

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Année : 2016

N° d'ordre : 192



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : **Production et Protection des Végétaux**

Présentée par : **Abdoulaye FAYE**

Etude comparative de variétés de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) selon leur sensibilité aux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et leurs capacités organogénétiques *in vitro*

Soutenue le 06 février 2016 à la FST/UCAD devant le jury composé de :

| | | | | |
|------------------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|------------------|
| <u>Président :</u> | M. Kandioura | NOBA | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| <u>Rapporteurs :</u> | M. Diaga | DIOUF | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Samba Ndao | SYLLA | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Emile Victor | COLY | Maître de Recherches | DPV |
| <u>Examineurs :</u> | Mme Mame Ourèye | SY | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Demba Farba | MBAYE | Maître de Recherches | USAID/ERA |
| | M. Aboubacry | KANE | Maître de Conférences | UCAD/BV |
| | M. Djibril | SANE | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| <u>Directeur de thèse :</u> | M. Djibril | SANE | Professeur Titulaire | UCAD/BV |

DEDICACES

Gloire et Louanges à ALLAH, Seigneur de l'Univers
Que Sa Paix et Son Salut soient éternellement sur Son Prophète
MOUHAMMAD ainsi que sur sa Famille et ses Compagnons

Je rends Grâce à SERIGNE TOUBA CHEIKH SALIOU MBACKE
de m'avoir rattaché à SERIGNE BETHIO THIOUNE
mon Guide Spirituel à Qui je réitère mon allégeance
et souhaite Longue Vie pleine de Santé

Je dédie ce modeste travail à :

- ✚ mon épouse Mariama et mes enfants Serigne Saliou et Mame Diarra Bousso
- ✚ mon cher ami Djiby NDIAYE, sa femme Awa et son fils Serigne Saliou qui sont à Madinatou Salam
- ✚ mes parents et mes frères et sœurs
- ✚ tous mes condisciples thiantakones
- ✚ ceux de mon daara Touba Mballing plus particulièrement
- ✚ Mon cher jwrigne Ousmane FALL SARR et mon daara Touba Université Cheikh Anta Diop
- ✚ mes amis Modou et Bouba
- ✚ tous les élèves et étudiants du CEEM (Cercle des Elèves et Etudiants de Mballing)
- ✚ tout le Personnel de la DAHW/Sénégal, notamment à Tonton CISSE, Mariama et Madame DIAGNE la secrétaire
- ✚ mes anciens Maitres M. Aliou BA, M. Abdoulaye SENE et M. Abdou Khadr DIONE qui m'ont toujours manifesté affection et encouragé dans les études depuis l'Elémentaire
- ✚ Monsieur Assane NDIAYE, sa femme Khoudia et ses enfants, qui m'ont accueilli avec largesse à Tivaouane durant mes travaux de terrain

REMERCIEMENTS

Ce travail a été entamé au Centre pour le Développement de l'Horticulture (ISRA/CDH), poursuivi en milieu paysan dans le département de Tivaouane (Région de Thiès, Sénégal) et achevé au Laboratoire Campus de Biotechnologies Végétales (LCBV) de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Nous tenons à remercier particulièrement :

M. Kandioura NOBA qui a bien accepté de présider notre jury. Qu'il trouve ici l'expression de nos distingués remerciements. Dans nos études supérieures, nous n'avons cessé de bénéficier de ses enseignements ainsi que son suivi pédagogique qui nous a accompagnés jusqu'ici.

M. Diaga DIOUF pour avoir accepté de participer à notre jury et d'être rapporteur de cette thèse. Ses conseils et instructions nous ont toujours été utiles. Nous lui en adressons toute notre reconnaissance.

M. Samba Ndao SYLLA dont nous avons eu la chance de bénéficier des enseignements et qui ne cesse jusqu'ici de répondre à nos sollicitations. Nous le remercions encore pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger notre présent travail et d'être rapporteur de cette thèse.

M. Emile Victor COLY qui nous a accueilli au CDH depuis le Master et accordé un suivi dans le travail. Nous le remercions encore pour avoir accepté de participer à notre jury et d'être rapporteur de notre thèse.

Mme Mame Ourèye SY qui a bien voulu nous accueillir dans son Laboratoire pour la réalisation d'une partie de ce travail. Grâce à vos instructions, nous avons pu cultiver de bonnes habitudes dans le travail. Soyez assurée chère Professeure de notre profonde gratitude.

M. Demba Farba MBAYE grâce à qui nous avons pu obtenir les bourses et supports qui nous ont permis de réaliser cette étude. Votre sens élevé des relations humaines nous a beaucoup marqué ainsi que vos pertinents conseils.

M. Aboubacry KANE avec qui nous avons pu être formés dans un Master 2 de Phytopharmacie et qui continue toujours de répondre à nos sollicitations. Trouvez entre ces lignes l'expression de notre reconnaissance avec tous nos remerciements.

M. Djibril SANE qui nous a initié à la recherche en acceptant d'être notre Encadreur scientifique au Master comme à cette Thèse. Grâce à vous, nous avons pu cultiver et développer une pertinence et une rigueur scientifiques sûres. Vous n'avez ménagé aucun effort pour nous faire faire des résultats. Nous vous adressons ici toute notre gratitude et nos remerciements.

Mme Dielynaba SALL SY dont la pertinence des conseils et suggestions nous a beaucoup servi dans l'accomplissement de nos travaux de recherche au CDH.

M. Maurice SAGNA à qui nous devons notre savoir-faire. Grâce à votre grande disponibilité, vous nous avez fait acquérir les bonnes techniques et les manipulations de laboratoire.

M. Papa Demba KANE dont l'assistance technique nous a beaucoup servi dans ce travail. Vous avez bien voulu superviser nos activités de recherche au CDH et sur le terrain.

Nos remerciements vont également à l'endroit de l'IFAN, l'USAID/ERA, l'ISRA/CERAAS et la Fédération National des Producteurs de Manioc du Sénégal pour leur collaboration.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE : Sciences de Vie, de la Santé et de l'Environnement
FACULTE : Sciences et Techniques

THESE DE DOCTORAT
Spécialité : Production et Protection des Végétaux

Nom et prénom du candidat : FAYE Abdoulaye

Titre de la thèse : Etude comparative de variétés de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) selon leur sensibilité aux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et leurs capacités organogénétiques *in vitro*

Date et lieu de soutenance : le 06 février 2016 à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar

| | | | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------|
| <u>Président du jury</u> : | M. Kandoura NOBA | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| <u>Membres</u> : | M. Diaga DIOUF | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Samba Ndao SYLLA | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Emile Victor COLY | Maitre de Recherches | DPV |
| | Mme Mame Ourèye SY | Professeur Titulaire | UCAD/BV |
| | M. Demba Farba MBAYE | Maitre de Recherches | USAID/ERA |
| | M. Aboubacry KANE | Maitre de Conférences | UCAD/BV |
| | M. Djibril SANE | Professeur Titulaire | UCAD/BV |

RESUME

Le manioc *Manihot esculenta* est une euphorbiacée pérenne cultivée essentiellement dans les zones tropicales pour ses tubercules riches en amidon et ses feuilles riches en protéines. Cependant, cette plante est attaquée par plusieurs maladies et ravageurs et son coefficient de multiplication par la méthode traditionnelle est très faible. Toutefois, le manioc compte une multitude de variétés différentes entre elles par plusieurs caractères. Certaines spécificités variétales de l'espèce présentent une influence sur sa vulnérabilité vis-à-vis des contraintes et/ou sur la fiabilité de ses diverses méthodes de multiplication.

Cette présente étude a été réalisée dans l'objectif de sélectionner des variétés de manioc présentant une tolérance / résistance vis-à-vis de l'attaque des termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et ayant une bonne aptitude de réponse à la technique de multiplication *in vitro*, en vue de leur diffusion massive dans les différentes zones de culture. Pour ce faire nous avons cherché à (i) déterminer la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc en milieu paysan dans la zone d'étude, (ii) identifier les variétés de manioc tolérantes à l'action de ces ravageurs puis (iii) évaluer l'impact de caractères physico-chimiques de la tige de manioc sur cette sensibilité variétale, et enfin (iv) étudier les capacités de multiplication végétative *in vitro* des cultivars sélectionnés pour leur tolérance à ces insectes.

A l'issue de nos expériences effectuées en milieu paysan et en parcelle expérimentale, cinq (5) variétés de manioc cultivées dans la zone ont été sélectionnées pour leur tolérance aux termites ravageurs des boutures, représentés essentiellement par l'espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* et moins fréquemment par les espèces *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Microtermes lepidus*. Il s'agit des variétés Soya, Niargi, Cololi, Cacao et Cacao roja. A l'opposé, les variétés Kombo, Nigeria et Wallet se sont avérées plus sensibles à l'action de ces ravageurs.

L'analyse de caractères physico-chimiques caulinaires nous a permis de montrer que les variétés de manioc dont l'écorce de la tige est épaisse et dure avec un diamètre de la moelle réduit, présentent une meilleure tolérance à la principale espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, tandis que celles à l'écorce mince et fragile avec une moelle importante sont plus sensibles. Le pH de la tige ne s'est cependant pas révélé influant sur l'incidence d'attaque des boutures par les termites.

Par ailleurs, l'étude des potentialités organogénétiques *in vitro* des génotypes sélectionnées pour leur tolérance aux termites nous a permis de mettre en évidence que les microboutures des variétés Soya, Niargi et Cacao présentent un meilleur développement que celles des variétés Cololi et Cacao roja. De même, le milieu de culture de base MS (Murashige & Skoog, 1962) utilisé comme témoin sans hormone s'est révélé propice à l'organogénèse *in vitro* chez l'ensemble des variétés de manioc étudiées. En revanche, l'ajout séparé de régulateur de croissance (BAP, ANA ou kinétine) à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 et 1 mg/l) dans ce milieu de base a induit différentes orientations de cette organogénèse. Ainsi, le milieu MS + BAP 1 mg/l a été plus favorable à la prolifération de courtes pousses et de petites feuilles tandis que le milieu MS + KIN 0,1 mg/l a permis un meilleur allongement des pousses et des racines néoformées et le développement normal des feuilles. La formation de cals a été observée sur tous les milieux ajoutés d'hormone mais a été plus importante sur le milieu MS + ANA 1 mg/l.

Pour ce qui concerne la survie et la croissance des jeunes plantes en acclimatation, les résultats obtenus ont montré que la formation *in vitro* de cals a été un facteur limitant. En effet les vitroplants issus des milieux ajoutés de BAP ou d'ANA ont présenté les plus faibles taux de survie en acclimatation avec 0% chez ceux issus des milieux MS + ANA 1 et MS + BAP 1 mg/l chez l'ensemble des variétés de manioc. Par contre, les meilleurs taux de survie et croissance ont été obtenus chez les jeunes plantes issues *in vitro* du milieu MS sans hormone avec jusqu'à 100% chez les variétés Cacao, Soya et Niargi.

MOTS CLES : manioc, variétés, sensibilité, termites, Tivaouane, organogénèse *in vitro*

ABSTRACT

Title: Comparative study of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) varieties according to their sensitivity to termites ravaging cuttings in the department of Tivaouane (Senegal) and their organogenetic capacities *in vitro*

Cassava *Manihot esculenta* is a perennial euphorbiaceous shrub grown mainly in tropical regions for its starchy tubers and its leaves rich in protein. However, this plant is attacked by many pests and diseases and its coefficient of multiplication by the traditional method is very low. But cassava includes a multitude of varieties different by several parameters. Some of these varietal specificities may be the seat of an influence on the vulnerability of this plant to stresses and/or on its aptitude of response to the different methods of multiplication.

This present study was conducted in order to select cassava varieties grown in the department of Tivaouane (Senegal) presenting tolerance to termites ravaging cuttings on one hand, and sufficient aptitude of response to multiplication *in vitro* method on the other hand. For this, we have worked to (i) determine the specific diversity, distribution and frequency of termites ravaging cassava cuttings in farms in the area, (ii) identify tolerant varieties of cassava to these pests and then (iii) assess the influence of physical and chemical characteristics of the cassava stem on its varietal vulnerability, and finally (iv) study the capacities of multiplication *in vitro* of the cassava varieties selected for their tolerance to these insects.

At the end of farm study and experimental plot, five (5) varieties of cassava have been selected for their tolerance to the termites, essentially represented by *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* species and less frequently by *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus* ones. It was the varieties Soya, Niargi, Cololi, Cacao and Cacao roja. In contrast, varieties Kombo, Nigeria and Wallet have been identified more sensitive to the action of the termites.

Thus, the physico-chemical analysis we made on the different varieties showed that the genotypes in which the stem bark was thick and hard with a reduced diameter of marrow, were more tolerant to the main termites identified *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, while those with thin and fragile bark and important stem marrow were more vulnerable. However the pH of the cassava stem did not affect the incidence of attack of the cuttings by these termites.

According to our results in the multiplication *in vitro* experiment, it was found that the varieties Soya, Niargi and Cacao have shown better organogenesis than the varieties Cololi and Cacao roja. As the same, the basal culture medium MS (Murashige & Skoog, 1962) without any hormone was the best medium for organogenesis *in vitro* in all the cassava varieties studied. Indeed, the addition of growth regulator (BAP (benzyl aminopurine), NAA (α -naphthalene acetic acid) or kinetin) at different concentrations (0.1, 0.5 and 1 mg/l) have provoked different orientations on organogenesis *in vitro* among the different varieties of cassava. Thus, highest proliferation of short shoots and small leaves was observed on medium MS + BAP 1 mg/l. Better shoots growth and rooting with normal development of the leaves was obtained on MS medium containing 0.1 mg/l of kinetin. Callus formation was observed in all media containing hormone but most in MS + NAA 1 mg/l.

According to the plantlets' viability in acclimatization conditions, results showed that the callus formation *in vitro* was a limiting factor. Therefore the lowest survival rates were observed among plantlets produced on media MS + NAA 0.5 and MS + BAP 1 mg/l with 0% in all varieties. In contrast, the best survival rates and growth were obtained with plantlets produced *in vitro* on medium MS without hormone addition with 100% in varieties Cacao, Soya and Niargi.

KEYS WORDS: cassava, varieties, sensitivity, termites, Tivaouane, organogenesis *in vitro*

LISTE DES SIGLES & ACRONYMES

| | |
|------------------|---|
| ANACIM | : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (Dakar) |
| ANCAR | : Agence Nationale de Conseil Agricole Rural (Sénégal) |
| ANSD | : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (Sénégal) |
| CDH | : Centre pour le Développement de l'Horticulture (ISRA/Dakar) |
| CERAAS | : Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (Thiès/Sénégal) |
| CIAT | : Centre International d'Agriculture Tropicale |
| CORAF | : Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement agricoles |
| DPV | : Direction de la Protection des Végétaux (Sénégal) |
| FAO | : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture |
| FNRAA | : Fonds National de Recherches Agricoles et Agro-alimentaires (Sénégal) |
| FST | : Faculté des Sciences et Techniques (UCAD/Dakar) |
| IFAN | : Institut Fondamental d'Afrique Noire (UCAD/Dakar) |
| IITA | : Institut Inter-Tropical d'Agriculture (Ibadan/Nigeria) |
| IRAD | : Institut de Recherche Agricole pour le Développement |
| IRD | : Institut de Recherche pour le Développement |
| ISRA | : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles |
| ITA | : Institut de Technologies Alimentaires (Dakar/Sénégal) |
| MA/CNDA | : Ministère de l'Agriculture/Centre National de Documentation Agricole |
| OMS | : Organisation Mondiale de la Santé |
| PPAAO | : Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest |
| UCAD-BV | : Université Cheikh Anta Diop - Département de Biologie Végétale |
| USAID/ERA | : Agence des Etats-Unis d'Amérique pour le Développement International /Education et Recherche en Agriculture |

LISTE DES SYMBOLES & ABREVIATIONS

| | |
|-------------------------------|---|
| % | : pourcentage |
| °C | : degré Celsius |
| & | : et ou and |
| ANA | : Acide naphthalène α -acétique |
| ANOVA | : Analyse de variance |
| BAP | : benzylaminopurine |
| cm | : centimètre |
| <i>et al.</i> | : <i>et alter</i> : et les autres ; et les collaborateurs |
| <i>etc.</i> | : <i>et caetera</i> |
| g | : gramme |
| g.L⁻¹ (g/L) | : gramme par litre |
| h | : heure |
| ha | : hectare |
| HR | : Humidité relative |
| Kg | : Kilogramme |
| KIN | : Kinétine |
| L (ou l) | : litre |
| m | : mètre |
| M | : Milieu |
| MAM | : Mosaique Africaine du Manioc |
| min | : minute |
| mL (ou ml) | : millilitre |
| mm | : millimètre |
| MS | : Milieu de Murashige et Skoog, 1962 |
| pH | : potentiel Hydrogène |
| REP | : Répétition |
| T | : Température |
| V | : Variété |

LISTE DES TABLEAUX

| | Pages |
|---|-------|
| Tableau 1. Composition nutritionnelle des feuilles et des racines de manioc..... | 10 |
| Tableau 2. Superficies emblavées, rendements et production de manioc dans les différentes régions du Sénégal en 2012-2013..... | 19 |
| Tableau 3. Données climatiques exprimées en moyennes mensuelles enregistrées dans la région de Thiès en 2012..... | 43 |
| Tableau 4. Caractérisation des différentes variétés de manioc étudiées..... | 44 |
| Tableau 5. Influence de la variété sur la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures dans les champs repiqués au mois de juillet après 2 mois de culture..... | 52 |
| Tableau 6. Influence de la variété sur la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures dans les champs repiqués au mois de septembre après 2 mois de culture..... | 53 |
| Tableau 7. Nomenclature et composition des différents milieux de culture utilisés | 74 |
| Tableau 8. Taux de débourrement et d'infection des explants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture | 78 |
| Tableau 9 : Nombre moyen de pousses néoformées par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 80 |
| Tableau 10 : Longueur moyenne (cm) des pousses chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 82 |
| Tableau 11 : Taux d'enracinement et de callogenèse chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 83 |
| Tableau 12 : Nombre moyen de racines néoformées par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 85 |
| Tableau 13 : Longueur moyenne (cm) des racines chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 86 |
| Tableau 14 : Nombre moyen de feuilles par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture..... | 88 |

LISTE DES FIGURES

| | Pages |
|---|-------|
| Figure 1. Importance économique du manioc dans ses principaux pays producteurs en 2011..... | 18 |
| Figure 2. Schéma du cycle biologique des termites | 29 |
| Figure 3. Répartition géographique des termites dans le monde | 32 |
| Figure 4. Situation géographique de la zone d'étude en milieu paysan | 43 |
| Figure 5. Schéma du dispositif en parcelle expérimentale | 49 |
| Figure 6. Dispersion et fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane..... | 51 |
| Figure 7. Evolution de la sévérité d'attaque des 8 variétés de manioc par les termites ravageurs des boutures en parcelle expérimentale pendant 45 jours de culture..... | 54 |
| Figure 8. Représentation schématique du dispositif expérimental..... | 61 |
| Figure 9. Corrélation du diamètre de la moelle et de l'épaisseur de l'écorce de la tige au niveau d'infestation des boutures par les termites <i>Odontotermes</i> sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture..... | 64 |
| Figure 10. Corrélation de la dureté de l'écorce de la tige à la sévérité d'attaque des boutures par les termites <i>Odontotermes</i> sp. chez les 8 variétés de manioc après 45 jours de culture | 66 |
| Figure 11. Absence de corrélation du pH de la moelle de la tige à l'incidence d'attaque des boutures par les termites <i>Odontotermes</i> sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture | 67 |
| Figure 12. Absence de corrélation du pH de l'écorce de la tige à l'incidence d'attaque des boutures par les termites <i>Odontotermes</i> sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture | 68 |
| Figure 13. Taux de survie en acclimatation des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produits <i>in vitro</i> dans les différents milieux de culture après 6 semaines de sevrage | 89 |
| Figure 14. Croissance en longueur des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produits dans le milieu de culture <i>in vitro</i> MS pendant 45 jours d'acclimatation..... | 91 |
| Figure 15. Hauteur des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produits <i>in vitro</i> dans les différents milieux de culture MS après 45 jours d'acclimatation..... | 91 |

LISTE DES PLANCHES

| | Pages |
|---|-------|
| Planche 1. Plants de manioc âgés de 8 mois au CDH..... | 5 |
| Planche 2. Caractéristiques botaniques du manioc | 8 |
| Planche 3. Récolte des tubercules et regroupement de tiges de manioc en vue de leur conservation..... | 16 |
| Planche 4. Culture et commercialisation du manioc au Sénégal | 18 |
| Planche 5. Quelques maladies parasitaires du manioc..... | 25 |
| Planche 6. Principaux ravageurs du manioc..... | 28 |
| Planche 7. Castes et stades de développement chez les termites..... | 30 |
| Planche 8. Dégâts causés par les termites sur le manioc | 34 |
| Planche 9. Plant de manioc obtenu par mini bouturage, après 1 mois de culture | 37 |
| Planche 10. Signes de présence des termites dans les champs de manioc..... | 45 |
| Planche 11. Etapes préliminaires de l'identification des termites | 46 |
| Planche 12. Choix du site et mise en place de la parcelle expérimentale | 48 |
| Planche 13. Espèces de termites ravageurs des boutures de manioc en milieu paysan dans le département de Tivaouane | 50 |
| Planche 14. Niveaux de vulnérabilité de différentes variétés de manioc à l'attaque des termites ravageurs boutures en plantations paysannes dans le département de Tivaouane | 53 |
| Planche 15. Niveaux de sévérité d'attaque des boutures de manioc par les termites après 45 jours de culture en parcelle expérimentale..... | 55 |
| Planche 16. Le matériel végétal..... | 59 |
| Planche 17. Étapes expérimentales d'évaluation de paramètres physico-chimiques des tiges de manioc au laboratoire..... | 60 |
| Planche 18. Etapes expérimentales de l'étude de la sensibilité variétale du manioc aux termites ravageurs des boutures <i>Odontotermes</i> sp..... | 62 |
| Planche 19. Méthode de détermination du niveau d'infestation des boutures par les termites..... | 63 |
| Planche 20. Quelques résultats obtenus dans les bacs expérimentaux après 45 jours de culture..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Planche 21. Culture et entretien du matériel végétal sous ombrière..... | 73 |
| Planche 22. Matériel et méthodes de l'initiation <i>in vitro</i> des explants de manioc | 75 |
| Planche 23. Matériel et méthodes de la multiplication <i>in vitro</i> des vitroplants de manioc | 76 |
| Planche 24. Acclimatation des jeunes plantes..... | 77 |
| Planche 25. Variations phénotypiques sur le débourrement et la caulogenèse <i>in vitro</i> des explants de différentes variétés de manioc sur différents milieux de culture | 79 |
| Planche 26. Croissance des pousses des vitroplants de la variété Niargi sur 2 milieux différents après 4 semaines de culture..... | 81 |
| Planche 27. Différence d'expression racinaire chez les vitroplants de la variété Soya sur 2 milieux différents après 4 semaines de culture..... | 84 |
| Planche 28. Différence de phyllogénèse chez les vitroplants de la variété Soya sur 2 milieux différents après 30 jours de culture..... | 87 |
| Planche 29. Viabilité et la croissance des jeunes plantes de manioc en acclimatation..... | 90 |

LISTE DES ANNEXES

| | Pages |
|--|-------|
| Annexe 1. Composition minérale du milieu de Murashige & Skoog (1962)..... | A |
| Annexe 2. Article 1 : « Study of the cassava varietal sensitivity to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal) »..... | B |
| Annexe 3. Article 2 : « Study of the influence of physico-chemical characteristics of the cassava (<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ) stem on its varietal vulnerability to termites ravaging cuttings <i>Odontotermes</i> sp. aff. <i>erraticus</i> in Senegal »..... | C |
| Annexe 4. Article 3 : « Effects of different hormones on organogenesis <i>in vitro</i> of some varieties of cassava (<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ) grown in Senegal » | D |
| Annexe 5. Poster 1 : « Etude de la sensibilité variétale du manioc (<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ) aux termites ravageurs des boutures en plantations paysannes dans le département de Tivaouane (Sénégal) » | E |
| Annexe 6. Poster 2 : « Influence de caractères physico-chimiques de la tige de manioc sur sa vulnérabilité variétale aux termites ravageurs des boutures <i>Odontotermes</i> sp. aff. <i>erraticus</i> | F |
| Annexe 7. Poster 3 : « Influence hormonale sur l'organogénèse <i>in vitro</i> de 5 variétés de manioc (<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ) cultivées au Sénégal » | G |

TABLE DES MATIERES

| | Pages |
|---|-------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique | 5 |
| I. Présentation du manioc..... | 5 |
| 1. Position systématique..... | 5 |
| 2. Botanique..... | 6 |
| 2.1. Les tiges..... | 6 |
| 2.2. Les feuilles..... | 6 |
| 2.3. Les racines..... | 7 |
| 2.4. Fleurs et inflorescences..... | 7 |
| 2.5. Fruits et graines..... | 7 |
| 3. Ecologie..... | 9 |
| 4. Intérêt nutritionnel..... | 9 |
| 5. Intérêt médicinal..... | 10 |
| 6. Toxicité..... | 10 |
| 7. Détoxification..... | 11 |
| 8. Variétés..... | 12 |
| II. Culture du manioc..... | 12 |
| 1. Cycle cultural..... | 12 |
| 1.1. Phases végétatives..... | 13 |
| 2. Techniques culturales..... | 13 |
| 2.1. Préparation du sol..... | 13 |
| 2.2. Préparation des boutures..... | 14 |
| 2.3. Plantation..... | 14 |
| 2.4. Fertilisation..... | 15 |
| 2.5. Entretien..... | 15 |
| 2.6. Récolte et utilisation des feuilles..... | 15 |
| 2.7. Récolte des tubercules..... | 16 |
| 2.8. Conservation des tiges..... | 16 |
| 3. Rendements..... | 17 |
| 4. Influence des symbioses mycorhiziennes sur la croissance et le développement du manioc..... | 17 |
| III. Importance et productivité du manioc..... | 17 |
| 1. Transformation du manioc..... | 19 |
| IV. Contraintes à la culture du manioc..... | 19 |
| A. Les facteurs abiotiques..... | 20 |
| 1. Température du sol..... | 20 |
| 2. Humidité du sol..... | 20 |
| 3. Nature du sol..... | 20 |
| 4. Luminosité..... | 21 |
| 5. Carence en potassium..... | 21 |
| B. Les facteurs biotiques..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 1. Les maladies parasitaires..... | 21 |
| 1.1. La bactériose du manioc (<i>Xanthomonas manihotis</i>)..... | 22 |
| 1.2. La Mosaïque Africaine du Manioc (MAM)..... | 22 |
| 1.3. La cercosporiose..... | 23 |
| 1.4. L'anthracnose du manioc (<i>Glomerella angulata manihotis</i>)..... | 23 |
| 1.5. La nécrose du bourgeon du manioc..... | 24 |
| 1.6. La pourriture des racines | 24 |
| 1.7. Les galles..... | 25 |
| 2. Les ravageurs du manioc..... | 26 |
| 2.1. La cochenille farineuse (<i>Phenacoccus manihotis</i>)..... | 26 |
| 2.2. L'acarier vert du manioc (<i>Mononychellus tanajoa</i>) | 26 |
| 2.3. La mouche blanche (<i>Bemisia tabaci</i>)..... | 27 |
| 2.4. Les araignées rouges..... | 27 |
| 2.5. La cochenille virgule du manioc (<i>Aonidomytilus albus</i>) | 28 |
| 2.6. Les termites..... | 28 |
| 2.6.1. Biologie et organisation..... | 28 |
| 2.6.2. Répartition géographique..... | 31 |
| 2.6.3. Utilité des termites..... | 33 |
| 2.6.4. Dégâts des termites sur les cultures..... | 33 |
| 2.6.5. Dégâts des termites sur les plantations de manioc..... | 34 |
| 2.6.6. Lutte contre les termites..... | 35 |
| V. Résistance/tolérance variétale du manioc aux maladies et ravageurs..... | 35 |
| VI. Multiplication du manioc..... | 36 |
| 1. Le bouturage | 36 |
| 2. Les techniques de multiplication rapide du manioc..... | 36 |
| 2.1. Le recépage | 36 |
| 2.2. Le mini bouturage ou méthode des boutures à deux nœuds..... | 37 |
| 2.3. Le bourgeonnement axillaire <i>in situ</i> | 37 |
| 2.4. La multiplication végétative <i>in vitro</i> | 38 |
| 2.4.1. Milieux de culture | 38 |
| 2.4.2. Microbouturage <i>in vitro</i> | 38 |
| 2.4.3. Sevrage <i>ex vitro</i> ou acclimatation..... | 39 |
| 2.4.4. Passage au champ..... | 40 |

**Chapitre II : Etude comparative de variétés de manioc selon leur sensibilité
aux termites ravageurs des boutures dans le département de
Tivaouane (Sénégal).....** 41

| | |
|-------------------------------------|----|
| Introduction..... | 41 |
| I. Matériel et méthodes..... | 42 |
| A. En milieu paysan | 42 |
| 1. Zone d'étude..... | 42 |
| 2. Matériel d'étude..... | 43 |
| 3. Méthodes | 45 |
| 3.1. Choix des champs étudiés | 45 |
| 3.2. Paramètres étudiés | 46 |

| | |
|---|----|
| 3.3. Méthodes d'évaluation des paramètres..... | 46 |
| 3.3.1. Evaluation de la diversité, la dispersion et la fréquence spécifique des termites | 46 |
| 3.3.2. Evaluation de l'incidence d'attaque des boutures par les termites..... | 47 |
| 3.3.3. Evaluation du taux de mortalité des boutures due à l'action des termites..... | 47 |
| B. En parcelle expérimentale | 47 |
| 1. Site expérimental..... | 47 |
| 2. Matériel végétal..... | 48 |
| 3. Méthodes | 48 |
| 3.1. Dispositif et méthode expérimentaux..... | 48 |
| 3.2. Paramètre étudié et méthode d'évaluation | 49 |
| 3.4. Analyses statistiques..... | 50 |
| II. Résultats..... | 50 |
| 1. Diversité, distribution et fréquence spécifiques des termites ravageurs..... | 50 |
| 2. Influence de la variété sur la sensibilité du manioc aux termites ravageurs des boutures en milieu paysan dans le département de Tivaouane..... | 52 |
| 3. Influence de la variété sur la sensibilité aux termites en parcelle expérimentale..... | 54 |
| III. Discussion..... | 55 |
| Conclusion partielle..... | 57 |

**Chapitre III : Etude de l'influence de caractères physico-chimiques de la tige
de manioc sur sa vulnérabilité variétale aux termites ravageurs
des boutures *Odontotermes sp. aff. erraticus*.....** 58

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 58 |
| Matériel et méthodes..... | 59 |
| 1. Matériel végétal | 59 |
| 2. Méthodes | 59 |
| 2.1. Dispositif et méthode expérimentaux..... | 59 |
| 2.1.1. Etude des caractères physico-chimiques de la tige | 59 |
| 2.1.2. Etude de la vulnérabilité variétale aux termites <i>Odontotermes sp.</i> | 60 |
| 2.2. Paramètres étudiés et méthodes d'évaluation..... | 62 |
| 2.3. Analyses statistiques..... | 63 |
| II. Résultats..... | 64 |
| 1. Influence de l'épaisseur de l'écorce et du diamètre de la moelle de la tige sur le degré d'infestation des boutures par les termites | 64 |
| 2. Influence de la dureté de l'écorce de la tige sur la sévérité d'attaque des boutures..... | 66 |
| 3. Influence du pH de la tige sur l'incidence d'attaque des boutures par les termites..... | 67 |
| III. Discussion..... | 69 |
| Conclusion partielle..... | 70 |

**Chapitre IV : Etude comparative de variétés de manioc selon leurs capacités
organogénétiques *in vitro*.....** 72

| | |
|------------------------------|----|
| Introduction..... | 72 |
| I. Matériel et méthodes..... | 73 |
| 1. Matériel végétal | 73 |

| | |
|---|---------|
| 2. Méthodes | 74 |
| 2.1. Désinfection des explants..... | 74 |
| 2.2. Préparation des milieux de culture..... | 74 |
| 2.3. Initiation <i>in vitro</i> des explants..... | 74 |
| 2.4. Phases de multiplication..... | 75 |
| 2.5. Acclimatation | 76 |
| 2.6. Paramètres évalués | 77 |
| 2.7. Analyses statistiques | 77 |
| II. Résultats..... | 78 |
| 1. Influence de la variété et du milieu de culture sur le débourrement et la caulogénèse <i>in vitro</i> du manioc | 78 |
| 2. Influence de la variété et du milieu de culture sur la croissance caulinaire <i>in vitro</i> du manioc | 81 |
| 3. Influence de la variété et du milieu de culture sur la rhizogénèse et la callogénèse <i>in vitro</i> du manioc..... | 82 |
| 4. Influence de la variété et du milieu de culture sur la croissance racinaire <i>in vitro</i> du manioc..... | 85 |
| 5. Influence de la variété et du milieu de culture sur la phyllogénèse <i>in vitro</i> du manioc..... | 87 |
| 6. Influence de la variété et du milieu de culture <i>in vitro</i> sur la viabilité et la croissance des jeunes plantes du manioc acclimatées..... | 88 |
| III. Discussion..... | 92 |
| Conclusion partielle..... | 94 |
| CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES..... | 96 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 99 |
| ANNEXES..... | 109 |
| Annexe 1. Composition minérale du milieu de Murashige & Skoog (1962)..... | A |
| Annexe 2. Article 1 | B |
| Annexe 3. Article 2..... | C |
| Annexe 4. Article 3..... | D |
| Annexe 5. Poster 1 | E |
| Annexe 6. Poster 2 | F |
| Annexe 7. Poster 3 | G |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La production annuelle de manioc en Afrique est estimée à environ 90 millions de tonnes, ce qui en fait la plus importante plante à racines et tubercules cultivée. Environ 200 millions d'africains le consomment comme aliment de base. La quasi-totalité de la production africaine est consommée localement : c'est donc une culture de subsistance. Le manioc est ainsi un produit stratégique dans la lutte contre l'insécurité alimentaire en Afrique. Les nombreux produits qui en sont dérivés (farine de manioc panifiable, cosettes, fécule, amidon, granulés, *etc.*) témoignent de son importance (Coraf, 2000).

Au Sénégal, le manioc participe pour 25% dans la production nationale totale de légumes (Aïchatou, 2007). Les tubercules, connus sous le nom de *Niambi* (en Wolof), sont principalement consommés comme légume et les feuilles utilisées comme condiment entrent dans la préparation de sauces. Le manioc est cultivé au Sénégal principalement dans les régions de Thiès (90%), Louga (6%) et Diourbel (2%) (Guèye, 2011). Plusieurs variétés douces et amères ont été recensées. Elles sont soit des cultivars locaux des variétés Soya, Kombo et Niargi entre autres, soit des clones sélectionnés par la recherche (30555, 30337, 30572 et 30786, *etc.*) et actuellement cultivés dans la région de Thiès. L'intérêt porté au manioc dans le pays, principalement depuis le lancement du « Programme national de relance de la filière Manioc » initié par l'Etat en 2008 avait fini par booster la production qui avait enregistré une forte progression (199%) en passant de 308 312 tonnes en 2007/08 à 920 865,7 tonnes en 2008/2009. Cette situation résultait de la hausse des superficies de 85% et des rendements de 62%. En effet, les superficies cultivées ont pu atteindre 113 204,5 ha en 2008/2009 contre 61 248 ha en 2007/2008 et les rendements 8 134,5 Kg/ha contre 5034 Kg/ha (MA/CNDA, 2009). Entre 2011 et 2013, la production de manioc au Sénégal a également connu une hausse importante en passant de 154 879 tonnes en 2011/2012 à 189 469 tonnes en 2012/2013.

Dans la région de Thiès où sa culture est fortement pratiquée, les superficies emblavées, les rendements et la production de manioc ont été estimés respectivement à 18 268 ha, 7 625 Kg/ha et 139 295 tonnes en 2012/2013 (ANSD, 2013). Cette production a été composée de diverses variétés locales de manioc et d'autres clones provenant de la sous région et principalement du Nigeria, qui ont été expérimentées et fournissent de très bons rendements.

Il faut toutefois préciser que chacune de ces variétés de manioc ayant ses spécificités propres, une bonne maîtrise des exigences de chacune d'elles est nécessaire pour le développement de cette culture.

Or, il a été constaté que les superficies emblavées et la production de manioc au Sénégal en 2012/2013 ont connu une baisse remarquable par rapport aux cinq années précédentes où les moyennes ont été estimées respectivement à 50 308 ha et 359 198 tonnes ; soit un écart de - 53% sur la superficie cultivée et de - 47% sur la production (ANSD, 2013). Dans le département de Tivaouane (région de Thiès, Sénégal), cette baisse de rendements est liée certes à la mosaïque africaine du manioc, à la bactériose et à la cochenille farineuse entre autres menaces, mais aussi et surtout à l'action des termites ravageurs qui attaquent les boutures dès leur installation, les pénètrent en y creusant des galeries et provoquent des pertes énormes sur la production. En effet, grâce à une enquête préliminaire menée dans la zone, nous avons pu constater que certains producteurs de manioc abandonnent cette culture à cause de l'infestation des champs par ces ravageurs.

Il s'agit d'insectes sociaux de petite taille appartenant à l'ordre des Isoptères et ressemblant aux fourmis. Ces termites constituent en Afrique l'une des composantes la plus importante de la macrofaune terricole selon Anani *et al.* (2010). Malgré l'impact bénéfique sur l'agriculture, au plan de la fertilisation, de l'aération et de la porosité des sols, certains de ces termites constituent pour la plupart des paysans en Afrique sub-saharienne, un problème important à cause des dégâts occasionnés aux cultures et aux plantations dans les agro-systèmes (Gbenyedji *et al.*, 2011). Les dégâts causés par les termites aux cultures et aux plantations sont souvent supérieurs à 15% et peuvent atteindre parfois 90% selon Wood et Pearce (1991). Leurs dommages et les coûts des réparations ont été évalués à plus de 22 milliards d'euros chaque année (Anani *et al.*, 2010).

Pour lutter contre ces termites, certains recours tels que l'utilisation d'insecticides systémiques qui est onéreuse et dommageable pour l'environnement et la santé humaine, ainsi que la destruction des sites de pullulation de ces ravageurs (Saizonou, 1999) seraient impertinents à cause surtout de l'immensité des surfaces de production du manioc. Ainsi, il s'avère nécessaire de sélectionner des variétés tolérantes à ces insectes, de les multiplier massivement en vue de leur diffusion massale dans les différentes zones de culture.

Or, à cette menace constituée par les ennemis du manioc s'ajoute le problème de la faiblesse de son coefficient de multiplication par la méthode du bouturage classique qui est de l'ordre de 10 à 20 boutures par plant et par an (Abderrahim, 2010 et Sy, 2010). Cette méthode traditionnelle de multiplication du manioc est également confrontée au développement et à l'expansion des maladies et ravageurs. C'est ainsi que des pertes de 20 à 90% et pouvant aller jusqu'à 100% dues respectivement à la mosaïque africaine du manioc et à la cochenille farineuse ont été observées par Mbaye (1991) au Sénégal.

Dès lors, pour améliorer la productivité du manioc, il serait important de procéder à une multiplication accélérée des géotypes adaptés aux conditions édapho-climatiques locales et tolérants aux contraintes biotiques et de les multiplier afin de mettre à la disposition des producteurs des semences de qualité et en quantité suffisante. Pour cela, la multiplication végétative *in vitro* apparaît comme un puissant outil de multiplication rapide en milieu contrôlé qui devrait permettre non seulement de satisfaire une production continue de matériel végétal mais aussi de lutter contre les infestations du manioc.

En effet, les techniques de multiplication en laboratoire ont rapidement trouvé des applications pratiques à partir du moment où ont été obtenues des jeunes plantes en tube, jeunes plantes qu'il est possible d'acclimater dans un substrat et un environnement normal. Chronologiquement, c'est la culture des méristèmes qui a été à l'origine des premières applications (Limasset & Cornuet, 1949). Le but recherché pour ce type de culture était de produire des plants débarrassés de virus. Après les premiers succès qui confirmèrent tout l'intérêt de la méthode, très vite en ont découlé des techniques de multiplication végétative pour assurer rapidement, et dans des conditions sanitaires excellentes, la production massive de plants indépendamment des saisons.

Toutefois, comme sa résistance ou tolérance aux maladies ou ravageurs, la réponse du manioc aux différentes méthodes de multiplication dépend des variétés (Faye *et al.* 2010, 2014, 2015).

L'objectif général de cette étude est de sélectionner des variétés de manioc adaptées au stress biotique que constitue l'attaque des termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et présentant une bonne aptitude de réponse à la technique de multiplication *in vitro*, en vue de leur diffusion massive dans les différentes zones de culture. Pour ce faire, nous avons cherché à :

- déterminer la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane,
- étudier la sensibilité variétale du manioc aux termites ravageurs des boutures dans cette zone,
- étudier l'impact de propriétés physico-chimiques de la tige de manioc sur sa vulnérabilité variétale à l'action des principaux termites ravageurs des boutures,
- évaluer les capacités organogénétiques *in vitro* des variétés de manioc sélectionnées pour leur tolérance aux termites ravageurs des boutures,
- évaluer la viabilité et la croissance des vitroplants des différentes variétés de manioc en conditions d'acclimatation *ex vitro*.

Ce mémoire comporte une introduction générale qui situe le contexte et la justification de ce travail, suivie de 4 chapitres I, II, III et IV. Dans le chapitre I, nous présentons une synthèse bibliographique sur le manioc. Le chapitre II traite de la biodiversité et la répartition des termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane ainsi que la sensibilité variétale de cette espèce à l'action de ces insectes. Le chapitre III a été consacré à l'étude de l'influence de caractères physico-chimiques de la tige des différentes variétés de manioc sur leur vulnérabilité vis-à-vis des principaux termites ravageurs identifiés *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*. Enfin, le chapitre IV présente une étude des capacités de multiplication *in vitro* des différentes variétés de manioc sélectionnées pour leur tolérance aux termites.

Les résultats obtenus ont été confrontés à ceux de travaux antérieurs et des conclusions partielles tirées pour chaque chapitre. Celles-ci ont permis d'émettre une conclusion générale et de dégager des perspectives de recherche.

CHAPITRE I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. PRÉSENTATION DU MANIOC

1. Position systématique

Le manioc (Planche 1) est une plante phanérogame angiosperme dicotylédone. Sa position systématique se présente comme suit :

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Division : *Magnoliophyta* (Angiospermes)
- Classe : *Magnoliopsida* (Dicotylédones)
- Sous-classe : *Rosidae*
- Ordre : Euphorbiales
- Famille : *Euphorbiaceae*
- Genre : *Manihot*
- Espèce : *Manihot esculenta*

La famille des Euphorbiacées compte plus de 300 genres et 800 000 espèces presque toutes tropicales selon Silvestre & Arraudeau (1983).



Planche 1 : Plants de manioc âgés de 8 mois au CDH

2. Botanique

Le manioc est un arbuste vivace à la tige noueuse, pluriannuel mais essentiellement cultivé comme plante annuelle (Birindwa *et al.*, 2007). Comme naturellement chez les Euphorbiacées, ses diverses parties contiennent du latex.

2.1. Les tiges

Le manioc peut se présenter avec une ou plusieurs tiges, plus ou moins verticales et atteignant 1 à 6 m de haut (Camara, 2006). Elles sont de couleur variée : blanc verdâtre, gris, jaunâtre, violacé, rouge ou brun. Leur diamètre est de 3 à 4 cm en moyenne. A une certaine hauteur, ces tiges peuvent se ramifier en 2 ou 3 branches, qui à leur tour peuvent se ramifier jusqu'à dix fois au cours du cycle. Cette ramification provoquée par la floraison, est sous contrôle variétal. Elle est également influencée par les facteurs du milieu.

Le port de la plante est variable : rampant, étalé, dressé ou érigé. Lorsque les feuilles tombent, on remarque à leur point d'insertion une protubérance protégeant un œil. On appelle cet ensemble protubérance-œil, à tort, "nœud". Ces « nœuds » sont disposés en spirale et la longueur des "entre-nœuds" est décroissante de la base au sommet. Selon Marty (1993), les tiges ne s'aouënt que dans la moitié inférieure de leur hauteur, et comportent dans cette partie, une moelle centrale (Planche 2 E).

Chez certaines variétés de manioc, la tige est en grande partie remplie de moelle et, de ce fait, fort fragile. Chez d'autres variétés par contre, l'écorce de la tige est plus épaisse et couvre une moelle mince. Dans ce dernier cas, la tige est relativement plus dure (Faye *et al.*, 2014).

2.2. Les feuilles

Les feuilles du manioc (Planche 2 A) sont alternes et palmatilobées avec 3 à 11 lobes. Elles mesurent de 10 à 20 cm de long et sont portées par un pétiole qui peut être réduit à quelques millimètres parfois atteignant 6 cm de long selon la variété et dont la couleur va du jaune clair au rouge en passant par le vert (Camara, 2006). D'après Marty (1993), les feuilles du manioc sont caduques car elles tombent durant sa phase de repos.

2.3. Les racines

Les racines de manioc sont fasciculées et se renflent en se gorgeant d'amidon. La plante forme une centaine de racines mais quelques-unes seulement se tubérisent (Marty, 1993). Les tubercules (Planche 2 F) ont de 20 à 80 cm de long et de 5 à 15 cm de diamètre selon Abderahim (2010). Ils sont attachés au collet de la plante par un pédoncule plus ou moins long, parfois inexistant. Ils se situent à quelques centimètres de la surface du sol. Une coupe transversale d'un tubercule montre une écorce externe grise violacée, jaunâtre ou brune formée de liège, une écorce interne blanche ou rose plus ou moins violacée de 2 à 10 mm d'épaisseur (le phelloderme), pauvre en fécule et riche en produit toxique (la manihotoxine) et un cylindre central blanc ou jaune clair riche en fécule (Allem, 2002). Les tubercules ont des formes très variables et pèsent de 100 g à 3 Kg chacun. Un pied de manioc peut produire 5 à 6 Kg de tubercules et parfois plus (Sy, 2010).

2.4. Fleurs et inflorescences

D'après Silvestre et Arraudeau (1983), les fleurs du manioc ont 1 cm environ de diamètre et sont jaunâtres, parfois de couleur rose, pourpre ou verdâtre. Les fleurs mâles comprennent un calice de 5 sépales soudés à la base et 10 étamines. Les fleurs femelles comprennent un calice de 5 sépales libres, un ovaire divisé en 3 loges et surmonté d'un style portant un stigmate divisé en 3 parties portant de nombreuses protubérances (Planche 2 A). Les fleurs mâles, qui ne sont pas toujours fertiles, et femelles ne s'ouvrent pas en même temps : la fécondation est donc croisée.

Les inflorescences du manioc (Planche 2 A) apparaissent aux points où les tiges et les branches se ramifient. Ce sont des grappes qui comprennent en général 80 à 120 fleurs mâles et 4 à 10 fleurs femelles. Ces dernières se trouvent à la base des inflorescences (Marty, 1993).

2.5. Fruits et graines

Les fruits de manioc (Planche 2 B) sont des capsules déhiscentes qui mûrissent en 5 mois et projettent les graines à 10 m environ (Silvestre & Arraudeau, 1983). Elles sont de la même couleur que les rameaux et comportent à leur surface externe 6 ailes plus ou moins sinueuses, avec un renflement ou "caroncule" à la base. Elles renferment 3 loges contenant chacune 1 graine de 5 à 13 mm de long sur 3 à 7 mm de large et possédant un tégument marbré.

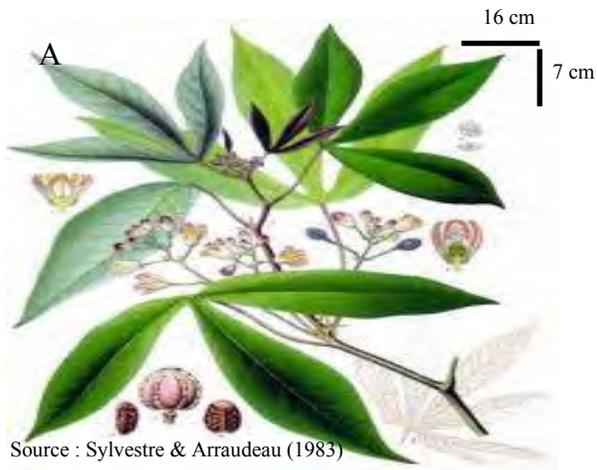


Planche 2 : Caractéristiques botaniques du manioc

A : Fleurs et feuilles

B : Fruits

C : Graines

D : Tiges

E : Coupe transversale d'une tige montrant la limite des différents tissus

F : Tubercules de manioc

3. Ecologie

Le manioc est une plante de zone tropicale humide à grande faculté d'adaptation, tant pour le climat que pour le sol. Il ne pousse normalement que dans les régions tropicales et tempérées chaudes. Il ne supporte pas le gel et l'optimum de rendement est obtenu sous 1 200 à 1 500 mm de pluie, à température moyenne de 23 à 24°C, avec 2 à 3 mois de saison sèche (Raffaillac, 1993). Dans ces conditions, tous les sols sont acceptés à l'exception des sols asphyxiants.

Le manioc est en mesure de survivre à des périodes de sécheresse prolongées au cours desquelles la plante, qui est susceptible de s'effeuiller totalement, stoppe également la croissance des racines épaissies. Elle se régénère dès le retour des pluies sans que l'on ait à déplorer de baisses de rendement notables. Cette propriété qualifie tout particulièrement le manioc pour les sites caractérisés par des précipitations incertaines et irrégulières (Cock, 1985).

4. Intérêt nutritionnel

Le manioc est une source de féculé. Il contient bien plus d'eau et bien moins de protéines que les céréales. Sa teneur en protéines est inférieure à celle de presque toutes les autres denrées essentielles. On peut en faire la base de l'alimentation, mais à condition de l'associer à d'autres aliments énergétiques riches en protéines, comme les graines d'oléagineux, les légumes secs et le poisson. Cependant, on le cultive souvent comme aliment de réserve dans les régions pauvres et éloignées, où la population ne peut se procurer des denrées plus nourrissantes (FAO, 1990).

Les tubercules de manioc sont riches en amidon et contiennent beaucoup de glucides (35% dont 20 à 25% d'amidon contre 1% seulement de protéines), de la vitamine C, du potassium et des fibres alimentaires selon Guitteny (2010).

Les feuilles de manioc constituent un aliment très riche en protéines et en vitamines, surtout A et C. Elles contiennent d'ailleurs considérablement plus d'énergie, de protéines (environ 6%), de lipides, de glucides, de fibres, de sels minéraux (Ca, P, Fe, *etc.*), de vitamine A, de thiamine, de riboflavine et de niacine que certains légumes, tels que le chou chinois ou l'épinard (IITA, 1990).

Le tableau 1 présente la composition nutritionnelle des feuilles et des racines de manioc.

Tableau 1 : Composition nutritionnelle des feuilles et des racines de manioc.

| | Feuille | Racine |
|-------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Eau | 80 % | 62 à 68 % |
| Glucides | 7 % | 35 % (dont 20 à 25 % d'amidon) |
| Lipides | 1 % | 0,3 % |
| Protéines | 6 % | env. 1 % |
| Vitamine C | 200 mg/100g | 35 mg/100g |
| Vitamine B₁ | 0,2 mg/100g | négligeable |
| Vitamine B₂ | 0,3 mg/100g | négligeable |

Source : FAO (2000)

5. Intérêt médical

Les feuilles de manioc sont particulièrement riches en acides aminés essentiels (isoleucine, leucine, lysine, méthionine et cystéine, phénylalanine et tyrosine, thréonine, tryptophane, valine). Les teneurs pour 100 g de feuilles sont suffisantes pour couvrir les besoins quotidiens de l'homme selon les recommandations de la FAO et de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

La farine de manioc appliquée en cataplasme fait murir les abcès. En bouillie sucrée au miel, elle permet de lutter contre l'insuffisance spermatique. Boire à petites gorgées un remède composé d'une cuillère à café de farine de manioc délayée dans une tasse d'eau et sucrée d'une cuillerée de sirop de canne, permet de lutter contre les fortes émotions (Guitteny, 2010).

6. Toxicité

Le manioc contient en quantité limitée mais non négligeable deux toxines potentielles que sont la linamarine et la lotaustraline (Alves, 2012). Il s'agit de glucosides cyanogènes qui sont transformés en acide prussique (acide cyanhydrique) par un enzyme, la linamarase qui est également présente dans les tissus du tubercule.

La concentration de l'acide prussique varie de 10 à 490 mg/kg de tubercules frais (FAO, 1990). C'est chez les variétés amères et surtout celles qui poussent en milieu aride sur des sols

pauvres que cette concentration est plus forte. Chez ces variétés amères, la toxine est également présente dans la chair du tubercule et notamment dans le cœur fibreux. Chez les variétés douces par contre, la toxine est dans sa quasi-totalité concentrée dans l'enveloppe externe du tubercule. Certaines de ces variétés peuvent être consommées crues après épluchage.

Les tubercules de manioc contiennent en quantité variable du cyanure libre (jusqu'à 12% du total). La dose mortelle d'acide cyanhydrique libre pour un adulte est de 50 à 60 mg (FAO, 1990). La toxicité du cyanure lié est cependant moins bien connue. En effet, il n'est possible de distinguer l'amer du doux qu'uniquement à travers des analyses effectuées en laboratoire (Allem, 2002), le goût amer du manioc n'étant pas une forme de détection sûre.

Le potentiel cyanogénique des feuilles est de 5 à 20 fois plus grand que celui de la racine. En effet, selon Alves (2012), la Linamarine est synthétisée dans les feuilles (200 à 500 mg HCN/Kg en poids frais) où la linamarase se trouve en de hautes concentrations, puis transférée aux racines (15 à 500 mg HCN/Kg en poids frais).

7. Détoxification

Faire bouillir le manioc frais ne diminue guère sa toxicité, le glucoside linamarine est thermorésistant. Quant à l'enzyme linamarase, elle est inactivée à 75°C (Alves, 2012). Les procédés de désintoxication du manioc reposent essentiellement sur l'hydrolyse des enzymes, aux fins de réduire la concentration de glucoside. L'acide cyanhydrique, outre qu'il est très volatil, est soluble dans l'eau. Il convient donc de le libérer par un traitement approprié avant que le tubercule ne soit consommé. Toutefois, les glucosides des tubercules consommés se décomposent dans le tractus intestinal ; ce qui libère le cyanure libre.

Les méthodes de traitement des tubercules de manioc peuvent être classées en plusieurs catégories selon qu'elles prévoient ou non une étape de fermentation. Celle-ci améliore la valeur nutritionnelle et la saveur du produit et peut en réduire la teneur en acide cyanhydrique. L'épluchage diminue aussi la toxicité des tubercules car la concentration de cyanure dans l'enveloppe externe est de 3 à 15 fois supérieure à sa concentration dans la chair (FAO, 1990).

Selon Alves (2012), la teneur maximale de cyanure (HCN) recommandée par la FAO est de 10 mg/Kg d'aliment.

8. Variétés

L'appellation du manioc varie selon le pays de culture (Asiedu, 1991). « Cassava » dans les pays anglophones d'Amérique du nord, d'Europe et d'Afrique, « mandioca » au Brésil et « tapioca » dans les pays anglophones du sud-est asiatique, il est appelé « yucca » dans les pays hispanophones d'Amérique latine. Toutes les variétés de manioc cultivées appartiennent à l'espèce *Manihot esculenta*. Par ailleurs, on cultive des hybrides artificiels qui proviennent de croisements entre diverses espèces de manioc. Plus de 300 variétés de manioc sont cultivées à Madagascar (Marty, 1993).

Au Sénégal, on cultive des cultivars locaux (Kombo, Cololi, Soya, *etc.*) des génotypes de la sélection ISRA/CDH (30.786, 30.555, *Ordinaire*, *etc*) et des clones provenant de l'IITA (8082, 91-02322, 8200661, 96-1642a, 96-1642b, 91-1371, TMS 90-257, *etc*).

En 2006, un travail intitulé « Inventaire, identification et description des variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz syn. *M. altissima* Pohl ; Famille des *Euphorbiaceae*) cultivées dans les zones nord et centre du Sénégal » réalisé dans le cadre d'une étude commanditée par le «Projet d'Appui au Programme de Relance de la Filière Manioc au Sénégal» a permis de répertorier et de caractériser 26 cultivars supposés locaux (Camara, 2006).

II. CULTURE DU MANIOC

1. Cycle cultural

Le manioc se multiplie par boutures et son cycle végétatif varie de 6 à 24 mois et plus selon les conditions climatiques ou d'altitude. A Madagascar par exemple, le manioc ne peut être cultivé à une altitude supérieure à 1 400 m, du fait des basses températures. Dans ces conditions extrêmes, son cycle végétatif s'allonge (jusqu'à 22 mois) et les rendements sont médiocres. Sur de bons sols, on peut le trouver jusqu'à 30° de latitude. Sous les climats à pluviométrie réduite, jusqu'à 500 mm en 4 mois, il ne s'agit plus de culture à grands rendements mais de culture maraîchère ou de culture de soudure (Marty, 1993).

Au Sénégal, l'occupation du terrain par le manioc dure 8 mois pour les variétés hâtives comme Kombo et 30.786 à 12 mois pour les variétés tardives telles que la variété *Ordinaire* (ISRA/CDH, 1987).

1.1. Phases végétatives

La phase de reprise occupe les 5 premiers jours après le repiquage d'une bouture de manioc. Celle-ci émet ses premières racines puis de minuscules feuilles plissées apparaissent. Cette phase dure 15 jours. Elle est suivie par la phase d'installation qui dure également une quinzaine de jours mais peut se prolonger durant un mois et parfois plus. Les jeunes racines s'allongent et les premières tiges apparaissent. Ces tiges se développent, se ramifient et les feuilles apparaissent pendant la phase de développement foliaire qui dure 4 mois environ. La surface foliaire atteint son maximum en 3 mois pendant lesquels quelques racines commencent à tubériser (Silvestre & Arraudeau, 1983).

Selon Marty (1993), l'accumulation des réserves d'amidon dans un nombre variable de racines (tubérisation) a lieu dès les premières semaines, mais ne devient visible à l'œil qu'à partir du 2^{ème} mois et continue au rythme des conditions du milieu. En altitude et en zone à saison sèche prolongée, le manioc perd complètement ses feuilles et le bois prend sa teinte définitive. C'est la phase de repos. Elle dure 1 à 2 mois mais n'existe pas en zone humide (saison sèche courte ou peu accusée). Après le repos commence la seconde phase de développement foliaire. Pour des cycles culturaux de plus d'un an, les yeux terminaux donnent des pousses et la plante se couvre rapidement de feuilles. Cette phase dure 5 mois. La fécule s'accumule à nouveau dans les racines qui atteignent leur taille définitive en 7 mois environ. Le manioc perd à nouveau ses feuilles et peut être récolté.

2. Techniques culturales

Chez le manioc, la tubérisation est liée au système racinaire. Il faut donc assurer à la plante un enracinement susceptible de remplir au mieux l'une de ses fonctions : le stockage des hydrates de carbone sous la forme de tubercules (Raffaillac, 1993). Ainsi, plusieurs pratiques culturales doivent être effectuées avant, durant et après la plantation du manioc.

2.1. Préparation du sol

La préparation du sol a pour objet de limiter le développement des adventices, d'amender le profil dans lequel vont se développer les racines assimilatrices et les racines de réserves, et d'affiner le sol en surface pour assurer un bon contact entre la terre et les boutures.

Le sous-solage est utile quand il est nécessaire d'améliorer le drainage des horizons superficiels du sol, ou encore dans ceux où, à cause de techniques culturales antérieures ou de conditions naturelles, le sous-sol s'oppose à la pénétration des racines. Le labour est généralement destiné aux sols lourds, dans des conditions hydriques et/ou minérales défavorables ou en cas d'enherbement important. L'emploi d'outils à dents est souvent préférable dans le cas de sols à dominante argileuse, afin d'éviter la constitution d'une semelle de labour (Raffaillac, 1993).

Selon Luzembo (2012), les travaux du sol doivent se faire perpendiculairement à la pente du terrain afin d'éviter d'accélérer l'érosion.

2.2. Préparation des boutures

Les boutures de manioc sont prélevées dans une ancienne culture. Selon Sy (2010), chaque branche récoltée peut fournir 3 ou 4 boutures de 20 à 25 cm. Un hectare de manioc permet de planter au moins 10 hectares (Marty, 1993). Les boutures doivent être prélevées sur des plants sains et rigoureux et coupées à l'aide d'un sécateur bien tranchant de sorte à maintenir intacts les nœuds.

2.3. Plantation

Dans les conditions normales, il est préférable d'effectuer une plantation à plat car celle-ci est moins coûteuse, quel que soit le système de culture. La plantation sur billon est adoptée si le sol est mal drainé, de texture lourde et si le climat est fortement pluvieux. Dans le cas de stress hydrique très marqué, la plantation pourra se faire dans le creux de billons ou dans des sillons profonds. Il est à noter que le billonnage, s'il facilite la récolte, peut cependant provoquer une diminution de la production (Raffaillac, 1993).

D'après Faye *et al.* (2010), au moment de la plantation il est important de retrouver le sens des boutures avec l'ébauche du bourgeon toujours au dessus des nœuds. En effet, une plantation inversée provoque une chute de rendement importante pouvant aller jusqu'à 30 % selon Raffaillac (1993). L'optimum de densité se situe entre 10 000 et 20 000 pieds à l'hectare selon la vigueur de la variété et les conditions du milieu ou de culture. Les écartements varient de 1 à 1,5 m entre les lignes et de 0,80 à 1 m entre les boutures d'une même ligne (Abderahim, 2010 ; Sy, 2010).

2.4. Fertilisation

Pour bien produire, le manioc a besoin d'éléments fertilisants. Un apport d'azote (N) suffisant est favorable à un bon développement des organes végétatifs aériens. Le potassium (K) permet de lutter contre la sécheresse en agissant sur les stomates et favorise la migration des matières photosynthétisées vers leurs points d'accumulation (les racines) selon Luzembo (2012).

Effectuer une fumure de fond est rentable pour la culture du manioc. Pour 100 m² de culture, il est recommandé d'épandre au moment de la préparation du sol 50 à 100 Kg de matières organiques et 6 Kg d'engrais minéral (10-10-20) (ISRA/CDH, 1991).

2.5. Entretien

Lors du prélèvement des boutures (de 15 à 20 cm de long avec au moins 5 à 6 yeux en bon état) il est conseillé de choisir des plantes mères âgées d'au moins 8 mois, exemptes de mosaïque et dont les tiges ont entre 2,5 et 4 cm de diamètre et sont dépourvues de cochenilles. Afin de prévenir l'attaque de ces dernières, les boutures doivent être trempées dans un mélange de fongicide et d'insecticide (Faye *et al.*, 2010).

En cas de pourriture ou de dessèchement de boutures, il est important d'effectuer un bouturage de remplacement (ISRA/CDH, 1991). Il est également utile de désherber autant que possible les champs de manioc afin d'éviter des pertes de rendements dues aux adventices.

2.6. Récolte et utilisation des feuilles

Les jeunes feuilles de manioc et les branches apicales peuvent être récoltées 4 à 5 fois pendant le cycle végétatif et utilisées comme légumes et dans des sauces. Cette opération n'a pas d'influence négative sur le rendement des tubercules selon Raffailac (1993). Dans certains pays comme l'Angola, le Gabon, le Liberia, la Sierra Leone et dans le bassin du Congo, leur consommation est très répandue. Cependant, bien qu'elles constituent un aliment très riche en protéines et en vitamines, surtout les vitamines A et C (Guitteny, 2010), la comestibilité des feuilles diffère selon les variétés.

Au Sénégal, un marché des feuilles de manioc se développe dans la capitale (Dakar) notamment au croisement de Cambéréne.

2.7. Récolte des tubercules

La récolte des tubercules (Planche 3 A) peut être largement étalée dans le temps. Elle s'effectue entre 10 et 20 mois en moyenne après la plantation. Dans des conditions normales, les tubercules de manioc ne se conservent que quelques jours. Au-delà, des risques de dégradation et de pourriture se présentent. L'époque de la récolte est donc essentiellement déterminée par sa destination (Asiedu, 1991).

Le processus de récolte comprend quatre opérations : l'enlèvement des tiges et des feuilles, la séparation de la terre, le déterrage des racines, le chargement et le transport. Plus le manioc reste en terre après sa maturation, plus les tubercules se lignifient, deviennent fibreux et difficiles à consommer et s'éloignent de l'optimum de rendement et de la teneur en féculé (Luzembo, 2012).

2.8. Conservation des tiges

Pendant la récolte, les tiges issues des plants de manioc doivent être bien rassemblées puis conservées (Planche 3 B) dans un lieu maintenu humide pour éviter tout dessèchement. Elles seront utilisées comme semences pour la prochaine culture. Il est important de choisir les tiges saines et vigoureuses ne présentant aucun signe de maladie ou d'anomalie, et de brûler les autres (Marty, 1993).



Planche 3 : Récolte des tubercules et regroupement de tiges de manioc en vue de leur conservation

A : Récolte des tubercules

B : Conservation des tiges

3. Rendements

Les rendements du manioc sont fonction des variétés, du cycle cultural et des facteurs édapho-climatiques. En culture traditionnelle, les rendements varient entre 3 et 15 t/ha. Toutefois, ils peuvent atteindre 50 t/ha et exceptionnellement 80 t/ha (variétés très améliorées) pour les tubercules et 27 t/ha pour les feuilles (Sy, 2010).

4. Influence des symbioses mycorhiziennes sur la croissance et le développement du manioc

Selon Diallo (2001), les champignons endomycorhiziens *Glomus intraradices* et *G. albidum* ont un effet positif sur la croissance du manioc. Des travaux effectués par cet auteur ont montré que les plants endomycorhizés avaient une résistance plus grande au stress hydrique que les témoins non mycorhizés. L'étude de l'endomycorhization du manioc au champ a permis d'établir une corrélation entre le degré de contamination des racines et le stade de développement des plantes. En effet, les jeunes plantes de manioc ont été plus infectées par rapport aux plus développées. Des spores ont été extraites sur des échantillons de sol préalablement prélevés au champ puis identifiées appartenant aux genres *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* et *Scutellospora* avec plus de spores du genre *Glomus*.

III. IMPORTANCE ET PRODUCTIVITE DU MANIOC

Le manioc est essentiellement cultivé dans les zones tropicales. Selon la FAO, la surface mondiale cultivée en 1990 se situait à un peu plus de 15 635 000 hectares pour une production globale de 157 679 000 tonnes, soit un rendement moyen d'environ 10 tonnes à l'hectare. Les plus grands pays producteurs de manioc dans le monde sont le Nigéria, le Brésil, l'Indonésie, la Thaïlande, la République Démocratique de Congo, l'Angola, le Ghana, le Vietnam et le Mozambique.

La figure 1 montre la production de manioc ainsi que les revenus qu'il a générés dans ces différents pays en 2011.

Au Sénégal, le manioc occupe une place relativement importante dans les activités agricoles puisqu'il y participe pour 25% de la production totale de légumes (Aïchatou, 2007). La plus forte production de manioc dans le pays est retrouvée dans la région de Thiès (Tableau 2).

Toutefois, durant la campagne agricole 2012-2013 les rendements les plus élevés ont été enregistrés dans les régions de Saint-Louis et de Kaolack avec respectivement 12 088 et 11 579 Kg/ha (MA/CNDA, 2013).

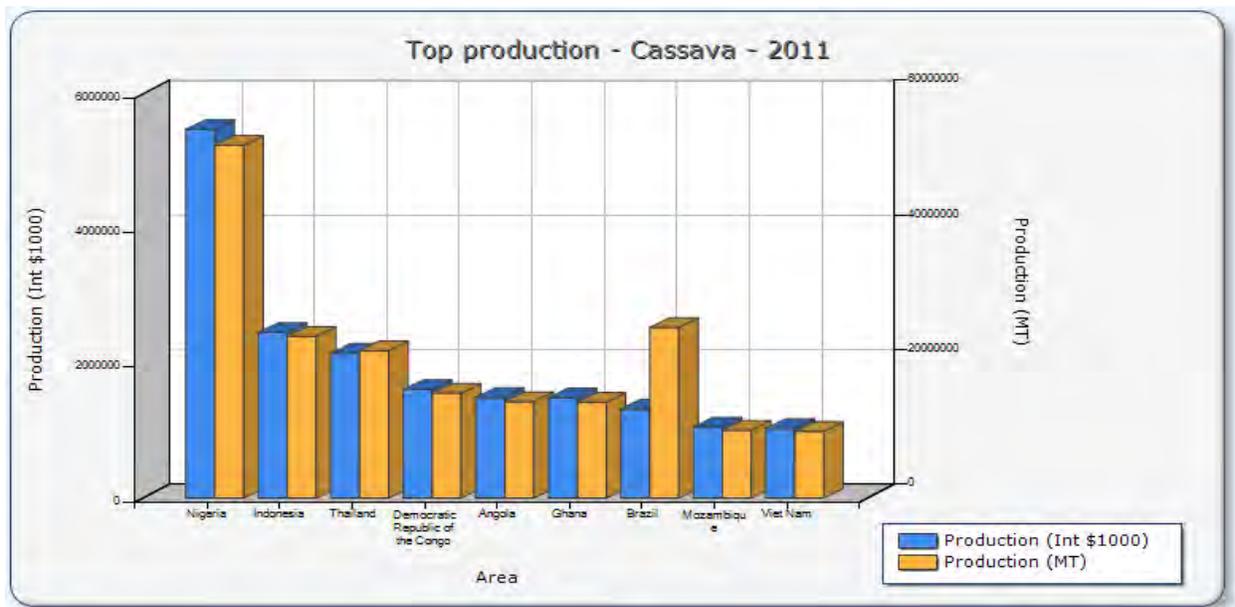
En milieu rural, la pauvreté se manifeste surtout dans les zones marginales à pluviométrie faible et irrégulière et aux sols appauvris, où le manioc constitue pratiquement la seule culture qui donne des rendements fiables. C'est la raison pour laquelle les paysannes et paysans de ces zones choisissent le manioc pour minimiser les risques de famine et de pertes de revenus.



Planche 4 : Culture et commercialisation du manioc au Sénégal

A : Champ de manioc à Tivaouane

B : Etal de tubercules de manioc au marché de Mbour



Source : FAOSTAT (2012)

Figure 1 : Importance économique du manioc dans ses principaux pays producteurs en 2011

Tableau 2 : Superficies emblavées, rendements et production de manioc dans les différentes régions du Sénégal en 2012-2013.

| | Superficie (ha) | Rendement (kg/ha) | Production (T) |
|--|-----------------|-------------------|----------------|
| Dakar | 125 | 7000 | 1505 |
| Diourbel | 174 | 7500 | 1308 |
| Fatick | 365 | 9711 | 3540 |
| Kaolack | 834 | 11579 | 9657 |
| Kolda | 987 | 7933 | 7829 |
| Louga | 893 | 6000 | 5355 |
| Saint-Louis | 1290 | 12088 | 15599 |
| Tambacounda | - | - | - |
| Thiès | 18268 | 7625 | 139295 |
| Ziguinchor | 183 | 10046 | 1836 |
| Matam | - | - | - |
| Kaffrine | 122 | 6978 | 850 |
| Kédougou | - | - | - |
| Sédhiou | 269 | 10000 | 2693 |
| Sénégal (1) | 23600 | 8028 | 189469 |
| Résultats 2011-2012 | 20672 | 7492 | 154879 |
| Moyennes 5 dernières années (2) | 50308 | 6951 | 359198 |
| Ecart (1) et (2) en % | - 53 | 15 | - 47 |

Source : MA/CNDA (2013)

1. Transformation du manioc

Les tubercules de manioc récoltés périssent très vite et contiennent des taux relativement élevés de cyanures, d'où une transformation est indispensable (Asiedu, 1991). Aujourd'hui, avec l'évolution des techniques de transformation, le manioc est utilisé dans l'industrie avec la fabrication d'amidon, de fécule, de biscuits, de pâtes alimentaires, d'alcool mais aussi pour l'alimentation du bétail. Il est également utilisé pour la préparation du *Gari*, de l'*Attiéké*, du *Tapioka*, de farines utilisables en boulangerie, et beaucoup d'autres produits (Guèye, 2011).

IV. CONTRAINTES A LA CULTURE DU MANIOC

Comme toutes les plantes cultivées, le manioc est victime de nombreuses attaques parasitaires et de facteurs abiotiques (Cock, 1985). Aggrey (1978) a rapporté 20% de perte de rendements due aux mauvaises herbes lorsque le 1^{er} désherbage est retardé de plus de 2 mois.

A. Les facteurs abiotiques

Outre les infections parasitaires, certaines maladies qui apparaissent sur le manioc sont provoquées par une perturbation des conditions pédoclimatiques. On peut citer en exemple le flétrissement causé par la sécheresse, la mauvaise croissance végétale due à des terres peu fertiles ou à une grande salinité, la pourriture des racines provoquée par un excès d'humidité du sol. Par opposition aux infections parasitaires, on donne souvent à ces perturbations l'appellation d'anomalies abiotiques (Collingwood *et al.*, 1989).

1. Température du sol

Le rendement des racines dépend également de la température du sol, aussi bien que de la profondeur de leur enfouissement (Hahn *et al.*, 1979). Il arrive fréquemment que la température du sol, à 5 cm de profondeur, excède 30°C, ce qui peut réduire considérablement le rendement.

En dépit de l'observation courante selon laquelle le manioc serait assez tolérant à la sécheresse, des réductions importantes de rendement ont été constatées en cette occurrence (Shanmugavelu *et al.*, 1973). Lorsque la température élevée du sol est concomitante à une forte humidité de ce dernier, les pertes peuvent être encore plus élevées.

2. Humidité du sol

L'excès d'humidité provoque la pourriture chez les tubercules de manioc. Bien qu'étant une plante qui supporte des régimes de pluies très divers, les meilleurs rendements s'obtiennent avec des hauteurs de pluies qui varient de 10 à 20 mm annuellement avec 3 mois de saison sèche. Au-dessus de 20 mm de pluies par an, les racines de manioc pourrissent en terre. Pour lutter contre l'humidité, il faut éviter de planter le manioc dans un champ qui est souvent inondé. La teneur en fécule des racines est maximale durant la saison sèche (Hahn *et al.*, 1979).

3. Nature du sol

Le manioc n'aime pas les terres lourdes et argileuses. Le sol qui lui est idéal est celui de texture sablo argileuse, profond, non compact, bien drainé et avec un pH égal à 6 (Cock, 1985).

Le manioc peut se contenter, toutefois, de terres relativement pauvres (comme les latérites) à condition qu'elles ne soient pas soumises aux inondations et qu'il n'y ait pas d'eau stagnante. Les rendements sont toutefois fortement réduits (Raffaillac, 1993).

4. Luminosité

Le manioc est essentiellement une plante de lumière. En effet, la formation d'amidon dépend directement de l'ensoleillement. L'ombrage apporte des changements au microclimat et la température de l'air à l'ombre est plus basse qu'en pleine lumière. Elle retarde nettement la tubérisation et réduit substantiellement les rendements (Terry, 1980).

5. Carence en potassium

La taille des tubercules augmente chez les plantes traitées au potassium, tandis qu'elle diminue chez celles traitées à l'azote (Hahn et Hozyo, 1980). Ces observations rejoignent de près celles de Murata & Akazawa (1968, 1969) sur la patate douce. Ces derniers ont découvert que le potassium accélérât l'activité du cambium de la racine et que l'azote diminuait cette activité et augmentait la lignification.

Les effets de l'azote et du potassium sur le nombre des racines tubéreuses ne différaient pas des observations de Chaddha (1958) et de Ngongi *et al.* (1977). Ces auteurs avaient découvert que l'azote augmentait le nombre des racines tubéreuses, tandis que le potassium le diminuait.

Selon Hunt *et al.* (1977), l'azote favorise la croissance des pousses aux dépens de celle des racines, mais augmente le nombre de ces dernières, ce qui indiquerait que la photosynthèse produit suffisamment d'éléments assimilatifs pour amorcer la croissance des racines. Celles-ci s'agrandissent par la synthèse et l'accumulation de l'amidon.

B. Les facteurs biotiques

1. Les maladies parasitaires

Plusieurs maladies du manioc sont causées par des microbes pathogènes (virus, bactéries, champignons essentiellement).

Lorsqu'un pathogène s'attaque à une plante, il se multiplie et se répand sur ou dans les organes qu'il détruit progressivement. La plante présente alors des signes (symptômes) d'attaque. Les symptômes des dégâts causés par les maladies du manioc apparaissent sur les feuilles, les tiges et les racines. On reconnaît chaque maladie par ses symptômes (décoloration des feuilles, lésions sur les tiges, décoloration des racines tubéreuses, *etc.*) (Collingwood *et al.*, 1989).

1.1. La bactériose du manioc

Selon Boher *et al.* (1985), l'analyse des mécanismes pouvant assurer le maintien de l'agent causal de la bactériose vasculaire du manioc (*Xanthomonas campestris* pv *manihotis*), permet d'expliquer le caractère endémique de cette maladie dans de nombreuses zones de culture ainsi que l'apparition d'épidémies dans des régions indemnes. Parmi ces mécanismes, deux sont essentiels : la capacité du pathogène à avoir une phase épiphyte et celle de se conserver dans les tissus de l'hôte. Les débris végétaux, le sol, les plantes adventices ne semblent pas être des sites privilégiés pour la conservation de la bactérie.

Lorsqu'une plante de manioc est atteinte de la bactériose, on voit d'abord apparaître de petites tâches qui deviennent par la suite grandes avec une coloration brune sur les feuilles qui prennent un aspect brûlé (Planche 5 B). Elles finissent par mourir et tomber. La maladie progresse en attaquant les tiges et les racines, et finalement entraîne la mort de la plante toute entière (James *et al.*, 2000).

Verdier *et al.* (1989) ont pu observer au microscope électronique à balayage l'installation de 2 souches de *X. campestris* pv *manihotis* sur feuilles de vitroplants de manioc. Selon ces auteurs, 6 jours après inoculation, la souche non agressive (XCM4) qui ne se multiplie pas ou peu à la surface du limbe n'entraîne pas d'altération des tissus foliaires. Par contre, dans les mêmes conditions, la souche agressive (XCM17) se multiplie très rapidement sur les feuilles des vitroplants.

1.2. La Mosaïque Africaine du Manioc (MAM)

La mosaïque africaine du manioc (Planche 5 A) est due à un virus qui est inoculé à la plante par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*). Elle attaque le plus souvent les feuilles et les

tiges. Dans un premier temps, des tâches jaunes apparaissent sur les feuilles. Par la suite, ces feuilles présentent l'aspect d'un papier froissé et la plante reste naine (Fargette et Mbaye, 1990).

Cette maladie spécifique à l'Afrique a été décrite pour la première fois par Warburg (1984). Elle s'est très rapidement répandue à travers le continent.

Au Sénégal, la MAM est présente sur 86% des plants de manioc et provoque des pertes élevées de rendement qui sont de l'ordre de 43% pour les variétés tolérantes et de 84% pour les variétés sensibles (Mbaye, 1991). Selon cet auteur, la mosaïque se soigne difficilement et diminue sérieusement le rendement.

Toutefois la lutte peut se faire en choisissant des boutures saines prélevées de variétés résistantes. Lors de sa campagne de sélection clonale en 1984, le Centre pour le Développement de l'Horticulture de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles a pu sélectionner des variétés de manioc résistantes à cette maladie suite à plusieurs expérimentations effectuées en stations expérimentales et en milieu paysan (ISRA/CDH, 1987).

1.3. La cercosporiose

La cercosporiose du manioc est due à un champignon du genre *Cercosporium*. Il existe plusieurs sortes de cercosporiose, et toutes sont aussi dangereuses les unes que les autres. Cette maladie attaque surtout les feuilles. Des tâches y apparaissent environ un mois après la plantation, en cas d'infestation. Ces tâches peuvent être de couleur verte, jaune ou brune. La maladie peut occasionner la mort de la plante d'après James *et al.* (2000).

Selon cet auteur, la lutte contre la cercosporiose consiste à arracher systématiquement tous les plants atteints et de les brûler très loin du champ.

1.4. L'antracnose du manioc

L'antracnose *Glomerella angulata manihotis* est causée par un champignon qui s'attaque à la surface des tiges et des feuilles du manioc. Elle se manifeste sous forme de chancres (lésions) sur la tige et à la base des pétioles. Les chancres affaiblissent le pétiole et entraînent le flétrissement de la plante et la chute des feuilles. Les parties molles de la tige s'entortillent en cas d'attaque grave de la maladie. Généralement, elle se déclenche au début de la saison pluvieuse puis prend de l'ampleur avec les pluies (James *et al.*, 2000).

Un moyen de lutte contre cette maladie est l'emploi d'un produit fongicide. Il suffit de tremper les boutures de manioc dans une solution de Maneb ou de Mancozèbe avant la plantation (Faye *et al.*, 2010).

1.5. La nécrose du bourgeon du manioc

La nécrose du bourgeon est causée par un champignon que l'on retrouve à la surface des tiges et des feuilles de manioc. La maladie laisse des tâches brunes ou grises formées par une substance cryptogamique qui recouvre la tige, et parfois les nœuds des boutures. Les nœuds atteints meurent, provoquant une baisse du pouvoir germinatif des boutures. La transmission du champignon responsable de la nécrose du bourgeon du manioc s'effectue essentiellement des pieds contaminés vers les pieds sains (James *et al.*, 2000).

Selon cet auteur, les tiges et les feuilles mortes non détruites après la récolte des tubercules, peuvent aussi servir de foyers d'infestation. Le champignon se propage aussi par le vent. Toutefois, l'emploi de boutures contaminées constitue le principal mode de propagation de la maladie.

1.6. La pourriture des racines

On distingue deux sortes de pourriture des racines chez le manioc : l'une est causée par un champignon (Planche 5 C), l'autre est causée par un excès d'humidité du sol (Faye *et al.*, 2010). Dans les deux cas, les racines et les tubercules deviennent mous et sentent mauvais. Ils sont alors impropres à la consommation. Selon James *et al.* (2000), différents types de champignons vivants sur ou dans le sol peuvent provoqués le pourrissement des racines du manioc. Ces champignons apparaissent généralement dans les sols mal drainés et dans les jachères forestières nouvellement défrichées.

Les feuilles des plants de manioc dont les racines sont atteintes de la pourriture brunissent et flétrissent. Le plant revêt alors une apparence de brûlé. Les feuilles peuvent ne pas tomber, mais la plante perd beaucoup d'eau et finit par mourir.

Pour lutter contre le champignon, il faut éviter de cultiver plusieurs fois le manioc dans le même champ et récolter les tubercules dès qu'ils sont arrivés à maturité.



Planche 5 : Aspects de quelques maladies parasitaires sur feuilles, tiges et collet de plants de manioc

A : Mosaïque africaine du manioc

B : Bactériose du manioc (*Xanthomonas manihotis*)

C : Pourriture des tubercules du manioc

D : Acariose du manioc

1.7. Les galles

Les galles sont des gonflements localisés au niveau des racines et provoqués par des nématodes. Ce sont des vers microscopiques qui vivent dans le sol. Selon Collingwood *et al.* (1989), presque toutes les cultures maraichères sont sensibles aux attaques des nématodes à galles *Meloidogyne* spp.

Les traitements du sol aux nématicides étant très coûteux, l'utilisation de la rotation culturale, notamment avec l'arachide, permet de lutter contre ces nématodes (IITA, 2000).

2. Les ravageurs du manioc

Le manioc est attaqué par plusieurs ravageurs. Certains insectes se nourrissent de la sève alors que d'autres s'attaquent aux feuilles ou aux jeunes pousses. Les rats et les écureuils consomment les grosses racines tandis que les termites attaquent les boutures dès leur installation et les pénètrent en y creusant des galeries (Saizounou, 1999).

Parmi les ennemis les plus dangereux, il y a la cochenille farineuse et l'acarien vert du manioc. Ces parasites ont été tous deux introduits accidentellement d'Amérique du Sud au début des années 70. N'ayant pas d'ennemis naturels, ils se sont multipliés rapidement ont causé des dégâts importants dans beaucoup de régions. Une vaste campagne de lutte biologique visant l'identification puis l'utilisation de leurs ennemis naturels a été lancée pour lutter contre ces espèces (Herren, 1987).

2.1. La cochenille farineuse

Les cochenilles farineuses (*Phenacoccus manihotis*) (Planche 6 B) sont des insectes d'aspect farineux groupés en colonies blanchâtres que l'on retrouve le plus souvent à l'extrémité des jeunes pousses et à la face inférieure des feuilles du manioc. Ils sucent la sève et finissent par faire mourir les extrémités des jeunes tiges en leur inoculant une toxine qui induit de sévères perturbations du développement des plantes. Les pousses terminales prennent un aspect buissonnant. La croissance est ralentie, les entre-nœuds sont courts et les tiges se tordent. En cas d'infestation sévère, les plantes dépérissent complètement en commençant par les sommités. Les attaques se développent surtout en saison sèche et peuvent engendrer des chutes de rendement de 80% (IITA, 2000).

Au Sénégal, le Centre pour le Développement de l'Horticulture a pu mettre au point, depuis 1984, des clones de manioc résistants à la cochenille farineuse (ISRA/CDH, 1987 ; Abderahim, 2010 ; Sy, 2010).

2.2. L'acarien vert du manioc

L'acarien vert du manioc *Mononychellus tanajoa* (Planche 6 C) vit sur la face inférieure des jeunes feuilles et sur les parties tendres du sommet des tiges. Il s'écoule environ une dizaine de jours entre le stade œuf et le stade adulte. Les femelles vivent 3 à 4 semaines et pondent entre

20 et 90 œufs. Le vent assure la dissémination des femelles qui se laissent pendre à un fil de soie. Les premiers signes d'attaque se manifestent sous forme de nombreuses petites taches jaunâtres et irrégulières qui apparaissent à la face inférieure des feuilles (IITA, 2000).

Lors de fortes invasions, les bourgeons terminaux meurent et, comme dans le cas de la cochenille farineuse, les pertes de rendement sont importantes (James *et al.*, 2000).

2.3. La mouche blanche

La mouche blanche (*Bemisia tabaci*) (Planche 6 A) est l'insecte vecteur du virus de mosaïque africaine du manioc. Dubern (1979) constate que la mouche blanche a besoin de se nourrir sur une plante malade pendant 3 heures avant d'acquérir le virus. Suite à une période de latence d'au moins 8 heures, 10 minutes suffiront à l'insecte pour le transmettre à une plante saine. Une fois le virus acquis, les mouches peuvent rester infectées 7 à 9 jours durant. Ainsi, les vecteurs transportés par le vent sont déposés sur les bordures des champs de manioc et infectent les premières plantes rencontrées. Cela explique l'existence d'un gradient de distribution de la maladie qui est plus importante du côté du vent (Mbaye, 1991).

Selon cet auteur, quelle que soit la taille des populations de mouches blanches est importante, seuls 0,15 à 0,17% des individus acquièrent le virus après s'être nourris de manioc malade.

L'utilisation de variétés résistantes et la lutte chimique contre la mouche blanche sont généralement conseillées. Cependant les insecticides ne sont pas aussi efficaces qu'on le souhaiterait (Tresh, 1987).

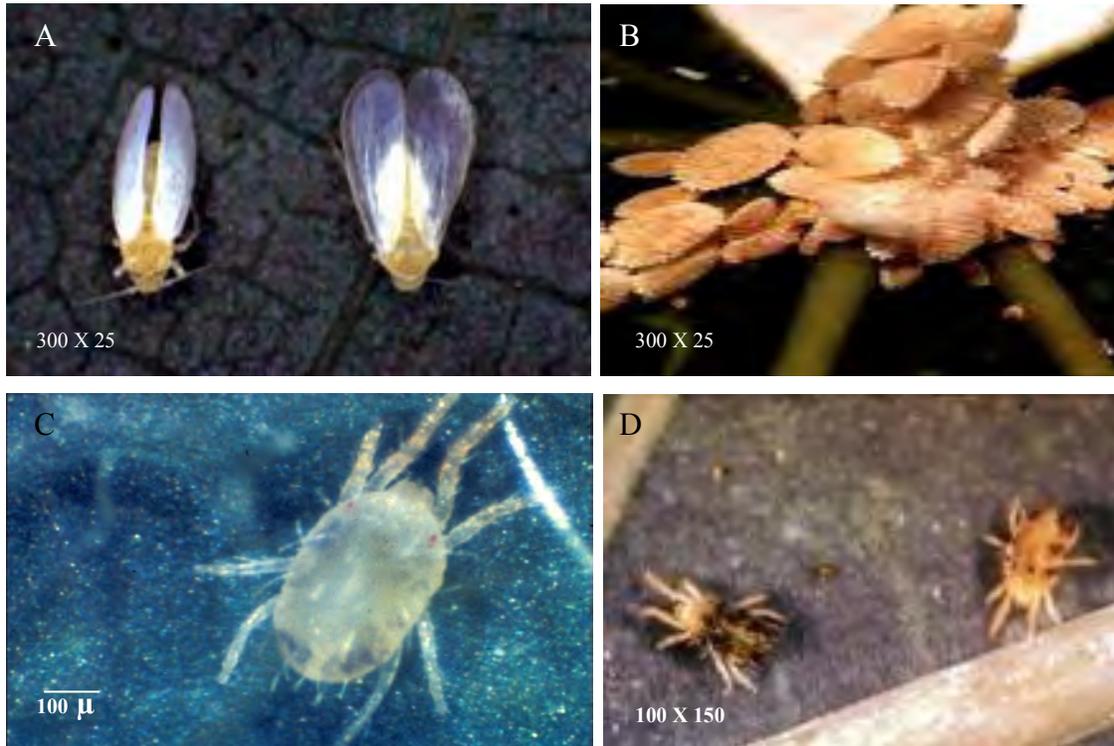
2.4. Les araignées rouges

Les araignées rouges (Planche 6 D) sont des acariens de très petite taille qui vivent à la face inférieure des feuilles en colonies nombreuses (IITA, 2000). Elles piquent les nervures des feuilles et sucent la sève. Celle-ci étant pour les plantes ce que le sang est pour l'homme et les animaux, lorsque les insectes en prélèvent, la plante pousse mal. Les dégâts se manifestent par des tâches jaunes puis brun-rouge sur le feuillage et par la chute des feuilles.

L'utilisation d'un insecticide systémique tel que le Chlorpyrifos-éthyl ou le Dursban donne des résultats efficaces (Faye *et al.*, 2010).

2.5. La cochenille virgule du manioc

La cochenille virgule du manioc (*Aonidomytilus albus*) se nourrit de la sève des plantes en colonisant, parfois en grande partie, les tiges et les pétioles. Tout facteur favorisant un développement normal des plants permet d'éviter l'apparition de cette cochenille (IITA, 2000).



Source : James *et al.* (2000)

Planche 6 : Principaux ravageurs du manioc.

- A : Mouches blanches *Bemisia tabaci*
- B : Cochenilles farineuses du manioc *Phenacoccus manihoti*
- C : Acarien vert du manioc *Mononychellus tanajoa*
- D : Araignées rouges du manioc

2.6. Les termites

2.6.1. Biologie et organisation

Les Termites sont des insectes primitifs de couleur blanchâtre avec ou sans ailes et de petite taille (5 à 8 mm de longueur pour une largeur de l'ordre du mm), d'où leur surnom de "fourmis blanches". Ils forment le groupe des Isoptères qui compte près de 3000 espèces réparties dans 7 familles : *Mastotermitidae*, *Termopsidae*, *Hodotermitidae*, *Kalotermitidae*, *Rhinotermitidae*, *Serritermitidae*, *Termitidae* (Ndiaye, 1998).

Les termites vivent dans le sol ou dans des termitières construits sur le sol. On les retrouve également dans des galeries creusées dans les tiges des plantes. Ils sont qualifiés d'insectes "sociaux", car ils vivent en colonies organisées, tout comme les abeilles, les guêpes, ou les fourmis. Leurs colonies sont souvent très importantes et peuvent atteindre des millions d'individus chacun y jouant un rôle bien précis en fonction de la "caste", et donc du groupe social dont il dépend (Fuchs *et al.*, 2004). La cellulose, leur principal aliment énergétique, est digérée à l'aide de symbiotes (bactéries, zooflagellés, champignons basidiomycètes) d'après Grassé (1982). Le cycle biologique des termites se présente comme suit :

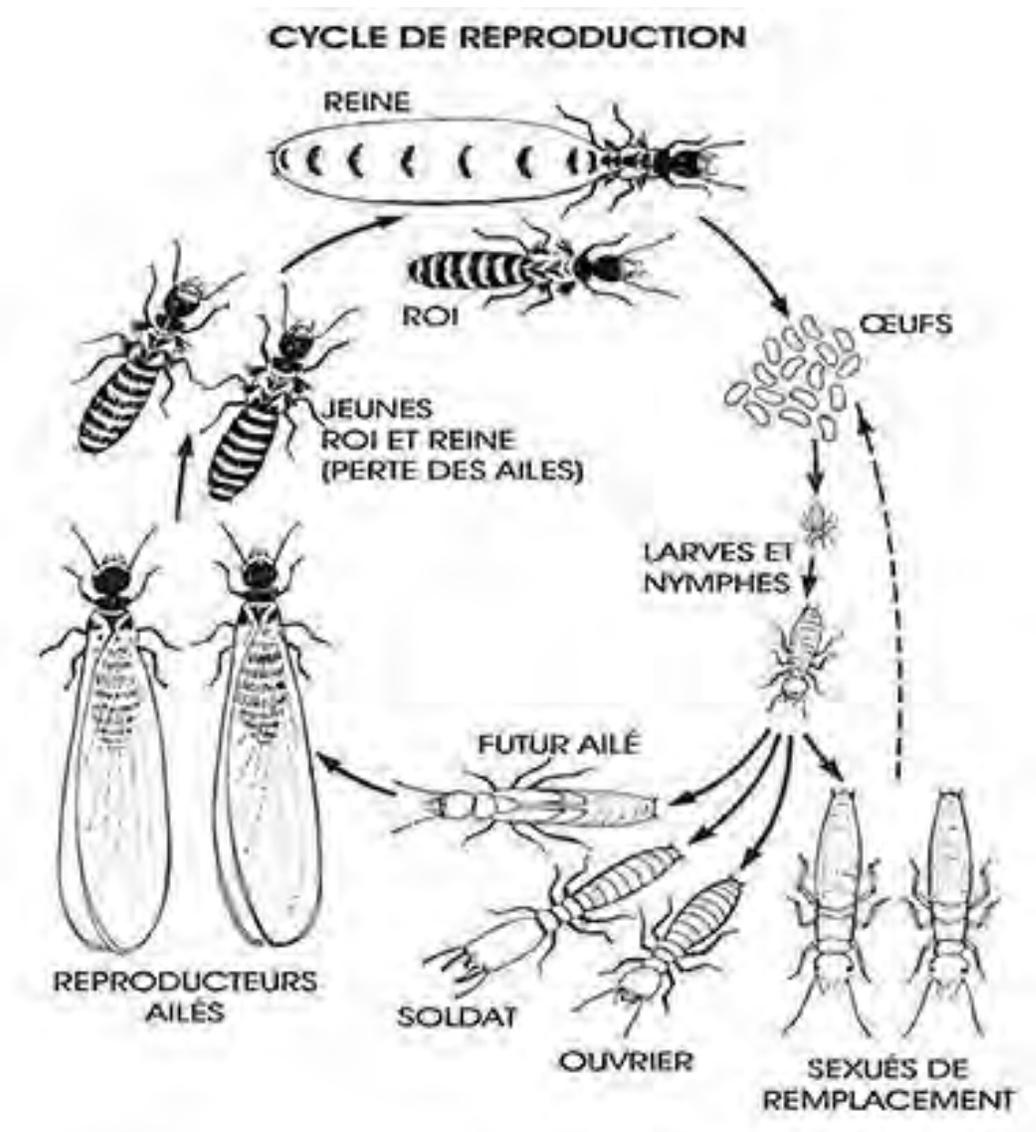


Figure 2 : Schéma du cycle biologique des termites
Source : Koatchimie (2002)

Dans une termitière se trouvent le couple royal, les ouvriers et les soldats. Le roi et la reine sont les seuls individus reproducteurs. D'abord ailés, ils perdent leurs ailes après la formation de la colonie. Le roi conserve ses dimensions, tandis que la femelle fécondée (Planche 7 A) grandit énormément acquérant 50 à 60 fois, quelques fois des centaines de fois, le volume du reste du corps. Chez certaines espèces, la reine atteint 12 cm de long et 3 cm de large et peut pondre jusqu'à 36 000 œufs par ponte (Langewald *et al.*, 2003).



Planche 7 : Castes et stades de développement chez les termites

A : Reine fécondée, B : Œufs, C : Larve, D : Ouvrier, E : Soldat, F : Reine ailée

La caste la plus nombreuse de la colonie est celle des ouvriers (Grassé, 1984). Ils sont chargés de nourrir toutes les autres castes, de construire et d'entretenir la termitière. Dotés de puissantes mandibules broyeuses, ils arrachent des particules de bois ou prélèvent des boulettes d'argile qui servent à la construction (Boyer, 1982).

Selon Grassé (1984), les ouvriers apportent aussi leurs soins aux larves qui, à leur tour, élaborent des aliments qu'elles émettent avec leur salive ou par l'anus. Elles en nourrissent les soldats et les ouvriers, qui sollicitent ces aliments les uns après les autres par attouchements.

La sexualisation des larves est inhibée par des substances chimiques, les phéromones, sécrétées par le couple royal, sauf au moment de la formation des nymphes. Celles-ci possèdent des bourgeons d'ailes et se développent en individus sexués et ailés, qui essaieront pour fonder de nouvelles colonies (Abensperg-Traun & Milewspk, 1995). Selon ces auteurs, lorsque la population est suffisamment développée, on rencontre des reproducteurs secondaires appelés néoténiques. Ils ressemblent aux ouvriers, mais sont plus longs (5 à 6 mm) et possèdent sur le dos de petites ébauches d'ailes. Ils sont capables de se déplacer dans les galeries créées par les ouvriers et de fonder, un peu plus loin, une nouvelle colonie.

2.6.2. Répartition géographique

Les Termites sont trouvés en plus grand nombre dans les régions tropicales du Globe (Krishna, 1969). Toutefois, la grande majorité d'entre-elles vit dans les régions tropicales et équatoriales où les dégâts causés sont considérables (James *et al.*, 2000).

Les principaux facteurs de leur répartition sont, d'après Roy-Noël (1974a), le sol, l'eau, la végétation et l'Homme. A cet égard, la présence de nappes phréatiques superficielles (les puits en sont un bon indicateur) constitue un facteur éminemment favorable, tout comme la proximité de marais, de cours d'eau, de plans d'eau, de sources, et en règle générale de tout facteur générateur d'humidité. Sur les 2 900 espèces identifiées dans le monde, plus de 1 000 espèces sont présentes sur le continent africain (Langewald *et al.*, 2003).

La figure 3 présente la répartition géographique des termites dans le monde en 1997 selon Zaremski *et al.* (2009). D'après ces auteurs, la grande majorité des termites vit dans les forêts de la ceinture intertropicale. Mais leur zone d'extension maximale s'étend du 40° parallèle nord au 40° parallèle sud sur l'ensemble de la planète.

Leur adaptation au milieu n'est pas le fait des individus, mais de la colonie toute entière. Pour coloniser les milieux défavorables, la société des termites a recours à de nombreux subterfuges : isolation thermique du nid, recherche de l'eau en profondeur, utilisation de l'eau contenue dans les végétaux et le sol, ce qui permet sa survie dans des zones très arides. Plusieurs espèces ont été retrouvées dans les forêts de la zone sahélienne d'Afrique et particulièrement du Sénégal (Lepage, 1974 ; Ndiaye & Han, 2000).



Source : Zaremski *et al.* (2009)

Figure 3 : Répartition géographique des termites dans le monde

Légende : La couleur jaune traduit la présence des termites

L'ensemble des espèces signalées au Sénégal appartiennent à 3 familles: les *Kalotermitidae*, les *Rhinotermitidae* et les *Termitidae*. Les travaux des auteurs Roy-Noël (1966, 1969, 1972, 1974b, 1982), Lepage (1974), Guèye (1984), Roy-Noël & Wane (1977), Agbogba (1985), Agbogba & Roy-Noël (1982), Sarr (1995), Han & Ndiaye (1996a) et Mampouya *et al* (1997) ont permis de dresser la liste des espèces recensées. Les espèces ont été signalées dans la presqu'île du Cap-Vert (Dakar), dans le Sénégal septentrional (Richard-Toll, Ferlo septentrional), dans la région de Kaolack (Fimela, Ndangane, Sonkorong), au Sénégal oriental (parc national du Niokolo-Koba) et en Casamance (Djibélor) (Ndiaye, 1998).

2.6.3. Utilité des termites

De par leur bioécologie, les termites jouent un rôle non négligeable sur les sols, la végétation et les cultures (Ndiaye, 1998). En effet, la conservation de la structure du sol et de sa fertilité dépend du recyclage de ses éléments nutritifs. Avec les vers de terre, les termites constituent la proportion d'êtres vivants (biomasse) la plus importante et sans doute la plus active des sols tropicaux. Selon Boyer (1982), les néoformations des termites résultent de l'action conjuguée du travail de broyage et de trituration salivaire de minéraux encore peu altérés de la profondeur du sol, et des conditions physico-chimiques de milieu particulières aux termites.

Les termites modifient la porosité de ces derniers en brassant la matière organique et les éléments minéraux. Eux-mêmes hébergeant dans leur organisme des bactéries qui dégradent la cellulose, les termites jouent un rôle déterminant dans la transformation de la litière et le recyclage de la matière organique (Grassé, 1984). De plus, ils interviennent activement dans le recyclage de l'azote, en quantité insuffisante dans les sols tropicaux, dans la fixation de l'azote atmosphérique, ainsi que dans la régulation de l'activité de la microfaune du sol.

2.6.4. Dégâts causés par les termites sur les cultures

L'homme et les termites, en s'intégrant dans un même écosystème sont souvent concurrents. En effet, si certaines espèces ne se nourrissent que du bois mort ou s'attaquent aux constructions, d'autres par contre, notamment les termites champignonistes, s'attaquent aux végétaux vivants. Selon Ndiaye & Han (2000), les ouvriers sont responsables de tous les dégâts infligés aux cultures.

Dans les pays tropicaux, ils peuvent ainsi causer des ravages importants dans les champs. Une étude menée par Anani *et al.* (2010) sur les attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo) a montré que 304 plants (soit 92.40% du peuplement d'arbres répartis en 20 espèces) ont été attaqués par les termites. Les attaques des termites sur ces arbres se manifestent par la couverture des troncs et des branches par des galeries-tunnels et des placages de récolte des termites, par des racines, des écorces, du bois consommé entraînant la chute des feuilles, le dépérissement et/ou la mort de la plante. Selon ces auteurs, les espèces de termites responsables des dommages causés aux arbres appartiennent essentiellement au groupe trophique des xylophages.

2.6.5. Dégâts causés par les termites sur les plantations de manioc

Plusieurs espèces de termites endommagent les boutures, les tiges et les tubercules du manioc. Les termites qui envahissent les nouveaux champs de manioc se nourrissent en rongant les boutures. Ces dernières souffrent d'une mauvaise croissance, meurent et pourrissent. Dans les plus vieux champs de manioc, les termites rongent les tiges et y pénètrent. Les tiges deviennent très fragiles. Les dégâts causés par les termites sont surtout observés en saison sèche selon James *et al.* (2000).

D'après Akpesse *et al.* (2006), les termites du sol, de petites tailles (*Microtermes* sp, *Ancistrotermes* sp et *Amitermes* sp), attaquent les boutures tandis que les plus grands (*Pseudacanthotermes* sp) font des placages de terre sur les tiges qu'ils utilisent lors des attaques.

La planche 8 montre des dégâts causés par les termites sur des plants de manioc.



Planche 8 : Dégâts causés par les termites sur le manioc.

A et D : Dégâts sur bouture de manioc, B : Dégâts sur rameau de manioc, C : Dégâts sur tige de manioc

2.6.6. Lutte contre les termites

Selon Saizonou (1999), la méthode de lutte la plus efficace contre les termites consiste en l'utilisation d'insecticides systémiques et la destruction de leurs sites de pullulation.

Par ailleurs, plusieurs recherches sont en cours pour mettre en place des méthodes de lutte biologique contre les termites ravageurs des cultures (IITA, 2000). Le principe consiste à utiliser des ennemis naturels de ces ravageurs. En effet, les termites sont une proie recherchée par toutes sortes d'animaux. Toutefois, les fourmis sont de loin les pires ennemis des termites.

V. RESISTANCE/TOLERANCE DU MANIOC AUX MALADIES ET RAVAGEURS

La sensibilité du manioc aux maladies diffère d'une variété à l'autre (Bock, 1982). Plusieurs travaux de recherche ont été menés dans le but d'identifier les espèces résistantes à la Mosaïque Africaine du Manioc (MAM) parmi les différentes variétés de *Manihot esculenta*, et d'accroître la résistance par croisements avec d'autres espèces du genre *Manihot*, en particulier *M. glaziovii*. D'importants programmes de sélection et d'amélioration variétale ont été développés durant les années 80 notamment pour accroître la résistance variétale en croisant différentes espèces de manioc (Hahn *et al.*, 1980).

La résistance à la MAM est opérée de différentes manières : résistance à l'inoculation, résistance à la multiplication et à la diffusion du virus dans le plant, et résistance à l'insecte vecteur. La combinaison de ces formes de résistance, bien qu'elle complique les stratégies de multiplication, augmente les chances d'obtenir une protection effective (Fauquet *et al.*, 1986).

Plusieurs variétés de manioc possèdent également une tolérance efficace contre beaucoup de ravageurs, y compris les acridiens et la chenille légionnaire (*Spodoptera exempta*), en raison de sa teneur en glucosides cyanogéniques (FAO, 2000). Pourtant, certains ravageurs, notamment la cochenille farineuse (*Phenacoccus manihoti*), l'acarier vert (*Mononychellus tanajoa*) et le criquet puant (*Zonocerus variegatus*) se sont adaptés à ce mécanisme de défense et attaquent facilement le manioc.

Au Sénégal, plusieurs travaux de recherche ont montré que certaines variétés locales et introduites de manioc présentent une tolérance à la cochenille farineuse, à la mouche blanche et/ou aux termites (Aïchatou, 2007 ; Abderahim, 2010 ; Sy, 2010 ; Faye *et al.*, 2014).

VI. MULTIPLICATION DU MANIOC

Bien que le manioc produise des fleurs et des graines, la multiplication par semis est très peu utilisée et n'a d'intérêt en principe que pour la recherche, du fait de la reproduction allogame du manioc qui autorise un important effet hétérosis (forte variabilité génétique de la descendance lorsqu'elle est issue de graines). Par conséquent, les cultivateurs utilisent essentiellement la multiplication végétative qui permet de garantir la conformité génétique du matériel végétal. Dans ce registre, plusieurs techniques de multiplication existent chez le manioc (Cock, 1985).

1. Le bouturage

La multiplication du manioc s'effectue habituellement par bouturage. Cette méthode convient pour la production commerciale, mais a l'inconvénient d'être longue, avec un taux de multiplication de 10 à 20 boutures seulement par cycle de croissance (Sy, 2010).

2. Les techniques de multiplication rapide du manioc

La multiplication par bouturage est satisfaisante dans des conditions normales d'exploitation, mais certaines situations réclament l'application d'une méthode de multiplication accélérée en vue de la mise en valeur rapide du matériel disponible. Une publication du Centre International d'Agriculture Tropicale décrit plus en détail ces méthodes de multiplication rapide basées sur le recépage, le mini bouturage et le bourgeonnement axillaire (Cock, 1985).

2.1. Le recépage

Cette technique de multiplication consiste à prélever des boutures sur les plantes en cours de végétation sans trop affecter la production des racines tubéreuses à la récolte. Les pertes de rendement et de matière sèche, estimées à moins de 5%, sont négligeables. La technique permet en outre d'accroître les surfaces cultivées en peu de temps. Par exemple, le recépage effectué à 10 cm du sol sept mois après plantation permet d'obtenir environ 5 boutures par plant. Ceci signifie qu'avec une superficie d'un hectare recépage, on peut planter 5 hectares de nouvelles parcelles (Cock, 1985).

2.2. Le mini bouturage ou méthode des boutures à deux nœuds

Les boutures à deux nœuds (ou mini boutures) sont plantées à forte densité dans un mélange de terreau et de sable, dans des germoirs à forte humidité atmosphérique, sous serre. Les jeunes pousses (Planche 9) qui se développent au bout de deux ou trois semaines sont immédiatement coupées au-dessous d'un œil et placées dans des gaines remplies du même substrat de culture, où elles émettent des racines. Elles sont transplantées 15 jours plus tard dans le champ où elles seront arrosées comme il convient jusqu'à leur reprise. Cette méthode de multiplication rapide est également utilisée comme technique de sanitation pour le manioc (Faye *et al.*, 2010).



Planche 9 : Plant de manioc obtenu par mini bouturage, après 1 mois de culture

2.3. Le bourgeonnement axillaire *in situ*

La méthode du bourgeonnement axillaire consiste à découper la plante mère en unités composées d'un segment de tige portant une feuille, un pétiole et un bourgeon axillaire. Après avoir excisé la plus grande partie du limbe de la feuille, ces segments sont plantés dans des casiers remplis de sable placés dans un germoir humide. Des racines se développent normalement en deux semaines. Les jeunes plants obtenus sont ensuite transférés dans de petits pots en carton ou en plastique contenant le mélange de terre adéquat et conservés à l'ombre 7 à 10 jours. Au bout de cette période, ils sont prêts à être transplantés dans un champ où ils doivent être correctement arrosés jusqu'à leur reprise (Cock, 1985).

2.4. La multiplication végétative *in vitro*

2.4.1. Milieux de culture

Le milieu de culture *in vitro* des végétaux est une solution nutritive solidifiée ou non avec de la gélose. Ce milieu contient des éléments minéraux (macro et micro-éléments), des sucres et des vitamines indispensables au développement de la plante (Murashige & Skoog, 1962). Les macro-éléments sont au nombre de 6 (l'azote, le calcium, le potassium, le soufre, le magnésium et le phosphore) et doivent être présents à forte concentration dans le milieu de culture. Les micro-éléments (encore appelés oligo-éléments) sont eux exigés en faible quantité ; ce qui n'empêche leur rôle fondamental dans le développement de la plante. Ce sont, entre autres, le fer, le cuivre, le zinc, le bore et le chlore. Les sucres ont pour rôle de fournir une source de carbone. Dans la nature, ils sont produits par la plante grâce à la photosynthèse.

Afin d'optimiser la croissance et le développement des plantes cultivées *in vitro*, des régulateurs de croissance (hormones) comme les auxines (ANA, AIA, AIB, *etc.*), les cytokinines (BAP, kinétine, zéatine, *etc.*), les gibbérellines, qui agissent sur la multiplication cellulaire et l'augmentation de la taille des cellules peuvent, avec un dosage judicieux, être ajoutés dans les milieux de culture (Ahanhanzo *et al.*, 2008).

Chez le manioc, plusieurs milieux de culture avec ou sans hormones sont utilisés pour la multiplication *in vitro*. En effet, Boher (1988) a testé les solutions nutritives de Shive & Robbins (1942) et Murashige & Skoog (1962) en utilisant différentes concentrations et combinaisons hormonales (BAP 0.5 mg/L + ANA 0.1 mg/L ; AIB 0.2 mg/L) pour étudier les potentiels morphogénétiques de différentes variétés de manioc.

2.4.2. Microbouturage *in vitro*

Le microbouturage *in vitro* du manioc est une méthode de multiplication végétative rapide. Elle aboutit généralement à une reproduction conforme de milliers de plants. Elle comprend un ensemble de méthodes faisant intervenir, d'une part des éléments d'asepsie, et d'autre part, la mise en place d'un environnement parfaitement contrôlé (milieux définis pour chaque type de plante, conditions optimales de température, de lumière, d'humidité, *etc.*). Elle permet aussi l'élimination d'organismes pathogènes et la multiplication rapide des meilleures variétés (Theiler-Hedtrich & Badoux, 1986). En outre, la culture de tissus végétaux offre de

nombreux avantages pratiques en permettant une propagation rapide des clones de plantes (Murashige, 1974). Le stade de développement est un des aspects les plus importants dans la micropropagation des espèces ligneuses. Les explants juvéniles ou rejuvénilisés s'organisent mieux en culture *in vitro* que ceux provenant de matériel adulte (Walali Loudyi, 1993). La micropropagation des espèces ligneuses est réalisée selon les étapes classiques de mise en culture (multiplication, enracinement, acclimatation). Les explants initiaux sont souvent des apex prélevés sur des plantes mobilisées en serre pour limiter les risques de contaminations.

La néoformation de racines adventives ainsi que leur développement en un système racinaire fonctionnel et vigoureux est nécessaire pour le sevrage des boutures d'espèces ligneuses (Monteuuis & Bon, 1985). Au cours des subcultures à intervalles réguliers en phase de multiplication, les tissus acquièrent une sensibilité aux régulateurs de croissance, ce qui se traduit par une rhizogénèse active en phase rhizogène (Franclet, 1981; Sriskandarajah *et al.*, 1982). Mais, l'étape d'enracinement a longtemps été considérée comme un facteur limitant de la micropropagation des espèces ligneuses. Toutefois, des progrès ont été accomplis grâce à l'optimisation des conditions de milieu à savoir l'augmentation de la concentration auxinique et son temps d'application. Des adjuvants de type charbon actif, composés phénoliques ainsi que la modification des conditions de culture par l'emploi de milieu liquide ont contribué à améliorer l'enracinement *in vitro* des ligneux (Nemeth, 1986).

L'enracinement se déroule en trois étapes : l'induction, l'activité cellulaire et l'organisation des primordiums puis l'expression racinaire (Walali Loudyi, 1993 ; Sané *et al.*, 2000). L'induction se fait à l'obscurité en présence de fortes concentrations d'auxine ; l'auxine la plus active est généralement l'AIB ou l'AIA incorporé dans le milieu de culture, plus rarement l'ANA. La dilution des macro-éléments et la diminution de la teneur en saccharose (10 à 20 g.L⁻¹) valorisent l'effet de l'auxine qui se traduit par une diminution ou une absence de callogenèse (Walali Loudyi, 1993).

2.4.3. Sevrage ex vitro ou acclimatation

Malgré la présence de chlorophylle dans leurs feuilles, les plants produits *in vitro* résistent mal à un transfert direct dans un environnement naturel. En effet, elles possèdent rarement une activité photosynthétique car les enzymes responsables de la photosynthèse sont absentes ou inactives (Grout & Aston, 1977). Elles deviennent alors vulnérables à chaque déficience de

l'environnement, surtout en eau. En effet, ces plantes propagées *in vitro* ne peuvent se développer qu'en présence d'une humidité élevée, leurs feuilles ayant des cellules en palissade avec de grands espaces de type lacunes entre elles (Brainerd *et al.*, 1981). Par ailleurs, ces feuilles possèdent très peu ou pas de cires protectrices dans la cuticule ; ce qui les rend plus susceptibles à la déshydratation (Grout & Aston, 1977), d'où la nécessité d'utiliser une mini serre pour l'acclimatation de ces jeunes plantes. Cette morphologie atypique provoque une plus grande sensibilité aux pertes en eau et une susceptibilité particulière aux attaques de pathogènes (Esau, 1977). Du fait de ces caractéristiques, le contrôle du processus d'adaptation des plantes produites *in vitro* est nécessaire pour limiter les pertes en eau et avoir un bon niveau de survie après reprise (Carreto, 1992).

L'application foliaire de substances nutritives peut être bénéfique car elle permet non seulement de fournir aux plantes des éléments nutritifs mais aussi de prévenir la déshydratation (Yie & Liaw, 1977). Pour prévenir les attaques par des champignons, les fongicides sont systématiquement utilisés pendant le processus d'adaptation soit en application directe sur les plantes soit en les mélangeant aux substrats (Carreto, 1992). Selon cet auteur, pour la majorité des espèces végétales, les mélanges de substrats sont bénéfiques lors de la phase d'acclimatation (agrolite, vermiculite, tourbe, sable, *etc.*). Il est aussi important que le substrat soit poreux, avec un bon pouvoir drainant, une bonne aération et un pH élevé. L'arrosage des plantes avec des substances nutritives facilite la survie des plantes et améliore leur vigueur.

2.4.5. Passage au champ

Les techniques de culture *in vitro* doivent aboutir à la production de plants sains et vigoureux. Cependant, si ces techniques nécessitent une précision et des soins tous particuliers en laboratoire, le sevrage de ces plants et leur adaptation au champ doivent aussi être suivis de près (Carreto, 1992).

Les vitroplants de manioc sevrés puis transférés au champ doivent être arrosés tous les jours pendant un à deux mois. Dans ces conditions, on peut obtenir en huit mois de culture, des plants de 2 à 2,50 m de haut, aoûtés sur 1,80 à 2 m, chaque tige pouvant fournir entre 8 et 10 boutures (Boher, 1988).

CHAPITRE II

**ETUDE COMPARATIVE DE VARIETES DE MANIOC SELON
LEUR SENSIBILITE AUX TERMITES RAVAGEURS DES
BOUTURES DANS LE DEPARTEMENT DE TIVAOUANE
(SENEGAL)**

CHAPITRE II : ETUDE COMPARATIVE DE VARIETES DE MANIOC SELON LEUR SENSIBILITE AUX TERMITES RAVAGEURS DES BOUTURES DANS LE DEPARTEMENT DE TIVAOUANE (SENEGAL)

INTRODUCTION

Incapables de se déplacer, les plantes sont soumises dans leur environnement à une multitude de stress biotiques et abiotiques. Pour faire face aux différentes menaces dont elles sont victimes dans leur milieu, notamment celles représentées par les arthropodes phytophages, elles ont développé au cours de leur évolution tout un panel de stratégies défensives leur permettant de réduire ou de limiter les dégâts occasionnés par de tels organismes (Liettier *et al.*, 2013).

Ces stratégies de défense qui peuvent être actives ou passives se traduisent chez les différentes espèces végétales par des niveaux de résistance ou de tolérance spécifique. Chez différents cultivars d'une même espèce, on parle de sensibilité, de vulnérabilité, de résistance ou de tolérance variétale vis-à-vis de ces contraintes.

L'usage de la résistance variétale des plantes est relativement ancien. En effet, les premiers cultivars résistants ont été décrits aux Etats Unis aux 18^{ème} et 19^{ème} siècles. Il s'agissait de variétés de blé résistantes à la mouche de Hesse *Mayetiola destructor* (Diptera, Cecidomyiidae) et de variétés de pommier résistantes au puceron lanigère *Eriosoma lanigerum* (Sternorrhyncha, Aphididae). Les travaux sur la résistance des plantes ne se développent pourtant pleinement qu'au 20^{ème} siècle après la découverte des lois de l'hérédité de Mendel. Ils reposent à la fois sur des connaissances fondamentales en génétique classique et sur des méthodes de sélection et d'hybridation des plantes (Sauvion *et al.*, 2013).

Selon Painter (1951), la résistance des plantes vis-à-vis des insectes ravageurs se manifeste selon trois modalités dont la tolérance. Celle-ci n'agit pas sur les insectes mais sur la capacité de la plante à supporter les dégâts infligés par ces organismes.

Chez le manioc, il existe une multitude de variétés différentes entre elles par plusieurs paramètres. Certaines de ces variétés sont plus que d'autres vulnérables aux anomalies abiotiques, maladies et/ou ravageurs, selon Aichatou (2006).

Au Sénégal, l'établissement d'un programme de sélection clonale de manioc par le Centre pour le Développement de l'Horticulture (CDH) en 1984 pour une durée de 6 ans, avait pour but

principal de trouver des variétés à hauts rendements, résistantes à la sécheresse, à la mosaïque africaine du manioc et à la cochenille farineuse et adaptées à diverses écologies (ISRA/CDH, 1987). Au sortir du programme, 20 clones de manioc ont été retenus suite à plusieurs expérimentations effectuées en conditions irriguées au CDH et en milieu paysan dans les trois localités : Nguérigne (Thiès), Keur Mbir Ndaw (Mboro) et Niaguiss (Casamance).

Aujourd'hui encore, la culture du manioc au Sénégal se retrouve confrontée à une menace qui gagne de plus en plus d'ampleur. Il s'agit de l'attaque, comme chez les arbres fruitiers dans les régions de Dakar, Thiès, Saint-Louis et Casamance (Roy-Noël, 1974 ; Ndiaye et Han, 2000 ; 2002), des boutures de manioc par les termites ravageurs.

L'objectif visé dans ce chapitre a été d'identifier les différentes espèces de termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane et de sélectionner des variétés tolérantes à leur action. Pour ce faire, nous avons cherché à (i) connaître la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques de ces termites ravageurs des boutures dans la zone et (ii) évaluer la sensibilité variétale de cette espèce vis-à-vis de ces insectes.

I. MATERIEL ET METHODES

A. Etude en milieu paysan

1. Zone d'étude

Notre zone d'étude (Figure 4) est composée de 6 localités rurales situées dans le département de Tivaouane. L'étude a été effectuée dans 19 plantations paysannes de manioc répartis dans les différentes localités comme suit : 3 champs à Keur Baka, 3 à Andal, 2 à Tivaouane, 6 à Thiallé, 3 à Mbayène et 2 champs à Méouane.

D'un point de vue climatique, cette zone se caractérise par l'alternance d'une saison pluvieuse de 3 à 4 mois et d'une saison sèche qui dure 9 mois en moyenne. La saison pluvieuse débute en juillet et se termine en octobre. L'évolution est unimodale avec un seul maximum au mois d'août. Les trois mois d'hivernage (juillet, août, septembre) concentrent plus de 85% des pluies (ANACIM, 2012). Les mois de décembre, janvier, février et mars connaissent parfois des pluies faibles appelées pluies de *Heug*. Les températures sont élevées toute l'année et varient suivant les saisons entre 31 et 35°C (Tableau 3). Les sols sont de types *dior*, *deck dior*, hydromorphes et les sols peu évolués (Fall *et al.*, 2001).

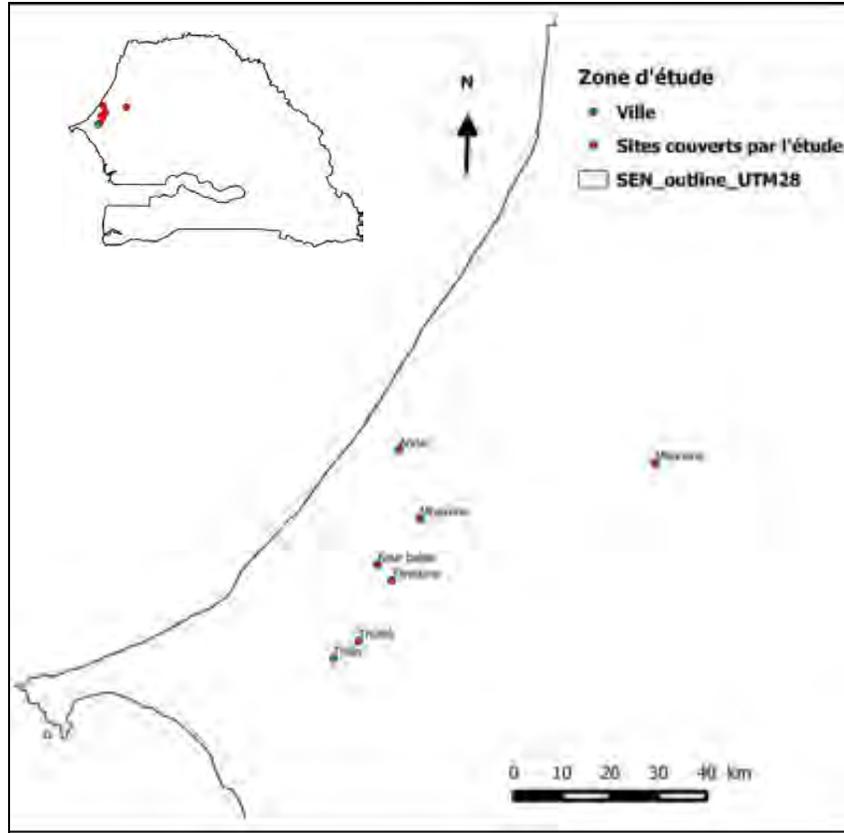


Figure 4 : Situation géographique de la zone d'étude en milieu paysan

Tableau 3 : Données climatiques exprimées en moyennes mensuelles enregistrées dans le département de Tivaouane en 2012

| | Janv | Fev | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| P (mm) | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 67,5 | 111,0 | 41,8 | 13,4 | 0 | 0 |
| T max (°C) | 31,2 | 31,1 | 34,1 | 30,8 | 33,9 | 32,1 | 32,4 | 34,9 | 31,8 | 34,7 | 33,5 | 32,5 |
| T min (°C) | 18,2 | 18,3 | 19,7 | 19,8 | 22,7 | 27,7 | 24,3 | 28,1 | 17,6 | 25,8 | 23,4 | 17,8 |
| H max (%) | 66 | 77 | 71 | 86 | 87 | 87 | 91 | 94 | 93 | 95 | 88 | 71 |
| H min (%) | 17 | 27 | 26 | 39 | 39 | 48 | 60 | 70 | 69 | 59 | 44 | 17 |

Source : ANACIM

Légende : P = Pluviométrie ; T = Température ; H = Humidité relative ; max = maximale ; min = minimale

2. Matériel végétal

Le matériel végétal a été étudié dans 14 plantations paysannes de manioc repiquées au mois de juillet et 5 repiquées au mois de septembre, après 2 mois de culture.

Chacune des plantations étudiées était repiquée d'une seule parmi les 8 variétés de manioc Soya, Kombo, Niargi, Cololi, Nigeria et Wallet qui sont locales, et Cacau et Cacau roja qui sont originaires du Brésil. Les 14 champs repiqués au mois de juillet ont été composés d'1 champ de chacune des variétés Nigeria, Cacau et Cacau roja à Keur baka, 2 champs de la variété Nigeria, 2 de Soya et 1 de Niargi à Thiallé, 1 champ de Soya à Méouane, 1 de Niargi à Tivaouane, 2 champs de Niargi à Andal et 1 champ de chacune des variétés Wallet et Kombo à Mbayène. Concernant les 5 champs repiqués au mois de septembre, ils étaient constitués d'1 champ de chacune des variétés Nigeria, Soya, Niargi, Wallet et Kombo à Tivaouane, Thiallé, Andal, Méouane et Mbayène respectivement.

La caractérisation de ces différentes variétés de manioc, à partir d'une expérimentation mise en place au CDH (localisation: latitude = 14°45'3''Nord ; longitude = -17°-24'-41''Ouest ; T moyenne = 30,631°C ; HR moyenne = 68,402%), est consignée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Caractérisation des différentes variétés de manioc étudiées

| Variétés | Caractéristiques |
|------------|---|
| Soya | LT* : 176,13 cm ; CT : gris ; DT* : 1,93 cm ; CP : rouge ; CEIT : rougeâtre ; Rdts : 13,37 t/ha ; RMAM : - |
| Kombo | LT* : 180,39 cm ; CT : gris ; DT* : 2,37 cm ; CP : rouge ; CEIT : rougeâtre ; Rdts : 7,53 t/ha ; RMAM : - ; TCF : - |
| Niargi | LT* : 116,18 cm ; CT : gris ; DT* : 2,01 cm ; CP : rouge ; CEIT : rougeâtre ; Rdts : 15.12 t/ha ; RMAM : + |
| Cololi | LT* : 191,08 cm ; CT : gris ; DT* : 1,8 cm ; CP : rouge ; CEIT : blanchâtre ; Rdts : 75 t/ha ; RMAM : + ; TCF : + |
| Nigeria | LT* : 88,3 cm ; CT : verdâtre ; DT* : 2,11 cm ; CP : vert ; CEIT : blanchâtre ; Rdts : 58,08 t/ha ; RMAM : + ; TCF : + |
| Wallet | LT* : 168,37 cm ; CT : gris ; DT* : 2,31 cm ; CP : rouge ; CEIT : rougeâtre ; Rdts : 6,2 t/ha ; RMAM : + |
| Cacau | LT* : 208,10 cm ; CT : gris ; DT* : 2,23 cm ; CP : rouge ; CEIT : blanchâtre ; Rdts : 33,6 t/ha ; RMAM : + |
| Cacau roja | LT* : 213,06 cm ; CT : rouge ; DT* : 2,21 cm ; CP : rouge ; CEIT : rougeâtre ; Rdts : 28,59 t/ha ; RMAM : - |

Légende : LT = longueur moyenne des tiges, CT = couleur de la tige, DT = diamètre moyen des tiges, CP = couleur des pétioles, CEIT = couleur de l'épiderme inférieur des tubercules, Rdts = rendements moyens, RMAM = résistance à la mosaïque africaine du manioc, TCF = tolérance à la cochenille farineuse + = résistante, - = sensible, * = à 8 mois de culture.

3. Méthodes

3.1. Choix des champs étudiés

Les champs de manioc dans lesquels notre étude a été menée ont été choisis sur la base de critères de repiquage univariétal, d'infestation par les termites et d'absence de traitements chimiques. L'infestation des champs par les termites était détectée grâce à l'observation de la présence de ces insectes et/ou de leurs traces d'activités au niveau des boutures de manioc repiquées, sur les végétaux ou débris végétaux présents dans les champs et/ou au niveau du sol (Planche 10).



Planche 10 : Quelques signes de présence et d'activité des termites dans les champs de manioc dans le département de Tivaouane

A : Nid de termites dans un champ de manioc à Andal

B : Bouture de manioc attaquée par les termites à Andal

C : Débris végétaux attaqués par les termites à Mbayène

D : Traces d'activité des termites sur un tronc de manguier à Méouane

3.2. Paramètres étudiés

Les paramètres étudiés sont la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc dans la zone d'étude, l'incidence d'attaque des boutures par les termites et le taux de mortalité des boutures sous l'action de ces insectes.

3.3. Méthodes d'évaluation des paramètres

3.3.1. *Evaluation de la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures*

L'évaluation de la diversité spécifique des termites consistait en une collecte d'individus (Planche 11 A) chez les boutures de manioc attaquées suivie d'une identification de ces ravageurs en laboratoire. Cette identification a été effectuée grâce à des observations à la loupe sur des ouvriers et surtout sur des soldats des différentes espèces de termites. Les résultats obtenus ont été confirmés au Laboratoire d'Entomologie de l'IFAN de l'UCAD (Sénégal).



Planche 11 : Etapes préliminaires de l'identification des termites

A : Collecte de termites à partir des boutures de manioc attaquées en milieu paysan

B : Termites conservés en tubes remplis d'alcool 75% pour identification au laboratoire

La distribution de chaque espèce de termites ravageurs des boutures a été déterminée grâce à une étude de sa présence dans les champs de manioc des différentes localités. Dans chacune de ces localités, la fréquence d'une espèce donnée a été évaluée grâce à une détermination du pourcentage d'individus (F) collectés sur un échantillon de 32 boutures présentant des signes d'attaque dans 2 champs de manioc choisis au hasard (soit 16 boutures par champ) en utilisant la méthode de Jones et Eggleton (2000). Il s'agissait de prospecter chaque échantillon de la manière

la plus efficace possible afin de collecter tous les individus de termites présents et de déterminer la fréquence de chaque espèce rencontrée en utilisant l'échelle : $n < 10$: espèce très rare ; $10 < n < 20$: espèce accidentelle ; $20 < n < 40$: espèce accessoire ; $40 < n < 60$: espèce assez fréquente ; $60 < n < 80$: espèce fréquente ; $n > 80$: espèce très fréquente ; et la formule :

$$F (\%) = \frac{n_i}{N} \times 100$$

avec n_i : nombre de termites de l'espèce i
et N : nombre total de termites collectés dans l'échantillon considéré

3.3.2. Evaluation de l'incidence d'attaque des boutures par les termites

L'évaluation de l'incidence a été effectuée dans les différents champs de manioc grâce à une détermination du pourcentage de boutures présentant des signes d'attaque par les termites. La procédure de détermination a consisté à considérer un échantillon constitué de 10 sous-échantillons composés chacun de 10 boutures successives sur 8 lignes choisies au hasard dans chaque champ de manioc, puis d'en calculer l'incidence d'attaque en utilisant la formule :

$$I (\%) = \frac{NA}{NT} \times 100$$

avec I : incidence d'attaque, NA : nombre de boutures présentant des signes d'attaque par les termites dans l'échantillon considéré et NT : nombre total de boutures repiquées dans l'échantillon considéré.

3.3.3. Evaluation du taux de mortalité des boutures sous l'action des termites

Le taux de mortalité a été évalué grâce une détermination du pourcentage de boutures mortes sous l'action des termites ravageurs dans les différents champs de manioc. La procédure de détermination a été la même que celle de l'incidence. Il était calculé en utilisant la formule ci-dessous : $TM (\%) = \frac{NM}{NT} \times 100$ avec TM : taux de mortalité, NM : nombre de boutures mortes sous l'action des termites dans l'échantillon considéré et NT : nombre total de boutures initialement repiquées dans l'échantillon considéré.

B. Etude en parcelle expérimentale

1. Site expérimental

Notre expérimentation a été effectuée à la périphérie de Tivaouane en terrain sablo-argileux (localisation: latitude = 14°46'24''Nord ; longitude = -16°-57'-33''Ouest) fortement infesté par

les termites (Planche 12 A). L'échantillonnage pré-repiquage de la parcelle expérimentale, par la « méthode des placeaux » (Gbenyedji *et al.*, 2011), suivi de l'identification en laboratoire des termites collectés a révélé la forte présence d'une seule espèce : *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*.

La température et l'humidité relative moyennes ambiantes enregistrées dans cette parcelle expérimentale ont été respectivement de 29,88°C et 77,326%.



Planche 12 : Choix du site et mise en place de la parcelle expérimentale

A : Signes d'activité des termites sur la parcelle expérimentale

B : Bouture de la variété Cacao repiquée dans la parcelle expérimentale

2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de boutures de manioc de 18 mm de calibre et longues de 15 cm issues des 8 variétés déjà étudiées en plantations paysannes, après 8 mois de culture.

3. Méthodes

3.1. Dispositif et méthode expérimentaux

Le dispositif expérimental a été en bloc complet randomisé avec 4 répétitions (Figure 5). Les boutures ont été plantées verticalement à environ 4 cm de profondeur et un écartement de 1 m entre elles sur une même ligne et de 1,5 m entre les lignes. Chaque variété a été repiquée sur une seule ligne composée de 8 boutures dans chaque répétition. Elles ont été arrosées à raison d'1 l par bouture tous les 2 jours durant les 15 premiers jours de culture et d'1/2 L durant les 15 jours suivants.

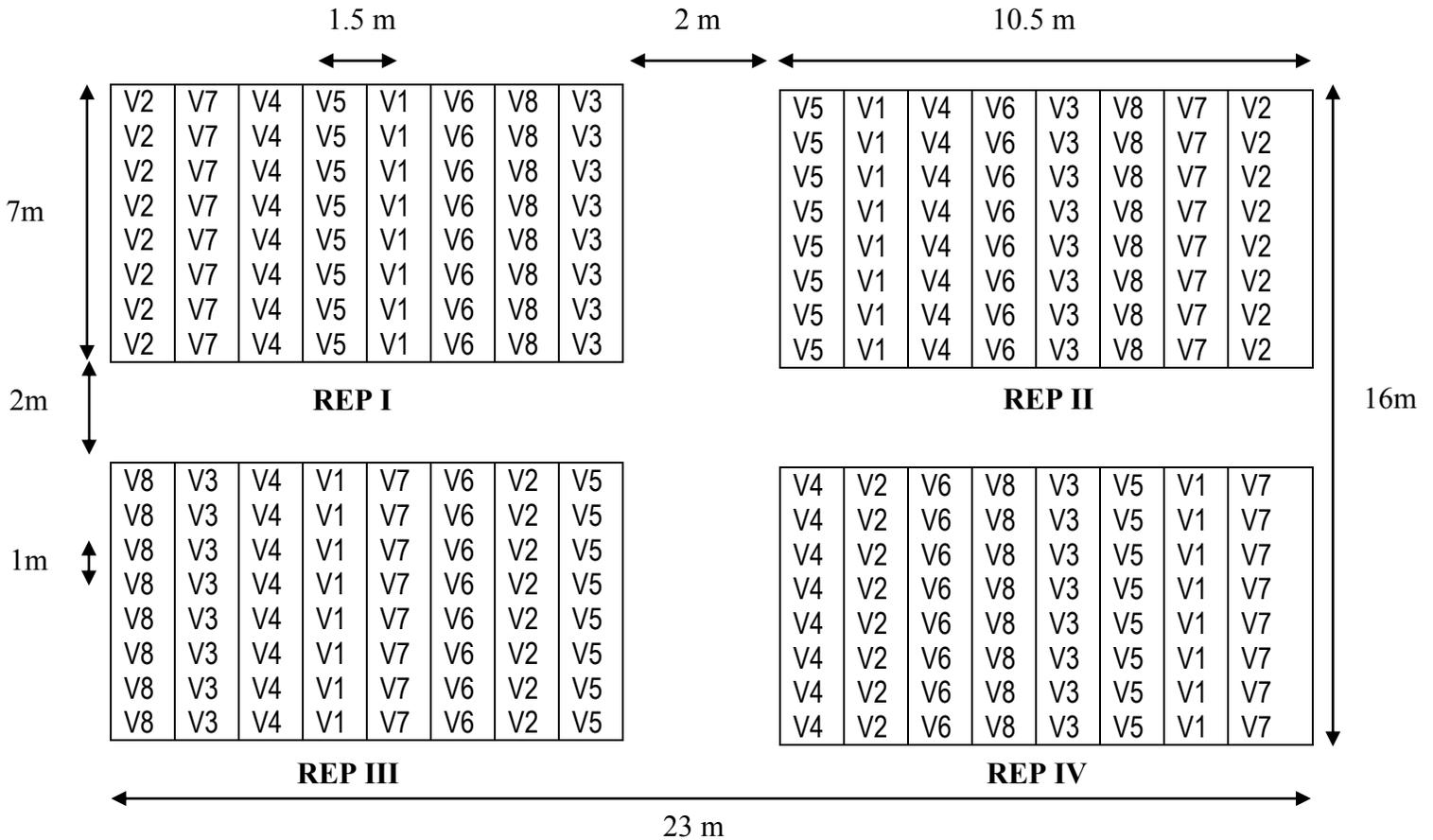


Figure 5: Schéma du dispositif en parcelle expérimentale.

Légende : REP = Répétition ; V = Variété

3.2. Paramètre étudié et méthode d'évaluation

Le paramètre étudié a été la sévérité d'attaque des boutures de manioc par les termites. Elle a été déterminée chez chaque variété grâce à une évaluation du degré d'attaque des boutures par les termites. Elle a été évaluée tous les 15 jours jusqu'à atteinte d'un maximum ou absence d'évolution, en utilisant la formule de calcul :

$$S(\%) = \frac{X1(1 - 1) + X2(2 - 1) + X3(3 - 1) + X4(4 - 1) + X5(5 - 1)}{Y(5 - 1)} \times 100$$

S = Sévérité d'attaque

x_i = nombre de boutures de la classe i

i = 1 : absence d'attaque

i = 2 : attaque légère

i = 3 : attaque moyenne

i = 4 : attaque sévère

i = 5 : attaque mortelle

Y = nombre de boutures de chaque variété (= 32)

3.4. Analyse statistique

Des données collectées sur cette étude ont été saisies sur Excel et analysées avec le logiciel Costat. Elles ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) et une comparaison des moyennes en utilisant le test de Student, Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5%. Les résultats obtenus ont été confirmés en utilisant le logiciel de référence R.

II. RESULTATS

1. Diversité, distribution et fréquence spécifique des termites ravageurs des boutures de manioc dans la zone d'étude

L'analyse des caractères morphologiques des termites ravageurs des boutures de manioc collectés en plantations paysannes dans le département de Tivaouane a permis d'identifier 5 espèces différentes appartenant toutes à la famille des Termitidés. Il s'agit des espèces *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* (Termitidae, Macrotermitinae), *Macrotermes sibhyanus* (Termitidae, Macrotermitinae), *Amitermes evuncifer* (Termitidae, Termitinae), *Psammotermes hybostoma* (Termitidae, Psammotermatinae) et *Microtermes lepidus* (Termitidae, Microtermitinae) (Planche 13).

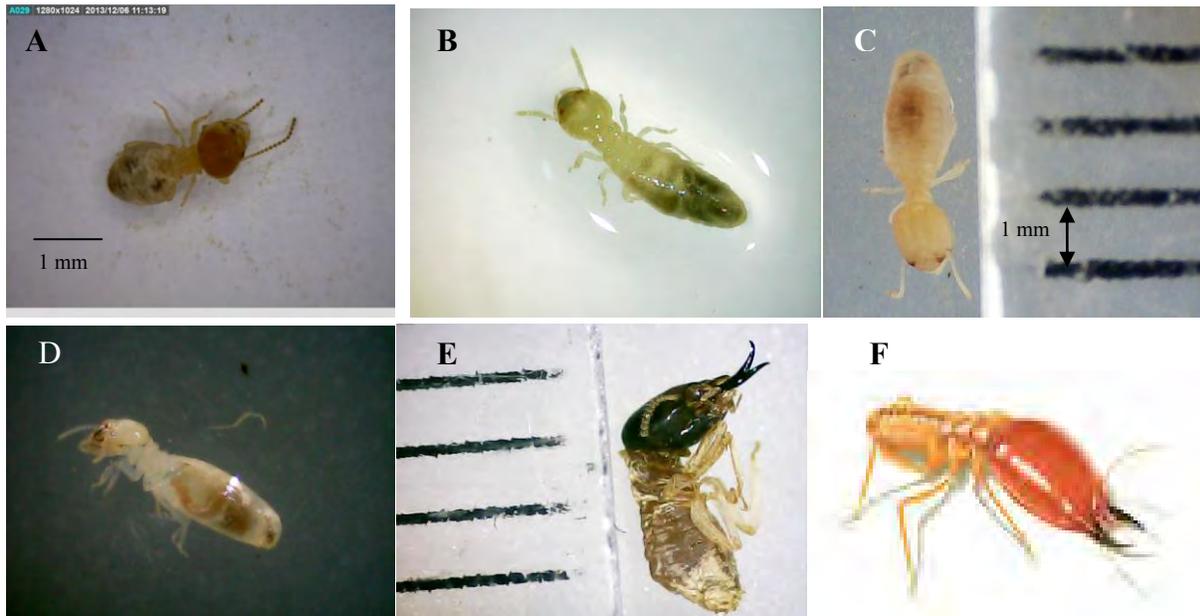


Planche 13 : Espèces de termites ravageurs des boutures de manioc en milieu paysan dans le département de Tivaouane

A : Ouvrier *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, B : Ouvrier *Amitermes evuncifer*, C : Ouvrier *Microtermes lepidus*
 D : Ouvrier *Psammotermes hybostoma*, E : Soldat *O.* sp. aff. *erraticus*, F : Soldat *Macrotermes sibhyanus*

L'étude de la répartition spécifique des termites a révélé une large prédominance de l'espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* qui représente 69,45% de l'effectif de ces ravageurs dans l'ensemble de la zone d'étude, avec en moyennes 97,47 ; 89,48 ; 66,76 ; 64,38 ; 63,61 et 51,13% de fréquence à Keur Bakar, Méouane, Thiallé, Tivaouane, Andal et Mbayène respectivement. Elle est suivie de l'espèce *Macrotermes sibhyalinus* avec 39,18 ; 21,13 ; 19,67 ; 10,51 et 9,12% à Mbayène, Andal, Thiallé, Méouane et Tivaouane respectivement, soit une fréquence moyenne de 17,63% dans l'ensemble de la zone étudiée. En revanche, les espèces *Microtermes lepidus*, *Psammotermes hybostoma* et *Amitermes evuncifer* se sont révélées moins fréquentes dans les plantations de manioc étudiées avec respectivement 1,54 ; 2,24 et 9,12% de fréquence (Figure 6).

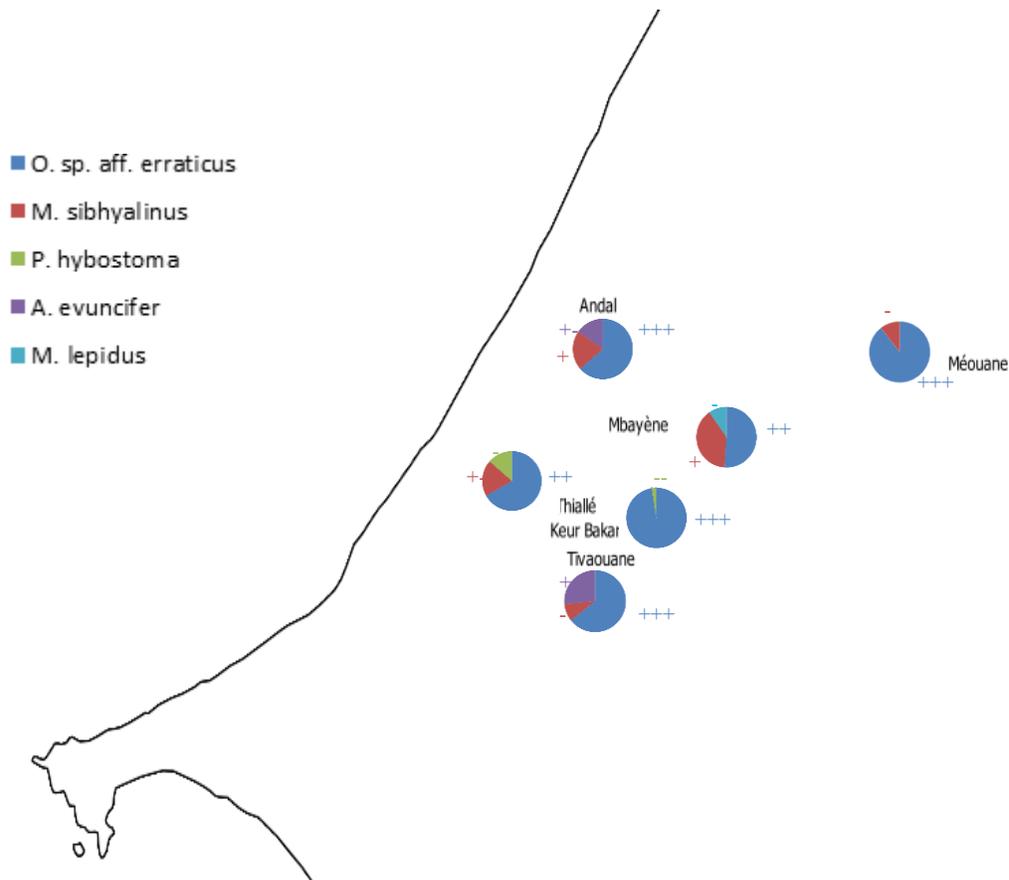


Figure 6 : Dispersion et fréquence spécifique des termites ravageurs des boutures de manioc en milieu paysan dans le département de Tivaouane.

Légende: +++ : espèce très fréquente ; ++ : fréquente ; + : assez fréquente ; +- : accessoire ; - : accidentelle ; -- : très rare

2. Influence de la variété sur la sensibilité du manioc aux termites ravageurs des boutures en milieu paysan dans le département de Tivaouane

L'incidence d'attaque des boutures de manioc par les termites est variable suivant les différentes variétés cultivées dans le département de Tivaouane. Dans notre étude, nous avons pu constater que les variétés Wallet, Kombo et Nigéria ont présenté les plus importantes incidences d'attaque qui ont pu atteindre respectivement 73,07 ; 70,73 et 61,06% dans 3 plantations du mois de Septembre à Mbayène et Tivaouane.

Ces variétés ont également présenté les taux de mortalité les plus élevés des boutures sous l'action des termites avec respectivement 34,61 à Méouane ; 27,65 à Mbayène et 16,12 % à Tivaouane (Tableaux 5 et 6). Les variétés Soya, Niargi, Cacao rosa et Cacao ont été par contre moins attaquées par les termites. En effet, nous avons pu observer 0% de taux de mortalité des boutures chez les variétés Cacao, Cacao rosa et Soya dans 4 plantations du mois de juillet à Keur Bakar et Thiallé (Tableau 5).

Tableau 5 : Influence de la variété sur la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures dans les champs repiqués au mois de juillet, après 2 mois de culture

| Variété | Localité | Dimension du champ (m ²) | I (%) | TM (%) |
|------------|------------|--------------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Keur Bakar | 16928 | 48,10 | 12,65 |
| Nigeria | Thiallé | 10112 | 31,25 | 14,06 |
| Nigeria | Thiallé | 3968 | 38,70 | 8,64 |
| Cacao rosa | Keur Bakar | 585 | 16,66 | 0,00 |
| Cacao | Keur Bakar | 1125 | 16,00 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 9900 | 2,23 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 1154 | 9,20 | 1,53 |
| Soya | Méouane | 10556 | 1,09 | 0,00 |
| Niargi | Thiallé | 3854 | 19,14 | 7,31 |
| Niargi | Tivaouane | 2170 | 14,25 | 5,70 |
| Niargi | Andal | 3780 | 16,66 | 9,52 |
| Niargi | Andal | 1702 | 11,11 | 5,55 |
| Wallet | Mbayène | 13104 | 66,66 | 24,35 |
| Kombo | Mbayène | 10988 | 61,70 | 27,65 |

Légende : I = Incidence d'attaque des boutures par les termites ; TM = Taux de mortalité des boutures due aux termites

Tableau 6 : Influence de la variété sur la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures dans les champs repiqués au mois de septembre, après 2 mois de culture

| Variété | Localité | Dimension du champ (m ²) | I (%) | TM (%) |
|---------|-----------|--------------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Tivaouane | 7006 | 61,06 | 16,12 |
| Soya | Thiallé | 21465 | 6,62 | 1,46 |
| Niargi | Andal | 2886 | 33,33 | 16,66 |
| Wallet | Méouane | 3900 | 73,07 | 34,61 |
| Kombo | Mbayène | 1706 | 70,73 | 23,17 |

Légende : I = Incidence d'attaque des boutures par les termites ; TM = Taux de mortalité des boutures due aux termites.

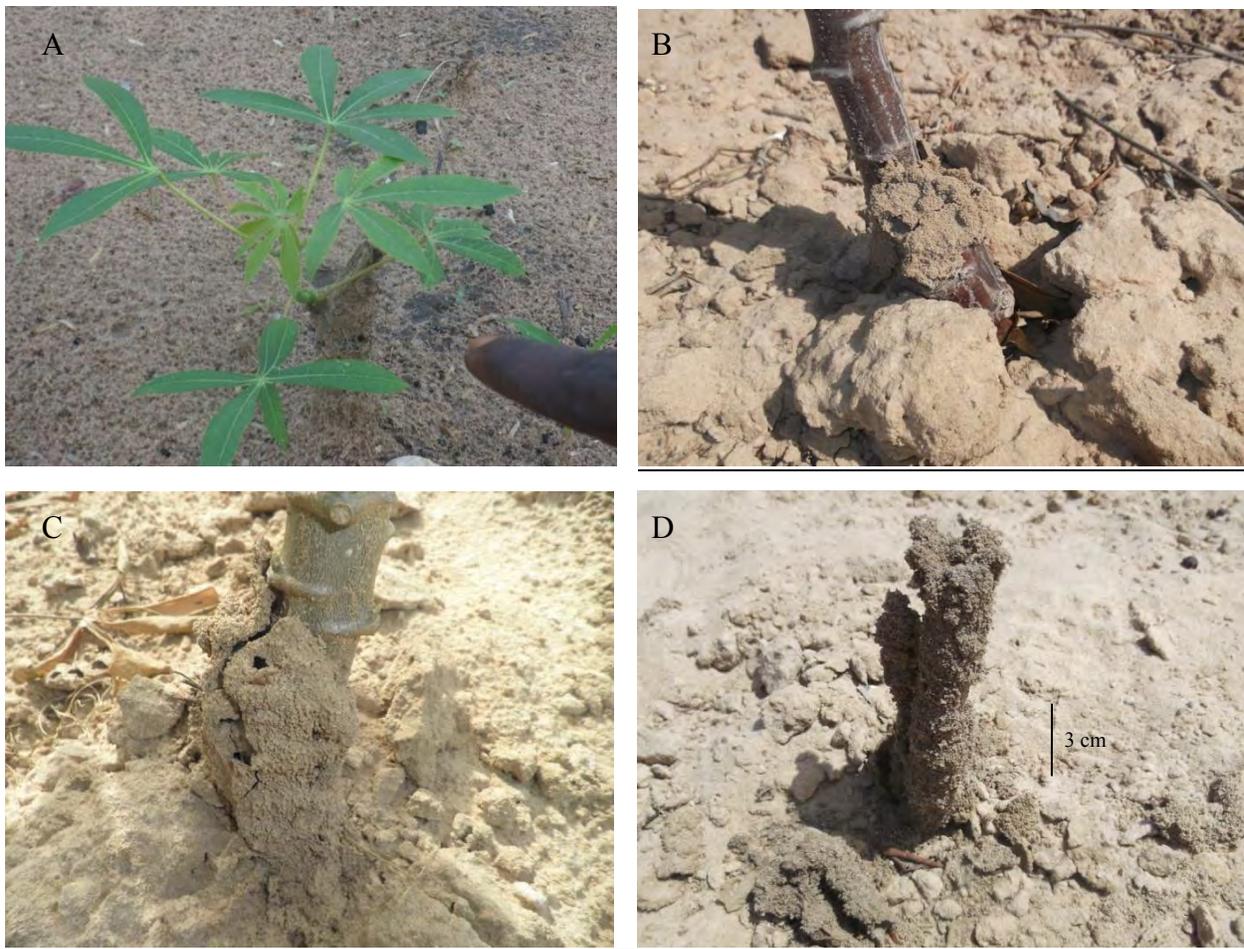


Planche 14 : Niveaux de vulnérabilité de différentes variétés de manioc à l'attaque des termites ravageurs boutures en plantations paysannes dans le département de Tivaouane

A : Bouture de Cacau tolérante à l'attaque des termites à Thiallé

B : Bouture de Cololi tolérante à l'attaque des termites dans un champs de manioc à Méouane

C : Bouture de Soya tolérante à l'attaque des termites dans un champs de manioc à Thiallé

D : Bouture de Wallet ravagée par les termites dans un champ de manioc à Mbayène

3. Influence de la variété sur la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures en parcelle expérimentale

La figure 7 montre qu'en parcelle expérimentale, l'attaque des termites sur les boutures des différentes variétés de manioc a été progressive et plus sévère chez certaines variétés que chez d'autres. Ainsi, nous avons pu constater que la sévérité d'attaque des boutures a été plus élevée chez les variétés Wallet, Kombo et Nigeria avec respectivement 100, 78,12 et 56,25% après 45 jours de culture. Par contre les variétés Cacau roja, Cacau, Cololi, Soya et Niargi ont été moins sévèrement attaquées par les termites. En effet, aucune bouture de la variété Cacau roja n'a présenté des signes d'attaque pendant un mois et demi de culture.

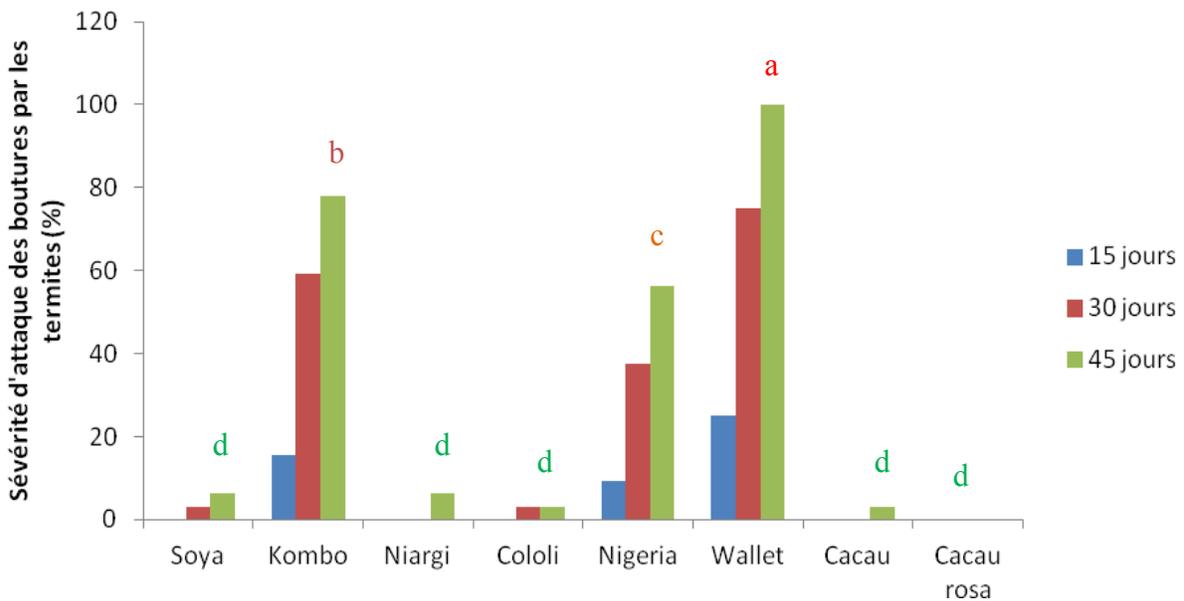


Figure 7 : Evolution de la sévérité d'attaque des 8 variétés de manioc par les termites ravageurs des boutures en parcelle expérimentale pendant 45 jours de culture

L'analyse de variance a permis de montrer que la variation de la sévérité d'attaque des boutures par les termites en parcelle expérimentale est significative ($F = 10.624$; $P = 0.000$) entre les 8 variétés de manioc étudiées. La comparaison des moyennes a permis de classer ces différentes variétés en 4 groupes homogènes : a (Wallet), b (Kombo), c (Nigeria) et d (Soya, Niargi, Cololi, Cacau et Cacau roja).

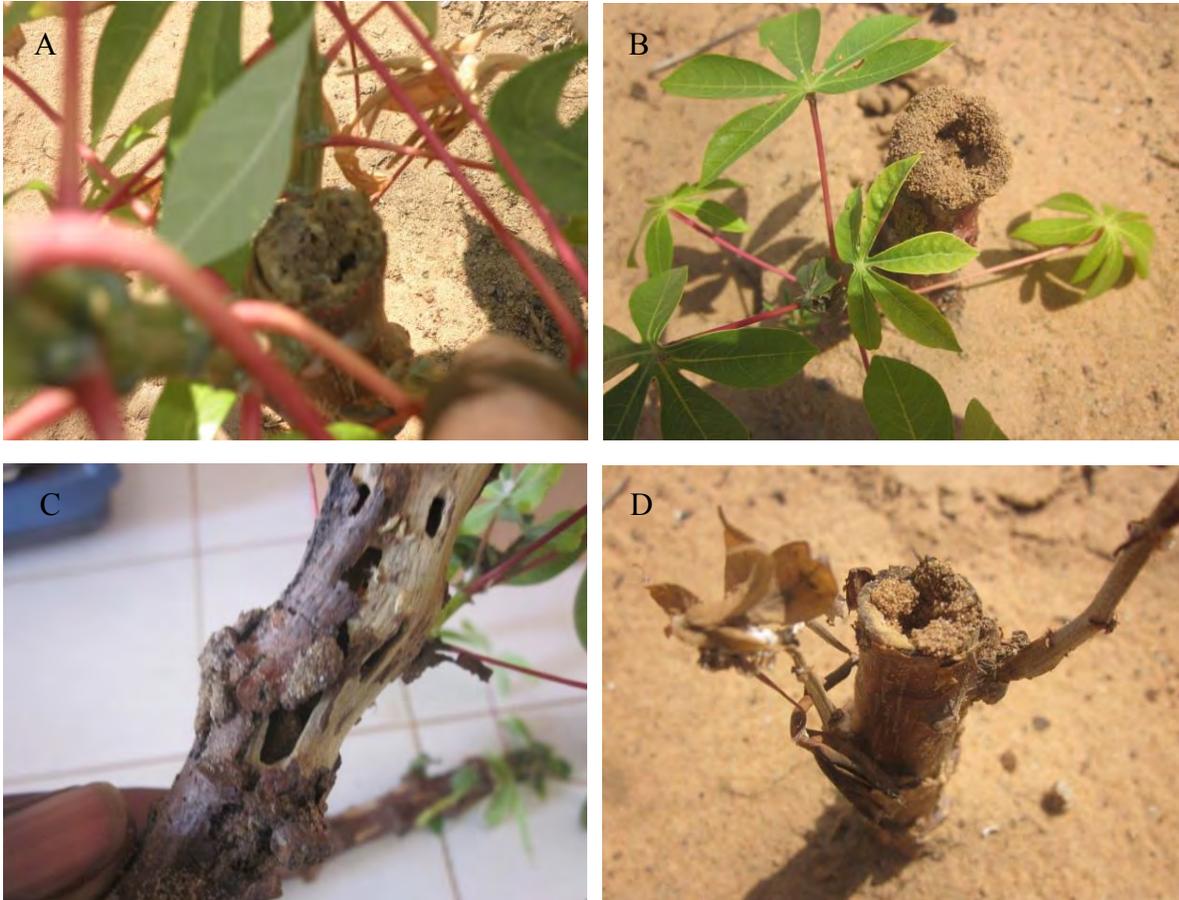


Planche 15 : Niveaux de sévérité d'attaque des boutures de manioc par les termites après 45 jours de culture en parcelle expérimentale

A : sévérité légère (i = 2), B : sévérité moyenne (i = 3), C : sévérité élevée (i = 4), D : sévérité mortelle (i = 5)

III. DISCUSSION

L'échantillonnage des termites ravageurs des boutures de manioc dans les plantations paysannes du département de Tivaouane a permis de collecter cinq (5) espèces différentes. Il s'est agit de *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Microtermes lepidus*. Ceci montre la faible richesse spécifique en termites des champs étudiés. Cela résulterait de la monoculture pratiquée dans ces champs. Selon Gbenyedji *et al.* (2011), la diversité et l'abondance spécifiques en faune termitique seraient liées aux espèces végétales présentes dans l'écosystème. Ces observations sont en conformité avec celles de Mitja (1990) et de Mill (1982) selon lesquelles la diversité spécifique en termites est souvent en rapport avec la végétation et que la diversité de l'habitat, autrement dit les types de végétation et de microclimat, sont les principaux facteurs responsables des différentes

populations de termites. De tels constats sont également en adéquation avec les résultats de Sands (1992) cités par Gbenyedji *et al.* (2011), d'après qui la diversité et la quantité de matière organique présente dans le sol sont également des facteurs qui déterminent l'activité et la diversité des espèces de termites. Toutefois, la perpétuelle modification des caractéristiques naturelles de l'écosystème par l'homme (Renoux, 1997) à travers ses activités agricoles (préparation du sol, destruction des végétaux ligneux, remplacement d'une flore diversifiée par une culture, notamment une monoculture (le cas des plantations de manioc étudiées)) influencerait aussi sur la diversité spécifique des termites ainsi que sur leur activité.

La nature du sol aurait également une influence sur la diversité spécifique des termites. Selon Boyer (1982), sur environ 2800 espèces de termites connues, 2300 sont en rapport avec le type de sol. *Psammotermes hybostoma* par exemple est un termite des sols sableux. Selon Harris (1970), cette espèce de termite est adaptée aux sols arides et se retrouve dans des zones où seuls quelques autres arthropodes peuvent survivre. Elle est même présente dans des déserts sans végétation, où elle semble survivre de débris organiques accumulés par le vent. Cette espèce de termite a été retrouvée dans les savanes sahéliennes du Sénégal (Lepage, 1974) et du Nigéria (Wood *et al.*, 1980).

Les espèces *Odontotermes* sp. et *Amitermes evuncifer* préféreraient plutôt les sols argileux. Ces termites utiliseraient les argiles pour édifier leurs nids et leurs termitières. Ils seraient en partie responsables de l'argilisation progressive des sols dans le département de Tivaouane, sols qui étaient auparavant, selon Fall *et al.* (2001), sableux (*dior*). En effet, d'après Boyer (1982), l'argile est un véritable besoin écologique pour « les grands constructeurs » et prend une telle importance qu'il constitue un facteur limitant de leur établissement dans les sols. Selon cet auteur, ces termites disparaissent dès que la teneur en argile des horizons du sol devient inférieure à 10%.

Nos résultats ont par ailleurs montré que la vulnérabilité du manioc aux termites ravageurs des boutures dépend de la variété. Ainsi, les variétés faiblement attaquées (Soya, Niargi, Cololi, Cacau et Cacau roja) seraient tolérantes à ces insectes tandis que celles qui ont été plus sévèrement attaquées (Kombo, Nigeria et Wallet) seraient plus sensibles à leur action. En effet, plusieurs travaux de recherche ont confirmé la résistance et la tolérance variétales du manioc vis-à-vis de certaines contraintes biotiques. Selon Bock (1983), la sensibilité du manioc aux maladies diffère d'une variété à l'autre.

Concernant la défense contre l'attaque des insectes, le manioc possède également une protection efficace contre beaucoup de ravageurs. En effet, Sauvion (2013) constate que l'épaisseur de l'écorce de la tige (et donc des boutures) peut être un système de résistance efficace vis-à-vis de l'attaque des insectes.

Toutefois, certains paramètres climatiques, environnementaux de même que des pratiques culturales comme la répétition de labours et l'application de fumures, pourraient également dans un sens ou dans l'autre, influencer sur l'activité des termites vis-à-vis des boutures de manioc plantées en milieu paysan. Ainsi dans notre étude, l'importance des dégâts plus marquée chez les champs repiqués en mi-septembre (fin de la saison des pluies) par rapport à ceux plantés au mois de juillet (plein hivernage), serait expliquée par la différence de pluviométrie entre ces périodes de repiquage. Pendant les fortes précipitations hivernales, l'activité des termites serait réduite au minimum à cause de la diminution de leur mobilité.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre il a été question d'identifier les différentes espèces de termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane et de sélectionner des variétés adaptées au stress biotique causé par l'attaque de ces insectes. Pour ce faire, nous avons d'abord cherché à connaître la diversité, la distribution ainsi que la fréquence spécifiques de ces ravageurs dans la zone, puis à évaluer les paramètres de sensibilité (incidence d'attaque, sévérité d'attaque et taux de mortalité sous l'action des termites) variétale du manioc aux termites en plantations paysannes et en parcelle expérimentale.

Nos résultats ont permis de montrer que les termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane appartiennent principalement à l'espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* et dans une moindre mesure aux espèces *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Microtermes lepidus*. En outre, les variétés de manioc sélectionnées pour leur tolérance à ces termites ravageurs des boutures sont : Soya, Niargi, Cololi, Cacao et Cacao roja. En revanche, les variétés Kombo, Nigeria et Wallet se sont révélées plus sensibles à l'action de ces insectes.

CHAPITRE III

**ETUDE DE L'INFLUENCE DE CARACTERES PHYSICO-
CHIMIQUES DE LA TIGE DE MANIOC SUR SA
VULNERABILITE VARIETALE AUX TERMITES RAVAGEURS
DES BOUTURES *ODONTOTERMES* SP. AFF. *ERRATICUS***

**CHAPITRE III : ETUDE DE L'INFLUENCE DE CARACTERES
PHYSICO-CHIMIQUES DE LA TIGE DE MANIOC SUR SA
VULNERABILITE VARIETALE AUX TERMITES RAVAGEURS DES
BOUTURES *ODONTOTERMES* SP. AFF. *ERRATICUS***

INTRODUCTION

L'utilisation des variétés tolérantes et résistantes constitue un moyen de lutte majeur contre les insectes ravageurs et les maladies des cultures et une alternative séduisante à l'usage de pesticides dont les résidus sont dommageables tout autant pour la santé des consommateurs que pour l'environnement (Sauvion *et al.*, 2013). Selon Lieuttier (2007), contrairement à la résistance aux maladies qui fait souvent intervenir des gènes de résistance, la tolérance des plantes aux insectes ravageurs implique plutôt des paramètres intrinsèques physiques, mécaniques et/ou chimiques et peut faire intervenir différents tissus de la plante (cuticule, mésophylle, phloème, *etc.*). La tolérance variétale est considérée ici comme l'aptitude héritable de certaines variétés au sein d'une espèce végétale de limiter le développement et les dégâts provoqués par les insectes ravageurs.

Chez les multiples variétés de l'espèce *Manihot esculenta*, la connaissance des spécificités de chacune d'elles apparaît comme un outil important dans la lutte contre les maladies et ravageurs et dans l'amélioration de l'adaptation aux stress.

Dans le chapitre précédent, nous avons montré des différences de sensibilité des variétés de manioc étudiées vis-à-vis des termites.

Dans ce présent chapitre nous avons voulu vérifier si cette sensibilité variétale aux termites ravageurs des boutures pouvait être corrélée à certains caractères physico-chimiques de la tige. Pour ce faire nous avons cherché à évaluer chez différentes variétés de manioc:

- l'effet du diamètre de la moelle et de l'épaisseur de l'écorce de la tige sur le niveau d'infestation des boutures par les termites,
- l'influence de la dureté de l'écorce de la tige sur la sévérité de l'attaque des boutures,
- l'impact du pH de l'écorce et de la moelle de la tige sur l'incidence de l'attaque des boutures par les termites.

I. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal (Planche 16) est constitué de boutures longues de 15 cm avec un diamètre de 18 mm et issues des mêmes variétés (Soya, Kombo, Niargi, Cololi, Nigeria, Wallet, Cacau et Cacau roja) que celles déjà étudiées en milieu paysan. Elles ont été prélevées après 8 mois de culture dans la parcelle expérimentale de caractérisation mise en place au CDH (même dispositif expérimental que la parcelle expérimentale mise en place à Tivaouane (Chapitre II).



Planche 16 : Le matériel végétal

A : Mesure du diamètre des tiges mères à l'aide d'un pied à coulisse

B : Boutures expérimentales issues des différentes variétés de manioc

2. Méthodes

2.1. Dispositif et méthodes expérimentaux

2.1.1. Etude des caractères physico-chimiques des tiges de manioc

Pour étudier les caractères physiques et chimiques de la tige des différentes variétés de manioc, des coupes transversales de boutures issues de plants différents ainsi que des solutions de broyat d'écorce et de moelle de ces boutures ont été, respectivement, réalisées chez chaque variété (Planche 17), avec 4 répétitions. Les écorces et les moelles, séparées puis broyées, ont été mises en solutions v/v à raison respectivement de 100 et 25 g par variété dans de l'eau distillée. Les différentes solutions obtenues ont été maintenues à 28°C pendant 24 h avant les mesures.

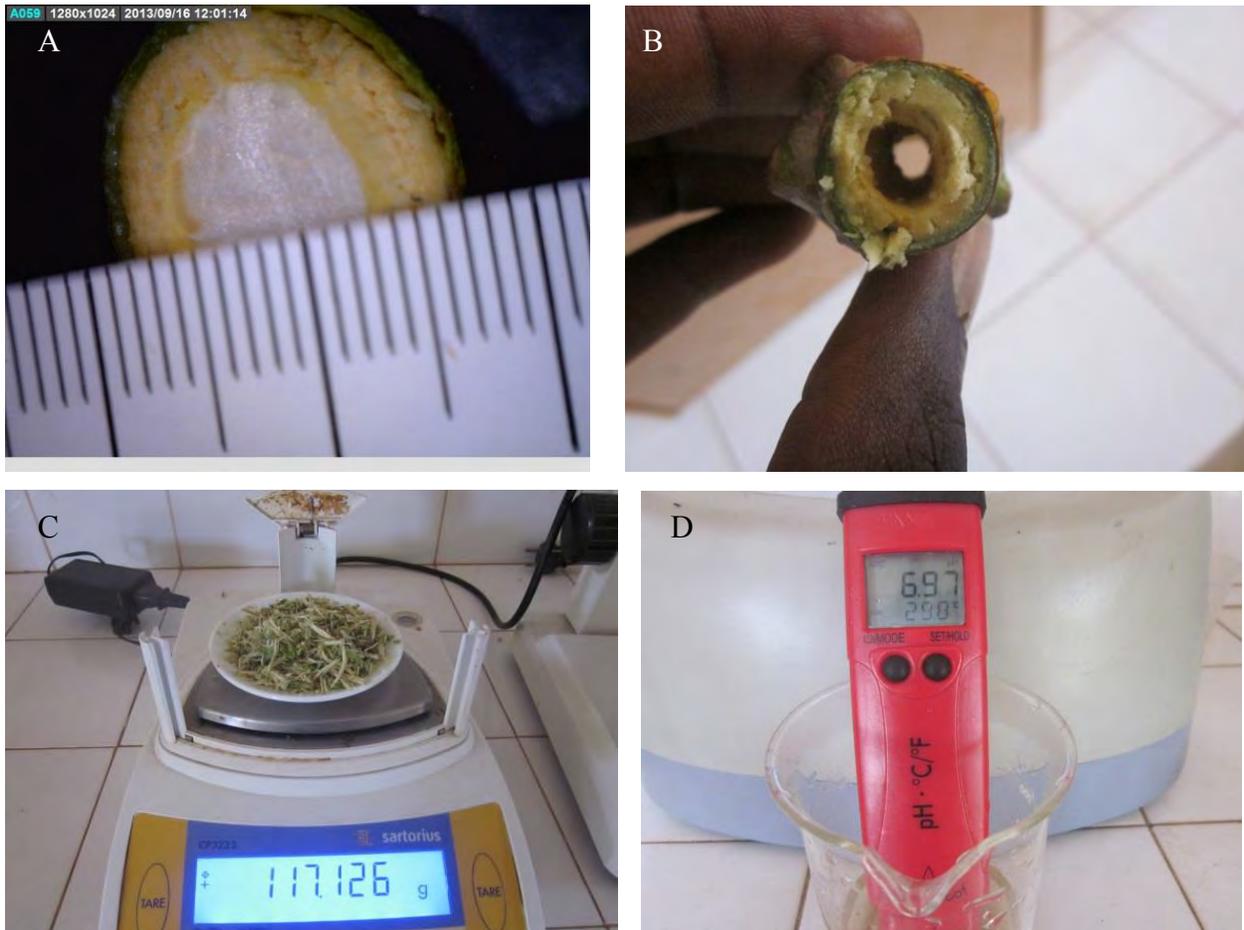


Planche 17 : Étapes expérimentales d'évaluation de paramètres physico-chimiques des tiges de manioc au laboratoire

- A : Mesure de l'épaisseur de l'écorce d'une coupe transversale de bouture de manioc
- B : Écorce d'une bouture de manioc séparée de sa moelle
- C : Pesage d'un broyat d'écorce d'une bouture de manioc
- D : Mesure du pH d'une solution de moelle d'une bouture de manioc

2.1.2. Etude de la vulnérabilité variétale du manioc aux termites *Odontotermes sp.*

Pour l'étude de la vulnérabilité des boutures aux termites, 36 bacs en plastique larges de 70 et de 50 cm de profondeur ont été remplis au 2/3 de sable préalablement stérilisé pour servir de support de culture. La stérilisation du substrat a été effectuée par chauffage jusqu'à 80°C au feu de bois dans un grand récipient métallique, après humidification.

Chaque bac a été infesté par introduction de 200 individus de termites *Odontotermes sp.* préalablement collectés en milieu paysan (Planche 18 A). Afin de mettre ces termites en activité

avant le repiquage, de l'herbe séchée a été placée à la surface du substrat de culture contenu dans les bacs (Planche 18 B) jusqu'à ce que des signes d'attaque y fussent observés (Planche 18 C).

Les boutures de chaque variété ont été ensuite repiquées dans 4 bacs infestés à raison de 8 boutures par bac (Planche 18 D) et arrosées tous les 2 jours avec 4 litres d'eau pendant les 15 premiers jours de culture et tous les 3 jours avec 2 litres durant les 15 jours suivants.

La température et l'humidité relative moyennes ambiantes enregistrées lors de cette culture ont été respectivement de 27,283°C et 80,84%.

Le dispositif expérimental de cette étude est présenté dans la figure 8.

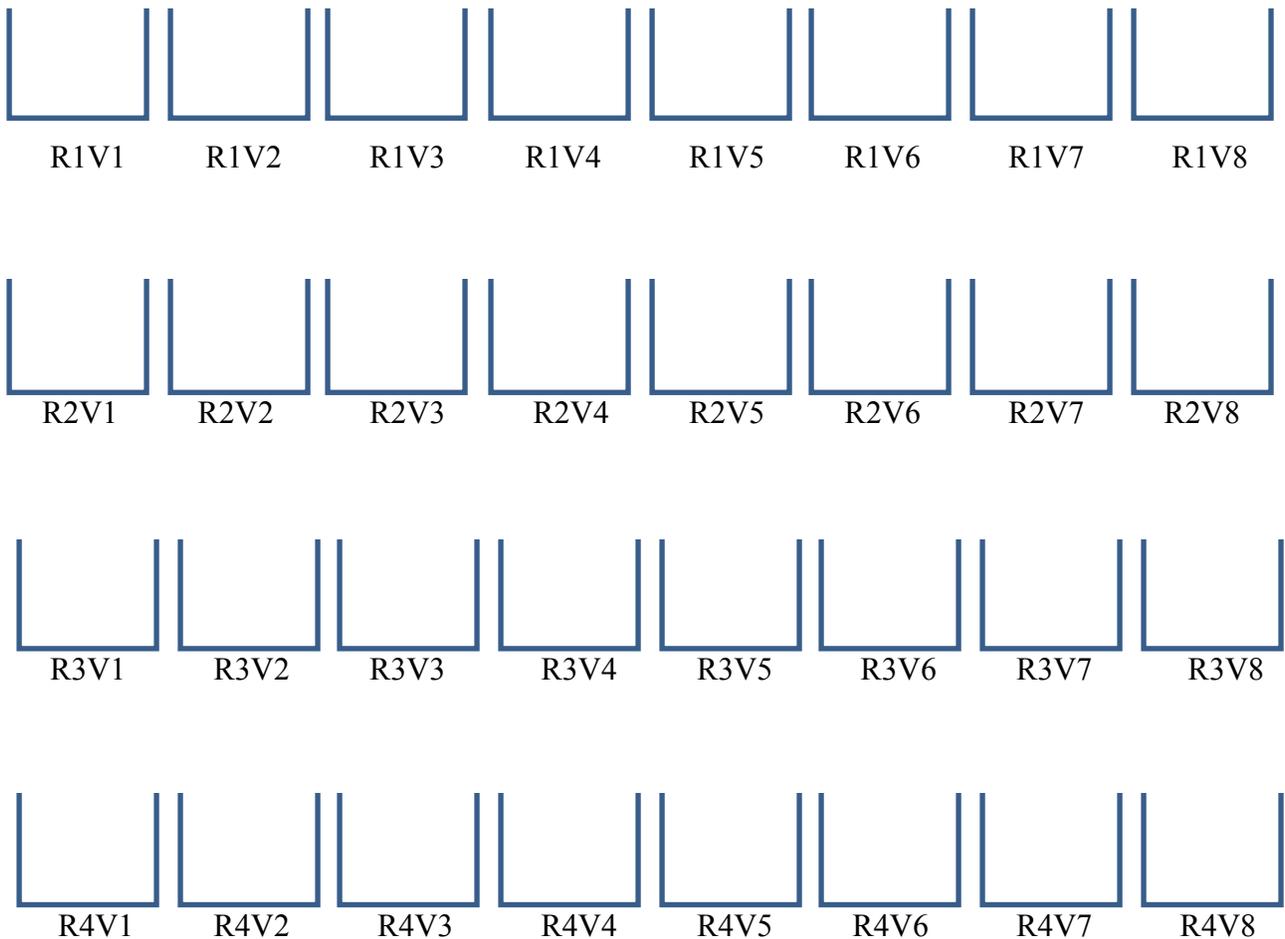


Figure 8 : Représentation schématique du dispositif expérimental

Légende : R = Répétition ; V = Variété

V1 = Soya, V2 = Kombo, V3 = Niargi, V4 = Cololi, V5 = Nigeria, V6 = Wallet, V7 = Cacau et V8 = Cacau roja



Planche 18 : Etapes expérimentales de l'étude de la sensibilité variétale du manioc aux termites ravageurs des boutures *Odontotermes* sp.

- A : Collecte de termites *Odontotermes* sp. en milieu paysan
- B : Infestation des bacs expérimentaux
- C : Bac infesté présentant des signes d'activité des termites
- D : Bac infesté repiqué arrosé

2.2. Paramètres étudiés et méthodes d'évaluation

L'épaisseur et la dureté de l'écorce, le diamètre de la moelle et leur pH d'une part, et l'incidence et la sévérité d'attaque ainsi que le niveau d'infestation des boutures par les termites d'autre part, ont été les paramètres évalués chez les différentes variétés de manioc. Pour ce qui concerne l'épaisseur de l'écorce et le diamètre de la moelle des boutures, les mesures ont été effectuées à l'aide d'une règle graduée (Planche 17 A). Concernant la dureté et le pH de l'écorce et de la moelle des boutures, les mesures ont été faites à l'aide d'un « hardnessmeter » et d'un pH-mètre respectivement.

La sévérité d'attaque (S) des boutures par les termites a été évaluée tous les 15 jours pendant 6 semaines en utilisant la formule :

$$S (\%) = \frac{X_1(1 - 1) + X_2(2 - 1) + X_3(3 - 1) + X_4(4 - 1) + X_5(5 - 1)}{Y(5 - 1)} \times 100$$

avec x_i = nombre de boutures de la classe i ; $i = 1$: absence d'attaque ; $i = 2$: attaque légère ; $i = 3$: attaque moyenne ; $i = 4$: attaque sévère ; $i = 5$: attaque mortelle et Y = nombre de boutures de chaque variété (= 32)

Quant à l'incidence d'attaque (I), elle a été déterminée chez chaque variété sur les boutures déterrées (Planche 19 A) après 2 mois de culture en utilisant la formule : $I(\%) = \frac{NA}{NT} \times 100$ où NA est le nombre de boutures attaquées et NT le nombre total de boutures repiquées de la variété considérée.

En même temps que l'évaluation de l'incidence, le niveau d'infestation des boutures a été déterminé grâce à un dénombrement des individus de termites (N) extraits (Planche 19 B) des 32 boutures de chaque variété.

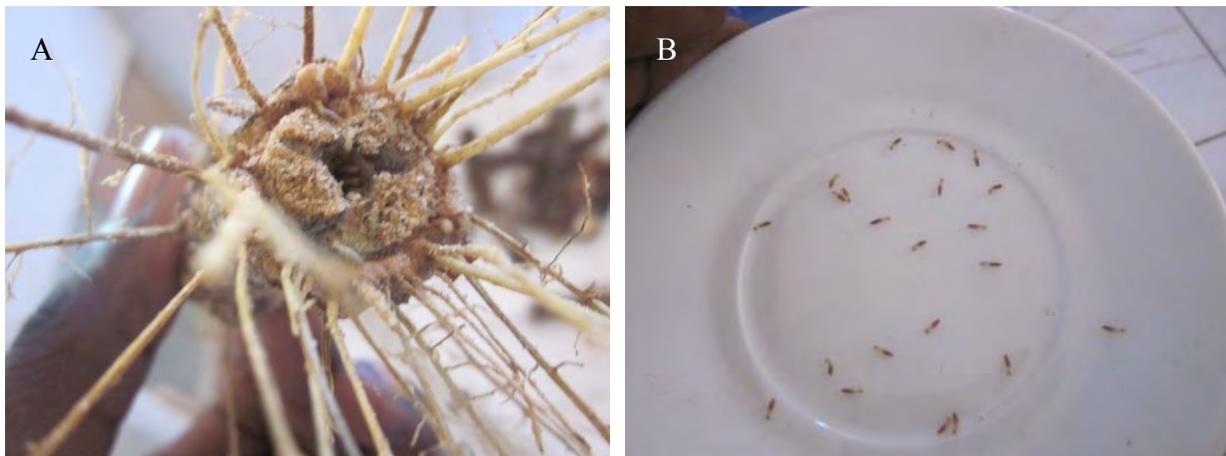


Planche 19 : Méthode de détermination du niveau d'infestation des boutures

A : Bouture déterrée ; B : Termites extraits de l'intérieur de la bouture

2.3. Analyses statistiques

Les données collectées sur cette étude ont été saisies sur Excel et analysées avec les logiciels SPSS et Costat. Elles ont été soumises à une corrélation bilatérale du test de Pearson et à une ANOVA suivie d'une comparaison des moyennes du test de Newman, Student et Keuls au seuil de 5%. Les coefficients de variation obtenus ont été confirmés en utilisant le logiciel R.

II. RESULTATS

1. Influence de l'épaisseur de l'écorce et du diamètre de la moelle de la tige sur le niveau d'infestation des boutures par les termites

Les plus grands nombres de termites ont été retrouvés chez les boutures dont la moelle est plus épaisse avec en moyennes 9,25 et 7,12 termites par bouture respectivement chez les variétés Kombo et Wallet. En effet, nous avons pu établir une corrélation positive très significative ($r = 0,921$) entre le diamètre de la moelle de la tige et le nombre de termites extraits des boutures des différentes variétés de manioc après 2 mois de culture (Figure 9).

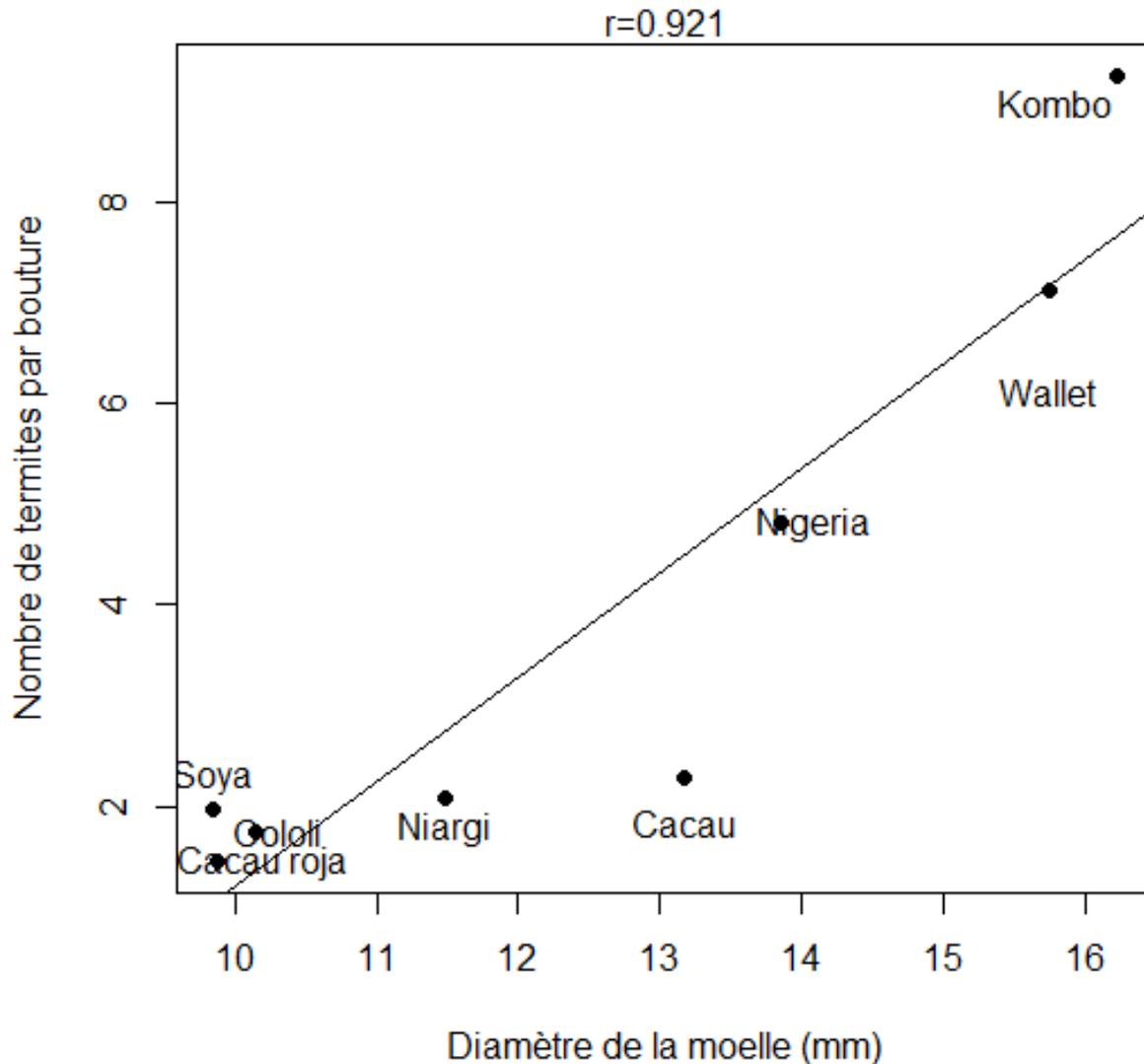


Figure 9 : Corrélation du diamètre de la moelle de la tige au niveau d'infestation des boutures par les termites *Odontotermes* sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture

De même, nos résultats ont révélé une corrélation négative très significative ($r = -0,962$) entre l'épaisseur de l'écorce de la tige et le nombre de termites extraits des boutures de chaque variétés. Ainsi, les variétés dont les boutures présentent une écorce épaisse et une moelle réduite Soya et Cacao roja ont présenté un faible niveau d'infestation avec respectivement 1,96 et 1,46 termites en moyennes par bouture après 60 jours de culture.

L'analyse statistique de variance a permis de montrer que les variations de l'épaisseur de l'écorce ($F = 2,14$; $P = 0,003$), du diamètre de la moelle ($F = 0,34$; $P = 0,0017$) et du nombre de termites par bouture ($F = 0,194$; $P = 0,000$) sont très significatives entre les 8 variétés de manioc étudiées. La comparaison des moyennes sur le diamètre de la moelle et l'épaisseur de l'écorce de la tige a permis de répartir en 7 groupes homogènes : a (Soya et Cacao roja), b (Cololi), c (Niargi), d (Cacao), e (Nigeria), f (Wallet) et g (Kombo) ces différentes variétés.

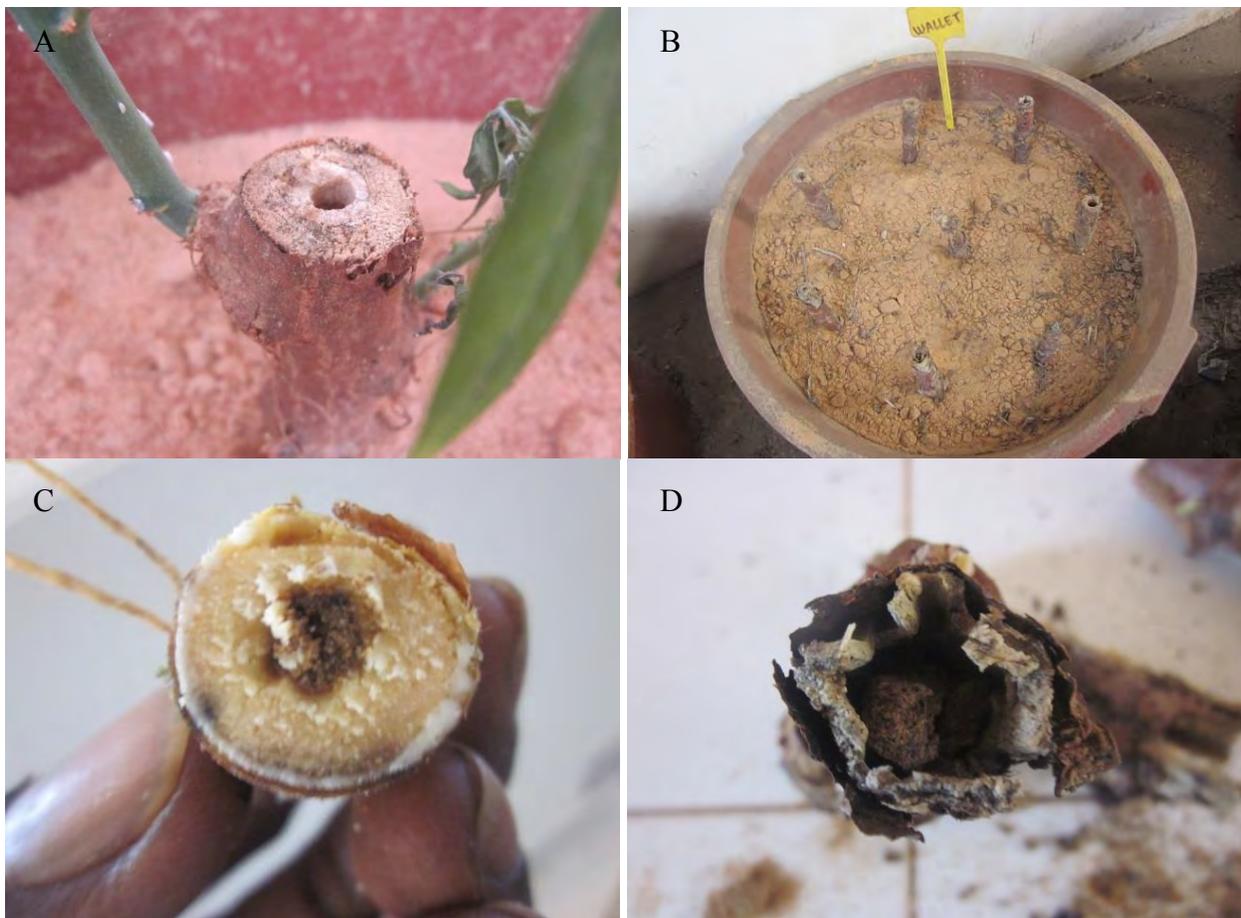


Planche 20 : Quelques résultats obtenus dans les bacs expérimentaux après 60 jours de culture

A : Jeune plante de Soya vivante malgré l'attaque de la bouture, B : Bac de Wallet totalement anéanti par les termites

C : Coupe transversale (CT) d'une bouture Soya attaquée, D : CT d'une bouture de Wallet attaquée

2. Influence de la dureté de l'écorce de la tige sur la sévérité d'attaque des boutures par les termites

Les variétés de manioc Cacau roja, Cololi et Soya avec respectivement 4,7 ; 3,9 et 3,7 Kg de dureté de l'écorce se sont révélées moins vulnérables à l'action des termites avec 3,12 ; 6,25 et 9,37% de sévérité d'attaque des boutures après 60 jours de culture (Figure 10). En revanche, les variétés Wallet, Kombo et Nigeria dont l'écorce de la tige est plus fragile avec 1,6 ; 2,8 et 2,3 Kg sont plus sensibles à l'action des termites avec 71,87 ; 62,5 et 46,87% de sévérité d'attaque des boutures respectivement. En effet, nous avons pu noter une corrélation négative très significative ($r = -0,827$) entre la dureté de l'écorce des boutures et leur sévérité d'attaque.

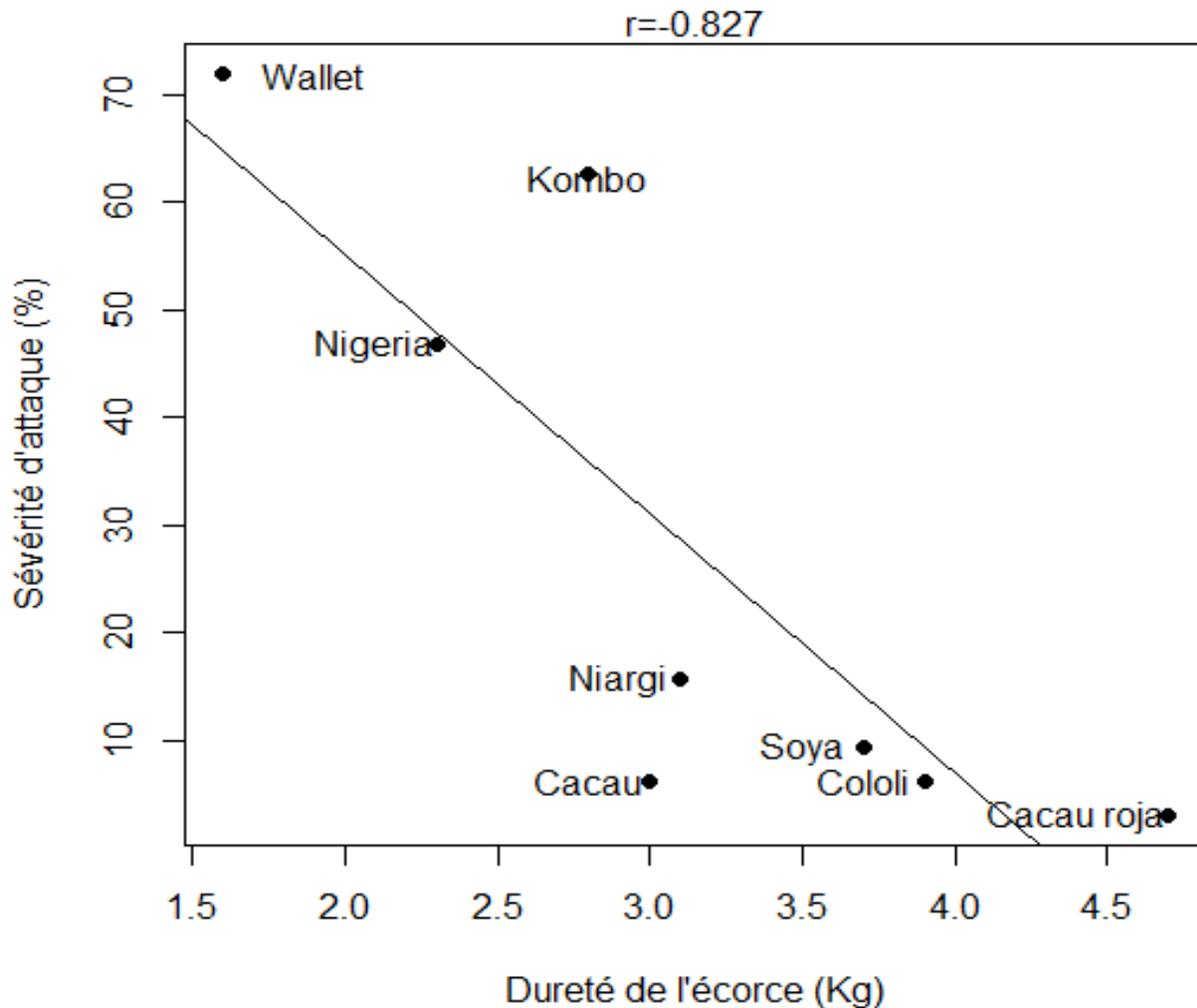


Figure 10 : Corrélation de la dureté de l'écorce de la tige à la sévérité d'attaque des boutures par les termites *Odontotermes* sp. chez les 8 variétés de manioc après 60 jours de culture

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que la variation de la dureté de l'écorce de la tige est très significative ($F = 1,05$; $P = 0,0001$) entre les 8 variétés de manioc étudiées. La comparaison des moyennes a permis de classer ces différentes variétés en 7 groupes homogènes : a (Cacau roja), b (Cololi), c (Soya), d (Niargi et Cacau), e (Kombo), f (Nigeria) et g (Wallet).

3. Influence du pH de la tige de manioc sur l'incidence d'attaque des boutures par les termites

Nos résultats ont permis de montrer que les variétés de manioc Nigeria et Cacau dont les incidences d'attaques des boutures par les termites se sont révélées très différentes avec 51,28 et 9,37% après 60 jours de culture, présentent des pH de la moelle très proches avec 7,48 et 7,5 (Figure 11) respectivement. Ainsi, aucune corrélation n'a pu être établie entre le pH de la moelle de la tige de manioc et l'incidence d'attaque des boutures par les termites *Odontotermes* sp. chez les différentes variétés étudiées.

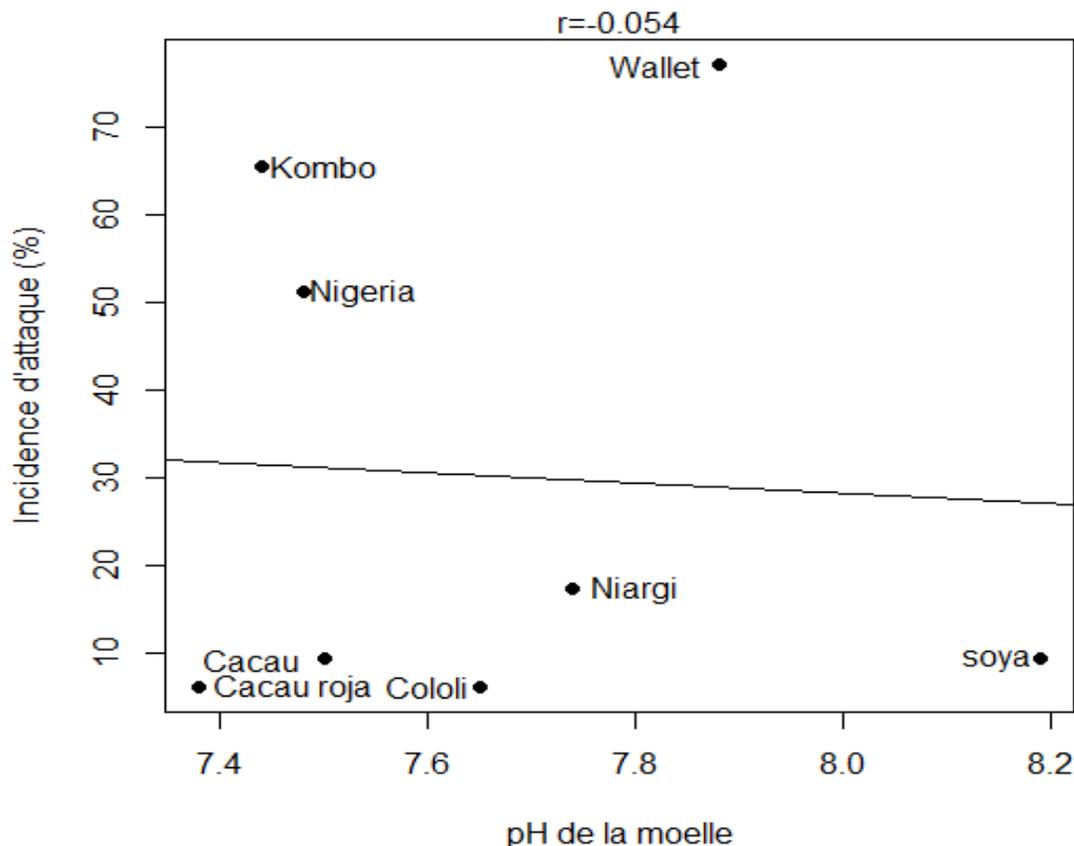


Figure 11 : Absence de corrélation du pH de la moelle de la tige à l'incidence d'attaque des boutures par les termites *Odontotermes* sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture

De même, nos résultats ont révélé une absence de corrélation entre le pH de l'écorce de la tige des différentes variétés de manioc et l'incidence d'attaques des boutures par les termites. En effet, les variétés Wallet et Cacau roja dont les incidences d'attaque se sont avérées largement différentes avec 77,07 et 6,25% après 2 mois de culture, présentent des pH d'écorce quasiment identiques avec 5,97 et 5,98 respectivement (Figure 12).

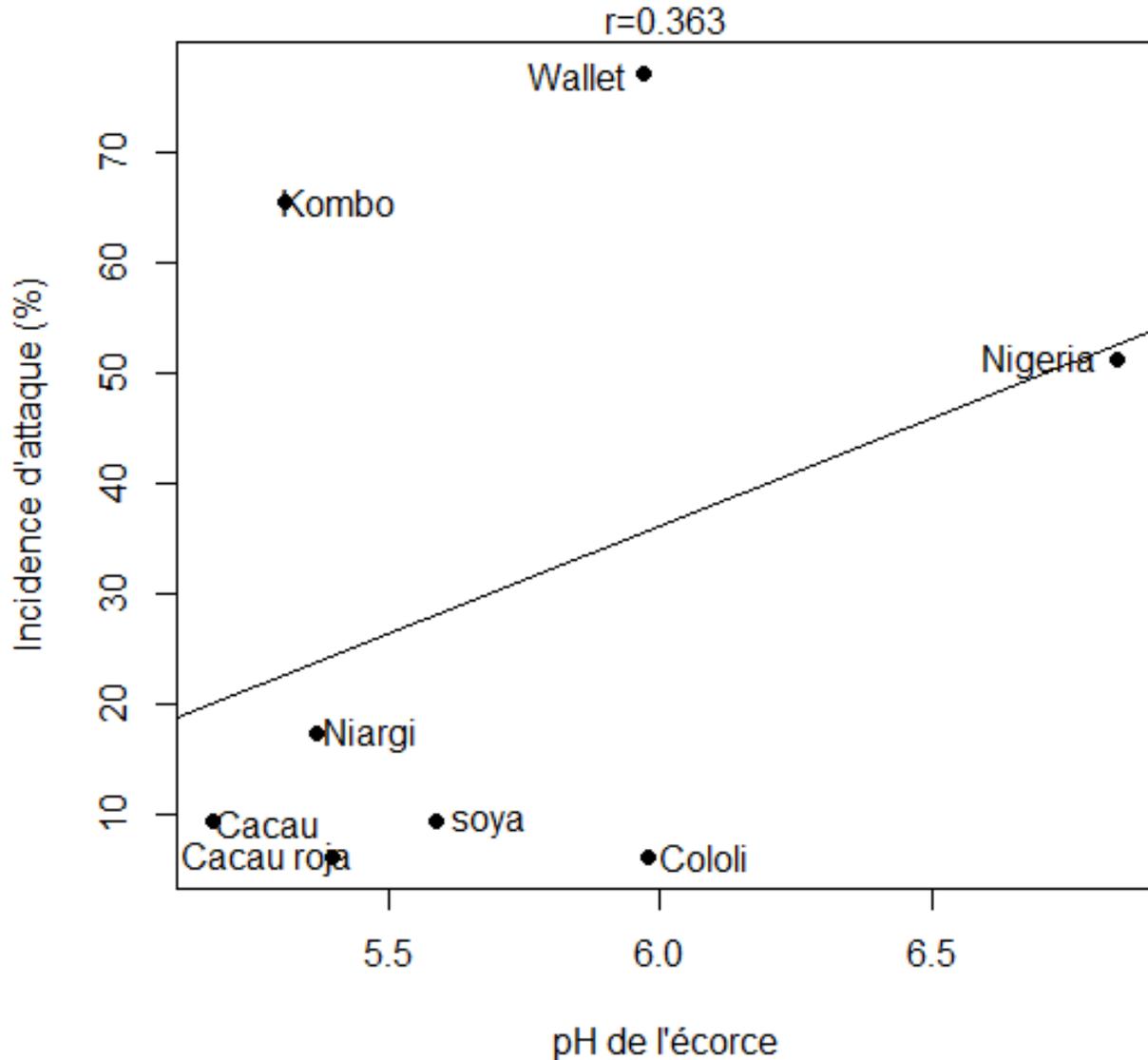


Figure 12 : Absence de corrélation du pH de l'écorce de la tige à l'incidence d'attaque des boutures par les termites *Odontotermes* sp. chez les 8 variétés de manioc après 2 mois de culture

III. DISCUSSION

L'épaisseur et la dureté de l'écorce de la tige seraient les principaux paramètres liés à la tolérance variétale du manioc à l'action des termites ravageurs des boutures. En effet, la solidité de la tige qui caractérise les variétés tolérantes constituerait une barrière physique à l'activité de ces insectes xylophages qui utilisent leurs pièces buccales pour creuser progressivement les boutures de manioc en les pénétrant par la moelle. Cette observation est parfaitement en accord avec les constats de Sauvion *et al.* (2013) selon qui vis-à-vis des insectes xylophages, plusieurs types de défenses passives peuvent jouer des rôles de barrière physique. D'après ces auteurs, l'épaisseur de l'écorce peut être un système de résistance efficace vis-à-vis de scolytes tels que *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera, Curculionidae) sur épicéa et *Ips acuminatus* (Coleoptera, Curculionidae) sur pins, qui s'attaquent habituellement aux parties supérieures du tronc et aux branches des arbres. Par ailleurs, des travaux effectués par Giordanengo et Rahbé (2013) ont montré que le liber et l'écorce externe de diverses espèces de conifères contiennent des structures appelées « cellules pierreuses » qui sont, en fait, des amas de lignine. Ainsi, lorsque ces structures sont abondantes au niveau de l'écorce de la tige, leur dureté pourrait perturber les scolytes dans le forage de leurs galeries et dans leur développement, comme dans le cas de *Dendroctonus micans*. En ce sens, Lieutier (2007) cité par Sauvion *et al.* (2013) a pu observer une corrélation négative chez l'eucalyptus entre l'épaisseur du liber et la proportion de larves du longicorne *Phoracantha recurva* (Coleoptera, Cerambycidae) qui réussissent à atteindre l'aubier après ponte à la surface de l'écorce. Dans nos conditions expérimentales, nous pouvons donc expliquer la tolérance aux termites *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* observée chez les variétés Soya, Cololi, Cacao, Cacao roja et Niargi par l'écorce de leur tige relativement dure et épaisse, contrairement à celle des variétés Kombo, Wallet et Nigeria qui se sont révélées plus vulnérables. Le diamètre de la moelle de la tige serait également en rapport avec la vulnérabilité variétale du manioc aux termites ravageurs des boutures. Ainsi les niveaux d'infestation et de sévérité d'attaque élevés chez les boutures des variétés Kombo, Wallet et Nigeria seraient dus aussi à leur moelle relativement large avec une écorce par conséquent réduite. En effet, un diamètre important de cette moelle suppose une possibilité d'accès d'un grand nombre d'individus de termites à l'intérieur de la bouture et donc une intensification de leur activité.

D'un point de vue chimique, le pH de la tige de manioc ne s'est pas révélé influant sur l'incidence d'attaque des boutures par les termites ravageurs, dans nos conditions d'expérience. L'acidité de l'écorce notée chez les différentes variétés de manioc serait liée à sa richesse en latex et/ou sa teneur en acides cyanhydriques. En effet, la tige de la variété Soya est très riche en latex (une tige coupée en fait couler beaucoup) alors que celle de la variété Nigeria en est pauvre (une tige coupée n'en fait tomber que quelques gouttes). Or, puisque dans la tige de manioc le latex est localisé uniquement au niveau de l'écorce (Alves, 2012), on peut supposer qu'il serait responsable de l'acidité de cette partie corticale de la tige. De même, la basicité de la moelle des tiges de manioc serait due à sa pauvreté en latex et en glucosides cyanogéniques. Ces derniers, principalement représentés par la linamarine et secondairement par la lautostraline chez le manioc, sont des composés toxiques présents dans toutes les parties de cette plante et dont la teneur diminue toujours de la périphérie à la lumière d'un organe considéré, selon Alves (2012). Au niveau de la tige, ces acides seraient donc plus présents dans l'écorce que dans la moelle, et seraient à l'origine de la différence de pH notée entre ces deux composantes de cet organe. Toutefois l'acidité ou la basicité de la moelle ou de l'écorce de la tige de manioc n'aurait pas d'effet répulsif ou attractif sur les termites ravageurs des boutures *O. sp. aff. erraticus*.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre nous avons cherché à étudier l'influence de propriétés physico-chimiques de la tige de manioc sur sa vulnérabilité variétale aux principaux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane *Odontotermes sp. aff. erraticus*. Pour ce faire, nous avons procédé par une approche corrélative en confrontant des paramètres physiques (l'épaisseur et la dureté de l'écorce ainsi que le diamètre de la moelle) et chimique (pH de l'écorce et de la moelle) des tiges de différentes variétés de manioc avec les paramètres de vulnérabilité de leurs boutures à ces termites.

Les résultats enregistrés ont permis d'une part de confirmer ceux obtenus en milieu paysan et en parcelle expérimentale selon lesquels les variétés de manioc Soya, Niargi, Cololi, Cacau et Cacau roja sont plus tolérantes à l'action de ces insectes que les variétés Kombo, Wallet et Nigeria. D'autre part, ils ont pu montrer que l'épaisseur et la dureté de l'écorce de la tige de manioc ainsi que le diamètre de sa moelle en constituent des caractères physiques influant sur la

vulnérabilité des boutures à l'action de ces termites. En effet, des corrélations ont pu être établies d'une part entre le diamètre de la moelle (et donc l'épaisseur de l'écorce) de la tige et le niveau d'infestation des boutures et, d'autre part, entre la dureté de l'écorce et leur sévérité d'attaque par les termites. En revanche, le pH ni de l'écorce ni de la moelle de la tige ne s'est révélé d'influence sur l'incidence d'attaque des termites sur les boutures des différentes variétés de manioc étudiées.

CHAPITRE IV

**ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES
ORGANOGENETIQUES *IN VITRO* DE VARIETES DE MANIOC
(*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ) TOLERANTES AUX
TERMITES**

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) TOLERANTES AUX TERMITES

INTRODUCTION

La culture *in vitro* des végétaux est basée sur les capacités de régénération de plantes entières à partir de cellules non différenciées, de tissus ou de fragments d'organes sur ou dans des milieux artificiels. Elle inclut la micropropagation des plantes qui est un puissant outil de multiplication végétative. Elle consiste à cultiver des explants végétaux de façon stérile et dans un environnement contrôlé. Suite à plusieurs cultures successives, sont obtenues des plantes génétiquement identiques à la plante de départ et que l'on peut multiplier à l'infini. Selon Sophie (2011), des centaines de millions de plantes issues de micropropagation sont produites annuellement dans le monde.

La micropropagation *in vitro* des végétaux est ainsi une technique de multiplication rapide qui permet d'obtenir des plantes en quantité suffisante pour satisfaire une production continue indépendante des saisons. En effet, contrairement à la méthode de multiplication par semis ou par bouturage qui donne un seul individu par graine ou par bouture, la production de plants par culture *in vitro* permet d'obtenir autant de copies qu'on le désire en partant d'un seul explant, selon l'espèce (Rancillac, 1981).

Chez le manioc, les travaux de Fereol (1978) ont mis parfaitement en lumière l'intérêt de la culture *in vitro*. Par cette méthode, les possibilités de multiplication végétative du manioc sont très importantes. En effet, la capacité de multiplication *in vitro* a été estimée chez des clones africains à une production potentielle d'un million de plantes en un an à partir d'une seule bouture (Lourd, 1981). Ainsi, grâce à cette technique de propagation, la recherche peut faire une contribution importante pour la sécurité alimentaire et le développement économique dans les zones de la culture du manioc (Thro *et al.*, 1998). Cette contribution est encore plus intéressante lorsqu'il s'agit de propager des variétés résistantes aux contraintes de la culture.

Dans ce chapitre, nous avons cherché à approfondir nos connaissances sur la physiologie du développement chez le manioc par une étude de l'influence variétale sur les capacités organogénétiques *in vitro* chez différents génotypes cultivés au Sénégal et sélectionnés pour leur

tolérance aux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane. Pour ce faire, nous avons cherché à :

- évaluer la croissance et le développement *in vitro* (caulogénèse, rhizogénèse, croissances caulinaire et racinaire, phyllogénèse et callogénèse) des différentes variétés de manioc,
- étudier l'effet de différentes concentrations hormonales sur l'organogénèse *in vitro* des différentes variétés de manioc,
- évaluer la viabilité et la croissance des vitroplants des différentes variétés de manioc en conditions d'acclimatation.

I. MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal (Planche 21) est constitué de segments axillaires prélevés sur 5 variétés de manioc sélectionnées pour leur tolérance aux termites ravageurs *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* : Soya, Cololi, Niargi, Cacao et Cacao roja. Des boutures issues des différentes variétés ont été repiquées en pots remplis d'un mélange v/v de sable et de terreau et placés sous une ombrière. Elles ont été arrosées tous les 2 jours à raison d'1/2 L par bouture. Un traitement phytosanitaire a été réalisé avec 2 applications post-repiquage dont l'une fongicide au Mancozèbe à 50 mg/L et la seconde réalisée de façon hebdomadaire, a consisté à appliquer un insecticide : le Chlorpyrifos-éthyl à raison de 2 ml/L de solution. Les plantes obtenues ont fourni les microboutures qui ont servi de matériel d'initiation.



Planche 21 : Culture et entretien du matériel végétal sous ombrière

A : Jeunes plants obtenus après une semaine de culture ; B : Traitement insecticide des jeunes plants

2. Méthodes

2.1. Désinfection des explants

Suite à un bref lavage au savon des explants suivi de 3 rinçages successifs à l'eau courante, ils ont été trempés dans une solution d'hypochlorite de calcium à 80 g/L pendant 20 min puis dans l'eau de javel pendant 10 min. Chaque trempage a été immédiatement suivi de 3 rinçages successifs à l'eau stérilisée.

2.2. Préparation des milieux de culture

Le milieu nutritif de base utilisé est le milieu complet de Murashige & Skoog (1962). Il a été enrichi avec 25 g.L⁻¹ de saccharose, ajusté à pH 5,7 et gélosé à 8 g.L⁻¹. Ce milieu a été ou non additionné de régulateur de croissance (ANA, BAP ou kinétine) à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 et 1 mg/L). Les milieux de culture ont été distribués dans des tubes à essai en verre à raison de 20 ml par tube puis stérilisés à l'autoclave 110°C pendant 20 min.

Le tableau 7 présente les compositions et les noms des différents milieux de culture utilisés.

Tableau 7 : Nomenclature et composition des différents milieux de culture utilisés

| Nom du milieu | Composition du milieu |
|---------------|--------------------------|
| M1 | MS (Témoin sans hormone) |
| M2 | MS + ANA 0,1 mg/L |
| M3 | MS + ANA 0,5 mg/L |
| M4 | MS + ANA 1 mg/L |
| M5 | MS + BAP 0,1 mg/L |
| M6 | MS + BAP 0,5 mg/L |
| M7 | MS + BAP 1 mg/L |
| M8 | MS + KIN 0,1 mg/L |
| M9 | MS + KIN 0,5 mg/L |
| M10 | MS + KIN 1 mg/L |

2.3. Phase d'initiation *in vitro*

A l'aide de lames et de pinces préalablement stérilisées, les explants des différentes variétés de manioc ont été découpés en microboutures uninodales longues de 2 cm en moyenne puis

plantés verticalement dans les tubes contenant le milieu de culture MS sans hormone, en conditions stériles (Planche 22). Les cultures ont été ensuite incubées à l'obscurité pendant 72 h dans une étuve maintenue à 30°C afin d'accélérer le débourrement, puis transférées dans une chambre de culture thermostatée à $27 \pm 1^\circ\text{C}$ sous une lumière incidente d'intensité 4 000 lux et une photopériode de 16 h de jour et 8 h de nuit.

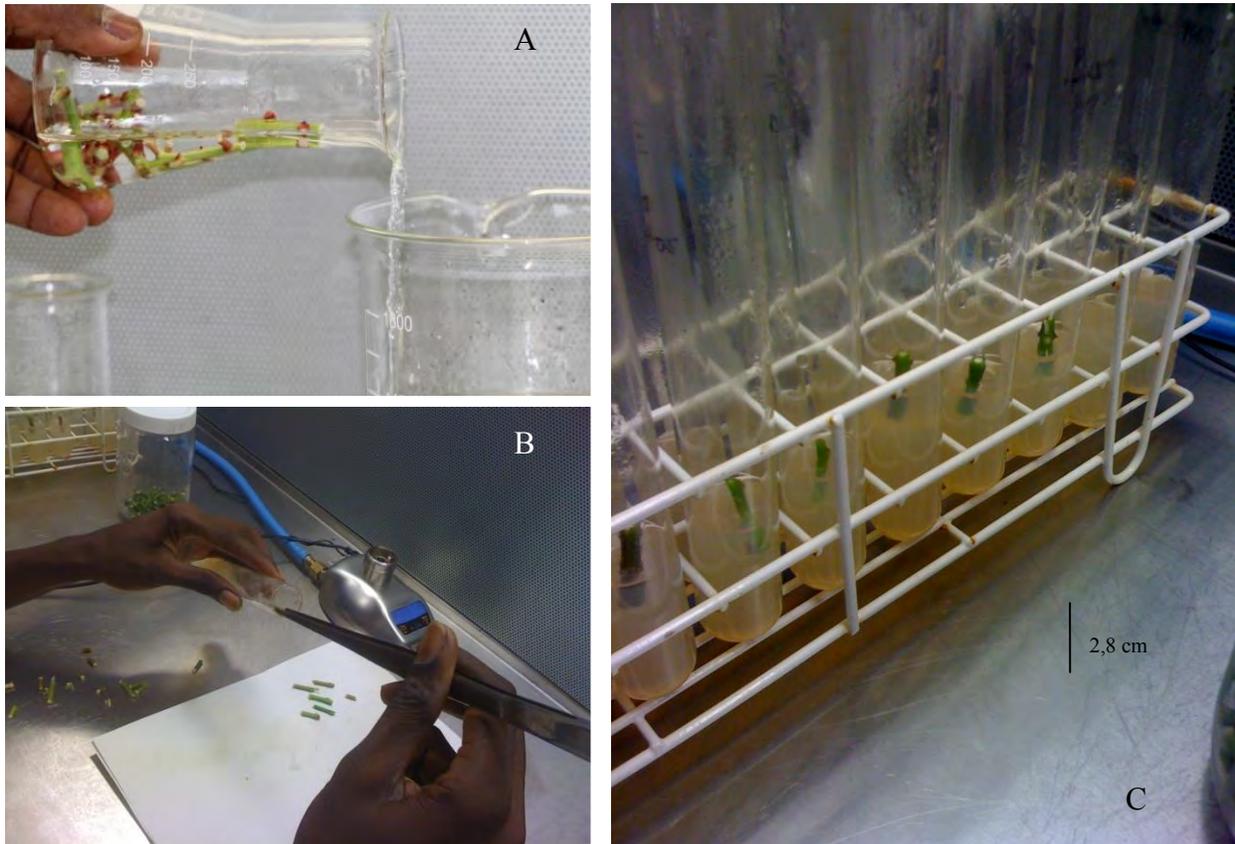


Planche 22 : Matériel & méthodes utilisés pour l'initiation *in vitro* des explants de manioc

A : Désinfection des explants

B : Repiquage

C : Explants introduits sur le milieu de culture MS

2.4. Phases de multiplication

Après 30 jours de culture, les vitroplants obtenus ont été extraits des tubes et découpés en boutures uninodales, dans les mêmes conditions de dispositif et de stérilité qu'à l'initiation *in vitro*. Elles ont été repiquées dans le milieu MS dépourvu d'hormone pour encore 1 mois de culture à l'issue duquel chaque variété a été cultivée dans les différents milieux à raison de 24

tubes par milieu de culture. Ce dernier repiquage a permis d'obtenir des vitroplants de 3^{ième} génération de chaque variété de manioc et sur chaque milieu de culture.

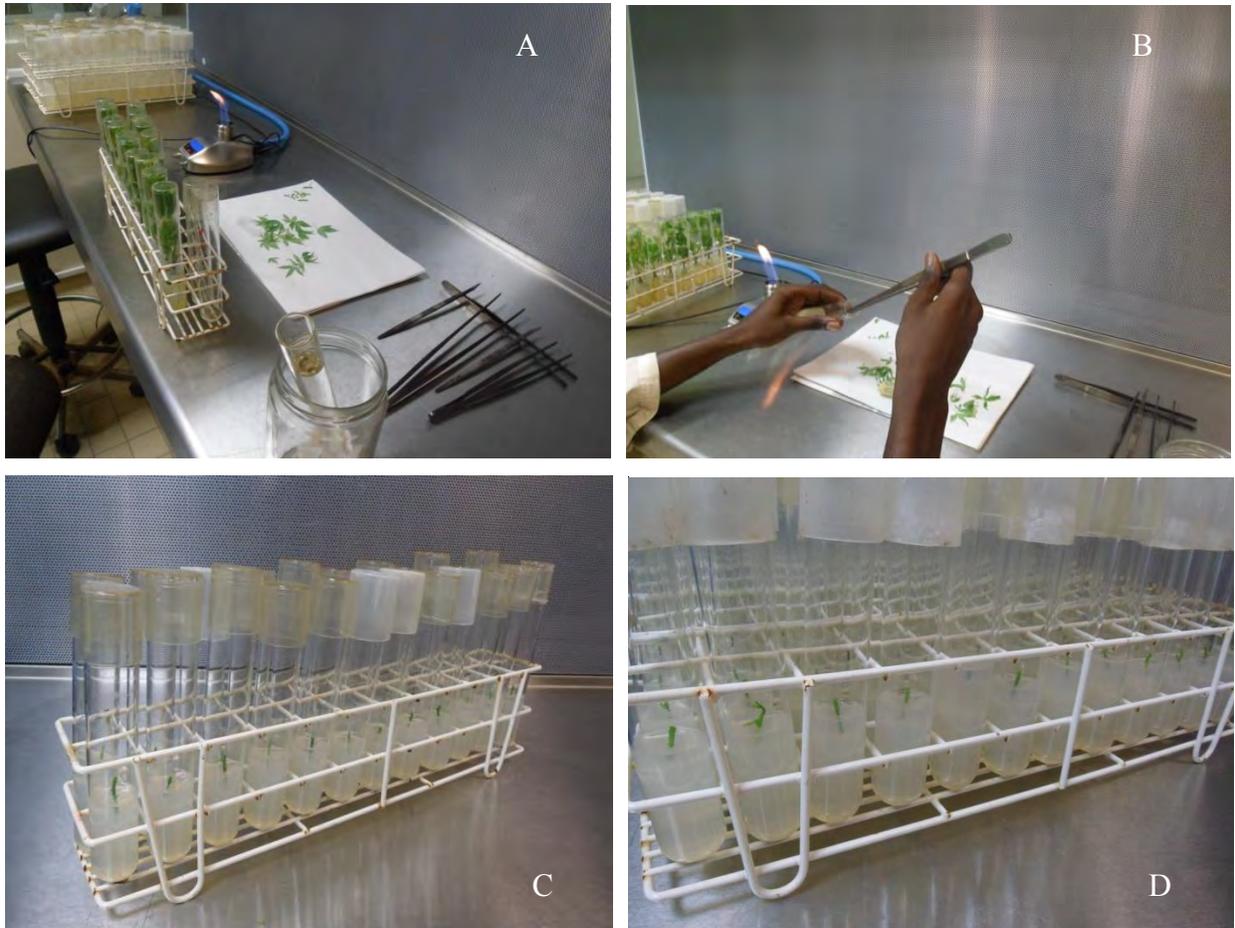


Planche 23 : Matériel & méthodes utilisés pour la multiplication *in vitro* des vitroplants de manioc

- A : Dispositif expérimental de repiquage
- B : Repiquage *in vitro*
- C : Panier nouvellement repiqué
- D : Cultures incubées à l'étuve

2.5. Acclimatation

Au bout de 4 semaines de culture, les vitroplants de 3^{ième} génération ont été ôtés des tubes, lavés à l'eau distillée puis transplantés en pots (Planche 24 B) placés dans une mini serre d'acclimatation (Planche 24 A), après section des feuilles et des racines.

Le substrat de ce sevrage *ex vitro* a été du sable préalablement stérilisé à l'autoclave 120°C pendant 12 h. Les pots ont été arrosés de manière à maintenir en permanence humide le substrat

de culture. Deux traitements fongicides distants de 15 jours au Mancozèbe à la dose recommandée de 50 mg/l ont été appliqués à la culture afin d'éviter le développement de moisissures.



Planche 24 : Acclimatation des jeunes plantes

A : Mini serre d'acclimatation

B : Pots d'acclimatation des jeunes plantes par variété et par milieu de provenance *in vitro*

2.6. Paramètres évalués et méthode d'évaluation

Pour chaque variété de manioc, un échantillon de 12 explants (sur 24) par milieu de culture a été considéré pour les mesures des paramètres à évaluer. Des comptages et des mesures hebdomadaires à l'aide d'une règle graduée ont été effectués pendant 30 jours de culture. Les paramètres évalués ont été le nombre et la longueur des pousses et des racines néoformées, le nombre de feuilles néoformées (ou nœuds), le taux de callogenèse chez les vitroplants et le taux de survie ainsi que la longueur des jeunes plantes mises en condition d'acclimatation.

2.7. Analyses statistiques

Les données collectées sur cette étude ont été saisies sur Excel et analysées avec le logiciel Costat. Elles ont été soumises à une analyse de variance et une comparaison des moyennes du test de Student, Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5%. Les comparaisons des moyennes ont été confirmées à l'aide du logiciel R en utilisant le test de Kruscal-Wallis.

II. RESULTATS

1. Influence de la variété et du milieu de culture sur le débourrement et la caulogénèse *in vitro* du manioc

Dans nos conditions d'expérience, nous avons pu constater des pourcentages de débourrement élevés pouvant atteindre le maximum chez l'ensemble des variétés de manioc sur les milieux de culture *in vitro* MS + KIN 0,1 ; MS + KIN 0,5 et MS + BAP 1 mg.L⁻¹ après 30 jours de culture. En revanche, sur l'ensemble des milieux de culture testés, les taux d'infection des explants de manioc se sont révélés assez faibles ne dépassant pas 12,5% (Tableau 8).

Tableau 8 : Taux de débourrement et d'infection des explants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|----------------|----------|---------------------|----------|
| | Soya a | | Niargi a | | Cololi b | | Cacau a | | Cacau roja b | |
| | Déb. (%) | Inf. (%) | Déb. (%) | Inf. (%) | Déb. (%) | Inf. (%) | Déb. (%) | Inf. (%) | Déb. (%) | Inf. (%) |
| MS a | 100 | 0 | 90 | 8,33 | 83,3 | 12,5 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ ANA 0,1 a | 100 | 4,16 | 100 | 0 | 95,8 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ ANA 0,5 b | 95,8 | 0 | 100 | 0 | 87,5 | 8,33 | 95,8 | 4,16 | 91,6 | 4,16 |
| MS+ ANA 1 c | 95,8 | 4,16 | 100 | 0 | 79,1 | 12,5 | 87,5 | 8,33 | 79,1 | 12,5 |
| MS+ BAP 0,1 a | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 4,16 |
| MS+ BAP 0,5 a | 100 | 0 | 100 | 0 | 95,8 | 0 | 100 | 4,16 | 95,8 | 0 |
| MS+ BAP 1 a | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ KIN 0,1 a | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ KIN 0,5 a | 100 | 0 | 100 | 4,16 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ KIN 1 a | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 87,5 | 8,33 |

Légende : Déb. = débourrement ; Inf. = infection

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

L'analyse de variance montre que le taux de débourrement des explants varie de manière peu significative ($F = 2,98$; $P = 0,028$) entre les différents milieux de culture et non significative ($F = 1,82$; $P = 0,127$) entre les 5 variétés de manioc étudiées. La comparaison des moyennes a permis de répartir ces différentes variétés en 2 groupes homogènes : **a** (Soya, Cacau et Niargi) et **b** (Cololi et Cacau roja) d'une part, et en 3 groupes les différents milieux de culture testés : **a** (MS ; MS+ ANA 0,1 ; MS+ BAP 0,1 ; MS+ BAP 0,5 ; MS+ BAP 1 ; MS+ KIN 0,1 ; MS+ KIN 0,1 et MS+ KIN 1 mg/L) ; **b** (MS+ ANA 0,5 mg/L) et **c** (MS+ ANA 1 mg/L).

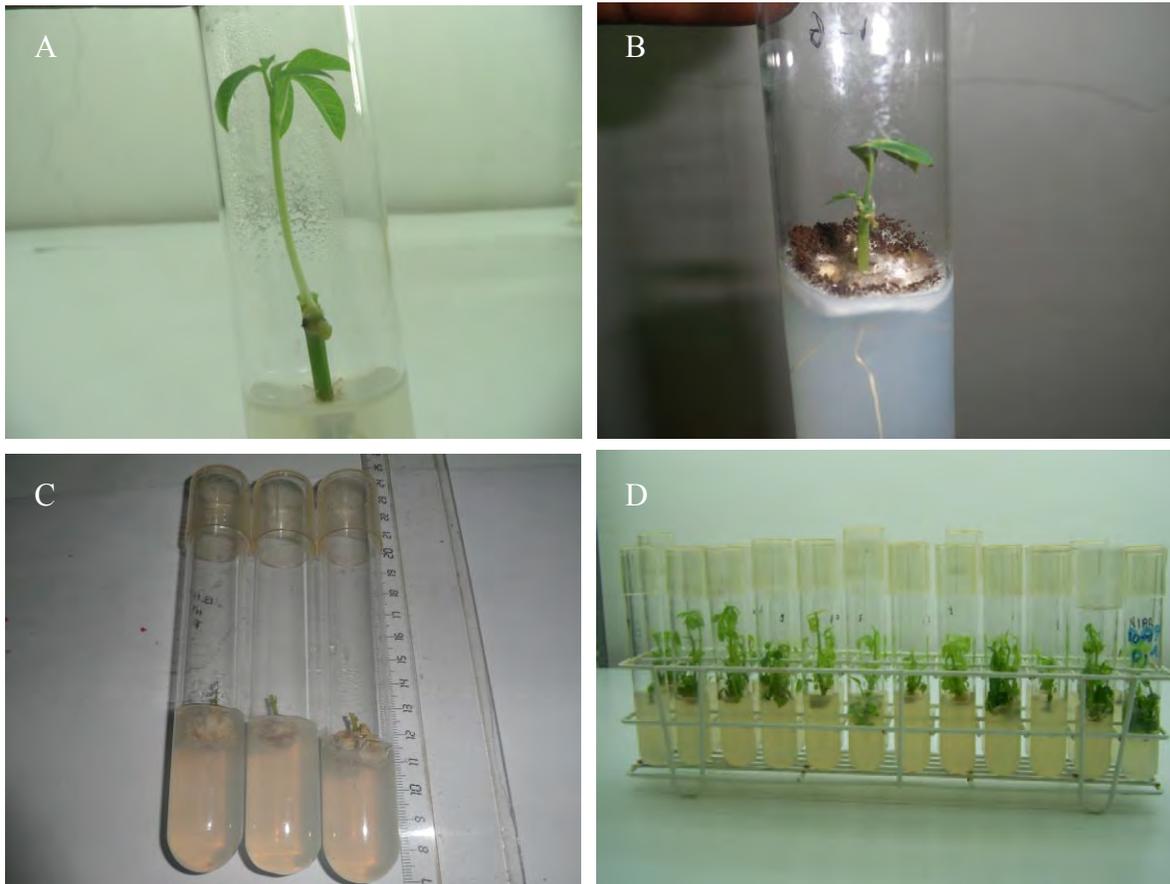


Planche 25 : Variations phénotypiques sur le débourrement et la caulogénèse *in vitro* des explants de différentes variétés de manioc sur différents milieux de culture

A : Formation de pousse unique chez la variété Niargi sur le milieu de culture MS sans hormone

B : Infection chez un vitroplant de la variété Cacau sur le milieu de culture MS + ANA 1 mg/L

C : Absence de débourrement chez des explants de la variété Cacau roja sur le milieu MS + ANA 1 mg/L

D : Prolifération de pousses chez les vitroplants de la variété Cololi produits sur le milieu MS + BAP 0,1mg/L

Concernant le nombre de pousses néoformées chez les vitroplants, une seule pousse émergeait à partir de l'unique nœud porté par chaque microbouture sur notre milieu de référence

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

MS sans hormone, chez l'ensemble des variétés de manioc étudiées. L'ajout d'hormone dans ce milieu de base MS favorisait cependant l'augmentation du nombre de pousses néoformées chez les différentes variétés de manioc. En effet, nous avons pu dénombrer jusqu'à 5,3 pousses en moyenne par vitroplant chez la variété Soya sur le milieu M5 (MS + BAP 0,1 mg/L) après 4 semaines de culture (Tableau 9). En revanche, les milieux contenant de l'ANA se sont révélés moins favorables à la caulogénèse, par rapport à ceux additionnés de BAP ou de kinétine.

Les résultats de l'analyse de variance ont révélé que le nombre de pousses néoformées varie de manière très significative non seulement entre les 5 variétés de manioc étudiées ($F = 8,11$; $P = 0,0001$) mais également entre les différents milieux de culture testés ($F = 0,383$; $P = 0,0034$).

Tableau 9 : Nombre moyen de pousses néoformées par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | |
|-----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| | Soya ab | Niargi a | Cololi bc | Cacau a | Cacau roja c |
| MS b | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MS + ANA 0,1 b | 2 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,5 |
| MS + ANA 0,5 b | 1,5 | 1,6 | 1,2 | 1,3 | 1,1 |
| MS + ANA 1 b | 1,1 | 2 | 1,1 | 1,3 | 1 |
| MS + BAP 0,1 a | 5,3 | 3,8 | 2,7 | 3,5 | 2,4 |
| MS + BAP 0,5 a | 3,1 | 4,1 | 2,5 | 3,6 | 1,2 |
| MS + BAP 1 a | 2,1 | 3,5 | 2,3 | 4 | 2,6 |
| MS + KIN 0,1 b | 1,4 | 2 | 1,8 | 2,4 | 1,5 |
| MS + KIN 0,5 a | 2,6 | 3,3 | 1,8 | 3,6 | 3,6 |
| MS + KIN 1 a | 3 | 2,8 | 3,8 | 3,5 | 1,8 |

2. Influence de la variété et du milieu de culture sur la croissance caulinaire *in vitro* du manioc

Sur le milieu MS dépourvu d'hormone, la variété Cacau a présenté la meilleure croissance des pousses par rapport au reste des variétés avec en moyenne 7,95 cm de longueur après 4 semaines de culture (Tableau 10). En revanche, l'ajout d'hormone à forte concentration dans ce milieu de base diminue la croissance des pousses. Toutefois, dans nos conditions d'expérience, la kinétine s'est révélée plus favorable à la croissance caulinaire des vitroplants par rapports à la BAP et à l'ANA notamment chez les variétés Cacau, Niargi et Soya avec respectivement 3,56 ; 3,44 et 3,33 cm de longueur moyenne des pousses sur le milieu M10 (MS + KIN 1 mg/L) après 4 semaines de culture. Les variétés Cololi et Cacau roja ont par contre présenté les plus courtes pousses avec en moyennes 0,45 et 0,32 cm de long respectivement sur les milieux M3 (MS + ANA 0,5 mg/L) et M6 (MS + BAP 0,5 mg/L). En effet, il est apparu selon ces résultats que la croissance des vitroplants de manioc varie selon la variété et d'un milieu de culture à l'autre.

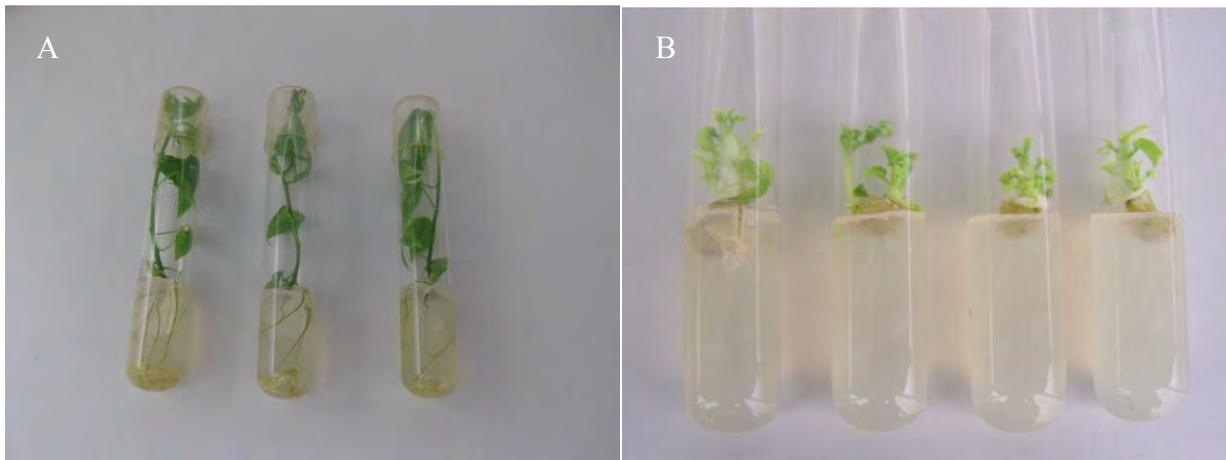


Planche 26 : Croissance des pousses des vitroplants de la variété Niargi sur 2 milieux différents après 4 semaines de culture

A : Bonne croissance caulinaire chez la variété Niargi sur le milieu de culture MS sans hormone

B : Mauvaise croissance caulinaire chez la variété Niargi sur le milieu de culture MS + ANA 0,1 mg/L

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que la variation de la longueur des pousses néoformées est peu significative ($F = 2,92$; $P = 0,034$) entre les 5 variétés de manioc étudiées et très significative ($F = 5,35$; $P = 0,001$) entre les différents milieux de culture testés.

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

Tableau 10 : Longueur moyenne (cm) des pousses chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | |
|------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| | Soya b | Niargi a | Cololi b | Cacau ab | Cacau roja b |
| MS a | 2,34 | 3,58 | 2,56 | 7,95 | 2,96 |
| MS + ANA 0,1 ab | 1,23 | 3,45 | 1,08 | 1,59 | 1,62 |
| MS + ANA 0,5 b | 0,55 | 3,34 | 0,45 | 0,67 | 0,57 |
| MS + ANA 1 ab | 0,86 | 1,25 | 0,93 | 0,82 | 0,45 |
| MS + BAP 0,1 ab | 2,46 | 2,81 | 0,96 | 1,57 | 1,45 |
| MS + BAP 0,5 b | 0,73 | 1,62 | 1,2 | 1,33 | 0,32 |
| MS + BAP 1 ab | 0,6 | 1,01 | 0,72 | 1,26 | 0,78 |
| MS + KIN 0,1 a | 1,67 | 2,34 | 1,66 | 2,58 | 2,79 |
| MS + KIN 0,5 a | 2,78 | 1,94 | 2,35 | 1,92 | 2,67 |
| MS + KIN 1 a | 3,33 | 3,44 | 1,65 | 3,56 | 1,56 |

3. Influence de la variété et du milieu de culture sur l'enracinement et la callogénèse *in vitro* du manioc

Le tableau 11 montre que l'enracinement et la formation de cals chez les microboutures des différentes variétés de manioc dépendent principalement du milieu de culture *in vitro*. Dans nos conditions d'expérience, cette callogénèse qui n'a pas été observée sur le milieu de culture de référence MS où une forte différenciation racinaire (Planche 26 A) a été notée chez l'ensemble des variétés de manioc étudiées, a été provoquée chez les vitroplants avec l'ajout de régulateurs de croissance, surtout à forte concentration (1 mg/L). L'ANA s'est révélé plus callogène que la BAP et la kinétine. En effet, après 4 semaines de culture, nous avons pu observer 100% de formation de cals chez l'ensemble des 5 variétés sur les milieux MS + ANA

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

0,5 mg/L et MS + ANA 1 mg/L contre 25 et 58,3% respectivement chez les variétés Soya et Cololi sur le milieu MS + KIN 0,1 mg/L (Tableau 11).

La concentration hormonale a également un effet sur la taille de cals formés. Ainsi, de gros cals pouvant dépasser 1,2 cm de largeur (Planche 26 B) ont été observés chez les vitroplants cultivés sur les milieux ajoutés d'ANA à 1 mg/L. En revanche, dans les milieux additionnés d'une faible concentration (0,1 mg.L⁻¹) de kinétine ou de BAP, la callogenèse a été plus lente et moins importante avec des cals ne dépassant généralement pas 0,5 cm.

Tableau 11 : Taux d'enracinement et de callogenèse chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------------|----------|
| | Soya a | | Niargi b | | Cololi b | | Cacau ab | | Cacau roja b | |
| | Enr. (%) | Cal. (%) | Enr. (%) | Cal. (%) | Enr. (%) | Cal. (%) | Enr. (%) | Cal. (%) | Enr. (%) | Cal. (%) |
| MS a | 100 | 0 | 90 | 0 | 83,3 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| MS+ANA 0,1 bc | 70,8 | 100 | 95,8 | 100 | 33,3 | 95,8 | 83,3 | 100 | 41,6 | 100 |
| MS+ANA 0,5 cd | 33,3 | 100 | 79,1 | 100 | 20,8 | 100 | 54,16 | 100 | 8,3 | 100 |
| MS+ANA 1 d | 58,3 | 100 | 16,6 | 100 | 20,8 | 100 | 12,5 | 100 | 4,16 | 100 |
| MS+BAP 0,1 cd | 29,1 | 58,3 | 4,1 | 100 | 58,3 | 100 | 12,5 | 91,6 | 41,6 | 79,1 |
| MS+BAP 0,5 d | 4,1 | 100 | 0 | 100 | 0 | 95,8 | 0 | 100 | 8,3 | 91,6 |
| MS+BAP 1 d | 20,8 | 75 | 0 | 100 | 20,8 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 |
| MS+KIN 0,1 b | 91,6 | 25 | 54,1 | 91,6 | 45,8 | 58,3 | 66,6 | 54,16 | 41,6 | 83,3 |
| MS+KIN 0,5 cd | 83,3 | 66,6 | 0 | 100 | 37,5 | 95,8 | 16,6 | 100 | 25 | 83,3 |
| MS+KIN 1 cd | 54,1 | 91,6 | 37,5 | 100 | 25 | 100 | 37,5 | 66,6 | 20,8 | 95,8 |

Légende : Enr. = enracinement ; Cal. = callogenèse

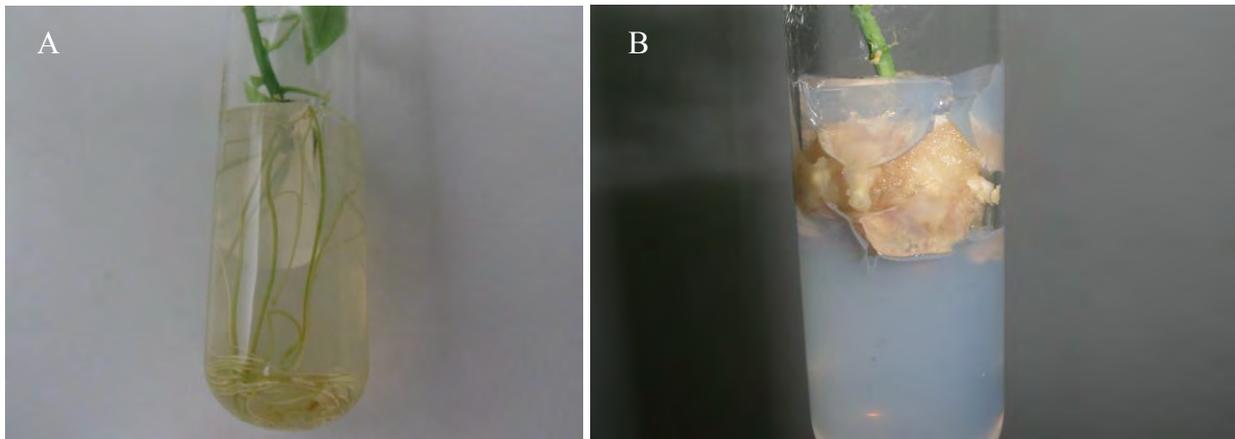


Planche 27 : Enracinement des vitroplants chez la variété Soya en présence (ANA 1 mg/L) ou en l'absence de régulateur de croissance après 4 semaines de culture

A : On observe un bon développement racinaire sur le milieu de culture *in vitro* MS sans hormone

B : Développement d'un cal cicatriciel basal gênant l'expression racinaire sur le milieu MS + ANA 1 mg/L

Le nombre de racines néoformées chez les vitroplants de manioc varie également suivant la variété et suivant le milieu de culture. Ainsi, notre milieu MS sans hormone, les variétés Soya et Cacau se sont plus densément enracinées avec respectivement 9,77 et 8,88 racines en moyennes par vitroplant après 4 semaines de culture. L'ajout d'hormone dans ce milieu MS a provoqué de fortes variations du nombre de racines chez les différentes variétés de manioc. Toutefois, nous avons pu noter qu'à faible concentration (0,1 mg/L), l'ANA et la kinétine, se sont révélés plus rhizogènes que la BAP. En effet, le nombre de racines par vitroplant a pu augmenter jusqu'à 10,4 en moyenne chez la variété Niargi sur le milieu MS + ANA 0,1 mg/L (Tableau 12). En revanche, une absence de différenciation racinaire a été observée durant 1 mois de culture chez les variétés Niargi, Cacau et Cacau roja sur le milieu MS + BAP 1 mg/L.

L'analyse de variance révèle que le taux d'enracinement des vitroplants et varie de façon très significative ($F = 23,61$; $P = 0,000$) entre les milieux de culture et peu significative ($F = 3,29$; $P = 0,012$) entre les 5 variétés de manioc. De même, le nombre de racines néoformées varie de manière non significative ($F = 2,24$; $P = 0,08$) entre les variétés de manioc et très significative ($F = 6,96$; $P = 0,000$) entre les milieux de culture. La comparaison des moyennes permet de classer les milieux en 5 groupes homogènes : **a** (MS) ; **b** (MS + KIN 0,1 mg/L) ; **bc** (MS + ANA 0,1 mg/L) ; **cd** (MS + ANA 0,5 mg/L ; MS + KIN 0,5 mg/L ; MS + KIN 1 mg/L ; MS + BAP 0,1 mg/L) et **d** (MS + ANA 1 mg/L ; MS + BAP 0,5 mg/L ; MS + BAP 1 mg/L) et en 3 groupes : **a** (Soya), **b** (Cololi, Niargi et Cacau roja) et **ab** (Cacau) les 5 variétés de manioc.

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

Tableau 12 : Nombre moyen de racines néoformées par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | |
|-------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | Soya a | Niargi a | Cololi a | Cacau a | Cacau roja a |
| MS a | 9,77 | 5,77 | 5,6 | 8,88 | 4,4 |
| MS + ANA 0,1 ab | 5,75 | 10,4 | 5 | 8 | 4,25 |
| MS + ANA 0,5 bcd | 3,87 | 7,5 | 1,25 | 9,28 | 0,25 |
| MS + ANA 1 cd | 4 | 1,12 | 1,87 | 0,12 | 0,12 |
| MS + BAP 0,1 cd | 2,12 | 0,5 | 3,77 | 1,12 | 3 |
| MS + BAP 0,5 c | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0,37 |
| MS + BAP 1 cd | 1 | 0 | 2,12 | 0 | 0 |
| MS + KIN 0,1 bc | 4,27 | 2,3 | 5,75 | 3 | 3 |
| MS + KIN 0,5 cd | 6,8 | 0 | 2,57 | 0,88 | 0,12 |
| MS + KIN 1 cd | 4 | 1,8 | 2,75 | 4,33 | 1 |

4. Influence de la variété et du milieu de culture sur la croissance racinaire *in vitro* du manioc

Dans nos conditions expérimentales, les variétés Niargi, Soya et Cacau ont présenté les meilleures croissances racinaires avec respectivement 8,12 ; 7,54 et 7,43 cm de longueurs moyennes des racines après 4 semaines de culture sur le milieu de culture MS sans hormone. L'ajout d'auxine ou de cytokinine dans ce milieu de base MS n'a cependant pas favorisé la croissance des racines, encore moins à forte concentration (1 mg/L). Toutefois, la kinétine s'est révélé plus favorable que l'ANA et la BAP à l'allongement des racines notamment chez les variétés Cacau et Soya où nous avons pu enregistrer respectivement 4,62 et 3,58 cm de longueurs moyennes sur le milieu M10 (MS + KIN 1 mg/L). En effet, la plus faible croissance racinaire a

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

été observée sur les milieux contenant de l'ANA où des racines très courtes ne dépassant pas 0,06 cm en moyenne ont été observées chez la variété Cacao roja sur le milieu M4 (MS + ANA 1 mg/L) après 4 semaines de culture (Tableau 13). Ainsi, nous pouvons dire que l'allongement des racines des vitroplants de manioc varie suivant les différentes variétés et en fonction du milieu de culture.

Les résultats de l'analyse statistique ont montré que la variation de la longueur des racines des vitroplants est peu significative ($F = 2,48$; $P = 0,0459$) entre les 5 variétés de manioc et très significative ($F = 18,77$; $P = 0,000$) entre les différents milieux de culture testés.

Tableau 13 : Longueur moyenne (cm) des racines chez les vitroplants des 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | |
|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| | Soya a | Niargi a | Cololi a | Cacau a | Cacau roja a |
| MS a | 7,54 | 8,12 | 4,45 | 7,43 | 5,28 |
| MS + ANA 0,1 c | 3,37 | 2,3 | 1,5 | 2,47 | 1,88 |
| MS + ANA 0,5 c | 1 | 0,96 | 0,6 | 0,53 | 0,13 |
| MS + ANA 1 c | 0,46 | 0,62 | 0,7 | 0,55 | 0,06 |
| MS + BAP 0,1 c | 1,56 | 2,06 | 2,67 | 2,88 | 3,96 |
| MS + BAP 0,5 c | 1,25 | 0 | 0 | 0 | 0,4 |
| MS + BAP 1 c | 2,3 | 0 | 1,42 | 0 | 0 |
| MS + KIN 0,1 b | 3,66 | 2,13 | 3,77 | 4,06 | 3,32 |
| MS + KIN 0,5 c | 4,53 | 0 | 3,12 | 4,06 | 1,61 |
| MS + KIN 1 c | 3,58 | 1,37 | 2,13 | 4,62 | 1,83 |

5. Influence de la variété et du milieu de culture sur la phylogénèse *in vitro* chez le manioc

Nous avons pu constater la formation de feuilles normales chez les vitroplants produits dans les milieux de culture MS et MS + KIN tandis que l'ajout de BAP dans ce milieu de base MS favorise la prolifération de petites feuilles en rosette (Planche 28 B). En effet, après 4 semaines de culture, nous avons pu dénombrer en moyenne 16,4 feuilles par vitroplant chez la variété Niargi dans le milieu M6 (MS + BAP 0,5 mg/L). L'ANA par contre, s'est révélé défavorable à la phylogénèse chez les vitroplants des différentes variétés de manioc étudiées. Ainsi, sur le milieu M3 (MS + ANA 0,5 mg/L), le nombre de feuilles néoformées a chuté pour atteindre 1,5 feuilles en moyenne par vitroplant après 4 semaines de culture chez la variété Cololi (Tableau 14). D'après ces résultats, le nombre de feuilles (ou de nœuds) néoformées chez les vitroplants de manioc varie selon le milieu de culture et selon la variété.

Les résultats de l'analyse statistique ont montré que la variation du nombre de feuilles néoformées chez les vitroplants de manioc est significative entre les différentes variétés de manioc étudiées ($F = 4,70$; $P = 0,003$) et très significative ($F = 8,95$; $P = 0,000$) entre les différents milieux de culture testés.

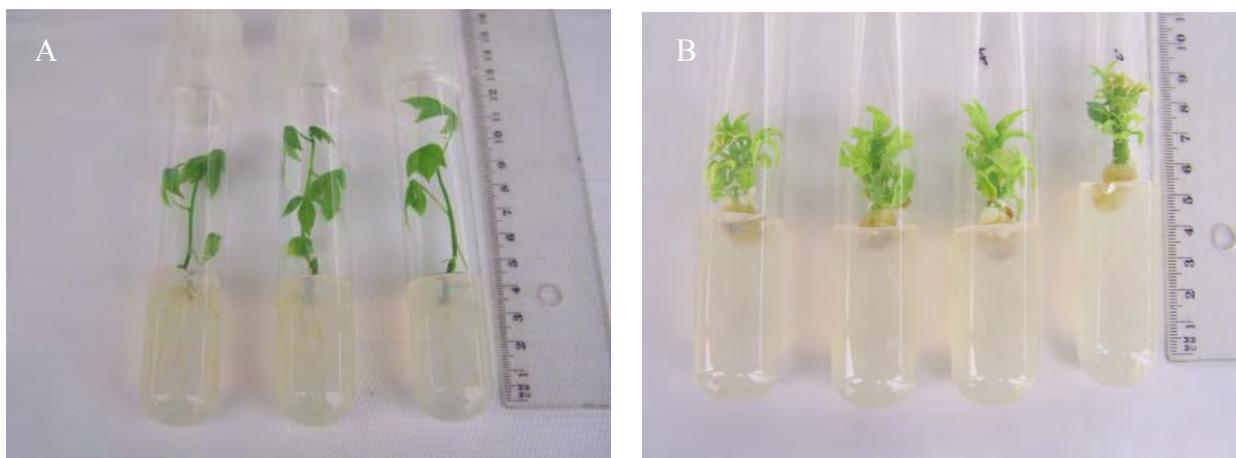


Planche 28 : Développement des feuilles chez les vitroplants de la variété Soya sur 2 milieux différents après 30 jours de culture

A : Développement normal des feuilles sur le milieu MS + KIN 0,1 mg/L

B : Prolifération de petites feuilles en rosette sur le milieu MS + BAP 0,5 mg/L

Tableau 14 : Nombre moyen de feuilles par vitroplant chez les 5 variétés de manioc sur les différents milieux après 4 semaines de culture

| Milieux de culture | Variétés | | | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | Soya abc | Niargi a | Cololi bc | Cacau ab | Cacau roja c |
| MS cd | 5,2 | 6,37 | 5,4 | 5,87 | 5,44 |
| MS + ANA 0,1 cd | 5,3 | 5,8 | 3,9 | 3,8 | 4,8 |
| MS + ANA 0,5 cd | 2,1 | 5,7 | 1,5 | 2,7 | 2,2 |
| MS + ANA 1 d | 2,3 | 3,1 | 2,7 | 2,8 | 1,7 |
| MS + BAP 0,1 ab | 16 | 15,4 | 11,4 | 12,7 | 7,8 |
| MS + BAP 0,5 a | 11,5 | 16,4 | 9,6 | 15,9 | 1,6 |
| MS + BAP 1 bc | 6,7 | 10,2 | 6,6 | 16 | 3,4 |
| MS + KIN 0,1 bcd | 4,8 | 6,5 | 4,6 | 7,4 | 6,2 |
| MS + KIN 0,5 ab | 8,5 | 11,4 | 5,8 | 12,2 | 11,6 |
| MS + KIN 1 ab | 8,7 | 10 | 11,4 | 8,9 | 4,8 |

6. Influence de la variété et du milieu de culture sur la viabilité et la croissance des jeunes plantes de manioc acclimatées

La viabilité des jeunes plantes de manioc dans les conditions de sevrage *ex vitro* est apparue dépendante du milieu de culture *in vitro* initial et de la variété. Dans nos conditions expérimentales, les plus importants taux de survie en acclimatation ont été enregistrés chez les jeunes plantes cultivées *in vitro* sur le milieu MS, avec 100% chez les variétés Soya, Niargi et Cacau. En revanche, le taux de mortalité a été plus élevé chez les jeunes plantes produites sur les milieux de culture *in vitro* ajoutés d'hormone. En effet, nous avons pu observer 100% de

mortalité chez les jeunes plantes issues des milieux MS + BAP 1 mg/L et MS + ANA 1 mg/L chez l'ensemble des variétés de manioc après 45 jours de sevrage *ex vitro* (Figure 13).

Toutefois, les milieux de culture *in vitro* additionnés de kinétine ont fourni des vitroplants plus viables en acclimatation, par rapport à ceux ajoutés d'ANA ou de BAP. Ainsi, un taux de survie de 87,5% a été enregistré chez les jeunes plantes de la variété Soya issues du milieu de culture MS + KIN 0,1 mg/L contre 37,5 et 50% chez celles préalablement cultivées sur les milieux MS + ANA 0,1 mg/L et MS + BAP 0,1 mg/L respectivement, après 45 jours d'acclimatation.

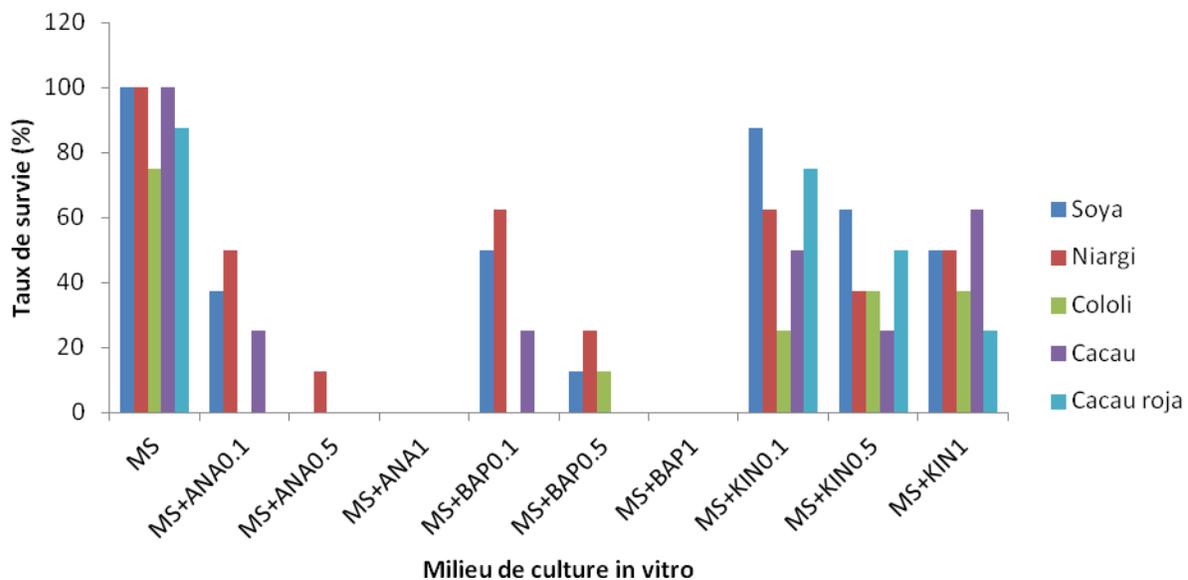


Figure 13 : Taux de survie en acclimatation des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produits sur les différents milieux de culture *in vitro* après 6 semaines de sevrage

Les résultats de l'analyse de variance montrent que le taux de survie en acclimatation des jeunes plantes de manioc varie significativement entre les différentes variétés ($F = 49,66$; $P = 0,0041$) et entre leurs milieux de provenance *in vitro* ($F = 2,17$; $P = 0,0012$). La comparaison des moyennes a permis de classer les différents milieux de culture testés en 6 groupes homogènes : a (MS) ; b (MS + KIN 0,1 mg.L⁻¹ ; MS + KIN 0,5 mg.L⁻¹ ; MS + KIN 1 mg.L⁻¹) ; bc (MS + BAP 0,1 mg.L⁻¹ ; MS + ANA 0,1 mg.L⁻¹) ; c (MS + BAP 0,5 mg/L) ; cd (MS+ ANA 0,5 mg.L⁻¹) et d (MS + ANA 1 mg.L⁻¹ ; MS + BAP 1 mg.L⁻¹) et en 3 groupes : a (Soya, Niargi), ab (Cacau) et b (Cololi, Cacau roja) les différentes variétés de manioc étudiées.



Planche 29 : Viabilité et croissance des jeunes plantes de manioc en acclimatation

A : Résultat de l'acclimatation chez les différentes variétés de manioc après 1 mois de sevrage

B : Mesure de la hauteur des jeunes plantes

C : Réussite d'acclimatation chez les jeunes plantes de Cacau issues du milieu de culture MS

D : Echec d'acclimatation chez les jeunes plantes de Cacau roja issues du milieu de culture MS + ANA 1 mg/L

La croissance des vitroplants de manioc dans les conditions de sevrage *ex vitro* est également apparue variable suivant les différentes variétés et leurs conditions de milieu d'origine. Dans notre expérience, nous avons pu constater que les variétés dont les vitroplants ont présenté une bonne croissance *in vitro* ont également présenté un meilleur développement en condition d'acclimatation. En effet, la meilleure croissance en conditions d'acclimatation a été observée chez les jeunes plantes produites *in vitro* sur le milieu de culture MS dépourvu d'hormone. Elles ont pu atteindre 2 à 3 fois leur taille initiale respectivement chez les variétés Niargi et Soya après 45 jours de sevrage (Figures 14 ; 15).

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE DES CAPACITES ORGANOGENETIQUES IN VITRO DE VARIETES DE MANIOC

Toutefois, le meilleur allongement des tiges des jeunes plantes a été observé chez la variété Cacau où les vitroplants acclimatés ont pu atteindre 13,81 cm en moyenne après un mois et demi d'acclimatation. Les variétés Cololi et Cacau roja ont cependant présenté une croissance relativement faible.

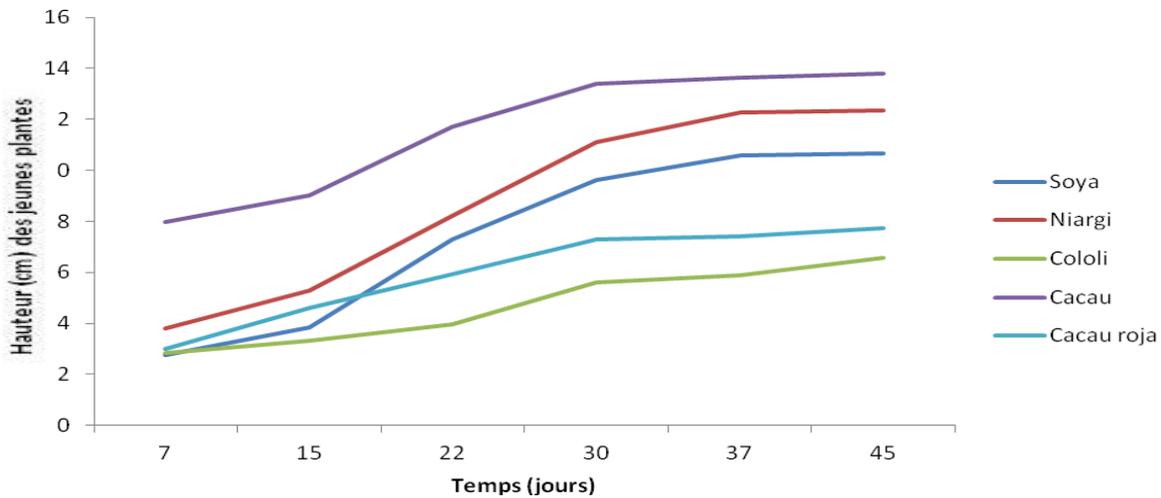


Figure 14 : Croissance en longueur des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produites *in vitro* sur le milieu de culture MS durant 45 jours d'acclimatation

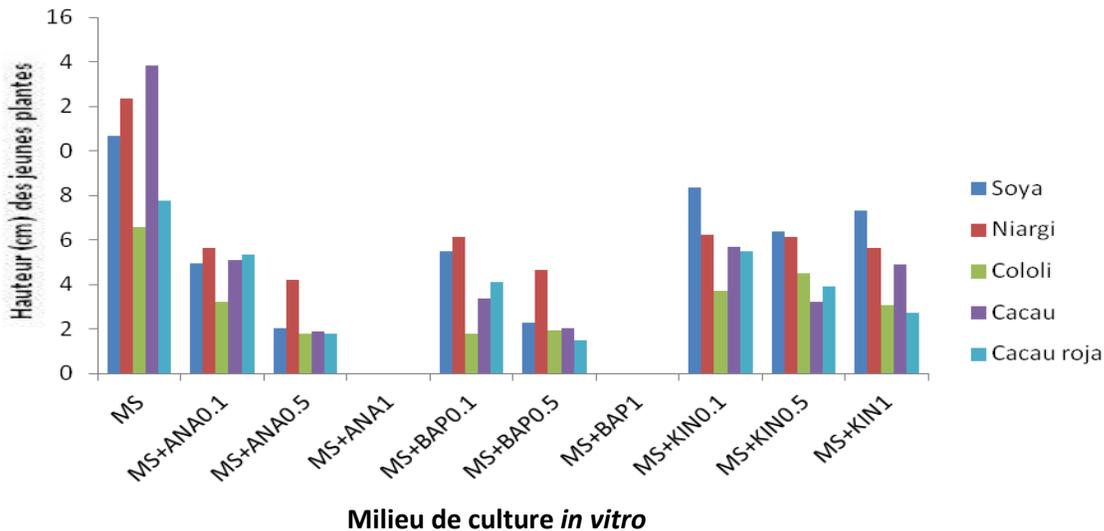


Figure 15 : Hauteur des jeunes plantes des 5 variétés de manioc produites *in vitro* sur les différents milieux de culture après 45 jours d'acclimatation

III. DISCUSSION

Nos résultats ont montré que la réponse du manioc à la micropropagation dépend de la variété et du milieu de culture *in vitro*. Dans nos conditions d'expérience, l'ajout de régulateurs de croissance dans le milieu de culture de base MS a favorisé ou défavorisé la formation d'organes chez les différentes variétés étudiées.

Nous avons pu constater que la plus faible concentration hormonale (0,1 mg/L) a été plus favorable que la plus forte (1 mg/L) au développement et à la croissance *in vitro* des organes chez l'ensemble des 5 variétés de manioc étudiées, excepté pour la callogenèse. De telles observations sont confirmées par les résultats obtenus par Cacaï *et al.* (2012) selon lesquels l'effet de la kinétine sur la croissance *in vitro* des pousses de manioc varie selon la concentration hormonale. Saleil *et al.* (1990) ont également constaté que la nature et la concentration de la cytokinine avaient déterminé des variations de croissance significative sur certains géotypes de *Dioscorea* sp. ; ce qui confirme les résultats d'Ondo *et al.* (2007) qui, en utilisant une forte concentration (2 mg/L) de kinétine, ont pu remarquer une réduction de la longueur des racines chez le complexe *Dioscorea cayenensis-Dioscorea rotundata*.

Parmi les concentrations hormonales testées, la BAP 0,5 mg/L a permis d'obtenir les plus grands nombres de pousses et de feuilles chez l'ensemble des variétés. La kinétine 0,1 mg/L a permis d'obtenir une meilleure croissance des tiges et des racines néoformées, tandis que l'auxine ANA 1 mg/L a induit une précoce et importante formation de cals chez les vitroplants et réduit le développement des pousses et de feuilles, par rapport aux 2 cytokinines (BAP et kinétine). Ces résultats sont confirmés par les travaux de Malaurie *et al.* (1995), Miller et Skoog (1957), James et Newton (1977), Navatel (1979) Ammirato (1984), Bennett *et al.* (1986), Saleil *et al.* (1990), Romano *et al.* (1992), Bougacha (1992), Yopez *et al.* (2001), Kbiach (2002), Ndoumou *et al.* (2003) et Ahanhanzo *et al.* (2008), qui ont montré que la kinétine induit plus de racines que la BAP. En effet les cytokinines, contrairement à l'auxine, favoriseraient plutôt le développement et la croissance des organes aériens (tiges et feuilles). En effet, Miller *et al.* (1956) ont travaillé à rechercher des substances chimiques stimulant la division cellulaire *in vitro* de tabac lorsqu'ils ont découvert la première cytokinine (la kinétine : N6-furfuryladénine) dans une solution d'ADN dégradée.

Quant à l'ANA, il est souvent utilisé comme inducteur des racines mais ne favorise pas la croissance en longueur de celles-ci. Travaillant sur l'enracinement *in vitro* de microboutures d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana*, Sané *et al.* (2001) ont pu constater que la morphologie globale du système racinaire était influencée par la nature de l'auxine utilisée comme inducteur. Ces auteurs ont pu montrer que l'enracinement *in vitro* des explants nécessitait une action en 2 temps : une phase d'induction par application d'auxine pendant une courte durée (10 jours au maximum) suivie d'une phase d'expression racinaire dans un milieu sans hormone. La combinaison de l'AIB avec la kinétine permettait cependant d'accélérer cette expression racinaire.

Skoog et Miller (1957) ont observé que la présence simultanée d'auxine et de cytokinine était nécessaire pour que la division cellulaire, la synthèse d'ADN et la mitose aient lieu en continu. Par ailleurs, ces auteurs ont pu constater que la morphogenèse dépendait aussi de la présence des deux hormones et de leur concentration et qu'ainsi, leur rapport contrôlait son programme. En ce sens, selon Malaurie *et al.* (1995), les variations du rapport auxine / cytokinines ont des effets précis sur le développement des explants et déterminent de ce fait le sens de l'organogenèse. Des travaux menés par ces auteurs ont montré qu'un rapport auxine / cytokinine élevé engendrait la différenciation de racines alors qu'un rapport faible (plus de cytokinines que d'auxine) engendrait la différenciation de tiges. En effet, Ahanhanzo *et al.* (2008), en utilisant ANA 0,5 mg/L + BAP 0,5 mg/L d'une part et ANA 0,5 mg/L + KIN 0,5 mg/L d'autre part n'ont pas observé la formation de cal sur trois variétés améliorées de manioc (*RB 89509* ; *BEN 86052* ; *TMS 30572*). Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il existerait une certaine interaction entre régulateurs de croissance au point qu'une différenciation en tige ou en racine dépendrait du type de combinaison hormonale utilisée.

Dans nos conditions d'expérience, la réponse du manioc à la multiplication *in vitro* s'est révélée idéale dans le milieu de culture de référence (MS) en l'absence d'hormone. En effet les vitroplants ont présenté un bon développement végétatif dans ce milieu de culture de base chez l'ensemble des variétés. De tels constats sont appuyés par les travaux de Boher (1988) et ceux de Lourd (1981) qui a pu multiplier avec succès 65 cultivars de manioc sans utiliser des régulateurs de croissance. Il était apparu que la vitesse de croissance des vitroplants pouvait être extrêmement variable selon les cultivars et selon le type d'explants d'un même cultivar.

D'après nos résultats, la variété également a une influence sur l'organogenèse *in vitro* du manioc. En effet, les variétés Soya, Cacao et Niargi ont présenté les meilleures capacités organogénétiques par rapport au reste des variétés étudiées. Ces observations sont en conformité avec celles de Cacao *et al.* (2012) d'après qui la réaction des différents milieux de culture *in vitro* n'est pas la même d'une variété de manioc à une autre. Ainsi, selon ces auteurs, les milieux de culture MS + KIN et MS + ANA ont permis d'obtenir les hauteurs de tige les plus élevées chez des cultivars de manioc du Bénin *Agric Sazoué* ($3,54 \pm 0,4$ cm) et *Gbèzè* ($6,36 \pm 0,3$ cm) d'une part et *Ahouandjan* ($8,62 \pm 0,8$ cm) d'autre part, respectivement. Chez les variétés 92/0057 ($1,63 \pm 0,1$ cm) ; *BEN 86052* ($4,20 \pm 0,6$ cm) ; *Sèkandji* ($6,6 \pm 0,4$ cm) et *Okoyao* ($1,85 \pm 0,3$ cm), c'est par contre la combinaison ANA + KIN qui permettait d'enregistrer les hauteurs moyennes des tiges les plus élevées. De même, des travaux réalisés par Ahanhanzo *et al.* (2010) sur différents génotypes d'ignames ont confirmé que la réponse des microboutures à l'action des cytokinines dépendrait du génotype de la plante.

Pour ce qui concerne la viabilité des vitroplants de manioc en condition d'acclimatation, nos résultats ont montré qu'elle dépendait moins de la variété que du milieu de culture *in vitro* des explants. En effet, la formation de cals ainsi que la faible croissance caulinaire et racinaire qui ont été observées chez les vitroplants produits dans les milieux de culture ajoutés d'hormones et notamment de BAP ou, et surtout d'ANA, expliquerait leur faible taux de survie observée en acclimatation. Selon Boher (1988), la viabilité et la croissance des jeunes plantes de manioc en sevrage *ex vitro* dépend outre de leur rigueur végétative, des facteurs climatiques notamment de l'humidité, du rayonnement et de la température.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre, nous avons cherché à approfondir nos connaissances sur la physiologie du développement chez le manioc en vue de sélectionner les génotypes de manioc présentant les meilleures capacités organogénétique *in vitro* parmi 5 cultivars (Soya, Niargi, Cololi, Cacao et Cacao roja) cultivés dans le département de Tivaouane et sélectionnés pour leur tolérance aux termites ravageurs des boutures.

Pour ce faire, des microboutures uninodales issues de jeunes plantes de ces différentes variétés de manioc ont été cultivées en conditions stériles dans différents milieux de culture *in*

in vitro. Leurs aptitudes d'organogenèse ont été suivies pendant un mois de culture puis leur viabilité et leur croissance en acclimatation évaluées durant 6 semaines de sevrage *ex vitro*.

Les résultats obtenus ont montré que l'organogenèse *in vitro* du manioc dépend de la variété et du milieu de culture des explants. Ainsi, les meilleures capacités organogénétiques ont été observées chez les variétés Niargi, Soya et Cacao et dans le milieu de base Murashige & Skoog (MS) dépourvu d'hormone, qui s'est avéré le milieu de culture idéal pour l'organogenèse *in vitro* chez l'ensemble des variétés de manioc étudiées.

L'addition de régulateur de croissance (ANA, BAP ou kinétine) à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 et 1 mg/L) dans ce milieu de référence MS, a permis d'observer différentes tendances organogénétiques chez les différentes variétés de manioc. En effet, la kinétine s'est révélée plus favorable à l'allongement des pousses et des racines et au développement normal des feuilles. La BAP a provoqué la prolifération de courtes pousses et de petites feuilles chez les vitroplants et réduit le développement et la croissance racinaire. L'ANA a été plus favorable à la formation de cals chez l'ensemble des variétés et empêché la différenciation racinaire, la croissance des pousses et le développement des feuilles.

Chez l'ensemble des variétés de manioc, la rhizogenèse ainsi que la croissance des tiges et des racines ont été plus favorisées sur les milieux à faible concentration hormonale (0,1 mg/L), tandis que la prolifération de pousses et de feuilles ainsi que la callogenèse l'ont été à forte concentration d'hormone (1 mg/L).

Concernant la viabilité et la croissance des vitroplants en condition de sevrage *ex vitro*, nos résultats ont montré qu'elles dépendent de leurs conditions de milieu d'origine et de la variété. Ainsi les plus importants taux de survie avec la meilleure croissance ont été enregistrés chez les jeunes plantes produites *in vitro* dans le milieu de culture MS sans hormone. La formation de cals qui a été provoquée chez les vitroplants par l'ajout d'hormone dans ce milieu de base MS a semblé être un facteur limitant la survie et la croissance des jeunes plantes en acclimatation. En effet, de forts taux de mortalité pouvant atteindre 100% ont pu être observés chez les vitroplants produits dans les milieux de culture additionnés d'une forte concentration hormonale (MS + BAP 1 mg/L et MS + ANA 1 mg/L) chez l'ensemble des variétés de manioc. Parmi celles-ci, les variétés Cacao, Soya et Niargi ont présenté le meilleur développement *ex vitro*.

**CONCLUSION GENERALE
ET
PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La connaissance des spécificités des différentes variétés de manioc apparaît comme un outil essentiel pour l'amélioration de sa culture. Elle permet une identification des cultivars adaptés aux différentes méthodes culturales et aux différentes zones de culture selon leurs caractéristiques agro-écologiques.

Ce travail a porté sur une étude comparative de différentes variétés de *Manihot esculenta* cultivées dans le département de Tivaouane (Sénégal) selon leur adaptation au stress biotique que constituent les attaques des termites ravageurs des boutures dans la zone d'une part, et selon leurs capacités organogénétiques *in vitro* d'autre part.

Des travaux développés dans 3 chapitres (II, III et IV) ont été menés en milieu paysan, en parcelle expérimentale et en laboratoires afin de sélectionner des variétés de manioc tolérantes à ces ravageurs et présentant de bonnes aptitudes à la technique de multiplication rapide *in vitro*.

Pour ce faire, plusieurs objectifs spécifiques ont été visés et ont consisté à (i) déterminer la diversité, la répartition et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane, (ii) évaluer la sensibilité des différentes variétés de manioc cultivées dans cette zone à ces insectes, (iii) étudier l'influence de caractères physico-chimiques de la tige de manioc sur sa vulnérabilité variétale à l'action des principaux termites ravageurs identifiés et (iv) évaluer les capacités organogénétiques *in vitro* des variétés de manioc sélectionnées pour leur tolérance aux ravageurs en question, ainsi que leur viabilité et leur développement en conditions de sevrage *ex vitro*.

Nos travaux effectués en milieu paysan ont permis de montrer que les termites ravageurs des boutures de manioc dans le département de Tivaouane appartiennent essentiellement à l'espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* et dans une moindre importance aux espèces *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Microtermes lepidus*. En outre, les variétés qui ont été sélectionnées pour leur tolérance à ces termites ravageurs des boutures sont : Soya, Niargi, Cololi, Cacao et Cacao roja à l'opposé des variétés avérées plus sensibles Kombo, Nigeria et Wallet.

En laboratoire, l'analyse de caractères physico-chimiques réalisée chez les différentes variétés de manioc a permis de constater que les cultivars dont l'écorce de la tige est épaisse et dure avec une moelle réduite, sont moins vulnérables aux termites ravageurs des boutures *O.* sp.

aff. *erraticus*. En effet, une corrélation significative a été établie d'une part entre la dureté de cette écorce et la sévérité d'attaque des boutures par les termites et d'autre part entre le diamètre de la moelle et leur niveau d'infestation chez les différentes variétés de manioc. Par contre le pH de la tige ne s'est pas révélé influant sur l'incidence d'attaque de ces ravageurs sur les boutures de manioc.

Par ailleurs, nos résultats obtenus sur les réponses organogénétiques *in vitro* des différents génotypes de manioc étudiés ont permis de mettre en évidence qu'elles dépendent de la variété et du milieu de culture. Ainsi, les meilleures capacités organogénétiques ont été observées chez les variétés Niargi, Soya et Cacau et sur le milieu de culture MS dépourvu d'hormone qui s'est avéré le milieu de culture idéal pour la multiplication *in vitro* de l'ensemble des variétés de manioc étudiés.

L'addition de cytokinine (BAP ou kinétine) ou d'auxine (ANA) à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 et 1 mg/L) dans ce milieu de référence MS a permis d'observer différentes tendances organogénétiques chez les 5 variétés étudiées. Parmi les différentes hormones testées, la kinétine s'est révélée plus favorable à l'allongement des pousses et des racines et au développement normal des feuilles. La BAP a provoqué la prolifération de courtes pousses et de petites feuilles chez le vitroplants et réduit le développement et la croissance des racines. L'ANA a été plus favorable à la formation de cals et empêché la différenciation racinaire, la croissance des pousses et le développement des feuilles.

Chez l'ensemble des variétés de manioc, la prolifération de pousses et de feuilles ainsi que la callogenèse ont été plus importantes sur les milieux de culture additionnés d'une forte concentration d'hormone (1 mg/L), tandis que la croissance et le développement des tiges et des racines néoformées ont été plus favorisés sur les milieux contenant une faible concentration hormonale (0,1 mg/L).

En outre, nos résultats ont également montré que la survie et la croissance des vitroplants de manioc en acclimatation dépendent de leurs conditions de milieu d'origine et de la variété. En effet, les plus importants taux de survie et la meilleure croissance ont été enregistrés chez les jeunes plantes produites *in vitro* sur le milieu de culture MS non additionné d'hormone. La formation de cals qui a été provoquée chez les vitroplants par l'ajout d'hormone dans ce milieu de base MS est apparue comme une entrave à la survie et à la croissance des jeunes plantes mises en acclimatation. Ainsi, de forts taux de mortalité pouvant atteindre le maximum ont été observés

chez les jeunes plantes produites sur les milieux de culture *in vitro* additionnés de forte concentration (1 mg/L) de BAP ou d'ANA chez l'ensemble des variétés de manioc. Parmi celles-ci, les variétés Cacao, Soya et Niargi ont présenté le meilleur développement *ex vitro*.

Dans la perspective d'une poursuite de ce travail, il serait intéressant d'étudier :

- (i) l'impact des conditions pédoclimatiques sur la diversité spécifique, la distribution et l'activité des termites ravageurs du manioc dans les différentes zones de culture au Sénégal. Ainsi, cette étude permettrait de connaître les exigences en matériel de repiquage adapté à chaque zone agro-écologique selon ses caractéristiques biophysiques.
- (ii) la diversité génétique des génotypes de manioc cultivées au Sénégal. Cette étude permettrait d'une part la mise en place d'un répertoire du germoplasme national de cette ressource phytogénétique et, d'autre part, de choisir les têtes de clones à vulgariser dans les différentes zones agro-écologiques du pays.
- (iii) l'influence des symbioses mycorhiziennes sur la croissance et le développement des différentes variétés de manioc. En effet, l'identification d'espèces de champignons symbiotiques stimulant la croissance et le développement des plants de manioc cultivés permettrait d'améliorer la productivité de cette culture.

Nous espérons que les résultats obtenus contribueront de façon significative au développement national de la culture du manioc et à l'utilisation des biotechnologies pour la relance de la filière au Sénégal.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abderahim M.S. (2010).** Resistance variétale à la mosaïque africaine et à la cochenille farineuse (*Phénacoccus manihoti*) de 11 clones de manioc du Nigeria. *Mém. Master 2* ; ucad. 35p.
- Abensperg-Traun M. & Milewspk A.V. (1995).** Abundance and diversity of termites (Isoptera) in unburnt versus burnt vegetation at the Barrens in Mediterranean Western Australia. *Australian Journal of Ecology* (1995) 20, 413-417.
- Aggrey G.S. (1978).** Effects of delayed hand weeding on soil-crop cassava in Sierra Leone. *Exp. Agric.* 14: 245-252.
- Ahanhanzo C., Agbangla C., Agassounon D.T.M., Cacaï G.H.T., Dramane K. (2008).** Etude comparative de l'influence des régulateurs de croissance sur la morphogénèse *in vitro* de quelques variétés de *Manihot esculenta* Crantz (manioc-euphorbiaceae) du Bénin. *Rev. CAMES - Série A*, 07: 47-52.
- Ahanhanzo C., Gandonou C., Agbidinoukoun A., Dansi A., Agbangla C. (2010).** Effect of two cytokinins in combination with acetic acid α -naphthalene on yams (*Discorea spp.*) genotypes response to *in vitro* morphogenesis. *Afr. J. of Biotech.*, 9 (51): 8837- 8843.
- Aïchatou N. (2007).** Etude comparative de clones de manioc (*Manihot esculentacrantz*) selon leurs caractères agronomiques et leurs sensibilités aux ravageurs et maladies en zone sahélienne des Niayes du Sénégal. *Mémoire de 3^{ème} cycle* ; Ucad, Dakar. 50 p.
- Akpesse A.A., Kouassi P.K., Tano Y. & Lepage M. (2008).** Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane sub-soudanienne (Booro-Borotou, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature Vol. 5 N°2* : 121 – 131.
- Allem, A.C. (2002).** The origins and taxonomy of cassava. In: Cassava: biology, production and utilization. *Wallingford: CABI Publishing, 2002* ; pp. 1-16.
- Alves L.O. (2012).** Composts cyanogéniques. *Communication orale*. Laboratoire de Science et Technologie d'Aliments, Brésil, le 13 juillet 2012.
- Ammirato P.V. (1984).** Yams. In Handbook of Plant Cell Culture (vol. 3). *Crop Species Macmillan: New York* ; pp. 327-354.
- ANACIM (2012).** Rapport annuel 2012 : Données climatiques régionales du Sénégal ; 25 p.
- Anani k.E., Kassaney B.D., Nyamador W., Ketoh G.K. et Glitho A.I. (2010).** Attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(1): 61-68.
- ANSD (2013).** Rapport annuel 2013 : Publication du bulletin annuel des statistiques agricoles de l'année 2012 ; 87 p.

- Asiedu J.J. (1991).** La transformation des produits agricoles en zone tropicale: approche technologique. *KARTHALA Editions*, 335 p.
- Bencini M.C. & Walston J.P. (1991).** Post-harvest and processing technologies of African staple foods : a technical compendium. *FAO, Rome, Italie*, 354 p.
- Bennett L.K., Davies F.T.J. (1986).** *In vitro* propagation of *Quercus shumardii* seedlings. *Hort. Science*, 21(4): 1045-1047.
- Birindwa D., Bisimwa E. & Bragard C. (2007).** Essai de caractérisation des cultivars locaux de manioc au Sud Kivu, Congo. *Communication Orale*, 13-15 August 2007.
- Bock K. (1983).** Epidemiology of Cassava mosaic disease in Kenia. In *Plant virus epidemiology*, Eds R.T. Plumb & J.M. Threst ; Blackwell, Oxford; pp. 337-347.
- Boher B., N'dongo P., Makoundou L. & Daniel J-F (1985).** L'agent causal de la bactériose vasculaire du manioc, *Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*. *Agronomie*, 1985 ; 5 (4), 339-346.
- Boher B. (1988).** Production de matériel sain de manioc par la culture in vitro. *ORSTOM, Brazzaville*, juillet 1988. 24 p.
- Boyer P. (1982).** Quelques aspects de l'action des termites du sol sur les argiles. *Univ. de Paris VII, E3*, 2 place Jussieu, 75221 Paris Cedex 05, France ; pp. 54-64.
- Bragard C., Nintije P., Niyongabo G. et Twizeye M. (2007).** Etude de la diversité des virus associés à la mosaïque du manioc au Burundi. *ICCMD*, August 2007:13-15.
- Brainerd K.E., Fuchigami L.H. (1981).** Acclimatization of aseptically cultured apple plants to low relative humidity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 106 (4): 515–518.
- Butler G.B., Henneberry T.J. and Hutchison W.D. (1990).** Biology, sampling and population dynamics of Bemesiatabaci. In "White flies: their bionomies, pest states and management. Editor Dan Gerling, Intercept LTD, UK.
- Cacaï G.H.T., Ahanhanzo C., Dangou J.S. (2012).** Effets de différentes combinaisons hormonales sur l'organogénèse *in vitro* de quelques cultivars locaux et variétés améliorées de *Manihot esculenta* Crantz (manioc-*Euphorbiaceae*) cultivées au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4): 1593-1607.
- Camara A.A. (2006).** Inventaire, identification et description des variétés de manioc (*Manihot esculenta* crantz syn. *M. altissima* Pohl ; Famille des *Euphorbiaceae*) cultivées dans les zones nord et centre du Sénégal. *Projet TCP/SEN/3001 (A)*. 21 p.

- Carreto L.G. (1992).** Manipulation des plantes en serre. *In* : Fondements théoriques et pratiques de la culture des tissus végétaux, *Etude FAO Production Végétale et Protection des Plantes* No 105: 121-126.
- Cecil J.E. (1993).** Transformation de l'amidon à petite et moyenne échelle. *FAO, Rome*, 334 p.
- Chaddha T.B. (1958).** Fertilizer experiments of tapioca in the Kerela state. *Journal of the India Society of Soil Sciences*. 6(11) pp 53-63.
- CIAT (2006).** Crop and Agroecosystem Health Management (Project PE-1). *Annual Report*, Cali, Colombia, 222 p.
- Cock J.H. (1985).** Rapid propagation techniques for cassava. *Science*, 218(4574): 755—762.
- Collingwood E.F., Bourdovhe L. et Defrancq M. (1984).** Les principaux ennemis des cultures maraîchères au Sénégal ; Coordonné par J.A. Meyer, *CDH-Cambérène-Dakar* ; p8, 95 p.
- Coraf (2010).** Manuel de Formation: transformation du manioc en gari et en farine panifiable de haute qualité en Afrique de l'ouest. Porto Novo (Bénin), *ITA/B2350* ; 33 p.
- Das S., Dutta M.C. and Mazumdar P.B. (2013).** Micropropagation of *Dioscorea alata* L. through nodal segments. *African Journal of Biotechnology* ; Vol. 12(47), pp. 6611-6617.
- Dia B. (1992).** La fixation des dunes au Sénégal. Projet de Conservation des Terroirs du Littoral Nord. Gestions des ressources côtières et littorales du Sénégal. *Direction des eaux et Forêts et Chasses*, Dakar-Sénégal, 201 p.
- Djaleboumakoumou J.M. (2008).** Contribution à l'étude de manioc (*Manihot esculenta*, Euphorbiacées) : recherche d'une activité antiplasmodique à partir des feuilles. *Mémoire de 3^{ème} cycle*, ucad ; Dakar.
- Diallo A. (2001).** Effets des champignons endomycorhiziens sur la croissance du manioc. *Articles universitaires, ucad-fst-bv* ; Dakar
- Dubern J. (1979).** Quelques propriétés de la mosaïque africaine du manioc. *In Transmission Phytopathol Z.* (96) pp 25-39.
- Esau K. (1977).** Anatomy of seed plants: 2nd John Wiley and Sons. *Eds. New*, 550 p.
- Fall S.T., Fall A.S. (2001).** Cités horticoles en sursis. L'agriculture urbaine dans les Grandes Niayes au Sénégal, Ottawa (Canada), *CRDI*; 120 p.
- FAO (1990).** Etude FAO Alimentation et Nutrition, Utilisation des aliments tropicaux : racines et tubercules. *FAO, Rome 1990* ; pp 37-43.

- FAO (2000).** Le manioc, une culture du XXI^e siècle. *Symposium du 17 au 23 septembre 2000 au CNRA-CI, Cote d'Ivoire* ; 84 p.
- FAO/GIEWS (Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture) (1995).** Food supply situation and crop prospects in sub-Saharan Africa. *Special Africa Report*, April 1995.
- Fargette D. et Mbaye A.A. (1990).** Les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest. *ORSTOM/ISRA* Compte rendu de mission au Sénégal ; Février 1990.
- Faye A., Sane D., Noba K., Kane A. et Mbaye D.F. (2010).** Sanitation et multiplication rapide par minibouturage sous-serre de quelques variétés de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) cultivées dans la zone agroécologique des Niayes (Sénégal). *Mémoire de Master ucad-bv*. 30 p.
- Faye A, Kane P.D., Sall-Sy D, Sane D, Mbaye D.F. (2014).** Study of the cassava varietal sensitivity to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal) *Int. J. Sc. Adv. Tech.* 4(6):6-16.
- Faye A, Kane P.D., Sall-Sy D, Sane D, Mbaye D.F. (2015).** Study of the influence of physico-chemical characteristics of the cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) stem to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*. *Afr. J. Agr. Res.* Vol. 10(19), pp. 2083-2088.
- Faye A, Kane P.D., Sagna M., Sane D. (2015).** Effects of different hormones on organogenesis in vitro of some varieties of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) grown in Senegal. *Afr. J. Plant. Sci.* Vol. 8(9), pp. 305-312.
- Fereol C. (1978).** Vegetative multiplication and elimination of the cassava mosaic disease by thermo-therapy in plants cultivated *in vitro*. *Diseases of Tropical Food Crops. Int. J. Corpus Linguist.* 65(7):285-295.
- Fuchs, J., Bowie, R.C.K., Fjeldså, J., Pasquet, E. (2004).** Phylogenetic relationships of the African bush-shrikes and helmet-shrikes (Passeriformes: Malaconotidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 33, 428–439.
- Gbenyedji J.N.B.K., Ananikotoklo E., Amevoin K. et Glitho I.A. (2011).** Diversité spéc. des termites (Isoptera) dans deux plantations de tecks (*Tectona grandis* L.) au sud du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(2): 755-765.
- Grout B.W.W. and Aston M.J. 1977.** Transplanting of cauliflower plants regenerated from meristem culture. I. Water loss and water transfert related to changes in leaf wax and to xylem regeneration. *Hort. Res.*, 17: 1-7.
- Guèye M.T. (2011).** Rapport technique final Projet FNRAA Manioc, 147 p.
- Guitteny H.I. (2010).** Manioc - Poe, Taota et Ipo. *Google.com; Mémoire online.*

- Guo J.Y. and Liu Y.Q. (1995).** Rapid propagation of cassava by tissue culture and its application in rural districts in China. In: Proceedings of the Second International Scientific Meeting, Cassava Biotechnology Network, Bogor, Indonesia, 25-28 Aug 1994, *CIAT Working Doc. No. 150*. pp. 183-189.
- Hahn K. et al. (1979).** Cassava breeding : a multidisciplinary review. *Proceedings of a workshop held in the Philippines*. ISBN 84-89-206-68-6.
- Hahn K. and Hozyo Y. (1983).** Sweet potato and yam. In Potential productivity of field crops under different environments. *IRRI*, Laguna, Philippines 319, 1983.
- Harisson B.D. (1987).** Propriétés et variations géographiques de particules de Géminivirus extraites de manioc malade. In « La Mosaïque Africaine du Manioc et son contrôle ». *Actes du Séminaire de Yamoussoukro*, 4-8 mai 1987.
- Harris, W.V. (1970).** Termites of the Palearctic Region. In: *Biology of termites*. Vol. 2: 295-313.
- Herren H.R. (1987).** African wide biological control project of cassava mealybug and cassava green mites: a review of objectives and achievements. *Insect Sci. Applic.* 8: 837-840.
- Hubert P. (1978).** Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles de Madagascar-BDPA.
- Hunt J. et al. (1977).** Growth physiology of cassava. *Advanced Research* ; pp. 45-47.
- IITA (1990).** Le manioc en Afrique tropicale. Un manuel de référence. Ibadan, Nigeria, 190 p.
- IITA (2000).** Lutte contre les maladies du manioc. Guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs. ISBN 978-131-183-5.
- ISRA/CDH (1991).** Progrès technique et satisfaction des besoins légumiers dakarois. ISRA/FAO. *Cahiers d'information de l'ISRA* n°1-vol 2.
- ISRA/CDH (1987).** Rapport annuel 1987 : Racines et Tubercules ; p. 39, 184 p.
- James B., Legg J., Msikita W., Nnodu E., Ogbe F. et Wydra K. (2000).** Lutte contre les maladies du manioc. pp 6-8, 26p. Guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs. IITA ; ISBN 978-131-183-5.
- James D.J. and Newton B. (1977).** Auxin/cytokinine interactions in the *in vitro* micropropagation of strawberry plants. *ISHS Acta Horticulturae* 78: *Symposium on Tissue Culture for Horticultural Purposes*.
- Kbiach M.L., Lamart A., Abdali A., Badoc A. (2002).** Culture *in vitro* des bourgeons axillaires de chêne-liège (*Quercus suber*). *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 141: 73-78.

- Langewald J, Mitchell J.D.N.K., Kooyman C. (2003).** Microbial control of termites in Africa. In *Microbial Control in IPM Systems in Africa*, Neuenschwander P, Borgemeister C, Langewald J (eds); 227- 242.
- Lepage M. (1974).** Les termites d'une savane sahélienne septentrionale au Sénégal : peuplements, populations, consommation, rôle dans l'écosystème. *Thèse de doctorat de l'université de Dijon*; 334 p.
- Lieutier F. (2007).** Des stratégies d'exploitation de la plantes aux stratégies mutualistes. In *Interactions Plantes-Insectes. IRD Editions*, Marseille, France RD 10, 78026.
- Limasset P. et Cornuet P. (1949).** Recherche du virus de la mosaïque du tabac dans les méristèmes des plantes infectées. *CR Hebd Séances Acad. Sci.*, 228:1971–1972.
- Litucha J. (2007).** Rendement en feuilles en relation avec le niveau d'infection initial des boutures par la mosaïque africaine du manioc dans les conditions agro-écologiques de Kisangani. *Ist ICCMD*, 13-15 August 2007, Bukavu, DRC.
- Lourd M. (1981).** Mise en culture in vitro d'une collection de cultivars de manioc. Bilan provisoire après 4 mois d'expérimentation. *ORSAY*, Février 1981.
- Lozano J.C. et al. (1976).** Field problems in cassava. *CIAT, Apartado Aereo 6713*, Cali, Columbia; 127 p.
- Luzembo F.M. (2012).** Analyse de la qualité par le système HACCP des cossettes de manioc produites à Kisantu au sein de la fondation LZB. *Université pédagogique nationale - Graduat en sciences agronomiques*.
- Mabanza J., Jonard R. (1981).** La multiplication des clones de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) à partir d'apex isolés in vitro. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292: 839-842.
- Marty P. (1993).** Fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage de l'enseignement agricole d'Afrique subsaharienne : le manioc. Paris : *BDPA-SCETAGRI*.
- Mbaye A.A. (1991).** Les maladies virales transmises par aleurodes au Sénégal. In « *Proceedings* » Réunion annuelle de la recherche sur la protection des cultures vivrières dans le Sahel. Mars 1991. Ouagadougou.
- Mbaye A.A. (1991).** La mosaïque africaine: une maladie d'origine virale du manioc ; *Afrique-Espoir-N°3-Avril-Juin 1991* pp. 1-2.
- Mill, A.E. (1982).** Populações de térmitas (Insecta: Isoptera) em quatro habitats no baixo rio neg. *Acta Amazonica* 12: 53–60.
- Miller C.O., Skoog F. (1957).** Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 11: 118-130.

- Mingui J.M.V., Bama J., Mabanza J. (1992).** Les cultivars de manioc au Congo. In Complexes d'espèces, flux de gènes et ressources génétiques des plantes. Actes du Colloque International. *CNRS Paris* 8- 10 janvier, pp. 185-192.
- Mitja, D. (1990).** Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Cote d'Ivoire (Booro-Borotou-Touba). *Thèse de doctorat*, Univ. Paris ; 203 p.
- Murashige T. (1974).** Plant propagation through tissue culture. *Ann. Rev. Plant Physiol.* Vol 25 : pp. 135-166.
- Murashige T., Skoog F. (1962).** A revised medium for rapid growth and bio assays with tissue culture. *Physiol. Plantarum*, 15: 473-497.
- Murata T. and Akazawa T. (1968).** Enzimic mechanism of starch synthesis in sweet potato roots. *Arch. Biochem. Biophys.* 126-893-897.
- Ndiaye A., Han S. (2000).** L'attaque des arbres fruitiers par les termites dans les vergers de Saint-Louis et de Thiès (Sénégal). *Act. du Coll. Ins. Soc.*, 13 : 127-132.
- Ndiaye A., Han S. (2002).** Attaque des arbres fruitiers par les termites (Isoptera) en Casamance (Sénégal). *Bull. Soc. Entomol.*, 107 (2): 193-199.
- Ndiaye et Konté (2010).** Données agroclimatiques de la région de Thiès, ANACIM, 15 p.
- Ndoumou D.O., Fotso, Oumar, Mbouna. (2004).** Propagation d'*Irvingia gabonensis* par microbouturage *in vitro*. *Fruits*, 59: 31– 38.
- Nemeth G. (1986).** Induction of rooting. In : BAJAJ Y.P.S éd., *Biotechnology in Agriculture and Forestry I. Trees I.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg : 49-64.
- Ngongi et al. (1977).** Effect of potassium and sulfur on growth, yield and composition of cassava. In Cock et al. éd. Processings of the fourth symposium of the international society for tropical root crops, Held at CIAT, Cali, Columbia, 1-7 August 1976, *IDRC-080^e* ; pp 107-112
- Numfor F.A. (1998).** Transformation du manioc en amidon pour utilisation industrielle. Pages 40 - 85, In APICA (1998) : *Rapport de l'atelier international* sur les « petites technologies de transformation du manioc ». Douala, Cameroun, 132 pages + annexes.
- Nweke F. (1996).** Processing Potential for Cassava Production Growth in Sub- Saharan Africa. *COSCA Working Paper* No. 11. Collaborative Study of Cassava in Africa, IITA Ibadan, Nigeria.
- Oduro et al. (2000).** Comparative Study on Some Selected Garri Samples Sold in Lagos. *Metropolis Journal of Food Studies* ISSN 2166-1073, Vol. 1, No. 1.

- Ondo O.P., Kevers C., Dommes J. (2007).** Axillary proliferation and tuberisation of *Dioscorea cayenensis-D. rotundata* complex. *Plant Cell. Tiss. Organ Cult.*, 91: 107-114.
- Painter, R.H. (1951).** Insect resistance in crop plants. *MacMillan*, New York, 520 pp.
- Raffailac J.P. (1993).** Enracinement de la bouture de manioc (*Manihot esculenfa* Crantz) au cours des premières semaines de croissance. *L'AGRONOMIE TROPICALE* 1992,46 - 4 Centre *ORSTOM*, laboratoire d'agronomie, BP 375, Lomé, Togo.
- Rahbe Y. and Giordanengo P. (2013).** Défense des plantes contre les insectes: Se défendre sans pouvoir s'échapper. In *Interactions Plantes-Insectes. IRD Editions*, Marseille, RD 10, 78026, France.
- Rancillac M. (1981).** Mise au point d'une méthode de multiplication végétative *in vitro* du Pin maritime (*Pinus pinaster* Sol.) pour la constitution de clones à partir de semences, *AFOCEL* : 41-48.
- Renoux J. (1997).** Les termites et l'homme. *Laboratoire EBENA, Université Paris XII Val de Marne*. Paris ; 133-146.
- Romano A., Noronha C., Martins-Loução M.A. (1992).** Influence of growth regulators on shoot proliferation in *Quercus suber* L. *Ann. Bot.* , 70(6): 531-536.
- Roy-Noël J. (1974).** Recherche sur l'écologie des Isoptères de la Presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). II. Les espèces et leur écologie. *Bul. l'IFAN*, 36 (3): 527-609.
- Roehr M. (2001).** The biotechnology of ethanol: classical and future application. *Wiley-VCH*, 2001, p.72.
- Saizonou S. (1999).** Political Ecology in the Oil Palm-Based Cropping System on the Adja plateau in Benin: *Connecting Soil Fertility and Land Tenure* ; Page 20.
- Saleil V., Degras L., Jonard R. (1990).** Obtention des plantes indemnes du virus de la mosaïque de l'igname (YMV) par "culture *in vitro*" des apex chez l'igname américaine *Dioscorea trifida* L. *Elsevier/ INRA*, 10: 605-615.
- Sands W.A. (1992).** The termite genus *Amitermes* in Africa and the Middle East. *Natural Resources Institute (NRI) Bulletin*, 51 : 140.
- Saquin B. (2007).** Suivi de la mosaïque africaine du manioc et de la résistance à celle -ci dans une parcelle d'essai à Bujumbura (Burundi). *Mém. Biol – Ing., UCL, Belgique*, 115 p.
- Sané D., Borgel A., Verdeil J-L. et Gassama-Dia Y.K. (2000).** Régénération de vitroplants par embryogenèse somatique à partir d'embryons zygotiques immatures chez une espèce adaptée à la sécheresse: *Acacia tortilis subsp. raddiana* (Savi.) Brenan. *Acta Bot. Gallica*, 147 :3 ; pp. 257-266.

- Sané D., Borgel A., Chevallier M.A. & Gassama-Dia Y.K. (2001).** Induction *in vitro* de l'enracinement de microboutures d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* par traitement transitoire à l'auxine, *Ann. For. Sci.*, 58: 431-437.
- Sauvion N., Calatayud P.A., Thiéry D. & Marion-Poll F. (2013).** Interactions insectes-plantes. *IRD Editions*, Marseille, RD 10, 78026, France.
- Shanmugavelu et al. (1973).** The sweetpotato. Senior scientist section of social sciences. *Central tuber crops research institute*, Kerala, India.
- Silvestre P. & Arrauveau M.A. (1983).** Le manioc. *Editions G.-P. Maisonneuve & Larose*, 1983 – Paris ; 262 p.
- Sy I. (2010).** Resistance variétale à la Mosaïque africaine et à la cochenille farineuse (*Phénacoccus manihoti*) de sept clones de manioc locaux. *Mém. Master 2 ; ucad*. 30p.
- Tall F. (2000).** Evolution du bâti et son impact sur l'écosystème des Niayes 19782003. *Mémoire de D.E.A., ucad*, 123p.
- Terry E.R. (1980).** Plantes-Racines Tropicales : culture et emplois en Afrique. *Actes du 2nd symposium triennal de la société internationale pour les plantes-racines*. Direction Afrique, du 14 au 19 Aout 1983 Douala, Caméroune ; 235 p.
- Thiam A. & Ducommun G. (1993).** Protection naturelle des végétaux en Afrique. *Enda édition*. Dakar; 212 p.
- Thro A.M., Fregene M., Taylor N., Raemakers C.J.J.M., Puonti-Kaerlas J., SchÜpke C., Visser R., Potrykus I., Fauquet C., Roca W. & Hershey C. (1998a).** Genetic biotechnologies and cassava-based development. In: *Gene and Biotechnology of Food Crops in Developing Countries*. *Hohn, T. and Leisinger, K. (Eds.)*. Springer; Wien, New York.
- Thro A.M., Taylor N., Raemakers K., Visser R., Puonti-Kaerlas J., Schopke C., Iglesias C., Roca W. & Sampaio M.J. (1998b).** Biotechnology and the cassava farmer: An agenda to make a difference. *Nature Biotechnology* 16:428-430.
- Tresh J.M. (1987).** La Mosaïque Africaine du Manioc : stratégies de contrôle. *Actes du Séminaire de Yamoussoukro* ; mai 1987.
- Vaillant V., Bade P., Constant C. (2005).** Photoperiod affects the growth and development of yam plantlets obtained by *in vitro* propagation. *Biol. Plant* ; 49:355-359.
- Verdier V., Schmit J. & Lemattre M. (1989).** Étude en microscopie électronique à balayage de l'installation de deux souches de *Xanthomonas campestris* pv *manihotis* sur feuilles de vitroplants de manioc. *Agronomie (1990) 2* ; 93-102.

- Walali Loudiyi D.M., 1993.** La multiplication *in vitro* des espèces ligneuses : état actuel et perspectives de développement. Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes ? *AUPELF-UREF*. Paris: John Libbey Eurotext.
- Warbourg O. (1984).** Dickkulturpflanzenusambaras. Mitt.Disch.Schtzgele 7-13. In “*Annals of Applied Biology*, pp. 780-786.
- Wheatley A.O., Ahmed M.H., Asemota H.N. (2005).** Development of salt adaptation *in vitro* greater yam (*Dioscorea alata*) plantlets. *In vitro Cell. Dev. Biol. Plant*; 39:346-353.
- Wilson L.A. (1977).** Root crops. In *Ecophysiology of tropical crops*. Academicpress, New York.
- Wood. T.G., Johnson R.A. & Ohiagu C.E. (1980).** Termites' damage and crop loss studies in Nigeria—a review of termite (Isoptera) damage to maize and estimation of damage, loss in yield and termite (*Microtermes*) abundance at Mokwa. *Tropical Pest Manag.* 26:241–253.
- Wood T.G. & Pearce M.J. (1991).** Termites in Africa: The environmental impact of control measures and damage to crops, trees, rangeland and rural buildings. *Sociobiol.*, 19(1): 221-234.
- Yie S.T. & Liaw S.I. (1977).** Plant regeneration from shoot tips and callus of papaya. *In vitro*, 13:564-5658.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Composition minérale du milieu de Murashige & Skoog (1962).

| <u>Macro éléments</u> | <u>Concentrations (mg. L⁻¹)</u> |
|---|---|
| NH ₄ NO ₃ | 1650 |
| KNO ₃ | 1900 |
| MgSO ₄ , 7 H ₂ O | 370 |
| CaCl ₂ , 2 H ₂ O | 440 |
| KH ₂ PO ₄ | 170 |
| <u>Micro éléments</u> | |
| H ₃ BO ₃ | 6,2 |
| MnSO ₄ , 4 H ₂ O | 22,3 |
| ZnSO ₄ , 7 H ₂ O | 8,6 |
| KI | 0,83 |
| Na ₂ MoO ₄ , 2 H ₂ O | 0,25 |
| CuSO ₄ , 5 H ₂ O | 0,025 |
| CoCl ₂ , 6 H ₂ O | 0,025 |
| <u>Chélate de fer</u> | |
| Na ₂ EDTA | 37,25 |
| FeSO ₄ , 7 H ₂ O | 27,85 |
| <u>Composés organiques</u> | |
| <u>Sucre -alcool</u> | |
| Méso-inositol | 100 |
| <u>Aminoacides</u> | |
| Glycine | 2 |
| <u>Vitamines</u> | |
| Acide nicotinique | 0,5 |
| Pyridoxine-HCL | 0,5 |
| Thiamine-HCL | 0,1 |
| Saccharose | 20 g.L ⁻¹ |
| <u>Agent gélifiant</u> | |
| Agar-agar ou Bacto Difco-agar | 7 g. L ⁻¹ |
| Le pH du milieu est ajusté à 5,7 - 5,8 | |

Annexe 2 : Article 1.

International Journal of Science and Advanced Technology (ISSN 2221-8386)
<http://www.ijstat.com>

Volume 4 No 6 June 2014

*Study of the cassava varietal sensitivity to termites
 ravaging cuttings planted in farms in the department
 of Tivaouane (Senegal)*

Abdoulaye FAYE
 Department of Plant Biology
 University Cheikh Anta Diop of Dakar
 Senegalese Institute of Agricultural
 Researches (ISRA),
 Dakar, Senegal
 E-mail: blayefave@yahoo.fr

Papa Demba KANE
 Laboratory of Phytopathology
 Senegalese Institute of Agricultural
 Researches (ISRA),
 Dakar, Senegal
 E-mail: pacodiaz21@yahoo.fr

Demba Farba MBAYE
 United States Agency for International
 Development / Education and Research in
 Agriculture (USAID/ERA)
 Dakar, Senegal

Dieynaba SALL SY
 Laboratory of Entomology
 Senegalese Institute of Agricultural
 Researches (ISRA),
 Dakar, Senegal

Djibril SANE
 Department of Plant Biology
 University Cheikh Anta Diop, Faculty of Sciences and Technology
 Dakar, Senegal

Abstract - The best method to control cassava pests and diseases is tolerant and resistant varieties utilization. In Senegal, and especially in the department of Tivaouane (region of Thiès) where cassava is mainly cultivated, the attack of cuttings by termites that wins more and more scale, is added to the threat that were already the Cassava African Mosaic Disease (CAMD) and the floury cochineal (*Phenacoccus manihotis*), and causes huge losses on the production.

This present study has been conducted in order to select tolerant varieties of cassava to termites ravaging cuttings in farms in the department of Tivaouane,

and know the specific diversity and frequency of these pests in the area.

At the end of farm study and experimental plot, five (5) varieties of cassava have been selected for their tolerance to the termites, essentially represented by *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* species and less by *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus*. It is the varieties *Soya*, *Niargi*, *Cololi*, *Cacau* and *Cacau roja*. In contrast, varieties *Kombo*, *Nigeria* and *Wallet* have been identified sensitive to the termites.

Key words : cassava, termites, sensitivity, varieties, cuttings, Tivaouane.

I. INTRODUCTION

Unable to move, plants are subject in their environment to a multitude of biotic and non-biotic stresses. To face with different threats which they are victims in their environment, including those represented by phytophagous arthropods, they have developed during their evolution a variety of defensive strategies enabling them to reduce or limit the damage caused by such pests [1]. These defense strategies that can be active or passive, result in different cultivars by varietal sensitivity towards a given constraint levels.

The use of varietal resistance of plants is relatively old. The first resistant cultivars have emerged in the United States in the 18th and 19th centuries. It was wheat varieties resistant to the fly *Mayetiola destructor* (Diptera, Cecidomyiidae) and apple varieties resistant to *Eriosoma lanigerum* (Sternorrhyncha, Aphididae). However, work on the resistance of plants was not yet developed fully until the 20th century after the discovery of the laws of heredity from Mendel. They are both based on knowledge in classical genetics and methods for selection and hybridization of plants [2]. According to [3], the resistance of plants against insect pests is manifested on three terms including tolerance. It does not act on insects but on the ability of the plant to limit damages inflicted by these pests. In cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ), plant of the *Euphorbiaceae* family, there are a multitude of varieties different together by several parameters. Some of these varieties are resistant or tolerant to diseases and/or pests, in contrast of others which are more vulnerable [4].

In Senegal, the establishment of a cassava clonal selection program by the Centre for the Development of Horticulture (CDH) in 1984 for a period of 6 years had as main purpose to find varieties with high yields,

resistant to drought, African Cassava Mosaic Disease and floury cochineal and adapted to various ecologies [5]. At the end of the program, 20 clones had been selected after several experiments in irrigated conditions to the CDH and to farms in Nguerigne (Thiès), Keur Mbir Ndaw (Mboro), Niaguiss (Casamance) localities.

Today, cultivation of cassava in Senegal faces with a new threat that is gaining more and more scale. It's the attack, as of fruit trees in the regions of Dakar, Thiès, Saint-Louis and Casamance ([6]; [7]; [8]), of cuttings by termites.

In this present study, it is to evaluate the varietal sensitivity of cassava to termites ravaging cuttings in 8 varieties grown in the department of Tivaouane (region of Thiès, Senegal), through experiments conducted in rural plantations (cassava fields) and experimental plot.

The aim is to select tolerant cassava varieties to termites and know specific diversity and frequency of these pests responsible for damage in the area.

II. MATERIALS AND METHODS

A. In farm

1. Study area

Our farm study was conducted in cassava fields in the department of Tivaouane. It is the largest in the region of Thiès with 3221 km² against 1873 km² for Thiès and 1607 km² for Mbour. Tivaouane is located 92 km from Dakar in the center-west of the coastal strip called "Niayes' area" stretching from Dakar around St. Louis.

The area is characterized by the alternation of a rainy season of 3 to 4 months and a dry season of 9 to 8 months. The rainy season begins in July and ends in October. Evolution of rainfall is unimodal with a single maximum in the month of August. The three months of the rainy season (July,

August, September), concentrate more than 85% of rains. The months of December, January, February and March are sometimes low rained. Temperatures are high throughout the year and vary according to the seasons between 31 and 35 °C [9].

The main types of soils in the area are soils *dior*, *deck-dior*, hydromorphic and little advanced soils [9].

Vegetation consists mainly of three strata: trees, shrubby and herbaceous. Many plant species have disappeared because of drought and the abusive action of human [10].

2. Methods

2.1 Choice of the studied fields

Cassava fields in which our study was conducted were chosen according to the two criterions of mono-varietal planting and presence of termites, however with the consent of the owners. They were among 19 and divided in 6 localities as follows: 3 fields in Keur Baka, 3 in Andal, 2 in Tivaouane, 6 in Thiallé, 3 in Mbayène and 2 in Méwane.

2.2 Parameters studied

Parameters studied were the specific diversity and frequency of termites from attacked cuttings in cassava fields, the incidence of attack of cassava cuttings by termites and the mortality of cassava cuttings due to the action of termites.

2.3 Methods of evaluation of the studied parameters

2.3.1 Evaluation of specific diversity and frequency of termites

The evaluation of specific diversity of termites responsible for damage in farms consisted of a collection from attacked cassava cuttings followed by an identification of these pests in laboratory and confirmation in IFAN (Fundamental

Institute of Black Africa) of Dakar. The frequency of a given species was evaluated through a determination of the mean number (F) of individuals of termites extracted from a sample of 32 attacked cuttings selected randomly in 2 cassava fields (16 in each field) chosen in each locality, using the scale:

F < 10 very rare species; 10 < F < 20 accidental species; 20 < F < 40 accessory species; 40 < F < 60 medium frequent species; 60 < F < 80 frequent species; F > 80 very frequent species [12].

2.3.2. Evaluation of the incidence of attack of cassava cuttings by termites

The incidence was evaluated through a determination of the number of cuttings attacked by termites in the different fields of cassava. The process was to consider 10 subsamples compound each of 10 successive cuttings on 8 rows selected randomly in each field, and then to calculate the incidence of attack using the formula:

$$I (\%) = NA / NT \times 100$$

I: incidence of attack, NA: number of attacked cuttings in the considered sample, NT: total number of cuttings in the considered sample.

2.3.3 Evaluation of the mortality rate of cassava cuttings due to termites

The mortality rate was evaluated through a determination of the number of cuttings dead of termites' action in each field of cassava. The process of evaluation was the same as of the incidence of attack. It has been calculated using the formula:

$$MR (\%) = ND/NT \times 100$$

MR: mortality rate, ND: number of cuttings dead of termites' action in the considered sample, NT: total number of cuttings originally planted into the considered sample.

B. In experimental plot

1. Experimental site

Our experimental plot was conducted in Tivaouane locality in parcel (localization: lat 14°46'24" long -16°-57'-33") infested with termites.

2. Plant material

The plant material was made of 8 cassava varieties which 6 (*Soya, Kombo, Niargi, Cololi, Nigeria, Wallet*) were local and 2 (*Cacau and Cacau roja*) from the Brazil.

3. Methods

3.1. Experimental design

The experimental design was a randomized complete block with 4 repetitions. The cuttings were planted vertically in the parcel at a distance of 1 m between cuttings and 1.5 m between rows. Each variety was planted on a single line of 8 cuttings in each repetition. They have been watered (1L/cutting) every 2 days.

3.2. Parameter studied

The parameter studied was the severity of attack of the cuttings by termites.

3.3. Method of evaluation of the severity of attack

The severity was evaluated in each variety through a determination of the degree attack of cuttings by termites. It was started two weeks after planting and followed every 15 days until 1 month and half, using the formula : S (%) =

$$\frac{x_1(1-1) + x_2(2-1) + x_3(3-1) + x_4(4-1) + x_5(5-1)}{Y(S-1)} \times 100$$

S = severity of attack

x_i = number of cuttings in class i

i = 1: no attack
 i = 2: low attack
 i = 3 medium attack
 i = 4 severe attack
 i = 5 mortal attack

3.4. Statistical analyses

Data collected on this study were saved on Excel and analyzed with software Costat. Results were submitted to Analysis of Variance (ANOVA) and a Compare Means (LSD) from the Student, Newman and Keuls test at 0.05 probability. The values of the coefficients of variation have determined the levels of significance.

II. RESULTS

A. Diversity and specific frequency of termites ravaging cassava cuttings in the department of Tivaouane

Five species of termites were collected in the cassava fields and identified in laboratory: *Odontotermes* sp.aff. *erraticus*, *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus* with a wide (table 1) predominance of the *O. sp. aff. erraticus*. This species was represented in all the area with 129.6, 102.31, 93.59, 77.08, 89.11 and 65.5 of mean numbers of individuals of termites extracted from 16 attacked cuttings randomly selected in 2 fields to Andal, Tivaouane, Méwane, Keur Baka, Thiallé and Mbayène localities respectively. It was followed by the species *M. sibhyalinus* with 50.2, 43.06, 22.71 14.5 and 11 to Mbayène, Andal, Thiallé, Tivaouane and Méwane localities respectively.

However the species *A. evuncifer*, *P. hybostoma* and *M. Lepidus* were less frequent throughout fields in the study area.

Table 1: Variation of the mean number of individuals of termites extracted from 16 cassava cuttings in each field to different localities in the department of Tivaouane**Legend:** +++ : very frequent ; ++ : frequent ; + : enough frequent ; +/- : accessory ; - : accidental -- : very rare species

| Species | Specific frequency in fields | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | Keur Baka | Thiallé | Tivaouane | Méwane | Andal | Mbayène |
| <i>Odontotermes</i> sp. | 89.11 ⁺⁺⁺ | 77.08 ⁺⁺ | 102.31 ⁺⁺⁺ | 93.59 ⁺⁺⁺ | 129.6 ⁺⁺⁺ | 65.5 ⁺⁺ |
| <i>Macrotermes sibhyalinus</i> | | 22.71 ⁻ | 14.5 ⁻ | 11 ⁻ | 43.06 ⁺ | 50.2 ⁺ |
| <i>Psammotermes hybostoma</i> | 2.31 ⁻ | 15.66 ⁻ | | | | |
| <i>Amitermes evuncifer</i> | | | 42.1 ⁺ | | 31.07 ⁺ | |
| <i>Microtermes Lepidus</i> | | | | | | 12.4 ⁻ |

B. Variation of the cassava varietal sensitivity to termites ravaging cuttings

1. Incidence of attack and mortality rate of cuttings due to termites in farms

Damages caused by termites to cuttings have a variable scale from one cassava variety to another in peasant fields in the department of Tivaouane. In our study, we have found that the varieties *Wallet*, *Kombo* and *Nigeria* were more attacked by termites with 66.66, 70.73 and 61.06 of incidence of attack and 24.35%, 27.67% and 16.12% of mortality rate due to these insects in Mbayène and Tivaouane localities respectively (tables 2, 3). Varieties *Soya*, *Niargi*, *Cacau roja* and *Cacau* were however less attacked by termites. Indeed, we have seen 0% of mortality due to termites in varieties *Cacau*, *Cacau roja* and *Soya* in Keur Baka and Thiallé localities (Table 2).

In a same variety of cassava, the location of the field on the one hand and the month of planting on the other hand would have an effect on the activity of termites ravaging cuttings. Thus, we have found for example

that *Niargi* fields were more attacked in Thiallé than in Tivaouane. Fields planted in September also showed incidences of attack and mortality rates more important than those planted in July (tables 2 and 3).

2. Severity of attack of cassava cuttings by termites in the experimental plot study

The severity of attack of cuttings by termites varies from one cassava variety to another. In our experimental conditions, we have seen that this severity was higher among varieties *Wallet*, *Kombo* and *Nigeria* with respectively 100, 78.12 and 56.25% after 45 days growing. However we have observed that varieties *Cacau roja*, *Cacau*, *Cololi*, *Soya* and *Niargi* showed a severity of attack relatively low (Figure 2).

Analysis of variance (ANOVA) of the Student, Newman and Keuls test at 5% probability showed that the variation of the incidence of attack of the cassava cuttings by termites has been very significant in experimental plot ($F = 0.624$; $P = 0.05$) between the 8 varieties. The comparison of means showed 4 homogeneous groups (a, b, c and d) between these different varieties.

Table 2: Influence of the variety on the extent of damages due to termites in cassava fields planted in July in the department of Tivaouane, 2 months after planting.

Legend: I = Incidence of attack of cuttings by termites; MR = mortality rate of cuttings due to termites.

| Variety | Locality | Field dimension (m ²) | I (%) | MR (%) |
|------------|-----------|-----------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Keur Baka | 16928 | 48,10 | 12,65 |
| Nigeria | Thiallé | 10112 | 31,25 | 14,06 |
| Nigeria | Thiallé | 3968 | 38,70 | 8,64 |
| Cacau roja | Keur Baka | 585 | 16,66 | 0,00 |
| Cacau | Keur Baka | 1125 | 16,00 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 9900 | 2,23 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 1154 | 9,20 | 1,53 |
| Soya | Méwane | 10556 | 1,09 | 0,00 |
| Niargi | Thiallé | 3854 | 19,14 | 7,31 |
| Niargi | Tivaouane | 2170 | 14,25 | 5,70 |
| Niargi | Andal | 3780 | 16,66 | 9,52 |
| Niargi | Andal | 1702 | 11,11 | 5,55 |
| Wallet | Mbayène | 13104 | 66,66 | 24,35 |
| Kombo | Mbayène | 10988 | 61,70 | 27,65 |

Table 3: Influence of the variety on the extent of damages due to termites in cassava fields planted in September in the department of Tivaouane, 2 months after planting.

Legend: I = Incidence of attack of cuttings by termites; MR = mortality rate of cuttings due to termites.

| Variety | Locality | Field dimension (m ²) | I (%) | MR (%) |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Tivaouane | 7006 | 61,06 | 16,12 |
| Soya | Thiallé | 21465 | 6,66 | 1,46 |
| Niargi | Andal | 2886 | 33,33 | 16,66 |
| Wallet | Méwane | 3900 | 73,07 | 34,61 |
| Kombo | Mbayène | 1706 | 70,73 | 23,17 |

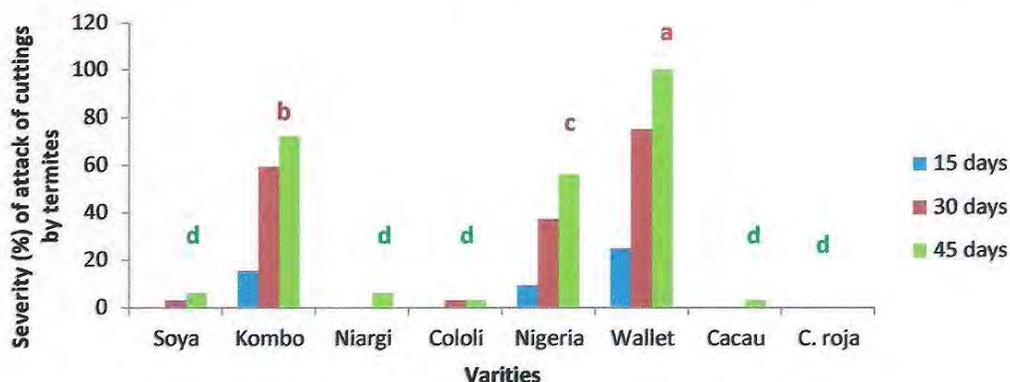


Figure 1: Evolution of the severity of attack of the 8 varieties of cassava by termites in experimental plot during 45 days after planting.

IV. DISCUSSION

Our results showed that the extent of damages caused by termites to cassava cuttings depends on the variety. Thus, lowly attacked varieties *Soya*, *Niargi*, *Cololi*, *Cacau* and *Cacau roja* would be tolerant to these insects. In contrast, varieties which cuttings were more severely attacked *Kombo*, *Nigeria* and *Wallet* would be more sensitive to termites. Indeed, several research studies have confirmed cassava varietal resistance and tolerance to biotic constraints. According to [11], the sensitivity of cassava to diseases differs from one variety to another. Relating to defense against the attack of insects, cassava also has effective protection against many pests. In fact, [2] notes that the thickness of the stem bark (and hence cuttings) may be a system of effective resistance to the attack of insects.

The farm locality (and hence environmental characteristics) and the period of planting can also affect the activity of termites. In our study in the peasant environment, the importance of damages more marked in fields planted in September (end of the rainy season) compared to those planted in July (full rainy month), would be explained by the difference in rainfall between these two periods of planting. So during high rainfall period, the activity of termites would be reduced at least by reduction of their mobility.

Collections of termites ravaging cassava cuttings in the peasant plantations have helped to identify five species in different localities in the department of Tivaouane. It is *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus*. The high frequency of the *O.* sp species noted in the area would result from environmental characteristics and the monoculture practiced in these studied fields. According to [12], specific

diversity and abundance of termites' fauna would be related to plant species present in the ecosystem. These opinions are confirmed by those of [13] and [14] that specific diversity in termites' populations is often in relation with types of vegetation and microclimate. Such findings would confirm the results of [15] cited by [12], according to which the diversity and quantity of organic debris in the soil are also factors that determine activity and diversity of termites species. However, the perpetual change of the natural characteristics of the ecosystem by humans [16] through agricultural activities (soil preparation, destruction of wood plants, replacement of a flora diversified by a culture, including monoculture (the case of our studied cassava plantations)) would affect also the specific diversity of termites. The nature of the soil would also have an influence on the specific diversity of termites. According to [17], on approximately 2800 known termites, 2300 species are in relation with the soil. *Psammotermes hybostoma* for example is known as a termite of sandy soils. According to [18], it is the most adapted termite to arid soils and occurs in areas where few other arthropods may survive. It is even present in desert without vegetation, where it seems to survive with organic debris accumulated by the wind. This species of termite was found in the Sahelian savannas of Senegal [19] and Nigeria [20]. *Odontotermes* sp. species prefer rather clayey soils. These termites would use clay to build their nests and mounds. They would be partly responsible for the progressive argillization of soils in the department Tivaouane, soils which were previously Sandy [9]. In fact, according to [17], clay is an ecological need for major mounds' builders termites and takes such importance that it constitutes a limiting factor for their establishment in soils. According to this author, these termites disappear as soon as

the horizon of soil in clay content becomes less than 10%.

V. CONCLUSION

Knowledge of the specificities of the different varieties of cassava appears as an essential factor for the development of its culture. It allows identification of cultivars adapted to each agro-ecological zone according to its biotic and abiotic characteristics. This study has helped to know specific diversity and dispersion of termites ravaging cassava cuttings in the department of Tivaouane and to evaluate the varietal sensitivity of this plant to the action of these social insects. It thus emerged that damages in farms are essentially due to the *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* species and less significantly to *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus*, and that cassava varieties selected for their tolerance to these pests are: *Soya*, *Niargi*, *Cololi*, *Cacau* and *Cacau roja* in contrast of sensitive varieties *Kombo*, *Nigeria* and *Wallet*. A future work will study the intrinsic parameters of the cassava stem explaining its varietal sensitivity or tolerance to the termites attacking cuttings.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank CERAAS (Regional Study Center for the Improvement of Adaptation to Drought) for its financial support through the WAAPP (West Africa Agricultural Productivity Program). We wish also to particularly thank Mr Assane NDIAYE, cassava national program supervisor and member of the National Federation of Cassava Producers of Senegal for its help which we have been very useful.

[1] Giordanengo P. and Rahbe Y., 2013. Défense des plantes contre les insectes : se défendre sans pouvoir s'échapper. In

Interactions insects-plantes. IRD Editions, Marseille, RD 10, 78026, France

[2] Sauvion N., Calatayud P. A., Thiéry D. and Marion-Poll F., 2013. Interactions insects-plantes. IRD Editions, Marseille, RD 10, 78026, France

[3] Painter, R.H., 1951. Insect resistance in crop plants. MacMillan, New York, 520 pp.

[4] Aichatou S. S. N., 2006. Comparative study of "clones" of cassava (*Manihot esculenta* crantz) according to their agronomic characters and their sensitivities to the pests and diseases in the Sahelian zone of the Niayes, Senegal. FST/ISE, ucad (Senegal), mem DEA, 72 p.

[5] ISRA/CDH, 1987. Annual report 1987: roots and tubers

[6] Roy-Christmas J. 1974. Research on the ecology of the Isoptera of the peninsula of Cape Verde (Senegal). II. species and their ecology. Bul. IFAN, 36 (3): 527-609.

[7] Ndiaye AB, Han SH. 2000. The attack of fruit trees by termites in the orchards of St. Louis and Thiès, Senegal. Act of al. Ins. Soc., 13: 127-132.

[8] Ndiaye AB, Han SH. 2002. Attack of trees by termites (Isoptera) in Casamance (Senegal). Bull Soc. Entomol., 107 (2): 193-199.

[9] Touré A.S. and S. Fall, 2001. Horticultural CITES stay urban farming in the large Niayes in Senegal, Ottawa, IDRC, 120 pp. ISBN 0-88936-936-4

[10] Ndiaye and Konte, 2012. Agro-climatic data for the region of Thiès,. Annual report 2012: regional climate data from Senegal ANACIM, 15 p

- [11] Bock k., 1983. Epidemiology of Cassava mosaic disease in Kenya. In *Plant virus epidemiology*, p337-347. R.T. Plumb & J.M. Threst eds; Blackwell, Oxford.
- [12] Gbenyedji J. N. B. K., Kotoklo E. A., k. and Ghan I.A., 2011. Species diversity of termites (Isoptera) in two plantations of teak (*Tectona grandis* L.) to the South of Togo. *Int. J. biol. Chem. Sci.* 5 (2): 755-765
- [13] Mitja, d. 1990. Influence of shifting cultivation on the vegetation of a humid savanna of Côte d'Ivoire (Booro-Borotou-Touba). Thesis, Paris.
- [14] Mill, A. E., 1982. Populações termitas (Insecta: Isoptera) em quatro habitats No. baixo rio Negro. *ACTA Amazonica* 12: 53-60.
- [15] Sands W. A., 1992. The termite genus *Amitermes* in Africa and the Middle East. *Natural Resources Institute (NRI) Bulletin*, 51: 140.
- [16] Renoux j. 1997. Termites and human. Laboratory EBENA, Université Paris XII Val de Marne. Paris; 133-146.
- [17] Boyer P., 1982. Some aspects of the action of termites from soil on clays. University of Paris VII, T 54-64, E3, 2 place Jussieu, 75221 Paris Cedex 05, France
- [18] Harris, W.V., 1970. Termites of the Palearctic Region. In: *Biology of termites* (K. Krishna and F. M. Weesner). Vol. 2: 295-313.
- [19] Lepage M., 1974. Termites of Sahelian savanna (northern Senegal), stands, population, consumption, role in the ecosystem. PhD from the University of Dijon, 334 pp.
- [20] Wood. T. G., R. A. Johnson, and C. E. Ohiagu. 1980. Termite damage and crop loss studies in Nigeria—a review of termite (Isoptera) damage to maize and estimation of damage, loss in yield and termite (*Microtermes*) abundance at Mokwa. *Tropical Pest Management* 26: 241-253.

Annexe 3 : Article 2

academicJournals

Vol. 10(19), pp. 2083-2088, 7 May, 2015
 DOI: 10.5897/AJAR2014.9367
 Article Number: A17754C52827
 ISSN 1991-637X
 Copyright ©2015
 Author(s) retain the copyright of this article
<http://www.academicjournals.org/AJAR>

African Journal of Agricultural
 Research

Full Length Research Paper

Study of the influence of physico-chemical characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) stem on its varietal vulnerability to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *Erraticus*

Abdoulaye FAYE^{1,2*}, Dieynaba SALL SY², Papa Demba KANE², Demba Farba MBAYE³ and Djibril SANE¹

¹Department of Plant Biology, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, BP: 5005 Dakar-Fann, Senegal.

²Senegalese Institute of Agricultural Research (ISRA), BP: 3120 Dakar, Senegal.

³USAID/ERA, Street 26-Ngor, BP: 24690 Ouakam, Dakar, Senegal.

Received 24 November, 2014; Accepted 7 April, 2015

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) includes a multitude of varieties different by several parameters, each of them with specific characteristics. Some of these varietal specificities may constitute the seat of an influence on the vulnerability of this plant to stresses. In this present study, we proposed to assess the impact of physico-chemical parameters of the cassava stem on its varietal sensitivity to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* in Senegal. At the end of experiments conducted in laboratory, we have seen that the cassava varieties in which the stem bark was thick and hard with a reduced diameter of the marrow were more tolerant to the action of these pests, while those with thin and fragile bark and large stem marrow were more sensible. However the pH of the cassava stem did not affect the incidence of attack of the cuttings by the termites.

Key words: Cassava, cuttings, tolerance, physico-chemical parameters, *Odontotermes* sp.

INTRODUCTION

Cassava (*Manihot esculenta*) is a plant of the *Euphorbiaceae* family native to Latin America. It is grown mainly for its starchy tubers which constitute the basis of food and the main source of energy of many populations across the world (FAO, 1990). Cassava world production of was estimated in 200 at 184 million tons with 55% in Africa (FAO, 2000).

It is a very undemanding plant in relation to the fertility of the soil, rainfall and cultural practices (Raffailac, 1993). The starch content of roots is high and that of protein of leaves is too important (FAO, 2000).

With an annual production of about 90 million tons, cassava is the most important of the R & T (Roots and Tubers) in Africa. About 200 million Africans consume

*Corresponding author. E-mail: blayefaye@yahoo.fr, Tel: (+ 221) 77 505 57 59 / (+ 221) 76 497 85 41.

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

cassava as staple food. Almost all of the African production is consumed locally, and is therefore a subsistence crop. Cassava is a strategic product in the fight for food insecurity in Africa. Many products derived from its tubers (flour, starch, *gari*, *attieke*, pellets, *tapioca*, etc.) relate its importance (Coraf, 2010).

In Senegal, the importance of cassava cultivation continues to increase in these recent years and research is more and more interested. It accounts for 25% in the total vegetables production (Aïchatou, 2007).

However, this plant is attacked by several pests and diseases that cause extensive damage on its culture. Indeed, in addition to, between other enemies, the Cassava African Mosaic Disease and the floury cochineal that cause yield losses respectively from 20 to 90% and up to 100% (Mbaye, 1991), termites ravaging cuttings constitute also a major threat against the cultivation of this plant. In the Department of Tivaouane (Senegal) where its culture is strongly practiced, the attack of termites *Odontotermes* sp. among other species on cuttings planted in fields, wins more and more scale (Faye et al., 2014).

To remediate to that biotic stress, the use of tolerant and resistant varieties is the best way of controlling pests and diseases and may be an attractive alternative to the use of pesticides which residues are harmful for the consumers' health and the environment (Renoux, 1997). Varietal tolerance is considered here as inheritable capability of certain varieties within a plant species to limit development and damage caused by insects. Unlike resistance to diseases that often includes genes, varietal tolerance of plants to pests is rather, according to Painter (1951), linked with physical, mechanical or chemical intrinsic parameters and may involve different tissues of the plant (cuticle, mesophyll, phloem, etc). Thus, a study conducted in rural cassava plantations in the department Tivaouane showed that certain varieties were, more than others, tolerant to termites ravaging cuttings in the area (Faye et al., 2014).

In this present study, it was to study the impact of physical and chemical parameters of the cassava stem on its vulnerability to *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* termites' action. Specific objectives included evaluating the effects of the bark thickness and hardness, the marrow diameter and the pH of the cassava stems on the incidence and severity of attack of cuttings by these termites in different varieties.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

The plant material was cuttings of caliber 18 mm and 20 cm long from 8 varieties of cassava grown in the Department of Tivaouane (Senegal) including 6 local (*Soya*, *Kombo*, *Niargi*, *Cololi*, *Nigeria* and *Wallef*) and 2 from Brazil (*Cacau* and *Cacau roja*). The mother plants were grown in experimental plot for 8 months prior to collection of the cuttings.

Experimental device

36 plastic trays large of 70 and 50 cm deep, at 2/3 filled of previously sterilized soil have been used as culture media. Sterilization of the substrate was made by heating to 80°C over a wood fire in a large metal container, after being wetted. Each tray was then infested by introduction of 200 individuals of termites *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* previously collected in farms and identified in the laboratory. In order to put these termites in activity before planting, vegetable debris were placed on the surface of the culture substrate until signs of attack were observed.

Cuttings of each variety were thus planted into 4 infested trays at the rate of 8 cuttings per tray and watered every 2 days with 5 L during 2 months of culture.

Other cuttings of the same dimensions were used for the measurement of physical and chemical parameters of the stem in each variety of cassava.

Evaluation of the physico-chemical parameters of the stem of the different varieties of cassava

The physico-chemical parameters evaluated in the different cassava varieties were the thickness and hardness of the stem bark, the diameter of the stem marrow and their pH. Each of these intrinsic parameters was measured in each variety on cuttings from different plants, with 4 repetitions. For what concerns the bark thickness and diameter of the stem marrow, measurements were made on cuttings' cross-sections using a graduated rule. Concerning the bark hardness, it was measured in cuttings emptied of their marrow, by measuring the breakthrough pressure using a hardness meter. The pH of the stems have been evaluated on bark and marrow v/v solutions in distilled water maintained at 28°C for 24 h before measuring it with a pH meter.

Evaluation of sensitivity parameters of different varieties of cassava to the *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* termites' action

The sensitivity parameters assed in the different varieties of cassava were the incidence and the severity of attack of cuttings by termites and the mean number of individuals of insects from each cutting per variety. The assessments of the incidence of attack and the number of individuals of termites extracted were conducted on exhumed cuttings after 2 months of culture. The incidence of attack (I) was determined using the following formula:

$$I(\%) = \frac{NA}{32} \times 100$$

in which NA is the number of attacked cuttings and 32 the total number of cuttings for a considered variety.

The average number of termites per cutting was determined on the 32 exhumed cuttings of each variety through a count of individuals of termites (N) extracted from, reporting N/32.

For the severity of attack (S) of the cassava cuttings by the termites, it was evaluated every 15 days during one month and half using the formula:

$$S(\%) = \frac{x_1(1-1) + x_2(2-1) + x_3(3-1) + x_4(4-1) + x_5(5-1)}{Y(5-1)} \times 100$$

where xi = number of cuttings of the class i; i = 1: no attack; i = 2: low attack; i = 3: medium attack; i = 4: severe attack. i = 5: mortal attack; Y = total number of cuttings of the variety.

Table 1. Influence of the bark thickness and the marrow diameter of the stem on the degree of attack of cuttings by termites *O. sp.* in the 8 varieties of cassava after 2 months of culture.

| Varieties | Means of | | |
|------------|-------------------|----------------|----------------------------|
| | Marrow diameter | Bark thickness | Number of termites/cutting |
| Soya | 9.8 ^g | 5.2 | 3.2 |
| Kombo | 16.3 ^a | 1.7 | 16.4 |
| Niargi | 11.4 ^e | 4.6 | 3.6 |
| Cololi | 10.2 ^f | 4.8 | 2.8 |
| Nigeria | 13.8 ^c | 3.2 | 8.3 |
| Wallet | 15.8 ^b | 2.2 | 13.1 |
| Cacau | 13.1 ^d | 3.9 | 3.9 |
| Cacau roja | 9.9 ^g | 5.7 | 2.5 |



Figure 1. Showing *Soya* (A) and *Kombo* (B) cuttings' cross-sections attacked by termites *O. sp.*, after 60 days of culture.

Statistical analyses

Data collected on this study were entered on Excel and analyzed with software Costat. They have been subjected to analysis of variance (ANOVA) and comparison of means of the Student, Newman and Keuls test at the 0.05 probability.

RESULTS

Influence of the bark thickness and the marrow diameter of the cassava stem on the degree of attack of the cuttings by the termites

A correlation could be established between the diameter of the cassava stem marrow and the number of termites extracted from cuttings. Indeed, the varieties with a large stem marrow presented a low thick bark and vice versa. Table 1 show that cuttings with large marrow diameter have been penetrated by greatest numbers of termites. On the other hand, the varieties which cuttings have a thick bark and a reduced marrow were less attacked. Thus we could count in varieties *Soya* (marrow diameter

= 9.8 mm; bark thickness = 5.2 mm) and *Cacau roja* (marrow diameter = 9.9 mm; bark thickness = 5.1 mm) 1.96 and 1.46 against 9.25 and 7.12 in varieties *Kombo* (marrow diameter = 16.3 mm; bark thickness = 1.7 mm) and *Wallet* (marrow diameter = 15.8 mm; bark thickness = 2.2 mm) of average numbers of termites extracted from each cutting respectively (Table 1 and Figure 1).

Analysis of variance showed that the variations in the bark thickness ($F = 2.14$; $P = 0.05$), the marrow diameter ($F = 0.34$; $P = 0.05$) and the number of termites per cutting ($F = 0.194$; $P = 0.05$) were very significant between the 8 cassava varieties studied. The comparison of means allowed to class them in 7 homogeneous groups (a, b, c, d, e, f and g).

Influence of the hardness of the cassava stem bark on the severity of attack of the cuttings by the termites

Figure 2 show that the hardness of the cassava stem bark has an impact on the vulnerability of the cuttings to

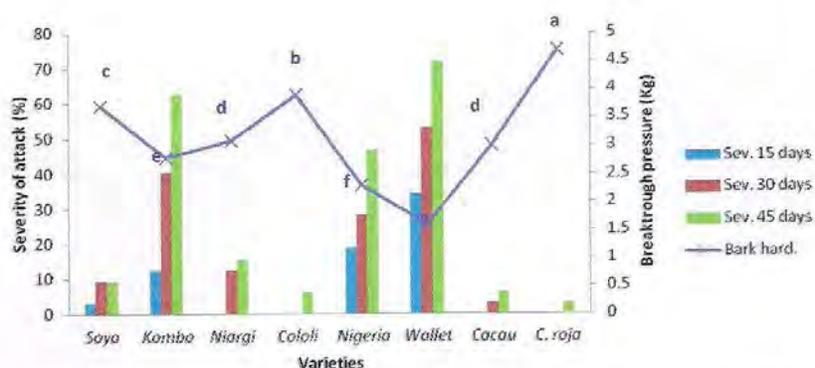


Figure 2. Influence of the stem bark hardness on the severity of attack of the cuttings by termites *Odontotermes* sp. in the 8 varieties of cassava for 45 days of culture.

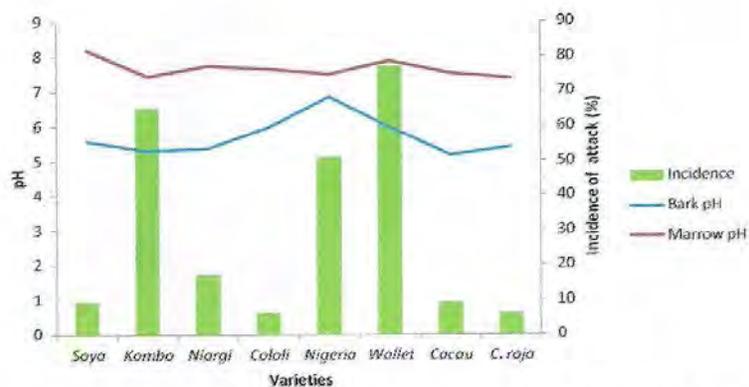


Figure 3. Influence of the stem pH on the incidence of attack of cuttings by termites *Odontotermes* sp. in the 8 varieties of cassava after 2 months of culture.

the action of termites *Odontotermes* sp. We could note a correlation between the hardness of the cuttings bark and their severity of attack by these insects. Indeed, the varieties *Cacau rosa*, *Cololi* and *Soya* with 4.7, 3.9 and 3.7 kg of breakthrough pressure of the bark have been proved more tolerant to the action of termites with respectively 3.12, 6.25 and 9.37% of severity of attack of their cuttings after 45 days of culture (Figure 2). However the varieties *Wallet*, *Kombo* and *Nigeria* which stem bark were relatively more fragile with 1.6, 2.8 and 2.3 kg of breakthrough pressure showed high vulnerability to termites with respectively 71.87, 62.5 and 46.87% of severity of attack of cuttings. According to the ANOVA, the variation in the stem bark hardness ($F = 1.05$; $P = 0.05$) as well as the severity of attack of cuttings by termites after 45 days of culture ($F = 2.107$; $P = 0.05$) were very significant between the 8 cassava varieties

studied. These could be classified, according to the bark hardness variation, into 7 homogeneous groups (a, b, c, d, e, f and g) through the comparison of means.

Influence of the pH of the cassava stem on the incidence of attack of cuttings by the termites

No correlation could be established between the pH of the cassava stem bark or marrow and the incidence of attack of its cuttings by the termites *Odontotermes* sp. among the different varieties put in experience. Figure 3 shows that the attack of these insects on cuttings is not related to the acidity or basicity of the stems. Indeed, we have seen that varieties *Kombo* ($I = 65.5\%$) and *Niargi* ($I = 17.3\%$) with respectively 5.31 and 5.7 on one hand and the varieties *Wallet* ($I = 77.07\%$) and *Cololi* ($I = 6.25$) with

respectively 5.97 and 5.98 on the other hand, presented lowly variable bark pH. Similarly, the stem marrow that was less acidic than the bark in the 8 varieties of cassava, did not vary lot between these different varieties.

DISCUSSION

The thickness and the hardness of the stem bark would be the main parameters related to varietal tolerance of cassava to the action of termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*. Indeed, these two parameters of the stem that characterize the tolerant varieties would constitute a physical barrier to the activity of these xylophagous termites that use their mouthparts to gradually dig cassava cuttings. This observation perfectly agrees with the findings of Sauvion et al. (2013) that against xylophagous insects, several types of passive defenses can play the roles of physical barrier. According to these authors, the thickness of the bark can be a system of effective resistance to beetles such as *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera, Curculionidae) on spruce and *Ips acuminatus* (Coleoptera, Curculionidae) on pines, which usually attack the upper portions of the trunk and the branches of the trees. On the other hand, a research by Rahbe and Giordanengo (2013) has shown that the liber and the outer bark of various conifer species contain structures called "stony cells" which are piles of lignin. Thus, when these structures were abundant at the level of the stem bark, their hardness could disrupt the action and development of beetles drilling galleries, as in the case of *Dendroctonus micans*. In this sense, Lieutier and Haddan (2007) cited by Sauvion et al. (2013) have observed a negative correlation in eucalyptus between the thickness of the liber and the proportion of larvae of the beetle *Phoracantha recurva* (Coleoptera, Cerambycidae) which could access to the sapwood after laying on the bark surface.

In our experimental conditions, we can therefore explain the cassava tolerance to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. observed in varieties *Soya*, *Cololi*, *Cacau*, *Cacau roja* and *Niargi* by their relatively hard and thick stem unlike in varieties *Kombo*, *Wallet* and *Nigeria* which were more vulnerable to the activity of these insects.

Like the bark thickness and hardness, the diameter of the stem marrow also would be in relation to the varietal vulnerability of cassava to termites ravaging cuttings. Thus, high degree of infestation as severity of attack observed in varieties *Kombo*, *Wallet* and *Nigeria* would be also due to their relatively large stem marrow with bark consequently reduced. Indeed, a large diameter of this stem marrow includes a possibility of penetration of a great number of individuals of termites inside the cuttings and therefore an increase of their activity.

Chemically, the pH of the cassava stem varies from one variety to another and would be linked to its latex or cyanhydric acid contents. Indeed, the stem of the variety *Soya* is very rich in latex (a cut stem actually cast lot) while the *Nigeria* variety is poor (any drop from a cut stem). This stem latex essentially located at the level of the bark would be responsible for the acidity of this cortical part. Its abundance in a variety would however not act on termites ravaging cuttings. Our results have also shown that the marrow of cassava stem were less acidic than the bark. The basicity of this medullar part would be due to its poverty in latex and cyanogenic glycosides. Thus, these toxic composts mainly represented by linamarine and the lautostraline in cassava, are present in all parts of this plant and which content diminishes from the periphery to the middle of each organ, according to Alves (2012). In the stem, these acids would therefore be more present in the bark than in the marrow, and would be at the origin of the difference in pH between these two components of this organ. However, the pH of the cassava stem would not have repulsive or attractive effect on termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*.

Conclusion

This study proposed to evaluate the influence of physico-chemical properties of the stem of cassava on its varietal tolerance to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*. Registered results have shown on one hand that the cassava varieties *Soya*, *Niargi*, *Cololi*, *Cacau* and *Cacau roja* are more tolerant to the action of these insects than those *Kombo*, *Wallet* and *Nigeria*. On the other hand, they have shown that the thickness and the hardness of the bark and the diameter of the marrow of the cassava stem are physical parameters influencing the vulnerability of this plant to the action of these pests. Indeed, a correlation could be established between the hardness of the bark and the severity of attack of cuttings by the termites on one hand and on the other hand between the diameter of the marrow and the number of individuals of termites which penetrated attacked cuttings of the different varieties of cassava. However the pH of the stem has not been proved influencing the attack of termites *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* on cassava cuttings.

Conflict of Interest

The authors have not declared any conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Regional Studies Centre for

Adaptation to Drought (CERAAS) for its financial support through the PPAA0 (Agricultural Productivity Program in West Africa). Our thanks are also for Mr. Assane NDIAYE, national cassava program supervisor and member of the National Federation of Cassava Producers in Senegal for his collaboration which was very helpful.

REFERENCES

- Aichatou N (2007). Etude comparative de clones de manioc (*Manihot esculentacrantz*) selon leurs caractères agronomiques et leurs sensibilités aux ravageurs et maladies en zone sahélienne des Niayes du Sénégal. Mémoire de 3^{ème} cycle ; Ucad, Dakar. P. 50.
- Alves LO (2012). Cyanogenic composts. DRA. In chemical engineering. Laboratory of Science and food technology, Brazil, on July 13, 2012.
- ANACIM (2012). Rapport annuel 2012: Données climatiques régionales du Sénégal. http://www.crt-dakar.com/documents/rapports_annuels/2012_GOOY_RAPPORT_A_NNUEL_2012.pdf
- Coraf (2010). Manuel de Formation: transformation du manioc en gari et en farine panifiable de haute qualité en Afrique de l'ouest. Porto Novo (Bénin), 33 p ITA/B2350
- FAO (1990). Etude FAO Alimentation et Nutrition, Utilisation des aliments tropicaux : racines et tubercules. pp. 37-43, Rome 1990.
- FAO (2000). Le manioc, une culture du XXI^e siècle. Symposium du 17 au 23 septembre 2000 au CNRA-CI, Cote d'Ivoire. P. 84.
- Faye A, Kane PD, Sal-Sy D, Sane D, Mbaye DF (2014). Study of the cassava varietal sensitivity to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal). Int. J. Sci. Adv. Technol. 4:6-11 (ISSN 2221-8386).
- Lieutier F, Haddan A (2007). Des stratégies d'exploitation de la plantes aux stratégies mutualistes. In Interactions Plantes-Insectes. IRD Editions, Marseille, RD 10, 78026, France.
- Mbaye AA (1991). Les maladies virales transmises par aleurodes au Sénégal. In « Proceedings Réunion annuelle de la recherche sur la protection des cultures vivrières dans le Sahel. Mars 1991. Ouagadougou.
- Mbaye AA (1991). La mosaïque africaine: une maladie d'origine virale du manioc, Afrique-Espoir-N°3-Avril-Juin 1991. pp. 1-2.
- Painter RH (1951). Insect resistance in crop plants. MacMillan, New York, P. 520.
- Raffaillac JP (1993). Enracinement de la bouture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au cours des premières semaines de croissance. L'AGRONOMIE TROPICALE 1992,46 - 4 Centre ORSTOM, laboratoire d'agronomie, BP 375, Lomé, Togo.
- Rahbe Y, Giordanengo P (2013). Défense des plantes contre les insectes: Se défendre sans pouvoir s'échapper. In Interactions Plantes-Insectes. IRD Editions, Marseille, RD 10 :78026, France.
- Renoux J (1997). Les termites et l'homme. Laboratoire EBENA, Université Paris XII Val de Marne. Paris pp. 133-146.
- Sauvion N, Calatayud PA, Thiéry D, Marion-Poll F (2013). Interactions insectes-plantes. IRD Editions, Marseille, RD 10, 78026, France.

Annexe 4 : Article 3

academicJournals

Vol. 9(8), pp. 305-312, August 2015

DOI: 10.5897/AJPS2014.1243

Article Number: D8E0DE655015

ISSN 1996-0824

Copyright © 2015

Author(s) retain the copyright of this article

<http://www.academicjournals.org/AJPS>

African Journal of Plant Science

Full Length Research Paper

Effects of different hormones on organogenesis *in vitro* of some varieties of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) grown in Senegal

Abdoulaye FAYE^{1,2*}, Maurice SAGNA¹, Papa Demba KANE² and Djibril SANE¹

¹Laboratory Campus of Plant Biotechnology, Faculty of Sciences and Technology, University Cheikh Anta Diop of Dakar, BP: 5005 Dakar-Fann, Senegal.

²Senegalese Institute of Agricultural Research (ISRA), BP: 3120 Dakar, Senegal.

Received 12 November, 2014; Accepted 13 July, 2015

Cassava (*Manihot esculenta*) is a perennial euphorbiaceous shrub grown mainly for its starchy tubers and its leaves rich in protein. The most known method of propagation of this crop is the classical cuttings' planting. However, *in vitro* propagation appears most useful and permits to obtain high quantity of healthy vegetable material in a short period. In this work, it was to study the impact of different hormones on the organogenetic capacities *in vitro* of five cassava varieties cultivated in Senegal. Axillary uninodal sections were disinfected and cultured in Murashige and Skoog (MS) basal medium added or not of different concentrations (0.1, 0.5 and 1 mg/L) of auxin (α -naphthalene acetic acid (NAA)) or cytokines (benzyl aminopurine (BAP) and kinetin). Best shoot growth and rooting was observed in MS medium containing 0.1 mg/L kinetin with normal development of the leaves. Highest proliferation of shoots and leaves was obtained with medium MS + BAP 1 mg/L. Callus formation was observed in all media containing hormone but most in MS + NAA 1 mg/L. This work proposes a rapid and economic technique for cassava multiplication.

Key words: Organogenesis *in vitro*, cassava, varieties, hormones, Senegal.

INTRODUCTION

Manihot esculenta known as cassava is a plant-tubers grown mainly in tropical regions where it presents a high economic importance. According to FAO (1995) it is the most important locally-produced food in a third of the world's low-income and food-deficit countries, especially in Africa. Its starchy roots and high-protein leaves are

consumed at home or sold, in fresh or in processed form. Because of its simple technology of culture and large flexibility, cassava is often grown in rural areas where other crops fail (Thro et al., 1998).

However, cassava propagation using cuttings classic method is not adequate for rapid and health

*Corresponding author. E-mail: blayefaye@yahoo.fr. Tel/Fax: (+ 221) 33 824 21 03.

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

multiplication. The annual production of vegetable material of this plant is very low (average 10 cuttings per plant per year) and yields are reduced by pests and diseases attack, essentially by the cassava african mosaic, the cassava bacterial blight due to *Xanthomonas campestris* and the floury cochineal (*Phenacoccus manihotis*).

An alternative method that proves to remediate the low coefficient of multiplication and infections of cassava is micropropagation *in vitro*. It consists of regenerating whole plants by cultivating explants in artificial medium, sterile conditions and controlled environment (light and temperature). Several plants conserving genetic identity are obtained from successive generations and can be multiplied to infinity. According to Guo and Liu (1995), hundreds of millions of plants derived from culture *in vitro* are produced annually in the world.

Micropropagation is therefore a rapid and powerful technique of multiplication that permits to obtain plants in sufficient quantity to satisfy continuous production independent of the seasons. Indeed, contrarily to the classical method that gives a single individual by seed or cutting, *in vitro* propagation may produce as many copies as liked from a single explant (Rancillac, 1981) and help to overcome constraints related to the availability of high quality of planting material (Wheatley et al., 2005; Vaillant et al., 2005).

The work of Fereol (1978) highlighted perfectly the interest of culture *in vitro* in cassava. The ability of vegetative propagation *in vitro* has been estimated in african clones, to a potential of production of a million plants a year from a single cutting (Lourd, 1981). Thus, with this method of propagation, research can make a significant contribution to food security and economic development in the areas of culture of cassava (Thro et al., 1998). This contribution is more interesting when it comes to propagate resistant or tolerant varieties to major constraints to the culture.

In this present study, it was made to study the effect of some hormones on organogenetic capacities *in vitro* of 5 varieties of cassava grown in Senegal and selected for their tolerance to termites ravaging cuttings *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* (Faye et al., 2014). The general objective of the study was to determine the best medium for an optimal response of cassava to multiplication *in vitro*. Specific objectives were to assess the effects of different hormone concentrations on the growth and development (caulogenesis, rooting, shoot and root growth, phyllogenesis and callus formation) *in vitro* of the different varieties of cassava.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

The plant material was composed of five cassava varieties cultivated

in the Department of Tivaouane (Senegal) including 3 local: Soya, Cololi and Niargi and 2 Brazilian: Cacao and Cacao roja. Cuttings were collected from farms and transplanted into pots placed in a greenhouse. They were watered every two days at 1/2 L per cutting. Fungicide and insecticide treatments using respectively 50 mg/L mancozeb and 2 mL chlorpyrifos-ethyl were conducted in this culture. Plants obtained have provided explants which were used for material of introduction *in vitro*.

Sterilization

After a brief wash with soap followed by 3 successive rinses, explants have been soaked for 20 min in a solution of 80 g/L calcium hypochlorite with 2-3 drops of tween 20, then in bleach for 10 min. Each soaking was immediately followed by 3 successive rinses with sterile water.

Culture media and control

The basal nutrient used was the complete MS (Murashige and Skoog) (1962) medium. It was solidified with 8 g.L⁻¹ agar at pH adjusted 5.7 and contained 25 g.L⁻¹ of sucrose. This medium was or not supplemented with NAA (α -naphthalene acetic acid), BAP (benzyl aminopurine) or kinetin at different concentrations (0.1, 0.5 and 1 mg/L). The media were distributed in glass test tubes at 20 ml/tube and then sterilized by autoclaving at 110°C for 20 min. The surface disinfected explants were placed vertically on the media, in sterile conditions. Cultures were incubated in the dark for 24 h and then transferred to the culture chamber lighted with 4000 lux where they were maintained at 27 ± 1°C, under a photoperiod of 13 h day.

A sample of 12 tubes per medium per variety was considered for the parameters assessment. Weekly measures have been conducted on the 3rd generation plantlets during 30 days of culture. The parameters evaluated were the shoot and root numbers and growth, the number of leaves and the rate of callus formation.

Statistical analyses

Data collected on this study were entered on Excel and analyzed with software Costat. They have been subjected to analysis of variance of the Student, Newman and Keuls test at the 0.05 level of significance.

RESULTS

Effect of hormones on caulogenesis *in vitro* of the different varieties of cassava

Figure 1 shows that the addition of hormones in the basal medium MS favored multiple shoots formation in all the varieties of cassava. Indeed, average 5.3 shoots by plantlet were count in the variety Soya in the MS + BAP 0.1 mg/L medium after four weeks of culture. Highest numbers of shoots were observed in medium containing BAP or kinetin. Medium with NAA were however less favorable to caulogenesis. The variation of shoots number were significant ($F = 0.383$; $P = 0.05$) among the different hormonal concentrations experimented, according to statistics.

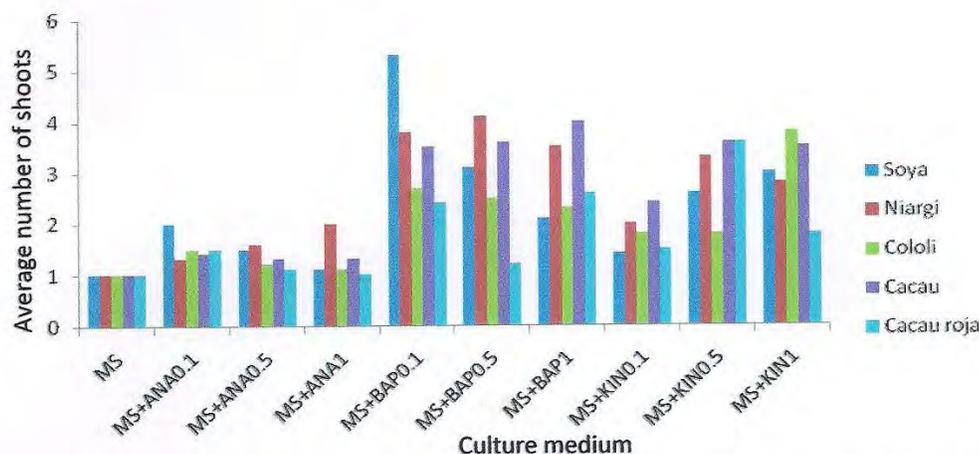


Figure 1. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on shoots' proliferation *in vitro* of 5 varieties of cassava after 1 month of culture.

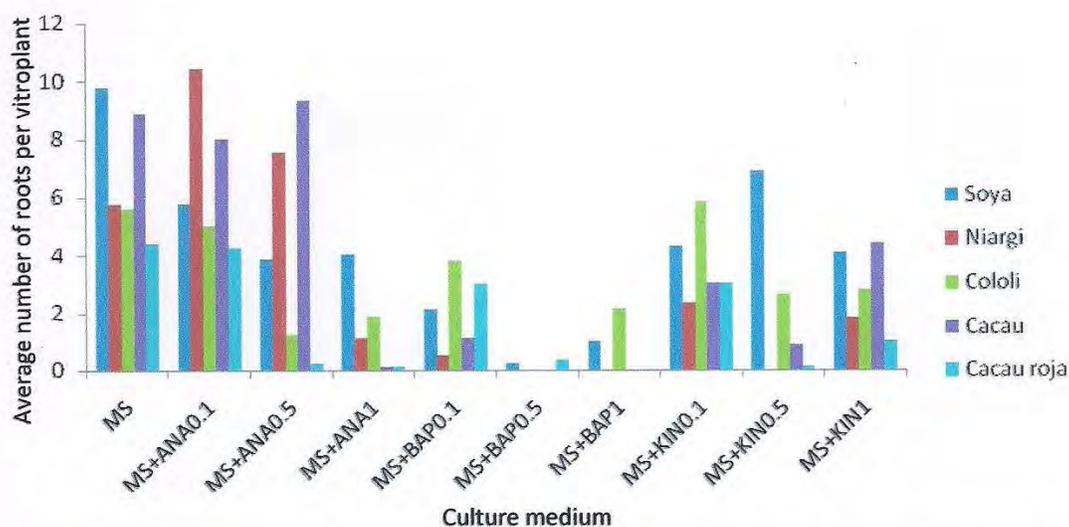


Figure 2. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on rooting *in vitro* of 5 varieties of cassava after 1 month of culture.

Effect of hormones on rooting *in vitro* of the different varieties of cassava

The extent of root formation *in vitro* in cassava depends on the culture medium. We noted that the addition of BAP, especially at high doses in the MS medium reduced strongly the formation of roots. Indeed, no rooting was

observed among the varieties *Niargi*, *Cacau* and *Cacau roja* in the MS + BAP 1 mg/L medium during 1 month of culture. In contrast, highest numbers of roots (average 10.4 per plantlet in variety *Niargi*) were found in MS + NAA 0.1 mg/L after 4 weeks of culture (Figure 2). According to ANOVA, the number of roots in the 5 varieties of cassava varied significantly ($F = 3.453$; $P =$

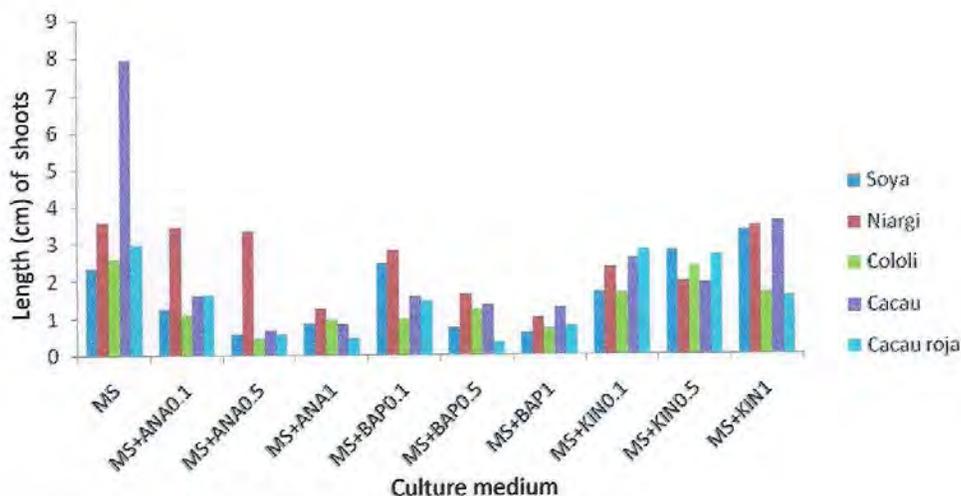


Figure 3. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on shoots' growth *in vitro* of five varieties of cassava after 1 month of culture.



Figure 4. Poor shoots growth in MS+BAP 0.1 mg/L after 30 days of culture.

0.05) among the hormonal concentrations tested.

Effect of hormones on shoots' growth *in vitro* of the different varieties of cassava

Explants cultured in media containing kinetin showed best growth of shoots. Respectively 3.56, 3.44 and 3.33 cm averages of shoots' lengths were observed among varieties *Cacau*, *Niargi* and *Soya* in MS + KIN 1 mg/L after four weeks of culture (Figure 3). However BAP and NAA were less favorable to shoots' growth. Therefore shortest shoots with averages 0.45 and 0.32 cm long, respectively have been observed among varieties *Cololi*

and *Cacau roja* in the media MS + NAA 0.5 mg/L and MS + BAP 0.5 mg/L after 1 month of culture.

According to the analysis of variance, the variation of the shoots' length among the different culture media tested was significant ($F = 0.639$; $P = 0.05$).

Effect of hormones on roots' growth *in vitro* of the different varieties of cassava

The elongation of plantlets' roots varied depending on the culture medium. Thus, we have seen that the addition of hormone, especially in high concentrations, in the medium MS enhanced the roots growth. Kinetin proved however best elongation of roots in some varieties. Thus, we could record respectively 4.62 and 3.58 cm averages of roots' lengths among varieties *Cacau* and *Soya* in the MS + KIN 1 mg/L medium after 1 month of culture. In contrast, the lowest root growth occurred in media containing the NAA where very short roots not exceeding 0.06 cm average have been observed in the variety *Cacau roja* in the medium MS + NAA 1 mg/L after 4 weeks of culture (Figure 5). The variation of the roots' length was significant ($F = 1.554$; $P = 0.05$) among the culture media experienced, according to the ANOVA.

Effect of hormones on the phylogenesis *in vitro* of the different cassava varieties

Figures 4 and 7 show that explants cultured in medium

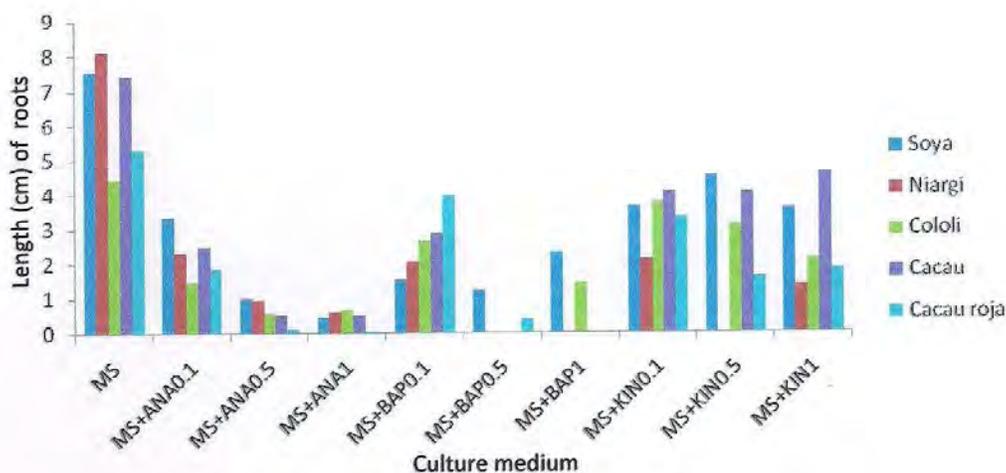


Figure 5. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on roots' growth *in vitro* of five varieties of cassava after one month of culture.

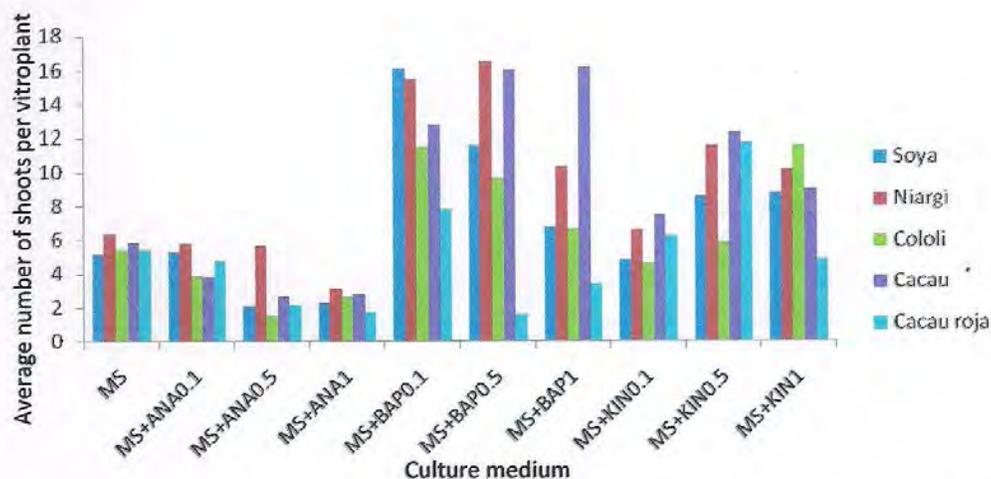


Figure 6. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on phylogenesis *in vitro* of five varieties of cassava after 1 month of culture.

with BAP produced more leaves than those cultured in medium containing kinetin. Indeed, after four weeks of culture we could count up to 16.4 leaves average in plantlets of the variety *Niargi* in the MS + BAP 0.5 mg/L medium. Leaves produced in media addition of kinetin presented however the best development. In contrast, NAA appeared to be a hormone unfavorable to the

phylogenesis in all varieties. Thus the number of leaves per plantlet could fall up to 1.5 average after 4 weeks of culture in the medium MS + NAA 0.5 mg/L in the variety *Cololi* (Figure 6).

The number of leaves formed *in vitro* was significantly variable ($F = 10.310$; $P = 0.05$) among the different culture media tested, according to the analysis of

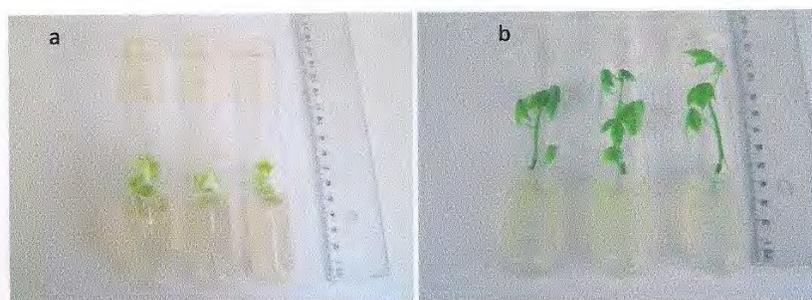


Figure 7. Shoots growth in MS+ANA0.1 mg/L (a) and MS+KIN0.1 mg/L (b) media after 30 days of culture.

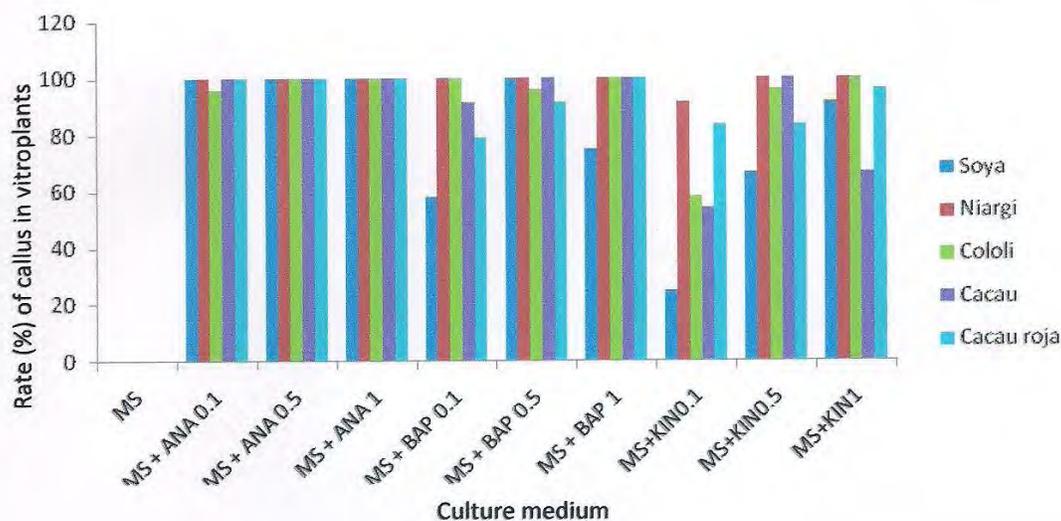


Figure 8. Influence of different hormonal concentrations (mg/L) and control on callus formation *in vitro* of five varieties of cassava after one month of culture.

variance.

Effect of hormones on the callus formation *in vitro* of the different varieties of cassava

Callus formation in plantlets appeared to be induced by the addition of growth regulators in the basal medium MS. Figure 8 shows that NAA, especially at high concentration, were more favorable to the callus formation, compared to the BAP and the kinetin which had the least. Indeed, after 4 weeks of culture, we recorded 100% of callus formation in all varieties in

media MS + NAA 0.5 mg/L and MS + NAA 1 mg/L against 25 and 58.3%, respectively in varieties Soya and Cololi in the MS + KIN 0.1 mg/L medium. No callus formation was observed however in the basal medium MS (Figure 4). The analysis of variance showed that the callus formation's rate varied significantly ($F = 32.538$; $P = 0.05$) among the different media tested.

DISCUSSION

Our results showed that the response of cassava to micropropagation *in vitro* depends on the culture medium.

Thus, the addition of growth regulators at different concentrations in the basal culture medium MS oriented the organogenesis *in vitro* of this plant. In our experimental conditions, we could note that the application of a low concentration (0.1 mg/L) of NAA, BAP or kinetin favored more than high concentration (1 mg/L), best growth of organs except callus. Such observations are confirmed by the results obtained by Cacai et al. (2012) according to which the effect of kinetin on the shoots' growth varies depending on the applied concentration. Das et al. (2013) also found that the nature and the concentration of cytokinin determined significant growth variations in some genotypes of *Dioscorea* sp.; reflecting the results of Ondo et al. (2007) who, using high concentration (2 mg/l) of kinetin, have noticed a reduction of the length of roots in the *Dioscorea cayenensis* – *Dioscorea rotundata* complex.

In our experiment, explants cultured in media containing BAP produced highest numbers of shoots and leaves in all the cassava varieties. Kinetin resulted better growth of shoots, roots and leaves, while NAA induced more importantly the formation of callus, compared to the 2 cytokinins (BAP and kinetin). These results are confirmed by the works of Malaurie et al. (1995), Miller and Skoog (1957), James and Newton (1977), Navatel (1979), Ammirato (1984), Bennett et al. (1986), Lalmoanlal et al. (1990), Romano et al. (1992), Boniface (1992), Yopez et al. (2001), Kbiach (2002), Namwenje et al. (2003) and Ahanhanzo et al. (2008) reported by Cacai et al. (2012), which have shown that kinetin induces more roots than BAP. Indeed, these cytokinins, unlike auxin (NAA), would encourage more development and growth of the aerial organs (shoots and leaves) than of roots. Therefore, according to Phil et al. (1995) the variations of the ratio auxin/cytokinin have specific effects on the development of the explants and then determine the organogenesis tendency. These authors have shown that a high ratio (more auxin than cytokinin) resulted in differentiation of roots, while a low ratio (more cytokinin than auxin) resulted in differentiation of shoots. However, Ahanhanzo et al. (2008), using NAA (0.5 mg/l) + BAP (0.5 mg/l) on one hand and NAA (0.5 mg/l) + KIN (0.5 mg/l) on the other hand, have not observed callus formation in three varieties of cassava (RB 89509, BEN 86052 and TMS 30572). This would be explained by the fact that there was some interaction between growth regulators so that shoot or root differentiation would depend on the type of hormonal combination made.

Our results also show that the organogenesis *in vitro* of the different varieties of cassava were ideal in the culture medium MS, without any addition of hormone. Plantlets were well rooted and showed good vegetative development in this basal medium in all varieties. Such findings agree with results obtained by Boher (1988) and Lourd (1981) which could successfully multiply 65 cassava cultivars without using growth regulator. It appeared

according to this researcher that the plantlets' growth *in vitro* could however be extremely variable depending on the cultivars or the type of explants of the same cultivar.

Therefore, according to our results, the variety would also have an influence on organogenesis *in vitro* of cassava. Thus, varieties *Soya*, *Cacau* and *Niargi* have presented best growth and development of organs, compared to varieties *Cololi* and *Cacau roja* in the culture medium MS. Such observations are confirmed by the work of Cacai et al. (2012) according to which the reaction of explants in different culture media is not the same from one variety to another. According to these authors, MS + KIN and MS + NAA media gave the highest shoots' length average in beninese cultivars *Agric Sazoue* (3.54 ± 0.4 cm) and *Gbeze* ($6.36 \pm 0, 3$ cm) on one hand and *Ahouandjan* (8.62 ± 0.8 cm) on the other hand respectively.

In varieties 92/0057 ($1.63 \pm 0, 1$ cm), *BEN 86052* (4.20 ± 0.6 cm), *Sekandji* (6.6 ± 0.4 cm) and *Okoyao* (1.85 ± 0.3 cm) however, it was the NAA + KIN combination that gave the highest averages of shoot length. Similarly, work conducted by Ahanhanzo et al. (2010) on different genotypes of yam have confirmed that the response of the microcuttings to cytokinins' action depended on the genotype of the plant.

Conclusion

Organogenesis *in vitro* of cassava explants depends on the culture medium and the variety. The addition of different growth regulators (NAA, BAP and kinetin) at different concentrations (0.1, 0.5 and 1 mg/L) each in the basal Murashige & Skoog (MS) medium allowed to observe different tendencies in organs' development among 5 varieties *Soya*, *Niargi*, *Cololi*, *Cacau* and *Cacau roja* put in experience. The cytokinin BAP enabled to obtain more shoots, more leaves and fewer roots, while NAA has the most promoted callus formation in all varieties. Kinetin was found to be more favorable to best elongation of shoots and roots and the normal development of the leaves. In all media, rooting and growth of shoots and roots, conversely to number of shoots as well as the phylogenesis and the callus formation, were more favored with low (0.1 mg/L) than with high (1 mg/L) hormonal concentration. However, the ideal response was observed with the basal culture medium MS in all the cassava varieties, so that the use of hormones appears not necessary for propagation *in vitro* of this plant.

Conflict of Interest

The authors have not declared any conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Regional Studies Centre for Adaptation to Drought (CERAAS) for its financial support through the WAAPP (Agricultural Productivity Program in West Africa). Our thanks also go to Mr. Assane NDIAYE, national supervisor of cassava program and member of the National Federation of the cassava producers in Senegal for his collaboration which was very helpful.

REFERENCES

- Ahanhanzo C, Agbangla C, Agassounon DTM, Cacaoi GHT, Dramane K (2008). Comparative study of the influence of growth regulators on morphogenesis *in vitro* of some cassava varieties (*Manihot esculenta*) in Benin. *Rev. CAMES – Ser. A*, 07:47-52.
- Ahanhanzo C, Gandonou C, Agbidinokoun A, Dansi A, Agbangla C (2010). Effect of two cytokinins in combination with acetic acide α -naphthalene on yams (*Dioscorea* spp.) genotypes response to *in vitro* morphogenesis. *Afr. J. Biotech.* 9(51):8837- 8843.
- Ammirato PV (1984). Yams. In *Handbook of Plant Cell Culture* (vol. 3). Crop Species Macmillan; New York: 336-354.
- Bennett LK, Davies FTJ (1986). *In vitro* propagation of *Quercus shumardii* seedlings. *Hort. Sci.* 21(4):1045-1047.
- Boher B (1988). Cassava healthy material production by *in vitro* culture. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. *Agron.* 6(3):221-228.
- Cacaoi GHT, Ahanhanzo C, Dangou JS (2012). Effect of different hormonal combinations on organogenesis *in vitro* of some local improved varieties of cassava (*Manihot esculenta-Euphorbiaceae*) cultivated in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4):1593-1607.
- Das S, Dutta MC, Mazumdar PB (2013). Micropropagation of *Dioscorea alata* L. through nodal segments. *Afr. J. Biotech.* 12(47):6611-6617.
- FAO/GIEWS (Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture) (1995). Food supply situation and crop prospects in sub-Saharan Africa. *Special Africa Report*, April 1995.
- Faye A, Kane PD, Sall-Sy D, Sane D, Mbaye DF (2014). Study of the cassava varietal sensitivity to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal) *Int. J. Sc. Adv. Tech.* 4(6):6-16.
- Fereol C (1978). Vegetative multiplication and elimination of the cassava mosaic disease by thermotherapy in plants cultivated *in vitro*. *Diseases of Tropical Food Crops. Int. J. Corpus Linguist.* 65(7):285-295.
- Guo JY, Liu YQ (1995). Rapid propagation of cassava by tissue culture and its application in rural districts in China. In *Proceedings of the Second International Scientific Meeting, Cassava Biotechnology Network, Bogor, Indonesia, 25-28 Aug. 1994, CIAT Working Doc. N°* 150:183-189.
- James DJ, Newton B (1977). Auxin-cytokinin interactions in the *in vitro* micropropagation of strawberry. *Acta Hort.* 78:321-331.
- Kbiach ML, Lamart A, Abdali A, Badoc A (2002). *In vitro* buds' culture of the oak-cork (*Quercus suber*). *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux* 141:73-78.
- Lourd M (1981). Cultivation *in vitro* of a collection of cassava varieties. Balance after 4 months of experimentation. ORSAY, 1981.
- Miller CO, Skoog F (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured *in vitro*. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 11:118-130.
- Murashige T, Skoog F (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tissue culture. *Physiol. Plant.* 15:473-497.
- Nweke F (1996). Processing Potential for Cassava Production Growth in Sub-Saharan Africa. COSCA Working. Collaborative Study of Cassava in Africa, IITA Ibadan, Nigeria; Paper N° 11.
- Ondo OP, Kevers C, Dommes J (2007). Bud an tuber proliferation *in vitro* of *Dioscorea cayenensis-D. rotundata* complex. *Plant Cell. Tiss. Organ Cult.* 91:107-114.
- Rancillac M (1981). Making a vegetative multiplication *in vitro* method of the maritime pine (*Pinus pinaster* Sol.) for clones constitution by seeds, AFOCEL, pp. 41-48.
- Romano A, Noronha C, Martins-Loução MA (1992). Influence of growth regulators on shoot proliferation *in vitro* of *Quercus suber* L. *Ann. Bot.* 70(6):531-536.
- Saleil V, Degras L, Jonard R (1990). Obtention of plants without virus of the yam mosaic (YMV) by *in vitro* culture of apex in american yam *Dioscorea trifida* L. *Agronomy Elsevier/ INRA* 10:605-615.
- Sane D, Borgel A, Chevallier MA, Gassama-Dia YK (2001). *In vitro* induction of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* micro-cuttings' rooting by transitory auxin treatment. *Ann. For. Sci.* 58:431-437.
- Thro AM, Taylor N, Raemakers K, Visser R, Puonti-Kaerlas J, Schopke C, Iglesias C, Roca W, Sampaio MJ (1998b). Biotechnology and the cassava farmer: an agenda to make a difference. *Nat. Biotech.* 16:428-430.
- Vaillant V, Bade P, Constant C (2005). Photoperiod affects the growth and development of yam plantlets obtained by *in vitro* propagation. *Biol. Plant.* 49:355-359.
- Wheatley AO, Ahmed MH, Asemota HN (2005). Development *in vitro* and salt adaptation of greater yam (*Dioscorea alata*) plantlets. *In vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 39:346-353.

Annexe 5 : Poster 1



Etude de la sensibilité variétale du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) aux termites ravageurs des boutures en plantations paysannes dans le département de Tivaouane (Sénégal)



Abdoulaye FAYE^{1,2}

¹Biologie, Physiologie et Pathologies Végétales
Production et Protection des Végétaux

²USAID/ERA

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA)
SALL SY D.², KANE P.D.², MBAYE D.F.³

Directeur de Thèse : Dr. Djibril SANE ; UCAD/FST/BV (+221 33 824 21 03 ; djiisane@refer.sn)

INTRODUCTION

La culture du manioc occupe au Sénégal une place relativement importante dans les activités agricoles puisqu'il participe pour 25% de la production totale de légumes (Aichatou, 2007). Cependant, cette plante est fortement attaquée par plusieurs maladies et ravageurs qui provoquent une baisse notable des rendements. Dans le département de Tivaouane où le manioc est largement cultivé, l'attaque des boutures par les termites ravageurs constitue une menace qui gagne de plus en plus d'ampleur dans les plantations paysannes.

L'objectif de cette étude a été de sélectionner des variétés de manioc tolérantes aux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane.

Les objectifs spécifiques ont été :

- d'évaluer la sensibilité variétale du manioc aux termites en plantations paysannes et en parcelle expérimentale
- de déterminer la diversité et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc dans la zone



MATÉRIEL & MÉTHODES



Sites d'étude : 19 champs de manioc répartis dans 6 localités (Thiallé, Keur Baka, Tivaouane, Andal, Méwane et Mbayène) et 1 parcelle expérimentale à Tivaouane.

Matériel végétal : 8 variétés de manioc dont 6 locales (Soya, Kombo, Niargi, Cololi, Nigeria et Wallet) et 2 brésiliennes (Cacau et Cacau rosa).

Méthodes : Collecte et identifications des termites ravageurs des boutures, évaluation sensibilité variétale en champs monovariétaux et en parcelle expérimentale infestées (8 boutures repiquées/variété/ligne de 1m/1,5 dans 4 répétitions avec arrosage biquotidien 1L d'eau/bouture).

Paramètres étudiés : Diversité et fréquence (F) spécifiques des termites, Incidence d'attaque (I) des boutures et taux de mortalité (TM) due aux termites en champs, sévérité d'attaque (S) des boutures par les termites en parcelle expérimentale.

Méthode d'évaluation des paramètres : $I = NA/NT$; $TM = NM/NT$; $F = NE/NT$; $S = \frac{X1(1-1) + X2(2-1) + X3(3-1) + X4(4-1) + X5(5-1)}{Y(5-1)} \times 100$

NA = nombre de boutures attaquées dans l'échantillon considéré
 TM = nombre de boutures mortes de l'action des termites dans l'échantillon considéré
 NE = nombre d'individus de termites d'une espèce donnée collectés dans l'échantillon considéré
 NT = nombre total de boutures dans l'échantillon considéré

Xi = nombre de boutures de la classe i; Y = nombre total de boutures de la variété considérée

Echelles : F < 10 Espèce très rare; 10 < F < 20 Espèce accidentelle; 20 < F < 40 Espèce assez fréquente; 40 < F < 60 Espèce fréquente; F > 60 Espèce très fréquente (Cheneydjel et al., 2011).

i = 1 absence d'attaque; i = 2 attaque légère; i = 3 attaque assez sévère; i = 4 attaque sévère; i = 5 attaque mortelle (Univ. De Cornell).

RESULTATS

Table 1: Variation of specific frequency of termites ravaging cassava cuttings

| Species | Specific frequency (%) in fields | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|---------|-----------|--------|-------|---------|
| | Keur Baka | Thiallé | Tivaouane | Méwane | Andal | Mbayène |
| <i>Odontotermes</i> sp | +++ | ++ | +++ | +++ | +++ | ++ |
| <i>Macrotermes sibilialinus</i> | | + | . | . | ++ | ++ |
| <i>Panotermes hybostoma</i> | - | | | | | |
| <i>Amitermes evanescer</i> | | | + | | + | |
| <i>Microtermes lepidus</i> | | | | | | |

Légende : +++ : very frequent; ++ : frequent; + : enough frequent; . : accessory; - : accidental - : very rare

Table 2: Influence of the variety on the extent of the termites' damages in cassava fields planted in July in the department of Tivaouane, 45 days after planting.

Légende I = Incidence of cuttings' attack by termites; **MR =** mortality rate of cuttings due to termites

| Variety | Locality | Field dimension (m ²) | I (%) | MR (%) |
|------------|-----------|-----------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Keur Baka | 16920 | 48,10 | 12,65 |
| Nigeria | Thiallé | 10112 | 31,25 | 14,06 |
| Nigeria | Thiallé | 3968 | 38,70 | 8,64 |
| Cacau rosa | Keur Baka | 585 | 16,66 | 0,00 |
| Cacau | Keur Baka | 1125 | 16,90 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 9900 | 2,23 | 0,00 |
| Soya | Thiallé | 1154 | 9,20 | 1,53 |
| Soya | Méwane | 10556 | 1,09 | 0,00 |
| Niargi | Thiallé | 3854 | 19,14 | 7,31 |
| Niargi | Tivaouane | 2170 | 14,25 | 5,70 |
| Niargi | Andal | 3780 | 16,66 | 9,52 |
| Niargi | Andal | 1702 | 11,11 | 5,55 |
| Wallet | Mbayène | 13104 | 66,66 | 24,35 |
| Kombo | Mbayène | 10980 | 61,70 | 27,65 |

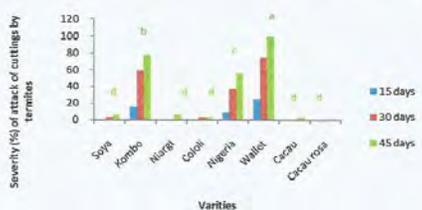


Figure 1. Evolution of the severity of attack of the 8 varieties of cassava by termites in experimental during 45 days after planting

Table 3: Influence of the variety on the extent of the termites' damages in cassava fields planted in September in the department of Tivaouane, 45 days after planting.

Légende I = Incidence of cuttings' attack by termites; **MR =** mortality rate of cuttings due to termites

| Variety | Locality | Field dimension (m ²) | I (%) | MR (%) |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|--------|
| Nigeria | Tivaouane | 7006 | 61,06 | 16,12 |
| Soya | Thiallé | 21465 | 6,66 | 1,46 |
| Niargi | Andal | 2886 | 33,33 | 16,66 |
| Wallet | Méwane | 3900 | 73,07 | 34,61 |
| Kombo | Mbayène | 1706 | 70,73 | 23,17 |

ANOVA du test de Newman-Keuls et Keuls au seuil de 5%
 = très significative (F = 0,624 ; P = 0,05) entre les 8 variétés de manioc.

Comparaison des Moyennes (LSD) : 4 groupes homogènes (a, b, c et d) entre les différentes variétés.

CONCLUSION

5 espèces de termites ravageurs des boutures ont été collectées dans les plantations paysannes de manioc dans le département de Tivaouane et identifiées en laboratoire. Il s'agit de *Odontotermes* sp, *Macrotermes sibilialinus*, *Panotermes hybostoma*, *Amitermes evanescer* et *Microtermes lepidus* avec une large prédominance de l'espèce *O. sp*. Les variétés de manioc Soya, Niargi, Cololi, Cacau et Cacau rosa ont été sélectionnées pour leur tolérance à ces ravageurs tandis que celles Kombo, Wallet et Nigeria se sont avérées plus sensibles.

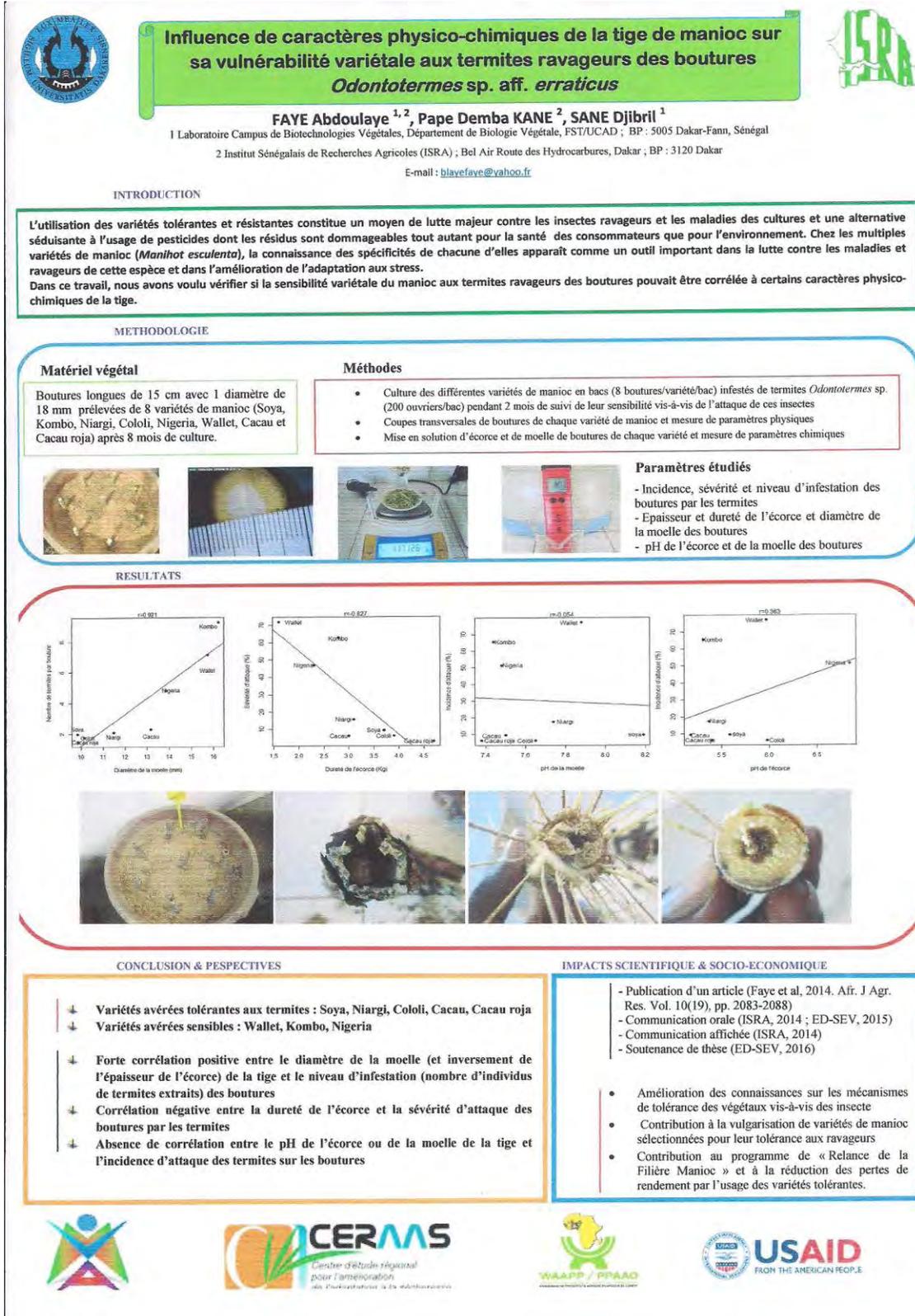
Retombées scientifiques : Publication d'un article, Soutenance d'une thèse. **Impacts :** L'utilisation des variétés tolérantes par les producteurs de manioc permettrait de réduire les pertes de rendements.

Mots clés : manioc, boutures, variété, termites, sensibilité, Tivaouane

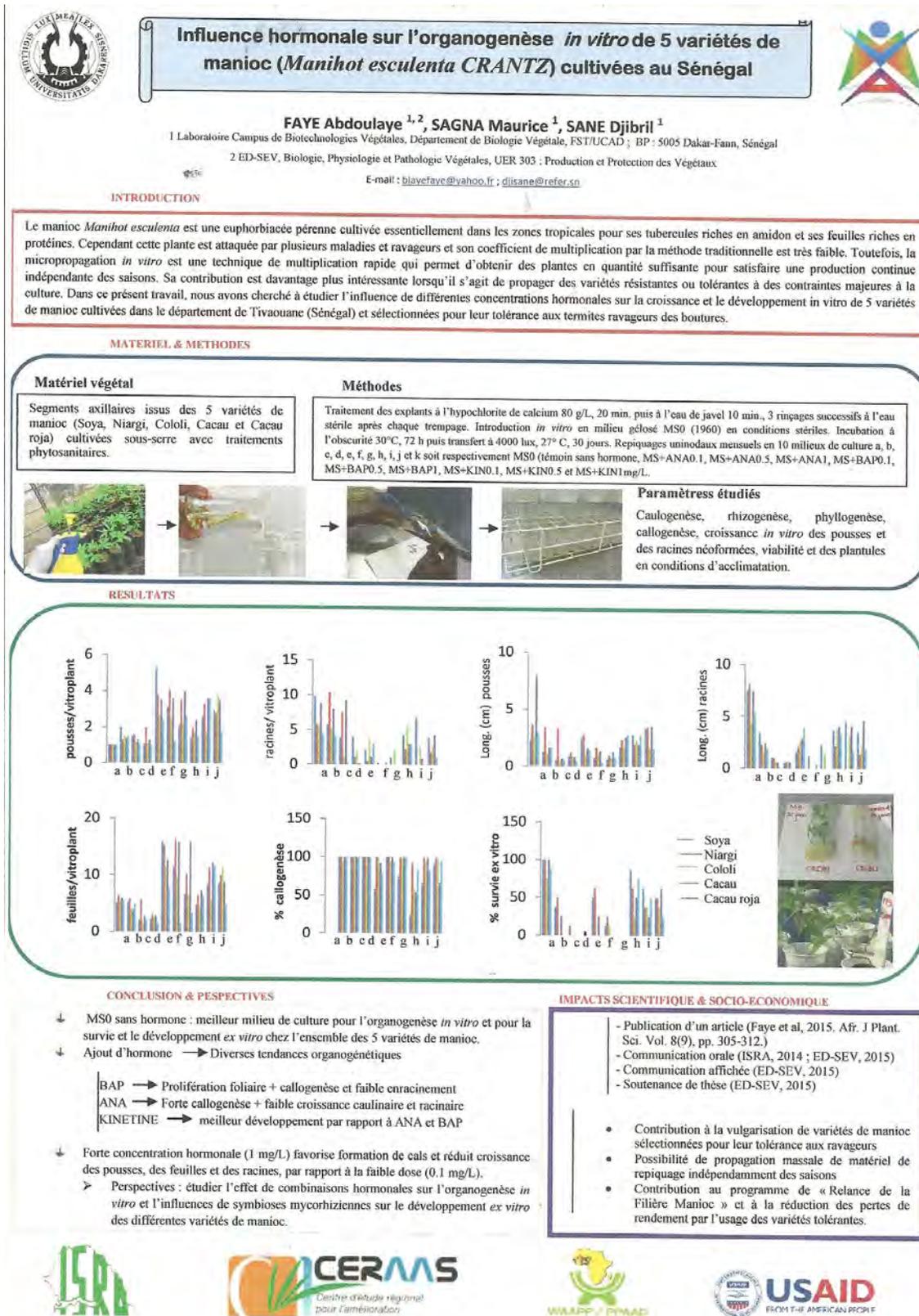




Annexe 6 : Poster 2



Annexe 7 : Poster 3



Nom et prénom du candidat : FAYE Abdoulaye

Titre de la thèse : Etude comparative de variétés de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) selon leur sensibilité aux termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et leurs capacités organogénétiques *in vitro*

RESUME

Le manioc *Manihot esculenta* est une euphorbiacée pérenne cultivée essentiellement dans les zones tropicales pour ses tubercules riches en amidon et ses feuilles riches en protéines. Cependant, cette plante est attaquée par plusieurs maladies et ravageurs et son coefficient de multiplication par la méthode traditionnelle est très faible. Toutefois, le manioc compte une multitude de variétés différentes entre elles par plusieurs caractères. Certaines spécificités variétales de l'espèce présentent une influence sur sa vulnérabilité vis-à-vis des contraintes et/ou sur la fiabilité de ses diverses méthodes de multiplication.

Cette présente étude a été réalisée dans l'objectif de sélectionner des variétés de manioc présentant une tolérance / résistance vis-à-vis de l'attaque des termites ravageurs des boutures dans le département de Tivaouane (Sénégal) et ayant une bonne aptitude de réponse à la technique de multiplication *in vitro*, en vue de leur diffusion massive dans les différentes zones de culture. Pour ce faire nous avons cherché à (i) déterminer la diversité, la distribution et la fréquence spécifiques des termites ravageurs des boutures de manioc en milieu paysan dans la zone d'étude, (ii) identifier les variétés de manioc tolérantes à l'action de ces ravageurs puis (iii) évaluer l'impact de caractères physico-chimiques de la tige de manioc sur cette sensibilité variétale, et enfin (iv) étudier les capacités de multiplication végétative *in vitro* des cultivars sélectionnés pour leur tolérance à ces insectes.

A l'issue de nos expériences effectuées en milieu paysan et en parcelle expérimentale, cinq (5) variétés de manioc cultivées dans la zone ont été sélectionnées pour leur tolérance aux termites ravageurs des boutures, représentées essentiellement par l'espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* et moins fréquemment par les espèces *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Microtermes lepidus*. Il s'agit des variétés Soya, Niargi, Cololi, Cacau et Cacau roja. A l'opposé, les variétés Kombo, Nigeria et Wallet se sont avérées plus sensibles à l'action de ces ravageurs.

L'analyse de caractères physico-chimiques caulinaires nous a permis de montrer que les variétés de manioc dont l'écorce de la tige est épaisse et dure avec un diamètre de la moelle réduit, présentent une meilleure tolérance à la principale espèce *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, tandis que celles à l'écorce mince et fragile avec une moelle importante sont plus sensibles. Le pH de la tige ne s'est cependant pas révélé influant sur l'incidence d'attaque des boutures par les termites.

Par ailleurs, l'étude des potentialités organogénétiques *in vitro* des géotypes sélectionnés pour leur tolérance aux termites nous a permis de mettre en évidence que les microboutures des variétés Soya, Niargi et Cacau présentent un meilleur développement que celles des variétés Cololi et Cacau roja. De même, le milieu de culture de base MS (Murashige & Skoog, 1962) utilisé comme témoin sans hormone s'est révélé propice à l'organogenèse *in vitro* chez l'ensemble des variétés de manioc étudiées. En revanche, l'ajout séparé de régulateur de croissance (BAP, ANA ou kinétine) à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 et 1 mg/l) dans ce milieu de base a induit différentes orientations de cette organogenèse. Ainsi, le milieu MS + BAP 1 mg/l a été plus favorable à la prolifération de courtes pousses et de petites feuilles tandis que le milieu MS + KIN 0,1 mg/l a permis un meilleur allongement des pousses et des racines néoformées et le développement normal des feuilles. La formation de cals a été observée sur tous les milieux ajoutés d'hormone mais a été plus importante sur le milieu MS + ANA 1 mg/l.

Pour ce qui concerne la survie et la croissance des jeunes plantes en acclimatation, les résultats obtenus ont montré que la formation *in vitro* de cals a été un facteur limitant. En effet les vitroplants issus des milieux ajoutés de BAP ou d'ANA ont présenté les plus faibles taux de survie en acclimatation avec 0% chez ceux issus des milieux MS + ANA 1 et MS + BAP 1 mg/l chez l'ensemble des variétés de manioc. Par contre, les meilleurs taux de survie et croissance ont été obtenus chez les jeunes plantes issues *in vitro* du milieu MS sans hormone avec jusqu'à 100% chez les variétés Cacau, Soya et Niargi.

MOTS CLES : manioc, variétés, sensibilité, termites, Tivaouane, organogenèse *in vitro*

Surname and name of the candidate : FAYE Abdoulaye

Thesis title: Comparative study of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) varieties according to their sensitivity to termites ravaging cuttings in the department of Tivaouane (Senegal) and their organogenetic capacities *in vitro*

ABSTRACT

Cassava *Manihot esculenta* is a perennial euphorbiaceous shrub grown mainly in tropical regions for its starchy tubers and its leaves rich in protein. However, this plant is attacked by many pests and diseases and its coefficient of multiplication by the traditional method is very low. But cassava includes a multitude of varieties different by several parameters. Some of these varietal specificities may be the seat of an influence on the vulnerability of this plant to stresses and/or on its aptitude of response to the different methods of multiplication.

This present study was conducted in order to select cassava varieties grown in the department of Tivaouane (Senegal) presenting tolerance to termites ravaging cuttings on one hand, and sufficient aptitude of response to multiplication *in vitro* method on the other hand. For this, we have worked to (i) determine the specific diversity, distribution and frequency of termites ravaging cassava cuttings in farms in the area, (ii) identify tolerant varieties of cassava to these pests and then (iii) assess the influence of physical and chemical characteristics of the cassava stem on its varietal vulnerability, and finally (iv) study the capacities of multiplication *in vitro* of the cassava varieties selected for their tolerance to these insects.

At the end of farm study and experimental plot, five (5) varieties of cassava have been selected for their tolerance to the termites, essentially represented by *Odontotermes* sp. aff. *erraticus* species and less frequently by *Macrotermes sibhyalinus*, *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* and *Microtermes lepidus* ones. It was the varieties Soya, Niargi, Cololi, Cacau and Cacau roja. In contrast, varieties Kombo, Nigeria and Wallet have been identified more sensitive to the action of the termites.

Thus, the physico-chemical analysis we made on the different varieties showed that the genotypes in which the stem bark was thick and hard with a reduced diameter of marrow, were more tolerant to the main termites identified *Odontotermes* sp. aff. *erraticus*, while those with thin and fragile bark and important stem marrow were more vulnerable. However the pH of the cassava stem did not affect the incidence of attack of the cuttings by these termites.

According to our results in the multiplication *in vitro* experiment, it was found that the varieties Soya, Niargi and Cacau have shown better organogenesis than the varieties Cololi and Cacau roja. As the same, the basal culture medium MS (Murashige & Skoog, 1962) without any hormone was the best medium for organogenesis *in vitro* in all the cassava varieties studied. Indeed, the addition of growth regulator (BAP (benzyl aminopurine), NAA (*α*-naphthalene acetic acid) or kinetin) at different concentrations (0.1, 0.5 and 1 mg/l) have provoked different orientations on organogenesis *in vitro* among the different varieties of cassava. Thus, highest proliferation of short shoots and small leaves was observed on medium MS + BAP 1 mg/l. Better shoots growth and rooting with normal development of the leaves was obtained on MS medium containing 0.1 mg/l of kinetin. Callus formation was observed in all media containing hormone but most in MS + NAA 1 mg/l.

According to the plantlets' viability in acclimatization conditions, results showed that the callus formation *in vitro* was a limiting factor. Therefore the lowest survival rates were observed among plantlets produced on media MS + NAA 0.5 and MS + BAP 1 mg/l with 0% in all varieties. In contrast, the best survival rates and growth were obtained with plantlets produced *in vitro* on medium MS without hormone addition with 100% in varieties Cacau, Soya and Niargi.

KEYS WORDS: cassava, varieties, sensitivity, termites, Tivaouane, organogenesis *in vitro*