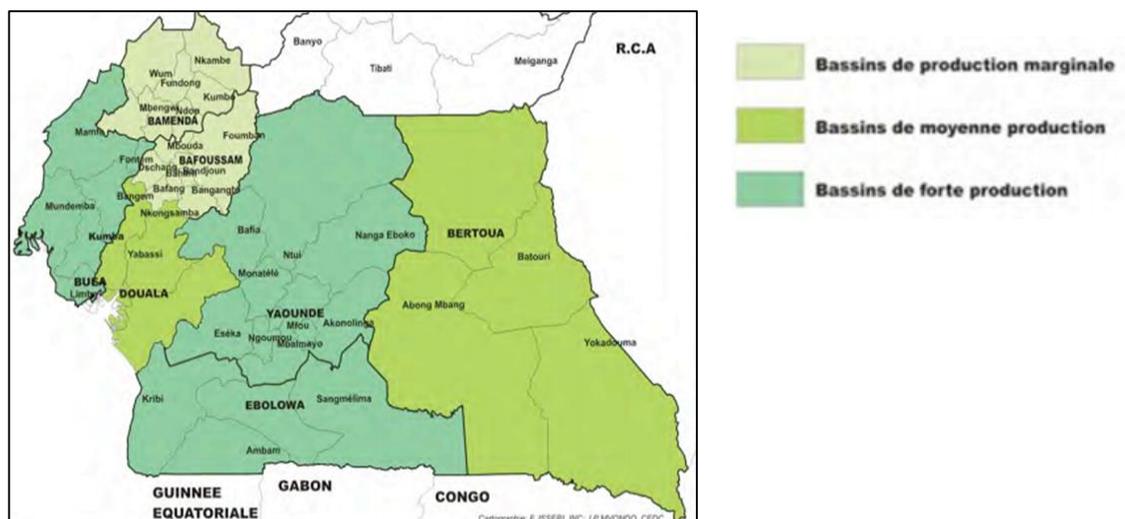


Figure 2. Zone de production du cacao au Cameroun (Anonyme2007).

I.1.5. Diversités morphogéographiques du cacaoyer

I.1.5.1. Type Criollo

Le type Criollo est une variété originaire d'Amérique centrale et du Mexique. Aujourd'hui on le retrouve également aux Antilles, en Colombie et à Madagascar. Le Venezuela demeure un site réputé pour sa production de «Criollo modernes». Dans les vallées de Chuao y Choroní, les arbres ressemblent beaucoup au Criollo du Nicaragua, dont il pourrait provenir. Il n'y a pas eu d'introduction directe de Criollo en Afrique de l'Ouest et Centrale. Les Criollo ont une croissance lente, produisent un cacao «fèves à casse claire» (absence de pigmentation), très aromatique, qui ne présente qu'une amertume légère. Leurs fruits allongés avec une pointe acuminée, une surface lisse ou rugueuse, rouge ou verte avant maturité, et un cortex peu lignifié. Les fèves sont généralement grandes et épaisses, de couleur blanche ou rosée. Cependant les arbres se caractérisent par une productivité limitée, un manque de vigueur, une grande sensibilité aux maladies et aux insectes ainsi qu'une faible capacité d'adaptation à des conditions qui diffèrent de celles de leurs sites respectifs de collecte (Soria 1970). Pour ces raisons, cette variété n'est actuellement que très peu cultivée et de plus sous des formes hybrides (Criollo modernes).

I.1.5.2. Type Forastero

Les cacaoyers les plus cultivés et les plus répandus à travers le monde sont des hybrides de Bas Amazoniens. Leurs cabosses sont de dimensions moyennes, de couleur verte devenant jaune à maturité. Elles possèdent une base légèrement étranglée en goulot de bouteille, une surface lisse très superficiellement sillonnée. Les fèves sont de taille moyenne, couleur violet foncé. Ces variétés doivent leur succès à leur homogénéité, leurs bonnes caractéristiques agronomiques et leur excellente capacité d'adaptation à de nouveaux territoires (Despreaux 1998). Ce type de cacao représente environ 80% de la production mondiale et est produit principalement en Afrique et en Amérique latine.

I.1.5.3. Type Trinitario

Les Trinitario, connus uniquement à l'état cultivé, possèdent des caractéristiques intermédiaires entre les Criollo et les Forastero. Ils ont été sélectionnés à Trinité et sont issus des croisements naturels entre des Criollo d'origine inconnue, qui constitueraient la première plantation de l'île, et des Forastero probablement originaire de l'Etat de Bolivar au Venezuela, introduite à la suite de la quasi-destruction des premières plantations en 1927 (Cheesman 1944).

En première génération, les arbres peuvent être vigoureux et hautement productifs. La couleur des fèves, entre le blanc des Criollo et le sombre des Forastero, en font des produits recherchés pour la fabrication de poudres. La première population connue de Trinitario a été développée il y a environ 250 ans à Trinidad. Elle fut introduite d'abord au Venezuela puis en Equateur puis seulement au 19^{ème} siècle sur le continent américain. Aujourd'hui des Trinitario sont cultivés dans tous les pays où furent autrefois cultivés les Criollo (Mexique et Amérique Centrale, Trinidad et îles Caraïbes, Colombie et Venezuela). Les Trinitario sont peu présents en Afrique, à l'exception du Cameroun qui se distingue des autres pays producteurs par l'existence d'une population importante de cacaoyers de ce type.

I.1.5.4.Type Nacional

L'origine du cacaoyer Nacional, qui constitue une population particulière (Pound 1945) est inconnue. Selon Enriquez (1992), elle se situerait en haute Amazonie ou dans l'Est de l'Equateur. Les études récentes de diversité génétique indiquaient cependant qu'il s'agit d'une population indépendante (Lercerteau 1996). Les cabosses de couleur verte (immature) à orange (matures), sont grandes, ovales, avec un léger étranglement à la base, et possèdent une pointe émoussée. Le péricarpe est épais et marque de sillons profonds, la surface est assez rugueuse. Les fèves sont grosses, de couleur violette plus claire que celles typiques des Forastero amazoniens. Ils fournissent un cacao « fin », dont les caractéristiques aromatiques particulières, connues sur le marché sous le nom d'Arriba, sont responsables de la réputation de qualité du cacao équatorien. Le cacao de type Nacional n'est pas été introduits en Afrique.

I.1.6. Caractéristiques morphologiques et biologiques

Le cacaoyer est une espèce diploïde ($2n=20$). Son génome contient 430 Mb (Argout *et al.* 2011). C'est une plante pérenne, allogame appartenant à la famille des Malvacées. A l'état sauvage l'arbre mesure 25 cm de hauteur (Lachenaud *et al.* 2007), et est maintenu à une taille inférieure dans les cultures. Il porte des feuilles ovales et brillantes longues pouvant atteindre 30 cm de long ainsi que des fleurs inodores, blanches ou jaune rosé qui apparaissent à même le tronc et les branches anciennes. Le cacaoyer fleurit en permanence à partir de sa troisième année. L'arbre porte en même temps les boutons, les fleurs et les fruits. L'arbre produit des fruits qui à l'état immature, sont appelés chérelles et à maturité, sont appelés cabosses, lesquelles sont

portées par le tronc et les grosses branches (figure 3). Ce fruit comporte 20 à 40 fèves entourées de mucilage qui, une fois transformées, donne le cacao marchand.

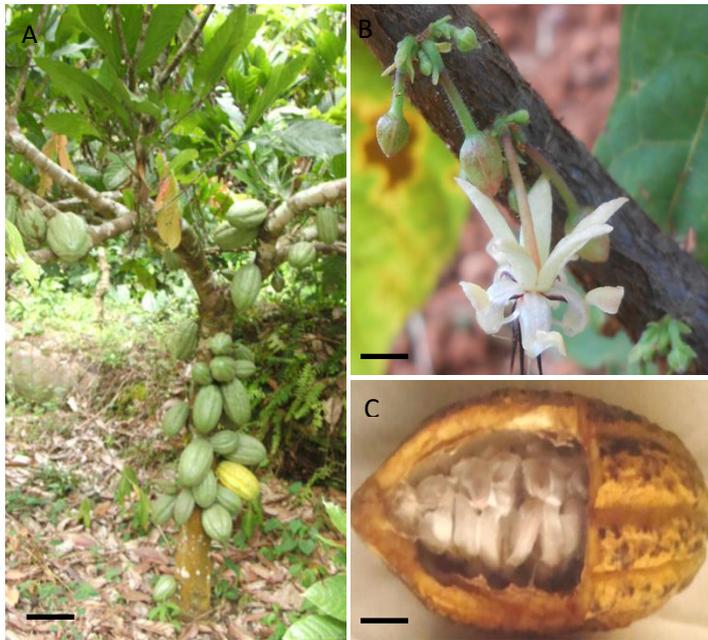


Figure 3. Morphologie du cacaoyer A, Pied de cacaoyer; B, Boutons floraux et fleur de cacaoyer; C, Cabosse contenant des fèves de cacaoyer. (Barre=1 cm) (Cliché Porney 2015).

Le système racinaire est constitué d'une part, d'un pivot pénétrant profondément dans le sol qui atteint jusqu'à deux mètres de profondeur et, d'autre part d'une couronne de racines latérales superficielles qui sont responsables de l'essentiel de l'absorption de l'eau et des minéraux par la plante. La plus grande partie du système racinaire reste néanmoins confinée aux 50 premiers centimètres du sol et dans un rayon de 5 à 6 m autour de l'arbre (Mossu 1990). Les cacaoyers produits à partir de boutures n'émettent que des racines latérales. Cependant, une ou plusieurs de ces racines peuvent se développer verticalement et former un ou plusieurs petits pivots (Mossu 1990).

Les graines germent très rapidement après leur extraction des cabosses arrivées à maturité et lorsqu'elles sont mises dans des conditions favorables d'humidité. Après l'apparition des premières feuilles sur le jeune plant, le bourgeon terminal poursuit son développement et la tige, ou tronc, croît verticalement, avec une émission régulière de feuilles allongées selon une phyllotaxie 3/8. La tige principale, dont la croissance est donc définie, différencie 3 à 5 bourgeons axillaires disposés en verticille et dont le développement donnent naissance à une

couronne formée de branches plagiotropes et dorsiventrales, avec des feuilles alternes à pétiole court et une phyllotaxie 1/2(Enriquez 1985).

L'implantation des feuilles sur le cacaoyer se fait selon une phyllotaxie distique sur les axes plagiotropes et rayonnante sur l'axe orthotrope (Charrier 1969). La production des feuilles à l'extrémité des branches est faite par des flushs successifs qui génèrent de trois à six paires de feuilles à chaque fois. Les feuilles juvéniles du cacaoyer sont molles, pendantes et tendres avec une coloration variant du vert très clair à diverses tonalités de rouge selon le génotype et la quantité d'anthocyanes qu'elles contiennent. Cependant elles deviennent vertes à l'état adulte (Vera 1987). Les feuilles de cacaoyer mesurent de 20 à 30 cm de long pour une largeur de 7 à 12cm. Les stomates sont répartis sur la face inférieure des feuilles et leur densité est directement liée à l'intensité lumineuse à laquelle est soumise la feuille (Wood 1973). L'intensité lumineuse affecte également la taille, l'épaisseur des feuilles, et leur teneur en chlorophylle (Mossu 1990).

Les fleurs sont groupées en cymes bipares aux ramifications très courtes (1 à 2 mm), qui poussent en bouquets directement sur le tronc ou sur les branches principales jamais sur les jeunes rameaux. La position de ces inflorescences suit la phyllotaxie des branches, et leur renouvellement fréquent en des même points de l'écorce aboutit à la formation de petits massifs renflés appelés coussinets floraux. Ces fleurs sont de couleur blanche ou légèrement rosée. La pollinisation est assurée par les petites mouches, *Forcipomyia moucheron* de l'ordre des diptères (Burlé 1962). Le cacaoyer porte un grand nombre de fleurs. Cependant, toutes les fleurs ne donnent pas de cabosses. La plupart sèchent et meurent. En fait, le cacaoyer régule naturellement sa production. Sur les milliers de fleurs, environ 1 % deviendront des cabosses.

Le fruit du cacaoyer appelé cabosse considéré comme une drupe est reliée au tronc ou aux branches maîtresses par un fort et court pédoncule. Le fruit du cacaoyer est communément appelé « chérelle » pendant la durée de sa croissance, puis « cabosse » lorsqu'il atteint la maturité après cinq six mois selon ses origines. Une cabosse peut peser jusqu'à 400 g pour 15 à 20 cm de long. Les cabosses présentent une grande diversité de couleurs, formes, textures et tailles, qui dépendent du génotype et de l'origine, ainsi elle peut être d'environ 161 jours pour les Forastero (Scavina) et de 210 jours pour les Trinitario (Cilas 1991). Les cabosses changent de couleurs, passant d'un vert à pâle à un jaune/orange/brun, plus ou moins prononcé suivant les variétés de cacao. Les cabosses sont donc généralement de couleur verte ou rouge avant maturité et jaune, rouge ou orangé à maturité (Mossu 1990). Chaque cabosse est protégée par une enveloppe

extérieure dure et épaisse (le cortex de la cabosse) et contient entre 20 et 50 fèves réparties dans 5 à 8 sillons longitudinaux (León 1987). Le fruit est indéhiscent et sa taille varie de 10 à 30 cm de longueur. La cabosse contient entre 20 à 60 fèves de forme ovoïde de 2 à 4 cm de long alignées sur cinq rangées logées dans une pulpe mucilagineuse. La fève de cacao est blanche à violet foncé suivant le génotype (figure 4).



Figure 4. Couleur des fèves à l'état frais (photo Loor Solórzano 2007).

I.1.7. Importance du cacao

L'usage du cacao remonte à l'Amérique précolombienne. Les Aztèques utilisaient les graines de cacaoyer comme monnaie d'échange et les considéraient comme un don des dieux. Ils préparaient une boisson amère, le "tchocolat" réservé aux Nobles et aux prêtres. La pulpe peut être utilisée pour faire des confitures et des gelées ainsi que des boissons alcoolisées et du vinaigre. *T. cacao* est l'une des plus importantes cultures de rente au Cameroun et dans d'autres pays d'Afrique centrale et de l'ouest (Assoumou 1997).

Le cacaoyer est cultivé pour ses fèves utilisées comme matières premières dans les industries agroalimentaires, pharmaceutiques ou cosmétiques. Le cacao a longtemps été assimilé à un alicament (Dillinger *et al.* 2000). Les fèves contiennent environ 50% de graisses (triglycérides d'acides gras) appelées "beurre de cacao", 12% de protéines (condensées en grains d'aleurone), 9,5% de cellulose, 6% d'amidon, 1% de sucres, des tannins, des composés minéraux et deux composés aromatiques azotés, la théobromine et la caféine qui leur confèrent des propriétés stimulantes (Mossu 1990). Elles renferment également de la phényléthylamine et de la sérotonine, des vitamines A, B, PP, E et D, des minéraux (fer, potassium, phosphore, cuivre, zinc et surtout du magnésium) et des oligoéléments. Le cacao est un aliment très énergétique, tonique, antidépresseur, euphorisant et peut aider à faire baisser le cholestérol.

Sur le plan thérapeutique, les feuilles, tiges et écorces du cacaoyer sont utilisées dans la médecine traditionnelle pour soigner les brûlures, refroidissements, lèvres sèches, fièvre, paludisme, rhumatisme, morsures de serpents et autres blessures (Mossu1990).

I.2. Pourriture brune des cabosses : *P.megakarya*

I.2.1. Origine

Le genre *Phytophthora* fût décrit pour la première fois en 1875 par Anton de Barry qui élucida le cycle de vie de *Phytophthora infestans*, agent pathogène de la pomme de terre et posa les fondements même de la pathologie végétale (Matta, 2010). Etymologiquement, *Phytophthora* signifie « destructeur de plante » (De Bary 1876). Gregory a établi en 1983 une analogie entre les *Phytophthora* et «une armée en période de guerre». De manière générale, les *Phytophthora* ont un cycle de vie très flexible et une grande capacité d'adaptation aux variations des conditions environnementales (Jeger & Pautasso 2008). La prospection réalisée par l'ORSTOM au Cameroun dans les années 1970 a mis en évidence des caractéristiques morphologiques particulières chez certains isolats mais les descriptions faites sur les isolats laissent supposer que *P.megakarya* était déjà présent au Cameroun avant sa dénomination officielle en 1979, mais qu'il était souvent appelé *P.palmivora* forme MF3, ou considéré comme un variant local (Brasier 1979). La date de première observation est connue pour le Gabon (1970), le Nigéria (1970), le Togo (1982), le Ghana (1985) et l'Est de la Côte- d'Ivoire (2003). Au Cameroun, elle est la seule espèce responsable de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer (Nyassé 1992).

I.2.2. Taxonomie

Sa systématique décrite par Attard *et al.* (2008) est la suivante :

Embranchement: Thallophytes

Classe: Siphomycètes

Sous-classe: Oomycètes

Ordre: Péronosporales

Famille: Peronosporaceae

Genre: *Phytophthora*

Espèce: *Phytophthora megakarya*.

I.2.3. Biologie et reproduction

Les *Phytophthora* sont des organismes diploïdes pouvant se multiplier par voie sexuée ou asexuée (Attard *et al.* 2008). Pour ce qui est de la reproduction sexuée, certaines espèces comme *P. sojae*, *P. heveae* et *P. katsurae* sont homothalliques, tandis que d'autres telles *P. infestans*, *P. palmivora*, *P. nicotianae* et *P. capsici* sont hétérothalliques. Ces dernières requièrent la présence de deux thalles complémentaires et de types sexuels opposés (A1 et A2) pour se reproduire. La formation subséquente de gamétanges mâle (anthéridie) et femelle (oogone) constitue l'unique phase haploïde, et elle est sous le contrôle des hormones Mat (Harutyunyan *et al.* 2008). La fusion des gamètes en présence de stéroïdes produit des oospores qui sont des structures à parois épaisses, capables dans la nature de résister aux conditions extrêmes et à l'absence prolongée d'hôte (Elliot 1983).

P. megakarya est capable de reproduction sexuée *in vitro* (Forster *et al.* 1983). Cependant, des oospores n'ont jamais été observées dans la nature sur cacaoyer. Les deux souches camerounaises A2 en collection à ce jour proviennent de prospections réalisées en 1987 (souche M184 isolée dans un lieu indéterminé de la région Centre), et 1994 (souche NS203 isolée dans la station de recherche de Nkolbisson-Yaoundé, région Centre). Ces souches ne sont cependant plus disponibles en collection et ce résultat ne peut donc être confirmé. La reproduction asexuée quant à elle consiste en la production de zoospores qui jouent un rôle prépondérant dans le pouvoir pathogène des *Phytophthora*. Certaines espèces dont fait partie *P. megakarya* produisent également des chlamydospores à parois épaisses qui sont des structures de conservation dans le sol et les débris végétaux lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables (Erwin & Ribeiro 1996). Chez *P. megakarya*, lorsque les conditions deviennent favorables, l'on note une prolifération de sporanges et la libération de zoospores en présence d'eau libre. Les zoospores nagent ensuite par chimiotactisme à la surface de l'eau vers les organes à infecter, pendant une période variant de quelques minutes à plusieurs heures (en fonction de la température et du pH du milieu), puis ils s'enkystent (Judelson & Blanco 2005). Trente minutes après enkystement, la germination se produit et l'hyphe pénètre les tissus de l'hôte dans les 48 heures par temps très humide, marquant ainsi le début du processus infectieux. Les deux modes de reproduction sont représentés ci-dessous (figure 5).

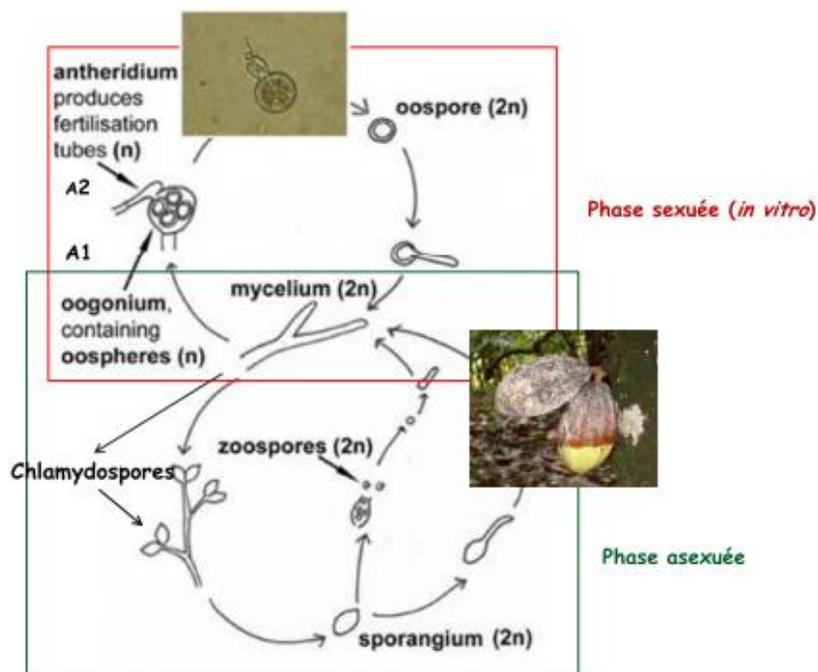


Figure 5. Cycle de reproduction des *Phytophthora*.

L'encadré vert représente la phase asexuée. La photographie montre des sporocystes (blanchâtres) couvrant les taches brunes à la surface des cabosses infectées. L'encadré rouge représente la phase sexuée du cycle. La photographie montre une oospore (Mfegué 2012).

I.3.Problèmes liés à la culture du cacaoyer

La production du cacao fait face à des problèmes importants tels: la culture de type «front pionnier» qui a conduit à une diminution importante des terres utilisables pour planter, les problèmes économiques liés au faible rendement. Les maladies qui l'affectent correspondent donc souvent à de nouvelles interactions avec des agents pathogènes indigènes (Holmes *et al.*2003). Dans plusieurs pays, les plantations sont sujettes à de multiples pathogènes responsables d'affections diverses d'origine fongique ou virale.

I.3.1. Maladies du cacaoyer

La cacaoculture connaît d'énormes problèmes qui réduisent sa production. On distingue :

- **pourriture brune des cabosses (PBC)** (figure 6) dont l'agent responsable est un Oomycète du genre *Phytophthora* qui a quatre espèces: *P. palmivora*, *P. capsici*, *P. megakarya*, *P. citrophthora* répandus dans le monde entier et provoquant l'apparition de lésions brunes dures au toucher sur les fruits et un revêtement sporifère blanc-crème qui finit par envahir toute la

cabosse au bout d'une semaine d'infection. Au Cameroun les pertes peuvent être élevées à 80 % dans les zones climatique favorable (Despréaux *et al.* 1988).L'espèce responsable de cette maladie au Cameroun est *P.megakarya* (Nwaga 1984, Nyassé 1992).La PBC est caractérisée par l'apparition sur le cortex d'une petite tâche de couleur havane qui brunit en 24-48 heures et s'étend plus ou moins rapidement selon les sélections variétales et l'agressivité de la souche (Nyasse1997). La PBC autre fois contrôlée avec les récoltes sanitaires (Babacauh 1980) constitue aujourd'hui un frein à la production des fèves.



Figure 6. Schématisation du cycle de vie (environ 11 jours) et des symptômes de la pourriture brune de la cabosse du cacaoyer (d'après Philips-Mora and Cerda 2009).

– **balai de sorcière** est une maladie causée par un champignon, *Moniliophthora perniciosa* (Meinhardt *et al.*2008), entraîne une hypertrophie des bourgeons avec prolifération anarchique des rameaux et des coussinets floraux ; elle sévit surtout en Amérique latine et rend les arbres improductifs (Ngyen Ban 1996). Ce champignon abîme également les cabosses.

– **moniliose** elle est causée par un champignon appelé *Moniliophthora roreri*, originaire des Andes (Moreira *et al.* 2006). Ce champignon est redouté par les arbres fruitiers, dont le cacaoyer. Dans les conditions naturelles, la moniliose affecte uniquement les cabosses. Les fruits infectés présentent des fèves nécrosées et compactes. Elle sévit surtout en Amérique latine et est responsables de 40-90% de perte de rendements. La susceptibilité à la moniliose diminue avec la maturité des cabosses (Frisson *et al.* 1999).

– **vascula Streak Dieback (VSD)** est une maladie due à *Oncobasidium theobroma*. Elle est répandue en Asie du Sud-est (Indonésie, Malaisie). Ce champignon s'attaque aux tissus vasculaires au niveau des racines et des branches qui transportent l'eau et les nutriments dans la plante, mais les symptômes apparaissent au niveau des feuilles et se manifestent par une chlorose. Il est responsable de la mort et la chute des feuilles, la mort des rameaux, puis de l'arbre entier. Elle entraîne une perte de rendement.

– **cocoa Swollen Shoot Virus (C.S.S.V)** est une maladie virale du cacaoyer qui se développe de manière endémique en Afrique de l'Ouest (Posnette 1947). Cette maladie se manifeste par un gonflement des tiges et une chlorose foliaire entraînant la mort des arbres. Le virus, appelé *cacao swollen shoot virus* est transmis par des piqûres de pucerons et attaque directement les arbres. Cette maladie provoque aussi des bandes rouges et des mosaïques le long des nervures des feuilles ainsi qu'une sévère défoliation. Le cacao adulte atteint peut mourir au bout des trois mois qui suivent l'infection (Mossu 1990). Elle sévit surtout en Afrique de l'Ouest, notamment au Ghana, au Togo et au Nigeria.

I.3.2. Insectes parasites et ravageurs du cacaoyer

Plusieurs espèces de parasites s'alimentent au détriment du cacaoyer et aucune partie de l'arbre n'est à l'abri des attaques. Nous distinguons:

– **les mirides** (*Sahbergella* sp., *Distanhella* sp. et *Helopeltis* sp.) ce sont les plus fréquents. Ils attaquent les jeunes pousses et les cabosses. Leur salive injectée lors des piqûres est phytotoxique et histolytique, ce qui tue les cellules autour de la zone piquée. Dans le cas d'attaques sur les chérelles, celles-ci tombent : c'est la coulure entomologique (Badegana *et al.* 2005). Ces piqûres créent ainsi des portes d'entrées des champignons (Lavabre 1977).

– **les foreurs des cabosses** sont des perforateurs de tronc (*Xyleborus ferrugineus*); *Conopomorpha cramerella* est un insecte foreur des cabosses (Wielgoss *et al.* 2012). Cet insecte fait le plus de ravage en Asie du Sud-Est entraînant des pertes pouvant aller jusqu'à 90 % et qui de nos jours s'est étendu jusqu'en Indonésie.

– **les punaises** causes des dégâts importants dont les pertes peuvent s'estimer à plus de 20 %. Elles s'attaquent aux cabosses en vidant les graines (Mossu 1990).

– **les acares** (*Floracarus theobramae* Keiffer). on a également, les Grillons, courtilières, larves de coléoptères qui s'attaquent au jeune semis, les escargots qui dévorent les jeunes plants

en pépinière, les chenilles qui rongent les feuilles en pépinière, les punaises qui piquent les jeunes tiges et les cabosses, les thrips qui piquent les feuilles et les fruits pour en sucer la sève.

– les **psylles**, d'après Aulmann en 1913 décrit le *mesohomotoma tessmannii* d'après des échantillons récoltés sur les cacaoyers en Guinée équatoriale. C'est un des prédateurs des cacaoyers en général et surtout de ceux âgés de 1 à 2 ans (Derron 1977). Le taux de parasitisme s'agissant du psylle du cacaoyer est deux fois plus élevé dans les plantations sans ombrage à l'exception de celui des œufs latents (Messi 1985).

I.3.3. Problèmes économiques

Ces problèmes sont les suivants :

- le vieillissement des plantations, des planteurs, de la main d'œuvre ainsi que des techniques culturales ;
- l'insuffisance dans la vulgarisation des produits de recherche ;
- les conditions limitées de conservation et donc de stockage ;
- les mauvaises conditions de séchage entraînant des variations brutales des coûts du cacao sur le marché international ;
- la faible utilisation et la faible vulgarisation du matériel issu des variétés améliorées ;
- lors du traitement par les fongicides, on note une pollution de l'environnement et des risques sanitaires pour les planteurs.

I.3.4. Stratégies de lutte

Plusieurs stratégies de lutte pour l'amélioration de la cacaoculture ont été mises sur pied. Les méthodes les plus courantes sont la lutte agronomique, la lutte biologique et génétique.

I.3.4.1. Lutte agronomique

Les mesures prophylactiques permettent de créer des conditions défavorables au développement de la maladie, le but étant de limiter le plus possible les sources de contamination. Une récolte sanitaire qui consiste à nettoyer les arbres en début de campagne des restes de la campagne précédente et à éliminer régulièrement les fruits malades doit être effectuée tous les huit jours en saison des pluies et les débris provenant des précédentes récoltes doivent être éliminés systématiquement. La taille des cacaoyers, susceptibles de produire une aération des parcelles et une diminution de l'hygrométrie, est une mesure à envisager. Il est essentiel, pour

limiter le développement de la maladie de broyer et d'enfouir les résidus de récolte voire de les brûler si la réglementation l'autorise, afin de diminuer les sources d'inoculum. Il est aussi conseillé d'éviter toute fertilisation excédentaire d'azote.

I.3.4.2. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à exploiter les relations hétérospécifiques existant entre les êtres vivants (compétition, prédation, parasitisme...) dans le but de détruire l'agent pathogène. C'est donc une forme de contrôle des maladies et des ravageurs faisant appel à des organismes vivants. (Daxl *et al.*1995, Nwaga, 1984) ont montré que *Gliocladium roseum* produit des composés fongistatiques faiblement inhibiteurs de *P.palmivora*. (Tondjé *et al.*2007) ont montré que *Trichoderma* sp. serait capable de réduire les effets de *P.megakarya* sur les cabosses. (Melnick *et al.* 2006) ont montré qu'il existe une forte probabilité qu'une résistance durable à la maladie puisse être induite par les bactéries non pathogènes.

I.3.4.3. Lutte génétique

La lutte génétique repose sur la sélection et sur la multiplication par hybridation des cacaoyers qui présentent un bon niveau de tolérance à *P.megakarya*. Cependant la lutte génétique est difficile à exploiter à court terme à cause de la longueur du cycle de *T. cacao* (Kennedy *et al.* 1987). Afin de raccourcir le cycle de sélection, des méthodes d'évaluation précoce de la résistance par les inoculations artificielles ont été développées sur les feuilles et ont ouvert des voies de recherche sur la sélection des cacaoyers ayant une moindre sensibilité (Iwaro *et al.*1997, Djogoué 1998).

L'utilisation de variétés résistantes constitue un moyen de contrôle efficace qui prend en considération l'aspect écologique aussi bien qu'économique. Cependant, la pression de sélection exercée par les variétés à résistance monogénique favorise le développement de nouveaux biotypes capables de contourner ces résistances, ce qui nécessite la recherche continue et rapide de nouvelles sources de résistance. Parallèlement, ils existent des résistances polygénique non spécifiques qui confèrent un fond de résistance moyenne difficilement contournable et donc beaucoup plus durable (Efombagn *et al.*2008).

I.4. greffage

Chez le cacaoyer, la multiplication végétative peut également s'opérer par greffage (Gervais, 1981). Cette méthode horticole est très ancienne et consiste à juxtaposer intimement un végétal (plusieurs portions de ce végétal), nommé greffon, à un autre, qui deviendra le support nourricier, appelé sujet ou porte-greffe. En d'autres termes, le greffage désigne l'opération qui consiste à unir deux ou plusieurs végétaux par "soudure" de tissus vivants que l'on a mis en contact intime. La production de greffe de *T. cacao* a été mise en place à grande échelle à Trinidad pendant les années 30 et 40. Cette technique a été décrite à Bahia dans les années 50, bien que pour des différentes raisons, cette opération ait été abandonnée pendant les dernières années. A la fin des années 80, on note l'arrivée du balai de la sorcière et la subséquence sélection de variétés clonales tolérante ont entraîné de nouveau le besoin de remettre en place des techniques d'enracinement.

I.4.1. Types de greffage

I.4.1.1. greffage en fente (latérale et terminale)

Cette technique consiste à faire une entaille en diagonale sur le côté le porte-greffe atteignant le cambium de la plante (fente latérale) ou à couper entièrement la partie terminale du porte-greffe (fente terminale) puis y insérer le greffon préalablement taillé en biseau. Le greffon doit être prélevé la veille ou au moment du greffage, de sorte qu'il soit maintenu au frais pour préserver sa dormance. Cette technique est utilisée lorsque le porte-greffe a un diamètre plus grand que le greffon mais aussi lorsque les deux ont le même diamètre (cas du greffage sur les jeunes semis).

I.4.1.2. greffage en couronne

Cette technique est généralement utilisée pour reformer les arbres adultes avec de nouvelles variétés. Elle consiste en une incision longitudinale de l'écorce sur 3 à 4 cm, ensuite la détacher puis placer le greffon taillé en simple biseau. Une variante consiste à ne soulever l'écorce que d'un seul côté de l'incision et à rectifier le biseau du greffon pour mieux l'adapter. Lorsque le greffage en fente s'avère difficile chez les gros arbres, cette technique est privilégiée. On l'utilise généralement pour revigorer les plantes dont la productivité est faible ou qui commencent à prendre de l'âge. On peut la pratiquer soit pour permettre à un arbre de retrouver

une seconde jeunesse et le rendre ainsi plus productif, ou pour satisfaire une envie de changement pour obtenir une nouvelle espèce.

I.4.1.3. greffage en écusson

Il doit son nom à la forme du greffon prélevé. L'œil dormant sur la plante améliorée est prélevé avec un peu d'écorce et le porte-greffe est taillé en forme de T pour recevoir le greffon, fait coulisser l'écusson à l'intérieur du porte-greffe de façon à ce que les deux cambiums coïncident exactement ensuite procède à la ligature en laissant l'œil dormant à l'extérieur. Dans cette greffe, le greffon est un bourgeon.

I.4.1.4. greffage à l'anglaise

Cette technique consiste à faire un biseau bien plat de 3 cm de long sur un rameau d'un cm d'épaisseur ensuite sur un greffon de même diamètre et à un bourgeon dormant, pratiquer à l'opposé du bourgeon, un biseau de même longueur; ajuster les deux parties, ligaturer, mastiquer le sommet du rameau (Greffé à l'anglaise simple). Soit le biseau de l'anglaise simple est entaillé verticalement de manière à obtenir 2 morceaux dont le plus haut à une largeur égale au tiers du diamètre du greffon, l'autre étant évidemment de largeur égale aux deux tiers. Les deux languettes formées dans le greffon sont ensuite encastrées dans celles du porte-greffe (Greffé à l'anglaise compliquée). Cette greffe est très efficace quand le greffon et le porte greffe ont des diamètres similaires (Hertz 1993).

I.4.1.5. greffage par approche

Cette technique consiste à enlever une partie de l'écorce du porte-greffe et du greffon, la plaie peut être large de 2 centimètre et longue de 5 centimètres, ensuite la plaie du greffon est mise sur la plaie du porte-greffe puis l'ensemble est attaché très solidement avec une ficelle ou des bandes en plastique. Une fois la greffe réussite, un sevrage est effectué entre le greffon et le porte-greffe. Pour la réalisation de ce type de greffe, le porte-greffe doit avoir au moins un an.

I.5.Hétérosis

L'hybridation ou tout simplement le croisement entre deux individus aux caractéristiques distinctes s'accompagne très souvent d'un effet hétérosis. La notion d'hétérosis fut proposée pour la première fois par Shull (1914), qui définit la vigueur hybride comme la manifestation de l'hétérosis. Le produit F_1 d'un croisement entre deux variétés d'une espèce donnée possède

généralement une vigueur supérieure à celle des parents caractérisée par une croissance plus rapide, un meilleur développement végétatif et génératif, un rendement en fruit supérieur, une meilleure résistance aux conditions défavorables du milieu et une réponse favorable aux améliorations culturales.

I.6.Héritabilité

L'héritabilité (h^2) désigne l'ensemble des effets biochimiques et moléculaires des acides nucléiques (ADN et ARN) dans la transmission des caractères selon un déterminisme strict (la synthèse des acides aminés) ou complexe (formation d'un caractère). L'héritabilité (h^2) d'un caractère se définit comme étant la proportion ou le pourcentage de ce caractère transmis aux descendants. C'est un paramètre quantitatif (Hanson 1961), pouvant être utilisé pour la sélection des variétés à rendement élevé (Noumbissie *et al.* 2002). Il existe deux méthodes d'estimation de l'héritabilité:

- L'héritabilité au sens large (h^2_l); qui est calculée à partir des variances des parents des descendants F1 et F2. Une part de la variance observée est d'origine environnementale, mais généralement l'influence du génotype est prédominante;

- L'héritabilité au sens strict (h^2_s); qui mesure la composante additive. Elle est faite à partir des variances des rétrocroisements et de la F2. En effet, la composante additive est l'effet moyen caractéristique et héritable d'un génotype (Gallais 1990).

CHAPITRE II.
MATERIEL ET METHODES

II.1. Cadre du travail

Le matériel végétal de *T. cacao* du groupe Forastero a été sélectionné dans les champs semenciers de la Société de Développement du Cacao (SODECAO), station de Mengang (Région du Centre, Département du Nyong et Mfomou).

II.2. Matériel

II.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles au stade semi-aoûtées des clones de *T. cacao* du groupe Forastero (T79/501, T79/467, SCA 12, UPA134) et de deux familles hybrides provenant de la pépinière de la station SODECAO de Mengang (figure 7) :

- F19: (♀) T 79/467 × (♂) UPA 134
- F23 : (♀) SCA 12 × (♂) UPA 134



Figure 7. Plants greffées de *T. cacao* âgés de 5 mois (Cliché Porney 2015).

II.2.2. Matériel fongique

Le matériel fongique utilisé est constitué de deux souches de *P.megakarya* (NPV et NGF) fournie par le Laboratoire de lutte biologique de l'IRAD de Nkolbison.

II.3. Méthodes

II.3.1. Reconstitution des clones par greffage

Pour le greffage en fente latérale encore appelé greffe de côté ou greffe en oblique, les porte-greffes vigoureux âgés de sept mois sont effeuillés, puis étêtés au niveau de la zone épicotylée à l'aide d'un sécateur désinfecté à l'alcool à 70 °. Une entaille en diagonale sur le côté atteignant le cambium de la plante (2-3 cm environ) est réalisée à 8 cm du sol sur les porte-greffes effeuillés à la base à l'aide d'un greffoir préalablement désinfecté à l'alcool à 70 °. De plus, les greffons sont des branches plagiotropes âgées d'au moins un an, détachées à la veille du

greffage ou le jour du greffage des clones du groupe Forastero (T79/501; T79/467; SCA 12 et UPA 134) à l'aide d'un sécateur préalablement désinfecté à l'alcool à 70 °. Ces branches sont coupées en morceaux de 10 à 15 cm de long puis effeuillée en sectionnant au niveau du pétiole. Chaque greffon (de même diamètre que le porte-greffe) est taillé en biseau à sa base à l'aide d'un greffoir affûté et désinfecté. La partie taillée en biseau du greffon est glissée dans la fente latérale réalisée sur le porte-greffe de manière à mettre en contact les deux cambiums sur une distance de 2 à 3 cm. On place les greffons de façon à éviter la création de fourches à angle trop fermé. Le contact est maintenu en ligature avec du ruban d'attache. Les points d'assemblage sont protégés par des sachets transparents en polyéthylène blancs (Figure 8). La bande plastique est enlevée après la soudure (adhésion) complète entre le porte-greffe et le greffon.



Figure 8. Etape du greffage A, Greffons; B, Porte-greffes; C, porte-greffe et greffon mise ensemble; D, porte-greffes et greffons liés par ruban d'attache; E, Plants protégés par des sachets transparents en polyéthylène. (Cliché Porney 2015).

II.3.2. Culture du champignon et préparation de la solution sporale

L'entretien des souches de *P.megakarya* s'est fait sur milieu V8. Le milieu a été autoclavé à 120 °C pendant 20 minutes puis coulé dans les boîtes de Pétri stériles. Les disques mycéliens de 5mm de diamètre prélevés sur le front de croissance d'une culture de *P.megakarya* ont été transférés sous une hôte dans les boîtes de Pétri contenant le milieu V8 et incubées à $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dans l'obscurité. Six jours plus tard, dix disques mycéliens de 5mm de diamètre ont été prélevés et introduits de manière aseptique sur des cabosses saines (figure 9) tous les six jours afin de permettre la purification des champignons et d'augmenter leur agressivité.



Figure 9. Différentes ensemencement de *P. megakarya*. A, Mycélium sur milieu V8; B, Oomycète sur cabosses. (Barre=1cm) (ClichéPorney 2016).

Les zoospores de *P. megakarya* ont été obtenues à partir des nécroses formées à la suite de l'inoculation artificielle sur des cabosses saines par le mycélium de *P. megakarya*. Six jours plus tard, les fructifications constituées de sporocystes ont été récoltées à l'aide d'un pinceau sur les parties nécrosées des cabosses infectées, plus précisément au niveau du front de croissance du champignon (Figure 10) pour préparer la suspension de sporocystes dans de l'eau distillée stérile. Les zoospores ont été libérées des sporocystes par un choc thermique, en incubant la suspension à une température de 4°C pendant 15 minutes, puis à température ambiante dans une enceinte noire pendant 15 minutes. Le comptage des zoospores a été réalisé au microscope à l'aide de la cellule de Malassez et le nombre de zoospores a été calibré à 10^6 zoospores/ml et utilisé pour l'inoculation des feuilles.

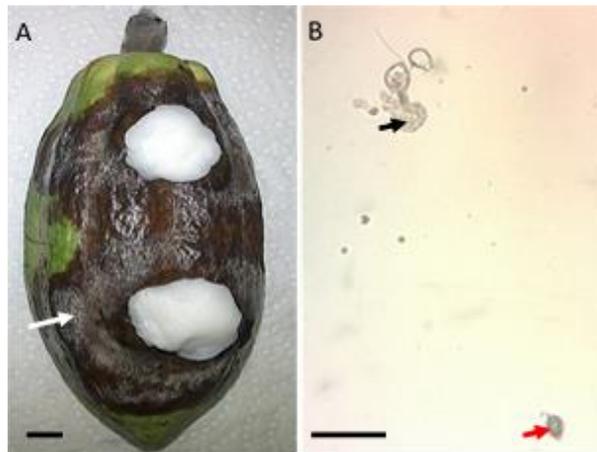


Figure 10. Production des zoospores A, Cabosse nécrosée; B, Sporocystes libérant les zoospores. Flèche blanche: couche blanche représentant les spores (Barre=1cm); flèche rouge: sac sporocystique ; flèche .noire : zoospores libérés par un sporocyste. (Cliché Porney 2016).

II.3.3. Inoculation des feuilles

L'inoculation de la feuille au stade semi-ouvert est faite sur la face inférieure du limbe, en déposant sur la feuille à l'aide d'une micropipette 10 µl de solution zoosporale. Les faces inférieures sont préalablement désinfectées avec de l'alcool à 70 °. Chaque clone est soumis à trois traitements (figure 11):

- inoculation avec la souche NPV ;
- inoculation avec la souche NGF ;
- inoculation avec les souches NPV+NGF.

Les observations ont été réalisées après 3 jours, 5 jours et 7 jours d'incubation à $26 \pm 1^\circ\text{C}$, suivant l'échelle de notations suivante (Nyassé, 1997) :

- absence de symptôme : 0 ;
- points de pénétration : 1 ;
- points en réseau : 2 ;
- tache réticulée : 3 ;
- tache marbrée : 4 ;
- tache vraie (nécrose) : 5.



Figure 11. Feuilles inoculées par les zoospores de *P. megakarya*. (Cliché Porney 2016).

II.4.4. Détermination de l'hétérosis

L'hétérosis ou vigueur hybride (HF_1) s'estime en comparant la valeur de l'hybride F_1 à la moyenne des deux parents (P_1 et P_2). La formule de Zahour (1992) est donnée par:

$$HF_1(\%) = \frac{F_1 - \frac{P_1+P_2}{2}}{\frac{P_1+P_2}{2}} \times 100$$

Hétérosis par rapport au meilleur parent est donnée par la formule de Kempthorne(1957).

$$HF_1(\%) = \frac{F_1 - P}{P} \times 100$$

Trois cas peuvent se présenter selon le paramètre étudié:

- effet d'additivité pour des valeurs proches de 0;
- effet d'additivité et de dominance;
- effet d'épistasie entraînant une perte de vigueur.

II.3.5. Détermination de l'héritabilité.

L'héritabilité (h^2) est estimée selon la méthode de Dillman & Hospital (2004). Elle est déterminée au moyen d'une droite de régression entre les moyennes des paramètres des parents et de celles de leurs progénitures. La pente de la droite obtenue représente la valeur de l'héritabilité. Selon Lynch et Walsh (1998), trois niveaux d'héritabilité existent en fonction de la valeur de h^2 : $h^2 > 0,3$: forte héritabilité, l'influence du milieu est faible et la transmission du caractère est forte ; $0,1 \leq h^2 \leq 0,3$: héritabilité modérée, caractère partiellement transmissible (héréditaire, mais avec effet environnemental) ;

$h^2 < 0,1$: faible héritabilité, l'influence du milieu est forte et la transmission du caractère est faible

II.3.6. Analyses statistiques

Les résultats ont été statistiquement analysés grâce au logiciel SPSS (Version 20.0 pour Windows), l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée pour déterminer les interactions entre les traitements. Le test de Tukey a été utilisé pour classer les différentes moyennes des traitements au seuil de 5%.

CHAPITRE III.
RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS

III.1.1. Taux de réussite du greffage

Le développement des bourgeons sur les greffons commence trois semaines après greffage des clones du groupe Forastero: SCA12, UPA134, T79/467, T79/501 (tableau 2). Le taux de réussite est de 85 % pour les clones T79/467 et UPA 134 et de 77,5 % pour le clone SCA12. Cependant, le taux de réussite le moins élève est de 75 % pour le clone T79/501.

Tableau 2. Taux de réussite du greffage des clones de cacaoyer du groupe Forastero

	T79/467	T79/501	SCA12	UPA 134
Nombre total de greffe	40	40	40	40
Greffes réussies	34	30	31	34
Greffes échouées	6	10	9	6
Taux de réussite (%)	85	75	77,5	85
Taux d'échec (%)	15	25	22,5	15

III.1.2. Variations de l'index de sévérité à la pourriture brune

La surface nécrotique progresse au cours du temps, en fonction de la virulence de la souche et de la susceptibilité de chaque génotype). Elle est mesurable à partir du troisième jour jusqu'au septième jour, et est génotype-dépendant (figure 12).



Figure 12. Effet traitement sept jours après infection des feuilles. NGF : souche 1 ; NPV : souche 2 ; NPV+NGF : coinfection ou association de souche 1 et 2. (Barre=1 cm) (Cliche Porney 2016).

III.1.2.1. Comparaison des différents traitements sur les clones

Les résultats obtenus à l'issue des observations sur les feuilles infectées des clones au bout des jours 3, 5, et 7 pour les trois traitements ont permis d'observer que l'index de sévérité a une évolution croissante chez tous les clones parentaux. La figure 13 montre que la coinfection s'est manifestée comme la plus virulente chez les clones SCA12, UPA134 et T79/501 contrairement aux isolats NGF et NPV. Cependant, c'est l'isolat NGF qui est le plus agressif chez le clone T79/467, tandis que la coinfection est la moins virulente chez ce clone.

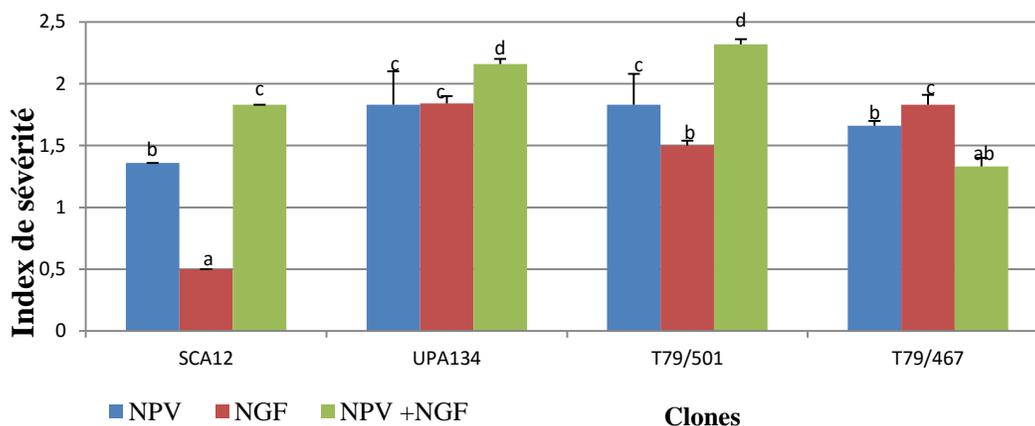


Figure 13. Index de sévérité des différents traitements chez les clones à 7 jours d'incubation. Les bandes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au test de Turkey au seuil 5 %.

III.1.2.2. Effets des coïnfections sur les différents clones

La figure 13 nous montre que l'association des deux souches de *P. megakarya* (coinfection NPV+NGF) a une virulence très prononcée au cours du temps (jours 3, 5 et 7), par rapport aux souches indépendantes chez presque tous les clones ; excepté le clone T 79/467. Toutefois, la souche NGF s'est révélé la moins agressive.

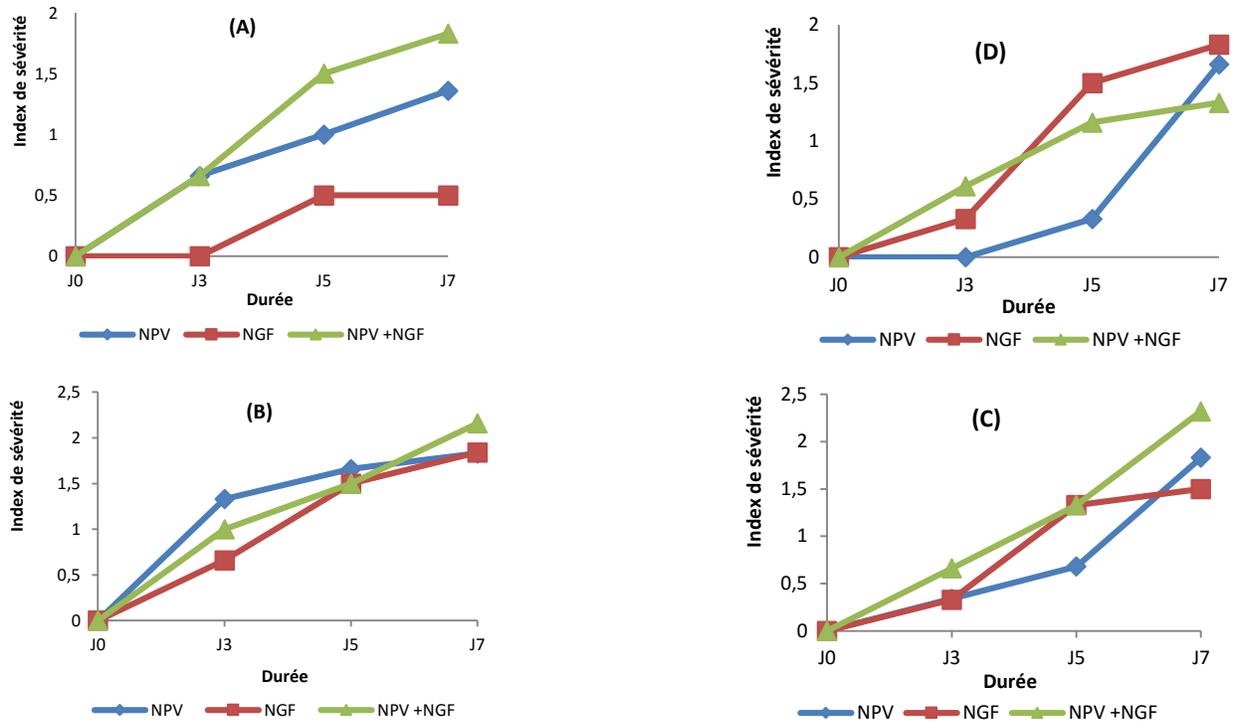


Figure 14. Evolution de l'index de sévérité des traitements à différents jours d'incubation chez les clones. A, SCA 12; B, UPA 134; C, T 79/501; D, T 79/467.

III.1.2.3. Echelle de sensibilité des clones

L'évolution de l'index de sévérité des clones infectés avec des souches NPV et NGF et la coinfection, ont permis de classer les clones en fonction d'une échelle de tolérance croissante. La figure 14 montre que SCA 12 est le clone le plus tolérant à de *P. megakarya* tandis que le clone T 79/501 est le plus sensible. Les clones T79/467 et UPA134 ont une tolérance intermédiaire (figure 14).

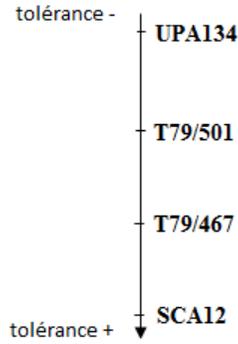


Figure 15. Echelle de sensibilité des clones

III.1.3. Comparaison des différents traitements sur les géotypes hybrides

La figure 15 montre que la souche NGF est la plus virulente chez les hybrides de la famille F19 à l'exception des hybrides F19.04 tandis que chez la famille F23, la souche NPV est la plus virulente pour les hybrides F23.02 et F23.04. Enfin NGF est la plus virulente pour l'hybride F23.01 tandis que la coïnfection est la plus virulente pour l'hybride F23.03.

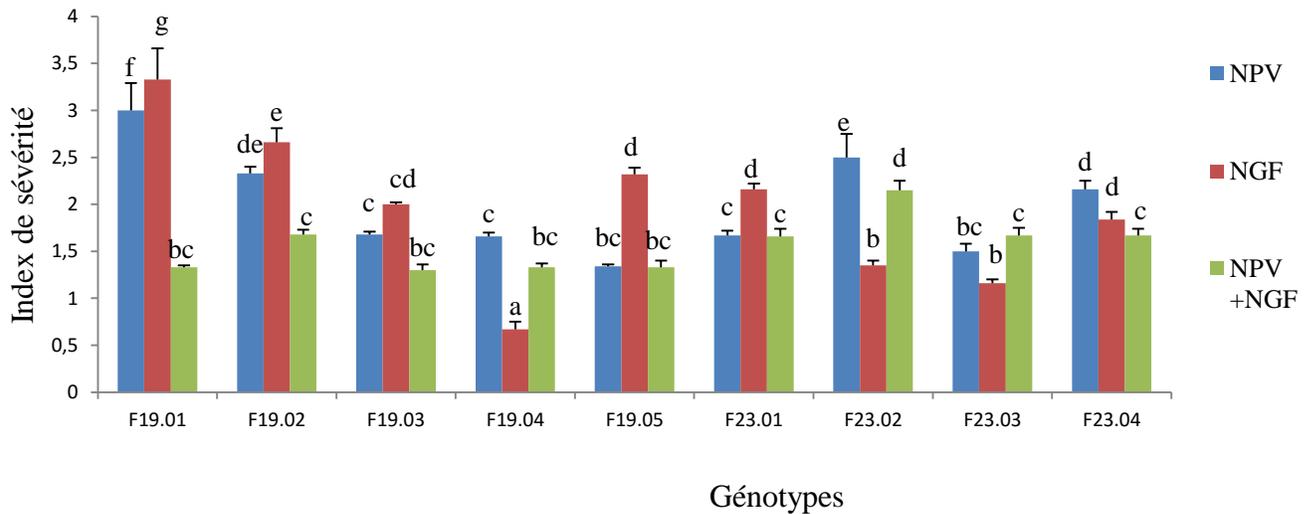


Figure 16. Index de sévérité des différents traitements chez les hybrides des familles F19 et F23 7 jours après incubation. . Les bandes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au test de Turkey au seuil 5 %.

III.1.4. Statut de résistance

Le classement des clones et des hybrides obtenu durant notre travail, a permis d'obtenir le degré de sensibilité observe dans le tableau 3. UPA 134 s'est révélé comme le meilleur clone

avec une sensibilité moindre à la PBC pour les trois traitements [souche NPV, NGF et coinfection (NPV+ NGF)], contrairement au UPA 134 (clone le plus sensible). Cependant, les hybrides F19.04, F23.03 et F19.03 se sont présentés comme les plus tolérants (tableau 3).

Tableau 3. Les tests sur feuilles ont permis d'estimer le niveau de tolérance de chaque parent et hybride

Génotypes	NPV	NGF	NPV+ NGF
SCA12	+++	++++	++
UPA134	++	++	++
T79/501	++	+++	+++
T79/467	+++	++	+++
F19.01	+	+	+++
F19.02	+	+	+++
F19.03	+++	++	+++
F19.04	+++	++++	+++
F19.05	+++	+	+++
F23.01	+++	++	+++
F23.02	+	+++	++
F23.03	+++	++++	+++
F23.04	++	++	+++

Légende : ++++ : fort; +++ : moins faible ++ : faible ; + : très faible

III.1.5. Classification hiérarchique des clones et des hybrides des familles F19 et F23

La classification hiérarchique des clones et des hybrides des familles F19 et F23 à 95 % d'homogénéité et 5 % d'hétérogénéité sur la base des indices de sévérité, et à différentes conditions de traitement permet ainsi de distinguer neuf groupes (figure 16). Le groupe 1 est constitué du meilleur clone UPA134 et des hybrides F23.01 et F23.04; les groupes 2, 3, 4, 5, 7, 8 et 9 se sont distingués des génotypes F19.03, F19.01, F19.02, F19.05, F23.02, SCA 12 et F19.04 tous de sensibilité différentes. Par contre, le groupe 6 se distingue du clone T 79/467 et de l'hybride F23.03.

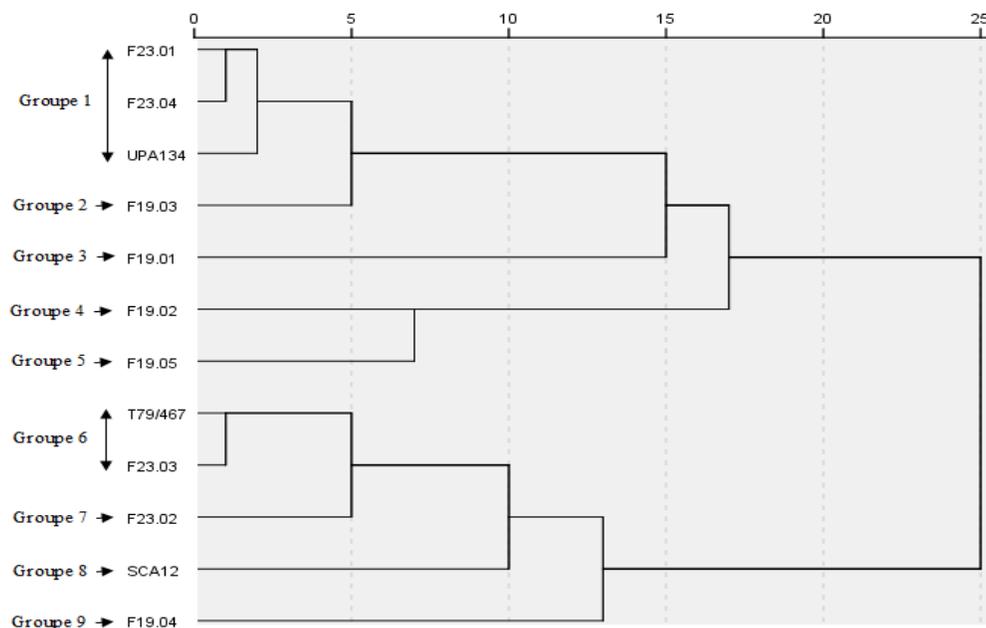


Figure 17. Classification hiérarchique des clones et des hybrides des familles F19 et F23 en fonction de l'indice de sévérité de différents traitements.

III.1.6. Evolution de l'effet hétérosis

L'hétérosis chez les familles hybride a été calculée dans un premier temps par rapport au parent moyen, et deuxièmement par rapport au meilleur parent en fonction de l'index de sévérité.

III.1.6.1. Effet hétérosis par rapport au parent moyen

Le tableau 4 montre une évolution de l'effet hétérosis par rapport au parent moyen en fonction du traitement et au cours du temps après les inoculations. Dans la famille F19, 67 (souche NPV), 60 (souche NGF) et 33 % (coinfection) des génotypes hybrides présentent une hétérosis négative pour les trois traitements aux jours 3, 5 et 7 respectivement. Par contre, 66, 58 et 91 % montrent un effet hétérosis positif dans les traitements NPV, NGF et la coinfection respectivement dans la famille F23. Cependant, on observe aux jours 3, 5 et 7 en condition de tous traitements, un effet négatif 60, 26 et 40 % respectivement dans la famille F19. Dans la famille hybride F23, 91 % (jour 3), 83 % (jour 5) et 41 % (jour 7) manifestent une hétérosis positive.

Tableau 4. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au parent moyen en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F19 et F23

Hybrides	Jour 3			Jour 5			Jour 7		
	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF
F19									
F19.01	+24,81	+31,31	+24,22	+32,66	-10,65	0	+71,92	+81,47	-23,78
F19.02	+0,75	+227,27	+67,70	+66,83	-99,49	-24,81	+33,52	+44,96	-3,72
F19.03	+50,38	+170,71	+24,22	+101,01	-48,31	-0,75	-3,72	+8,99	-25,50
F19.04	-100	+33,33	+65,22	-100,00	-302,94	-24,81	-4,87	-63,49	-23,78
F19.05	-50,38	+168,69	+24,22	+0,50	-152,23	-50,38	-23,21	+26,43	-23,78
F23									
F23.01	-32,66	+100	-20,48	-24,81	+35,00	0	+4,70	+84,62	-16,79
F23.02	-100	-100	-61,45	-75,19	-17,00	-33,33	+56,74	+15,38	+7,77
F23.03	-67,84	0	-20,48	-49,62	0	-54,67	-5,96	-0,85	-16,29
F23.04	-34,67	-9,09	-20,48	+12,78	0	-33,33	+35,42	+57,26	-16,29

III.1.6.2. Effet hétérosis par rapport au meilleur parent

L'évolution de l'effet hétérosis des géotypes hybrides par rapport au parent le plus tolérant (T 79/467) en fonction du traitement et au cours du temps après inoculation, ont montré que les hybrides des familles F19 présente 100 % d'effet hétérosis négatif (jour 3). Au jour 5, et au jour 7, 33 et 80 % des géotypes montrent une hétérosis négative (tableau 5).

Tableau 5. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au meilleur parent en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F19

Hybrides	Jour 3			Jour 5			Jour 7		
	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF
F19									
F19.01	0	+96,97	+63,93	+300	-12	+14,66	+80,72	+81,97	0
F19.02	0	+390,91	+121,31	+403,03	+100	-13,79	+40,36	+45,36	+26,32
F19.03	0	+306,06	+63,93	+506,06	+11,33	+13,79	+1,20	+9,29	-2,26
F19.04	0	+100	+118,03	-100,00	+33,33	-13,79	0	-63,39	0
F19.05	0	+303,03	+63,93	+203,03	+55,33	-43,10	-19,28	+26,78	0

Dans la famille F23, la souche coinfection s'est révélée la plus virulente ; les géotypes F23.01, F23.03 et F23.04 montrent de façon continue une vigueur hybride. Au jour 3, tous les hybrides présentent 0 % (traitement NGF) d'hétérosis et au jour 5, seul l'hybride F23.01 récidive. Par contre, on note au septième jour 100 % d'hétérosis négative pour le traitement NGF. Toutefois, du troisième au septième jour, les hybrides connaissent une perte de vigueur au fur et à mesure que le temps évolue (traitement NPV)(Tableau 6).

Tableau 6. Valeur de l'hétérosis (%) par rapport au meilleur parent en fonction du traitement et au cours du temps des hybrides des familles F23.

Hybrides	Jour 3			Jour 5			Jour 7		
	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF
F23									
F23.01	+1,52	0	0	0	+170	0	+22,79	+332	-9,29
F23.02	-100	0	-51,52	-67,00	+66	-33,33	+83,82	+170	+17,49
F23.03	-51,52	0	0	-33,00	+100	-54,67	+10,29	+132	-8,74
F23.04	-1,52	0	0	+50,00	+100	-33,33	+58,82	+268	-8,74

III.1.7. Héritabilité des familles F19 et F23

L'héritabilité au sens strict (h^2) a été estimée selon la méthode de Dillmann et Hospital (2004). La pente de la droite de régression obtenue provient des moyennes de l'indice de sévérité des parents et de leurs progénitures (figure 17). Les valeurs de ce paramètre génétique sont quasi-identiques pour les deux familles F19 (figure 16a) et F23 (figure 16b) ($h^2= 0,613$ pour F19 et $h^2= 0,772$ pour F23).

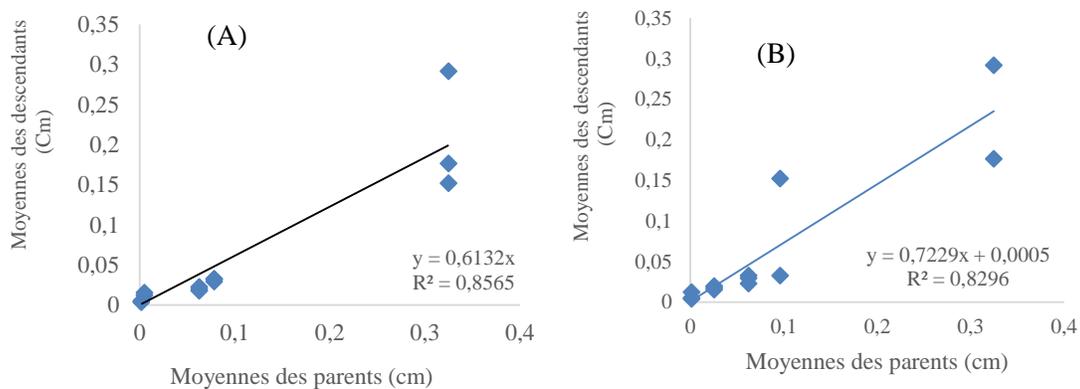


Figure 18. Héritabilité entre les géotypes hybrides et parentaux obtenue à partir de l'indice de sévérité des familles F19 (A) et F23 (B).

III-2. DISCUSSIONS

Les résultats obtenus ont montré que la reconstitution des clones par greffage en fente latérale a été un succès, grâce notamment à un pourcentage de réussite élevé (80, 62 %). Ces résultats varient selon les clones et sont compris entre 75 et 85 %. Ces résultats sont en désaccord avec ceux obtenus par Ondobo *et al.* (2013), dont le pourcentage de réussite avait été faible ; ils seraient dus à la période de greffage et l'arrosage peu intensif auraient expliqué ces faibles taux de réussite. Les travaux Akinnifesi *et al.* (2008), ont montré que le succès du greffage dépend de l'habileté du greffeur, des soins apportés après greffage et également de la technique utilisée, cas démontré dans le greffage d'*Uapaca kirkiana*. Ces résultats ont également montré que la période de greffage et la non-compatibilité des diamètres de porte-greffe et du greffon seraient aussi à l'origine du faible taux de réussite. Selon, Mujuga *et al.* (2010) dans des études portant sur le microgreffage d'*Allanblackia* montrent que les faibles taux de réussite obtenus sont dus aux diamètres différents entre porte-greffes et greffons.

Chez tous les génotypes parentaux et hybrides de *T. cacao* (groupe des Forastero) infectées par trois traitements de *P. megakarya*, a montré que les taches observées sur la partie inférieure des feuilles on observe la présence de la nécrose. Cette surface nécrotique évoluée au cours du temps, selon la virulence des souches utilisées et selon le génotype. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Nyassé (1997) sur des disques de feuilles de *T. cacao*. Selon Djocgoué *et al.* (2006), Manga (2013) et Ondobo (2014), l'apparition de la nécrose sur les feuilles infectées, est due à la présence du mycélium de *P. megakarya*, qui répand ses propagules à travers les tissus de l'hôte (feuille).

La sévérité des trois isolats utilisés [souche NPV, NGF et la coinfection (NPV+NGF)] ont montré qu'après infection des clones et des hybrides, l'association des souches NPV+NGF (coinfection) s'est matérialisée par des indices les plus importants ($P < 0,05$), contrairement à la souche NGF qui s'est comportée comme la moins agressive. La virulence des isolats pourraient être due à la grosseur et/ou la longueur des sporanges ou des sporocystes. Selon Drenth *et al.* (2001) et Martin *et al.* (2004) les caractères morphologiques des isolats de *Phytophthora* présentent des sporanges caducs de forme ellipsoïde à ovoïde avec une papille proéminente différent selon les isolats.

De tous les génotypes considérés précédemment, la manifestation de la vigueur hybride permet de montrer l'existence d'une hétérosis positive au sein des deux familles hybrides F19 et

F23. De ce fait, on observe 70,37, 81,48 et 74,07 % (parent moyen) de génotypes hybrides manifestant une vigueur hybride (par rapport aux souches NPV, NGF et coinfection (NPV+NGF) respectivement. Par contre, l'hétérosis par rapport au meilleur parent 33,33 % (souche NPV), 77,78 % (souches NGF) et 77,78 % (coinfection) montre une vigueur hybride. Selon Djocgoué *et al.* (2006), Manga (2013) et Ondobo(2014), la manifestation de la vigueur hybride témoigne une tolérance vis-à-vis de *P. megakarya* après infection et impliquerait des gènes à effet additifs et dominants. Cependant, l'hétérosis négative observée pourrait expliquer un effet épistasie de certains gènes qui masqueraient l'expression des gènes de défense impliqués dans la tolérance chez *T. cacao* L. pendant la méthode classique de croisements. La classification hiérarchique à 95 % d'homogénéité montre que, les quatre géniteurs ont formé chacun des groupes différents. Ces groupes se distinguent par des surfaces nécrotiques faibles pour les uns et importantes pour les autres.

Les valeurs de l'héritabilité au sens strict du caractère nécrose des différents croisements traduits une héritabilité élevée chez les deux familles ($h^2= 0,613$ pour F19 et $h^2= 0,722$ pour F23). Ceci est en accord avec les résultats de Manga (2013) qui ont montré une héritabilité très élevée après l'infection des feuilles de *T. cacao* (SCA 12 x ICS 40 et ICS 40 x SCA 12) par le mycélium de *P. megakarya*. Les travaux d'Effa *et al.* (2015) sur des feuilles jointes sur la plante ont montré des résultats similaires.

**CHAPITRE IV.
INTERET DIDACTIQUE**

IV.1. Intérêt didactique de la leçon

L'enseignement des sciences de la vie et de la terre(SVT) est une activité d'éducation et de formation. L'apprenant à travers cette étude comprend la nécessité de préserver notre environnement riche en plantes diverses qui sont des sources potentielles d'aliments à valoriser. L'apprenant à travers cette étude comprendra le bien fondé du greffage. Le greffage est une des techniques de multiplication végétatives qui permet de conserver les plantes de choix. Contrairement à d'autres techniques.

La démarche préconisée ici obéit à la méthode DIPHTERIC (Données initiales-Problème-Hypothèse-Test d'hypothèse-Résultats-Interprétation des résultats-Conclusion). Cette méthode place l'apprenant dans une situation de résolution de problème permettant d'acquérir des connaissances pratiques lui conférant des attitudes scientifiques indispensables.

IV.3 Préparation d'une leçon

L'une des principales attributions de l'enseignant est de faire acquérir les connaissances aux élèves. Pour cela l'enseignant s'appuie sur la connaissance de l'apprenant, son milieu et son expérience pour lui transmettre des connaissances de façon efficace. Riche de tous ces accords il n'est cependant pas encore prêt pour faire acquérir avec succès les connaissances. Il lui faut surtout s'organiser, s'équiper, collecter le matériel, prévoir les méthodes et les techniques, en un mot il lui faut préparer sa leçon. Comme exemple de l'application didactique de notre mémoire, nous réaliserons la leçon sur une partie du cours de la classe de sixième à savoir **les multiplications végétatives** par l'approche par les compétences.

**FICHE PEDAGOGIQUE DE PREPARATION D'UNE LEÇON DE SVTEEBH SELON L'APPROCHE PAR
COMPETENCES (APC)**

ETABLISSEMENT:	LYCEE DU CAMEROUN	Nom et prénoms du professeur: PORNEY BERANGERE ZITA	
MODULE: IV	LE MONDE VIVANT		
FAMILLE DE SITUATION:	COUVERTURE DES BESOINS DE L'HOMME EN RESSOURCES ANIMALE ET VEGETALE	DATE:	Jun 2016
EXEMPLE DE SITUATION :	INSUFFISANCE DES RESSOURCES COMESTIBLES	Classe :	6 ^{ème}
PALIER DE COMPETENCE :	SENSIBILISER SUR LA PRATIQUE DES REGLES D'HYGENE	Effectif : 80	G : 32 F : 48
CATEGORIES D'ACTION	AMELIORATION DE LA PRODUCTION ANIMALES ET VEGETALE	Durée :	12Heures
SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT/ APPRENTISSAGE N° 2	NECESSITE DE LA REPRODUCTION	Durée :	60 Minutes
TITRE DE LA SEANCE D'ENSEIGNEMENT/ APPRENTISSAGE	LA MULTIPLICATION VEGETATIVE	Période:	
OBJECTIF PEDAGOGIQUE OPERATIONNEL:	A la de la leçon l'élève sera capable de pratiquer la multiplication végétative en agriculture		

Etapas	Actions spécifiques à mener	Contenus spécifiques aux O.P.O.I	Outils didactiques	Activités		Evaluation de l'atteinte des OPOI	Durée
				Professeur	Elèves		
INTRODUCTION	1-Etablir le contrat élèves-professeur :	<p>Titre de la séance N° 2: LA MULTIPLICATION VEGETATIVE</p> <p><u>OPO:</u></p> <p>-définir la multiplication végétative -citer les différents types de multiplication végétative -décrire la multiplication végétative naturelle. décrire la multiplication végétative artificielle.</p>	-Programme officiel	-Ecrit le titre de la leçon au tableau - Communique les objectifs	-Recopient le titre de la leçon -Notent les objectifs		15 mn
	2- Vérifier les pré-requis	<p>Les végétaux se reproduisent par les voies sexuée et asexuée.</p> <p>L'organe qui intervient au cours de la reproduction sexuée est la fleur.</p>	-Cours précédent -Vécu quotidien	Pose des Questions	Répondent aux questions	<p>1- Qu'elles sont les différents modes reproduction qu'on retrouve chez les végétaux ?</p> <p>R : La reproduction sexuée et asexuée.</p> <p>2- Quel est l'organe de la dans la plante qui intervient au cours</p>	

						reproduction sexuée? R: La fleur.	
	3-Déterminer l'intérêt de la leçon 4-Formuler le(s) problème(s) scientifique(s)	Conservation des meilleurs caractères a savoir la productivité; la résistance aux ravageurs et la résistance aux maladies. -Qu'est-ce que la multiplication végétative ? -Comment s'effectue la multiplication végétative ?	Vécu quotidien	Pose des Questions pour amener les élèves à donner l'intérêt et le problème scientifique	Répondent aux questions, donnent l'intérêt de la leçon et formulent le problème scientifique	Lire attentivement le texte de situation de vie contextualisée de la planche et répondre aux questions.	
DEVELOPPEMENT	-Pratiquer la multiplication végétative en agriculture	TITRE DE LA SEANCE D'ENSEIGNEMENT/APPRENTISS AGE N° 2: LA MULTIPLICATION VEGETATIVE	-Programme officiel -Manuelles au programme - Vécu quotidien				
	-	1) Définition OPOI : --définir la multiplication végétative Notion construite: La multiplication végétative est une forme de reproduction qui se fait à partir de certains fragments de plantes.	-Planche SVTEEHB - Vécu quotidien	-L'enseignant demande aux élèves d'observer la planche et pose des questions	-Les élèves observent la planche et répondent aux questions.	1- qu'est-ce que la multiplication végétatives ? R:c'est une forme de reproduction qui se fait à partir de certains fragments de plantes.	25mn

		<p>2) Les différents types de multiplication végétative OPOI : - citer les différents types de multiplication végétative - décrire la multiplication végétative naturelle. - décrire la multiplication végétative artificielle.</p> <p>Notion construite: De manière générale on distingue deux types de multiplications végétatives chez les végétaux : la multiplication végétative naturelle et la multiplication végétative artificielle.</p> <p>a) la multiplication végétative naturelle C'est la reproduction asexuée développée par la plante elle-même à travers ces organes tels que la tige ou le bourgeon.</p> <p>- La tige Ce mode de reproduction est observé : chez le macabo où la tige est appelée tubercule et chez le bananier où la tige est appelée bulbe donne des rejets ;</p> <p>- Le bourgeon Ce mode de reproduction est observé : chez l'igname ou la pomme de terre.</p>	<p>Planche SVTEEHB - Vécu quotidien</p>	<p>-L'enseignant guide l'exploitation de la planche en posant des questions puis livre les notes</p>	<p>Les élèves exploitent les données de la planche répondent aux questions. - prennent des notes</p>	<p>1- quelles sont les différentes modes de multiplication naturelles que nous avons sur les figures 1 et 2? R : Le bourgeonnement et le bouturage 2- quelles sont les différentes plantes qui font ces types de multiplication? R : la pomme de terre l'oignon le bananier. 3- qu'est-ce que la multiplication végétatives naturelle? R : c'est le mode de reproduction développée par la plante elle-même à travers ces organes tels que la tige ou le bourgeon.</p>	
--	--	--	--	--	---	--	--

		<p>b) la multiplication végétative artificielle C'est celle où intervient l'Homme par plusieurs techniques qui sont : le bouturage, le marcottage et le greffage.</p> <p>-Le bouturage la technique qui consiste à mettre en terre un morceau de tige appelé bouture. Exemple : le manioc, la canne à sucre Remarque : le bouturage fait en laboratoire est appelé micro bouturage.</p> <p>-Le marcottage Il consiste à mettre une branche ou un rameau en contact avec la terre et dès que les racines apparaissent, on l'isole de la plante mère.</p> <p>-Le greffage Il consiste à implanter un fragment d'une plante (greffon) dans une autre plante appelée porte greffe.</p>	<p>Planche SVTEEBB - Vécu quotidien</p>	<p>L'enseignant guide l'exploitation de la planche en posant des questions puis livre les notes</p>	<p>Les élèves exploitent les données de la planche répondent aux questions. - prennent des notes</p>	<p>1- quelles sont les différentes modes de multiplication artificielles que nous avons sur les figures 3 et 4? R : Le greffage le bouturage et le marcottage. 2- En quoi consiste le greffage? 3- quelles sont les étapes du greffage? 4- En quoi consiste le marcottage?</p>	
--	--	---	--	---	---	---	--

CONCLUSION	1- Rappel du problème scientifique			-L'enseignant demande aux élèves de rappeler le problème scientifique	-Les élèves rappellent le problème scientifique	Quel est le problème scientifique de notre leçon ?	10 mn	
	2- rappel des objectifs.			-L'enseignant demande aux élèves de rappeler les objectifs de la leçon	- Les élèves rappellent les objectifs de la leçon	Quels sont les objectifs que nous nous sommes fixés au début de la leçon ?		
	3- vérification du degré d'atteinte des objectifs	<p>Synthèse des notions construites:</p> <p>Jeu bilingue: Greffage : Grafting Multiplication : Multiplication Multiplication végétative: végétatif Multiplication</p> <p>Devoir à faire à la maison: donner les avantages et les inconvénients de la multiplication végétative.</p>			-L'enseignant pose des Questions	- Les élèves répondent aux Questions		1-Qu'est-ce que multiplication végétative? 2-Citer les différents types de multiplication végétative. 3- donner un exemple pour chaque type.
		<p>Bibliographies: - Programme officiel d'études 6^e et 5^e: Sciences. -Majors en sciences et technologie 6^e/ 1^{ère} année.</p>						

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

IV.1. Conclusion

L'objectif principal de ce travail a été d'évaluer l'agressivité de deux isolats de *P.megakarya* en mono et coinfection sur des clones et hybrides de *T. cacao* du groupe des Forastero. Il ressort de ce travail que:

- Les résultats obtenus au greffage montrent que les clones T79/467 et UPA 134 ont le pourcentage de réussite le plus élevé (85 %). ceci dépend de la période de greffage, l'arrosage intensif et la compatibilité entre le porte-greffe et le greffon ;
- la coinfection s'est révélée comme la souche la plus agressive;
- le clone SCA 12 après infection des trois souches s'est révélé le plus tolérant des quatre clones étudiés. Les hybrides F19.04, F23.03, F19.03 et F23.01 ont présenté une hétérosis positive et sont donc considérés comme des hybrides les plus performants.
- Le caractère sévérité de la maladie a montré une héritabilité élevée dans les deux familles étudiées.

IV.2. Perspectives

Le présent travail pourrait être complété par :

- des analyses biochimiques de la teneur en composés phénoliques des différents clones ;
- des analyses moléculaires des différentes souches de *Phytophthora megakarya* permettant de mieux expliquer l'agressivité des coinfections.

BIBLIOGRAPHIE

Aguilar P.(1997).La cacaoculture à Sao Tomé et principe. Publication Cirad.

Aime M.C., Phillips-Mora W. (2005). The causal agents of witches' broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycologia* 97 (5): 1012-1022.

Akinnifesi F.K., Sileshi G., Mkonda A., Ajayi O.C., Mhango J. et Chilanga T. (2008). Germoplasm supply, propagation and nursery management of miombo fruit trees. CABI Publishing, Wallingford. 341-368

Anonyme (2015). ICCO, 2015. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, XL, No. 3, Cocoa year 2014/15.

Anonyme (2007). ICCO, Club du sahel et de l'Afrique de l'Ouest /OCDE 2007.

Austin P.T., Hall A.J., Snelgar W.P., Currie M. (2002). Modelling kiwifruit bud-break as a function of temperature and budbreak interaction. *Annals of Botany*, 89: 695-706.

Argout X., Salse J., Aury J.M., Guiltinan M.J., Droc G., Gouzy J., Allegre M., Chaparro C., Legavre T., Maximova S.N., Abrouk M., Murat F., Fouet O., Poulain J., Ruiz M. (2011). The genome of *Theobroma cacao*. *Nature Genetic* 43 (2): 101-108.

Assoumou J. (1997). Culture in vitro of cambial tissue of cocoa. *Nature* 173: 351-352.

Attard A., Gourgues M., Galiana E., Panabieres F., Ponchet M., Keller H. (2008). Strategies of attack and defense in plant-oomycete interactions, accentuated for *Phytophthora parasitica* Dastur (syn. *P. Nicotianae* Breda de Haan). *Plant Physiology*, 165: 83-94.

Attard A., Gourgues M., Galiana E., Panabieres F., Ponchet M., Braudeau J. (1969). Le cacaoyer. Maisonneuve et Larousse, Paris (France), 304p.

Babacauh K.D. (1980). Structure et dynamique des populations de *Phytophthora* sp. Parasite du cacaoyer. Thèse de doctorat d'Etat Université de Paris Sud Centre d'Orsay. 208p

Babin R. (2009). Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agro-écologiques sur la dynamique des populations du ravageur, PhD thesis, Université Montpellier III -Paul Valéry.

Badegana A.M., Amang J. et Mpe J. M. (2005). Préférences alimentaires de *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera: Miridae) vis-à-vis de quelques clones de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) *Tropicultura*. 23(1): 24-26.

Bearden M.M., Pearson D.A., Rein D., Chevaux K.A., Carpenter D.R., Keen C.L., Schmitz H. (2000). Potential Cardiovascular Health Benefits of Procyanidins Present in Chocolate and Cocoa. In: Parliament, and Schieberle P. (Eds.), ACS Symposium Series 754: Caffeinated Beverages – Health Benefits, Physiological Effects, and Chemistry. 177-186.

Brasier C.M. 1979. *Phytophthora*-Unobtrusive Killer. Biological Journal of the Linnean Society, 12: 358-358.

Braudeau J. (1969). Le cacaoyer. Maisonneuve et Larousse, Paris. 304p.

Burle L. (1962). Le cacaoyer. Paris France. Maisonneuve et Larousse. 675p.

Campbell L.G., Husband B.C. (2005). Impact of clonal growth on effective population size in *Hymenoxys herbacea* (Asteraceae). Heredity 94: 526-532.

Charrier A. (1969). Nouvelles prospections. Plantations, Recherche, Développement 4 : 25-32.

Cheesman E. E. (1944). Notes on nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. Tropical. Agriculture. 21: 144-159

Cilas C., Despreaux D. (2004). Improvement of cocoa tree resistance to *Phytophthora* diseases. CIRAD. Montpellier, France. 171p.

Cilas C. (1991). Estimation of some genetic parameters in different cocoa cross schemes. Café Cacao Thé 35 (1): 3-14.

Clément D. (2001). Cartographie de QTL contrôlant des caractères d'intérêts chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris Grignon. 300 p.

Cuatrecasas J. (1964). Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Bulletin of the United State National Museum, Smithsonian institution 35: 379-614.

Daxl R., Niels Von Kayserlingk., Klein-koch C., Link R., Waibel H. (1995). La lutte intégrée contre les ennemis des cultures. GTZ (GmbH). Rossdorf. Allemagne. 135p.

De bary A. (1876). Researches into the nature of the potato fungus, *Phytophthora infestans*. J.R. Agriculture. 2. 12: 239-269.

Derron J. (1977). In : Approche écologique de l'entomogame, des cacaoyers de Sao Tomé (golfe de guinée), Thèse école polytechnique Fédérale, 39-46

Demol J. (2002). Amélioration des plantes, Application aux principales espèces cultivées en région tropicale. Les presses agronomiques de Gembloux, A.S.B.L (ed), Gembloux (Belgique). 444 - 460.

Despreaux D. (1998). Le cacaoyer et la cacaoculture. In : Cacao et chocolat, production, utilisation, caractéristiques. CoordPontillon J., Tec & Doc Lavoisier, (Paris), 45-91.

Despreaux D., Cambrony D., Nyassé S., Partiot M. (1988). Etude de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer au Cameroun: définition de nouvelles méthodes de lutte. 10^e Conférence internationale sur la recherche cacaoyère. 407-412.

Dillinger T.L., Barriga P., Escarcega S., Jimenez M., Lowe D.S., Grivetti L.E. (2000). Food of the Gods: Cure for Humanity. A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate. *Journal of Nutrition*.130: 2057-2072.

Djocgoue P.F., Boudjeko T., Nankeu D.J., Efombagn M.I.B., Nyasse S. and Omokolo D.N., (2006). Comparative assessment of the resistance of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) progenies from SNK10 x SNK413; ICS84 x ICS95 to *Phytophthora megakarya* in Cameroon by measuring size of necrotic lesion along the midrib. *Plant Pathology. Journal*. 5(3): 329-33

Djocgoue P.F. (1998). Analyse des variations biochimiques liées au Développement et l'infection par *Phytophthora megakarya* Bras. Et Grif. Chez *Theobroma cacao* L. Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I, Cameroun.123p

Drenth, J.P.H., Finley, W. H., Breedveld, G. J., Testers, L., Michiels, J. J., Guillet, G., Taieb, A., Kirby, R. L., Heutink, P. (2001). The primary erythralgia-susceptibility gene is located on chromosome 2q31-32. *Am. J. Hum. Genet.*PubMed. 68: 1277-1282.

Effa O.P., Niemenak N., Djocgoue P.F., Ondobo M.L., Omokolo N.D. (2015). Heritability of polyphenols, anthocyanins and antioxidant capacity of Cameroonian cocoa (*Theobroma cacao* L. à beans. *African Journal of Biotechnology* 14(36): 2672-2682.

Efombagn I.B.M., Motomayor J.C., Sounigo O., Eskes A.B., Nyassé S., Cilas C., Schnell R., Enriquez G. A. (1992). Characteristics of cacao “Nacional” of Ecuador. In: Proceedings of the International Workshop on Conservation, Characterization and Utilisation of Cocoa Genetic Resources in the 21st Century. Port-of-Spain, Trinidad. 13-17th September. 269-278.

Manzanares-Dauleux M.J. and Kolesnikova aallen M. (2008). Genetic diversity and structure of farm and GenBank accessions of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Cameroon revealed by microsatellite markers. *Tree Genetics & Genomes* 4: 821-831.

Elliot C.G. (1983). Physiology and sexual reproduction of in *Phytophthora* In: society, A.P. (ed.) *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology*. St. Paul, Minnesota: D.C. Erwin, S. Bartnicki-Garcia and P.H. Tsao.

Enriquez G.A. (1985). Cursos sobre el cultivo del cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Serie Materiales de enseñanza. 22: 229p

Erwin D.C., Ribeiro O. K., (1996). *Phytophthora* diseases worldwide, Minnesota, USA, The American Phytopathology Society. 35-67

Erwin D.C., Bartnicki-Garcia S., Tsao P.H. (1983). *Phytophthora*: its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology, St. Paul, Minnesota. 44-46

Eskes A., Lanaud C. (1997). Le cacaoyer. In: L'amélioration des plantes tropicales. CIRAD. Montpellier, France 141-170.

Forster H., Ribeiro O.K., Erwin D.C. (1983). Factors affecting Oospore germination of *Phytophthora-megasperma* sp. *Medicaginis*. *Phytopathology* 73: 442-448.

Frison E A., Diekmann M., Nowell D. (1999). Technical Guidelines for the safe movement of germoplasm N°20 (1st revision). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome/International Plant Genetic Resources Institute, Rome 60p.

Gallais A. (1990). Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Ed. Masson, Paris. 588p

Gervais M. (1981). Greffage du cacaoyer en fente terminale. *Café Cacao Thé* 25 : 55-59.

Harutyunyan S.R., Zhao Z., Den Hartog T., Bouwmeester K., Minnaard A.J., Feringa B. L., Govers F. (2008). Biologically active *Phytophthora* mating hormone prepared by catalytic asymmetric total synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 8507-8512.

Hertz L. (1993). Methods of grafting. *Grafting and budding fruit trees*. URL: [distribution/horticulture/components](#) 532p

Holmes K.A., Evans, H.C., Wayne S., Smith J. (2003). *Irvingia*, a forest host of the cocoa black-pod pathogen, *Phytophthora megakarya*, in Cameroon. *Plant Pathology*. 52:486-490.

Iwano A., Screenivasam N.T., Umahara P. (1997). *Phytophthora* resistance in cocoa (*Theobroma cocoa* L.). In: influence of pod morphological characteristics. *Plant pathology* 46:557-565.

Judelson H.S., Blanco F.A. (2005). The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nat Rev Microbiology* 3: 47-58.

Jeger M. J., Pautasso M. (2008). Comparative epidemiology of zoosporic plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology* 122: 111-126.

Kamoun S. (2003). Molecular genetics of pathogenic Oomycetes. *American Society for Microbiology* 2: 191-199.

Keller H. (2008). Strategies of attack and defense in plant-oomycete interactions, accentuated for *Phytophthora parasitica* Dastur (syn. *P. Nicotianae* Breda de Haan). Plant Physiological 165: 83-94.

Kennedy A.J., Leckwood G., Mossu G., Simmons N.W. and Tan G.Y.(1987). Cocoa breeding past, present and future. Cocoa Growers Bulletin. 38: 5-22.

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. Sci. Hort.

Lavabre E.M. (1977). Les mirides du cacaoyer. *Maisonneuve et larose*. 366

León J. (1987). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica 445.

Lerceteau E. (1996). Diversité génétique, recherche de QTL et analyse des profils protéiques de fèves de *Theobroma cacao* L. pendant la fermentation. Conséquences sur la qualité. Thèse de Docteur en sciences, Université d'Orsay (Paris XI).

Loor Solórzano R.G. (2007). Contribution à l'étude de la domestication de la variété de cacaoyer National d'Equateur: recherche de la variété native et de ses ancêtres sauvages. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Science Agronomique. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

Lupien J.R. (1999). Overview of the Nutritional Benefits of Cocoa and Chocolate. In: Knight I. (ed.), *Chocolate and Cocoa: Health and Nutrition* 3-8.

Lynch M., Walsh B. (1998). Genetics and analysis of quantitative traits. 1st edition sinauer Associates, In C. Suderland Massachusetts 980p.

Maddison A. C., Griffin M.J. (1981). Detection and movement of inoculum. In: Epidemiology of *Phytophthora* on cocoa in Nigeria. Gregory, P.H and Maddison, A.C., editors. Phytopathological paper 31-49.

Manga N.J. (2013). Héritabilité de la tolérance à *Phytophthora* Bras. et Grif de deux populations hybrides de *Theobroma cacao* L. Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences Cameroun.

Martin D., Brun C., Remy E., Mouren P., Thieffry D. and Jacq B.(2004). Functional analysis of gene datasets based on Gene Ontology. *Genome Biology* 2004 5:R101 DOI: 10.1186/gb-2004-5-12-r101.

- Matta, C. 2010. Spontaneous Generation and Disease Causation: Anton de Bary's Experiments with *Phytophthora infestans* and Late Blight of Potato. *Journal of the History of Biology* 43: 459-491.
- Meinhardt L.W., Rincones J., Bailey B.A., Aime M.C., Griffith G.W., Zhang D., Pereira, G.A.G. (2008). *Moniliophytophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao: What's new from this old foe? *Mol. Plant Pathol.* 9 (5):577- 588.
- Melnick R.L., Bailey B.A., Maximova S., Gultinan M.J., Backman P.A. (2006). *Bacillus* spp. induit une résistance systémique aux maladies du cacaoyer. 15^e Conférence Internationale sur la recherche Cacaoyère 210p.
- Messi J. (1985). Manifestation et causes des fortes densités des populations de *mesohomotoma tessmanni* (Psyllidae) dans les plantations cacaoyère sans ombrage au Cameroun. *Ann. Fac. Sc. Biol.-Biochim.* 3 (3): 49-80
- Mfegué C.V. (2012). Origine et mécanisme de dispersion des populations de *Phytophthora megakarya*, pathogène du cacaoyer au Cameroun. Thèse de Doctorat, biologie intégrative des plantes, Centre International D'études Supérieures En Sciences Agronomiques – Montpellier Supagro
- Motamayor J.C., Risterucci A.M., Lopez P.A., Ortiz C.F., Moreno A., Lanaud C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89 (5) : 380-386p.
- Moreira C.F.R., Gramacho P.K., Solis K., Arévalo E., Lima S.L., Braz N., Serra W., Lopez V.U. (2006). Utilisation de primers SSSR de *Crinipellis perniciosa* pour *Moniliophthora roreri* et analyse de la structure génétique des populations par les marqueurs RAPD et microsatellites. In : Actes de la 15^{ème} Conférence Internationale de la Recherche Cacaoyère. San José, Costa Rica 21.
- Mossu G. (1990). Le cacaoyer. Maisonneuve et Larouse, Paris 160p.
- Munjuga M. Mwaura L. Schmidt L. (2010) *Allanblackia stuhlmannii* (Engl.) Engl. Seed Leaflet No. 149. FLD, Denmark (4), pp 1-10.
- Noumbissie T.J.B., Bell J.M., Tchuengang M.C., Kuegue H.G. (2002). Héritabilité du taux de fructification chez le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) en zone soudano-guinéenne du Cameroun. *Biosciences Proceedings*. Vol 9.
- Ngyen Ban J., 1996. Lutte contre les maladies et ravageurs du cacaoyer. *Plantations, Recherche, Développement*, 39 (3): 191-194.

- Nwaga D. (1984). Contribution à l'amélioration génétique de la résistance du Cacaoyer (*Theobroma cacao*) à la pourriture brune des cabosses due à *Phytophthora* spp. Mémoire DEA, Université de Rennes.
- Nya Ngatchou J. (1979). Etat d'avancement des travaux de génétique et d'amélioration du cacaoyer du Cameroun. 7^{ème} Conférence International Recherche Cacaoyère. Douala, Cameroun, 507-611.
- Nyassé S. (1992). Structure d'une population de *Phytophthora* spp. des cacaoyères camerounaises atteintes de la pourriture brune. DRU. Institut National Polytechnique Toulouse 48p
- Nyassé S. (1997). Etude de la diversité de *Phytophthora megakarya* et caractérisation de la résistance du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à cet agent pathogène – Thèse de doctorat, INP Toulouse 133p.
- Philips-Mora W., Cerda R. (2009). 'Catalogue: Cacao diseases in Central America 93.
- Ondobo M.L., Effa O.P, Djocgoué P.F., Boudjeko T., Manga N.J., Djoko K.J.C., Omokolo N.D. (2013). Influence of *Phytophthora megakarya* inoculation on necrosis length, phenolic content, peroxidase and polyphenoloxidase activity in cocoa (*Theobroma cacao* L.) plants. Syllabus Review, Science Series4:8-18.
- Ondobo M.L. (2014). Héritabilité de la résistance à *phytophthora megakarya* et des composés bioactifs de quelques clones de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Thèse PhD, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences Cameroun.
- Ploetz R.C. (2007). Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology* 97: 1634-1639.
- Posnette R. J. (1947). The influence of rootstock family and scion genotype on graft incompatibility in *Araucaria cunninghamii* Ait ex D. Don. *Silvae Genetica* 40, 141 – 146.
- Pound F.J. (1945). A note about the cacao population of South America. Report and Proceeding Cacao Research Conference, London. *Colonial* 192: 93–97.
- Rouseau P. (1976) Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. *Sci.Hortic.*,74:195-205.
- Santos R.C., Pires J.L., Correa R.X. (2012). Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma cacao* L. species. *Genetic Resources Crop Evolution* 59 (3):327-345.

- Soria V.J. (1970). Principal varieties of cocoa cultivates on tropical America. *Cocoa Growers bulletin* 15: 12-21.
- Tahara S. Islam M.T. (2005). Secondary metabolites with diverse activities toward phytopathogenic zoospores of *Aphanomycescochlioides* in host and non host plants. In: CLARK, J. M. O. H. (ed.) *New Discoveries in Agrochemicals*.
- Tondje P.R., Roberts D.P., Bon M.C., Widmer T., Samuels G.J., Ismaiel A., Begoude B.A.D., Tchana T., Nyemb-Tshomb E., Ndoumbe-Nkeng M., Bateman R., Fontem D., Hebbar K.P. (2007). Isolation and identification of mycoparasitic isolates of *Trichoderma asperellum* with potential for suppression of black pod disease of cacao in Cameroon. *Biological Control* 43: 202-212.
- Vera B.J. (1987). *Antecedentes históricos Manual del cultivo de cacao*. INIAP, EETP ichilingue. Quevedo, Ecuador 6-9.
- Wanner G.A. (1966). *The first cocoa trees in Ghana*. Basle Trading company.
- Wielgoss A., Clough Y., Fiala B., Rumede A., Tschardt T. (2012). A minor pest reduces yield losses by a major pest: Plant-mediated herbivore interactions in Indonesian cacao. *Journal Applied Ecology* 49 (2): 465-473.
- Whitlock B., Bayer C., Baum D. (2001). Phylogenetic relationships and floral evolution of the byttnerioideae (Sterculiaceae or Malvaceae S-1) based on sequences of the chloroplast gene *ndhF*. *Systematic. Botany* 26: 420-437.
- Wood GAR. (1973). *Cocoa*. Tropical Agriculture Series, 3th edition. Trinidad and Tobago 25-27.
- Zahour A. (1992). *Eléments d'amélioration génétique des plantes*. Ed. Actes, Rabat, Maroc. 232.

ANNEXE

Annexe 1: tableau de la Variations de l'index de sévérité à la pourriture brune des clones en fonction du temps

Clones	Jour 3			Jour 5			Jour 7		
	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF
(Forastero)									
SCA12	0,66±0,57 bc	0,00 ± 0,00 a	± 0,66 ± 0,35 a	± 1,00 ± 0,04 b	± 0,5 ± 0,04 a	± 1,50 ± 0,34 b	± 1,36 ± 0,57 a	± 0,50 ± 0,16 a	± 1,83 ± 0,31 ab
UPA134	1,33 ± 0,15 c	± 0,66 ± 0,57 abc	± 1,00 ± 0,06 ab	± 1,66 ± 0,52 cd	± 1,50 ± 0,52 bc	± 1,50 ± 0,66 b	± 1,83 ± 0,25 abc	± 1,84 ± 0,04 abcd	± 2,16 ± 0,04 b
T79/501	0,34 ± 0,07 ab	± 0,33 ± 0,02 ab	± 0,66 ± 0,30 a	± 0,68 ± 0,15 ab	± 1,33 ± 0,57 bc	± 1,33 ± 0,52 ab	± 1,83 ± 0,04 abc	± 1,50 ± 0,50 abc	± 2,32 ± 0,57 b
T79/467	0,00 ± 0,00 a	± 0,33 ± 0,02 ab	± 0,61 ± 0,08 a	± 0,33 ± 0,08 ab	± 1,50 ± 0,86 bc	± 1,16 ± 0,28 ab	± 1,66 ± 0,57 abc	± 1,83 ± 0,28 abcd	± 1,33 ± 0,07 a

Annexe 2: tableau de la Variations de l'index de sévérité à la pourriture brune des hybrides des familles F19: (♀) T79/467 × (♂) UPA134 et F23: (♀) SCA12 × (♂) UPA134 en fonction du temps.

Génotypes	Jour 3			Jour 5			Jour 7		
	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF	NPV	NGF	NPV+ NGF
Parents									
SCA12	0,66 ± 0,57 bc	± 0,00 ± 0,00 a	± 0,66 ± 0,35 a	± 1,00 ± 0,04 b	± 0,5 ± 0,04 a	± 1,50 ± 0,34 b	± 1,36 ± 0,57 a	± 0,50 ± 0,16 a	± 1,83 ± 0,31 ab
UPA134	1,33 ± 0,15 c	± 0,66 ± 0,57 abc	± 1,00 ± 0,06 ab	± 1,66 ± 0,52 cd	± 1,50 ± 0,52 bc	± 1,50 ± 0,66 b	± 1,83 ± 0,25 abc	± 1,84 ± 0,04 abcd	± 2,16 ± 0,04 b
T79/501	0,34 ± 0,07ab	± 0,33 ± 0,02 ab	± 0,66 ± 0,30 a	± 0,68 ± 0,15 ab	± 1,33 ± 0,57 bc	± 1,33 ± 0,52 ab	± 1,83 ± 0,04 abc	± 1,50 ± 0,50 abc	± 2,32 ± 0,57 b
F19									
F19.01	0,83 ± 0,04 bc	± 0,65 ± 0,15 abc	± 1,00 ± 0,40 ab	± 1,32 ± 0,52 bc	± 1,32 ± 0,11 bc	± 1,33 ± 0,09 a	± 3,00 ± 0,39 d	± 3,33 ± 0,53 d	± 1,33 ± 0,12 a
F19.02	0,67 ± 0,17 bc	± 1,62 ± 0,47 d	± 1,35 ± 0,03 b	± 1,66 ± 0,22 cd	± 3,00 ± 0,20 d	± 1,00 ± 0,20 a	± 2,33 ± 0,07 cd	± 2,66 ± 0,15 cd	± 1,68 ± 0,54 ab
F19.03	1,00 ± 0,40 c	± 1,34 ± 0,07 cd	± 1,00 ± 0,06 ab	± 2,00 ± 0,73 d	± 1,67 ± 0,52 c	± 1,32 ± 0,03 ab	± 1,68 ± 0,13 abc	± 2,00 ± 0,11 abcd	± 1,30 ± 0,06 a
F19.04	0,00 ± 0,00 a	± 0,66 ± 0,11 abc	± 1,33 ± 0,57 b	± 0,00 ± 0,00 a	± 2,00 ± 0,05 c	± 1,00 ± 0,12 a	± 1,66 ± 0,42 abc	± 0,67 ± 0,18 ab	± 1,33 ± 0,14 a
F19.05	0,33 ± 0,05 ab	± 1,33 ± 0,35 cd	± 1,00 ± 0,04 ab	± 1,00 ± 0,06 b	± 2,33 ± 0,52 cd	± 0,66 ± 0,30 a	± 1,34 ± 0,15 a	± 2,32 ± 0,57 cd	± 1,33 ± 0,73 a
F23									
F23.01	0,67 ± 0,06 bc	± 0,66 ± 0,22 abc	± 0,66 ± 0,46 a	± 1,00 ± 0,46 b	± 1,35 ± 0,35 bc	± 1,50 ± 0,54 b	± 1,67 ± 0,51 abc	± 2,16 ± 0,76 bcd	± 1,66 ± 0,08 ab
F23.02	0,00 ± 0,00 a	± 0,00 ± 0,00 a	± 0,32 ± 0,12 a	± 0,33 ± 0,08 ab	± 0,83 ± 0,44 a	± 1,00 ± 0,16 a	± 2,50 ± 0,55 cd	± 1,35 ± 0,35 abc	± 2,15 ± 0,10 b
F23.03	0,32 ± 0,03 ab	± 0,33 ± 0,13 ab	± 0,66 ± 0,28 a	± 0,67 ± 0,27 ab	± 1,00 ± 0,52 ab	± 0,68 ± 0,41 a	± 1,50 ± 0,86 ab	± 1,16 ± 0,04 abc	± 1,67 ± 0,28 ab
F23.04	0,65 ± 0,15 bc	± 0,30 ± 0,05 ab	± 0,66 ± 0,09 a	± 1,50 ± 0,86 bcd	± 1,00 ± 0,18 ab	± 1,00 ± 0,28 a	± 2,16 ± 0,29 bc	± 1,84 ± 0,28 abcd	± 1,67 ± 0,47 ab

Annexe 3: Situation problèmes contextualisée:

Monsieur ONANA est un jeune agriculteur résident à Ekoumou dans la ville de Yaoundé. Il est très réputé grâce à sa plantation qui produit de gros tubercules de manioc ayant une bonne saveur qui est très recherché sur les marchés de la ville de Yaoundé. Sa voisine madame MEDJO quant à elle possède une plantation de manioc dont les feuilles sont constamment détruites par les insectes et parfois recouvertes de grosses taches jaunâtres. Cette plantation produit très peu de petits tubercules, peu farineux et qui est très peu consommé. Le mois passé lorsque monsieur ONANA récoltait ses tubercules, un morceau de la tige du manioc est tombé dans la plantation de madame MEDJO puis s'est enraciné et six mois après madame MEDJO a récolté le plant de manioc issu du morceau de tige provenant de la plantation de Monsieur ONANA et elle a obtenu de gros tubercules de manioc ayant une bonne saveur. Elle a découpé les morceaux de tiges de ce plant de manioc qu'elle replanté dans toute sa plantation, aujourd'hui elle ravitaille plusieurs marchés de la ville en tubercule de manioc.

Questions

1- Pourquoi les tubercules de manioc de monsieur Onana sont-ils très recherchés sur les marchés?

R: ces tubercules de manioc sont très recherchés sur les marchés parce que ce sont de gros tubercules ayant une bonne saveur.

2- Pourquoi la plantation de madame Medjo produit-elle peu de tubercules et mauvaise qualité ?

R: La plantation de madame Medjo produit peu de tubercules et mauvaise qualité parce que les feuilles de manioc sont constamment détruites par les insectes et parfois recouvertes de grosses taches jaunâtres.

3- Comment appelle-t-on la technique de multiplication utilisée par madame Medjo pour reprendre la bonne semence de manioc dans sa plantation?

R: La technique de multiplication utilisée par madame Medjo c'est la multiplication végétative.

4- Quels sont les questions qu'on peut se poser concernant cette technique?

R: -Qu'est-ce que la multiplication végétative ?

-Comment s'effectue la multiplication végétative ?

5- Quelle est l'intérêt de l'étude de cette technique pour les élèves des lycées du Cameroun ?

R: L'étude de cette technique permet une conservation des plantes ayant des meilleurs caractères à savoir la productivité; la résistance aux ravageurs et la résistance aux maladies

Annexe 3: PLANCHE DE SVTEEH: CLASSE DE 6^{ème}

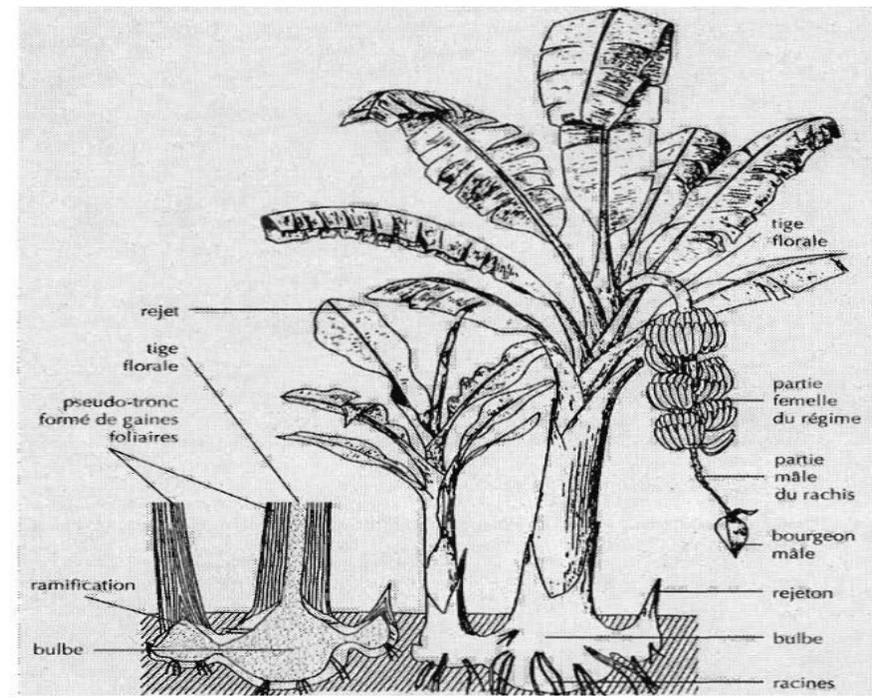


Figure1: technique de multiplication végétative naturelle: chez le bananier

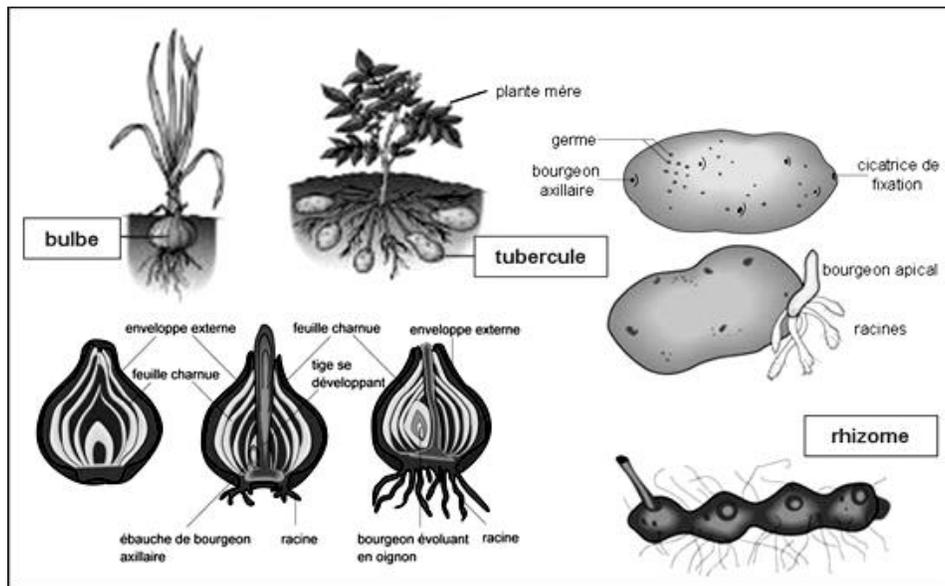
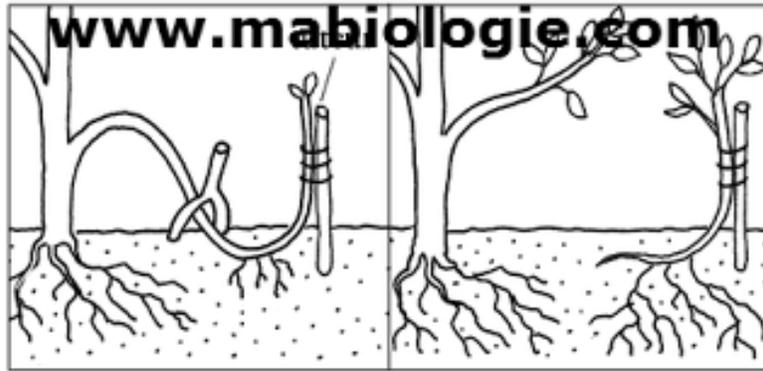


Figure2: technique de multiplication végétative naturelle: cas la pomme de terre et de l'oignon



Cette technique consiste à mettre dans le sol un rameau encore relié à la plante mère en le maintenant à l'aide d'une fourche, de provoquer l'émission des racines puis de séparer le jeune plant en terre du pied mère: c'est le sevrage.

Figure 4: technique de multiplication végétative artificielle: Le **marcottage**



Cette technique consiste à implanter le fragment d'une plante (appelée greffon) dans une autre plante (appelée porte-greffe). Le résultat du greffage est la greffe.

Figure 5: technique de multiplication végétative artificielle: Le **greffage** (Etape du greffage: A, Greffons; B, Porte-greffes; C, porte-greffe et greffon mise ensemble; D, porte-greffes et greffons liés par ruban d'attache; E, Plants protégés par des sachets transparents en polyéthylène)

La multiplication végétative permet d'obtenir un grand nombre de plante ayant les mêmes caractéristiques que la plante mère. Elle est utilisée par l'homme pour multiplier les plantes sélectionnées.