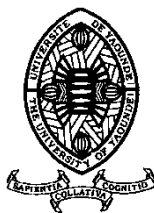


**UNIVERSITE DE YAOUNDE I**

\*\*\*\*\*

**UNIVERSITY OF YAOUNDE I**

\*\*\*\*\*



**FACULTE DES SCIENCES**

\*\*\*\*\*

**FACULTY OF SCIENCE**

\*\*\*\*\*

**CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES DE  
LA VIE, SANTE ET ENVIRONNEMENT**

*CENTRE FOR RESEARCH AND TRAINING IN GRADUATE STUDIES IN LIFE SCIENCE,  
HEALTH & ENVIRONMENTAL SCIENCES*

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES**

*DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY*

**Approches de lutte phytosanitaire, agronomique et génétique contre la  
cochenille racinaire *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera :  
Stictococcidea) du manioc (*Manihot esculenta* Crantz)**

**Thèse présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat/Ph.D en Biologie des  
Organismes Végétaux**

**Option: Biotechnologies Végétales**

Par :

**NGATSI ZEMKO Patrice**

**Matricule : 07S171**

**Master ès Sciences**

**Sous la Co-direction de :**

**NDONGO BEKOLO**

*Maître de Conférences*

**DJIETO-LORDON Champlain**

*Professeur*

**Année : 2020**





DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET DE PHYSIOLOGIE VEGETALES  
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

ATTESTATION DE CORRECTION

.....


Nous Soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Végétaux option Biotechnologies Végétales de l'étudiant **NGATSI ZEMKO Patrice**, Matricule **07S171**, soutenue publiquement le 18 Décembre 2020 sur le sujet « **Approches de lutte phytosanitaire, agronomique et génétique contre la cochenille racinaire *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera : Stictococcidea) du manioc (*Manihot esculenta* Crantz)** » attestons que les corrections, conformément aux remarques et recommandations du jury lors de la soutenance de ladite thèse de Doctorat/Ph.D ont été effectuées par le candidat

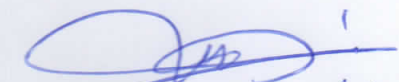
En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit. /-

Président


  
AMBANG ZACHÉE  
Professeur

Rapporteurs

  
C. Seyrelo


  
NAONGO BEKOKO

Membres

  
Libert Bessoufack  
Associate Professor  
University of Yaoundé I

  
Bell Joseph Martin  
PROFESSEUR

## LISTE PROTOCOLAIRE

<b>UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I</b> <b>Faculté des Sciences</b> Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		<b>THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I</b> <b>Faculty of Science</b> Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs
LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS   LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF		

**ANNÉE ACADEMIQUE 2019/2020**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION : 03 Mars 2020**

### ADMINISTRATION

**DOYEN** : TCHOUANKEU Jean Claude, *Maître de Conférences*

**VICE-DOYEN / DPSAA** : ATCHADE Alex de Théodore, *Maître de Conférences*

**VICE-DOYEN / DSSE** : AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

**VICE-DOYEN / DRC** : ABOSSOLO Monique, *Maître de Conférences*

**Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Marie C. F., *Maître de Conférences*

**Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche** : MBAZE MEVA'A Luc Léonard, *Professeur*

### 1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DIAGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<b>Chef de Département</b>
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOUGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
17	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
18	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
19	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
20	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur Serv MINESUP
21	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
22	AKINDEH MBUH NJI	Chargée de Cours	En poste
23	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Chargée de Cours	En poste
24	DAKOLE DABOY Charles	Chargée de Cours	En poste
25	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste

26	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
27	EWANE Cécile Anne	Chargée de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
30	KOTUE KAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
31	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
32	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistante	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste
<b>2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (46)</b>			
1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	<b>Chef de Département</b>
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En poste
5	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>VDoyen/FMSB/UIYI</i>
6	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
7	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
8	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
9	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
10	NOLA Moïse	Professeur	En poste
11	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
12	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Coord. Progr. MINSANTE</i>
13	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
14	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16	DZEUFUET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA Hermine épouse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
18	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
21	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
22	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
23	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
24	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
25	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
26	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
27	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
28	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
29	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
30	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG LucianeMarlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste

35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	<b>CD/UBA</b>
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste
42	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
43	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
44	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
45	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
46	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste
<b>3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)</b>			
1	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef Division/UYII</i>
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5	YOUMBI Emmanuel	Professeur	<b>Chef de Département</b>
6	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
7	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
9	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
10	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	<i>CT/UDs</i>
11	MBOLO Marie	Maître de Conférences	En poste
12	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
13	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
16	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
17	DJEUANI Astride Carole	Chargée de Cours	En poste
18	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
19	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargée de Cours	En poste
20	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
21	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargée de Cours	En poste
22	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
23	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
24	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargée de Cours	En poste
25	NSOM ZAMO Annie Claude épouse PIAL	Chargée de Cours	<i>Expert national /UNESCO</i>
26	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
27	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
28	KABELONG BANAHO Louis-Paul-R.	Assistant	En poste
29	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
30	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
31	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
32	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
33	TEMEGNE NONO Carine	Assistante	En poste
<b>4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (34)</b>			
1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Vice-Recteur Univ Bamenda</i>

2	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>RECTEUR Univ.Ngaoundere</i>
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Miss.PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<b><i>CT MINRESI/Chef de Département</i></b>
7	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
8	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ Bamenda</i>
9	NENWA Justin	Professeur	En poste
10	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UDs</i>
11	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
12	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
13	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
14	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
15	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
16	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
17	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
18	NJOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
19	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
20	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
21	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	<i>CS/ ENS Bertoua</i>
22	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU DAUDA	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
28	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	<i>I.P de Service MINFEM</i>
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
30	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
31	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
32	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
33	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
34	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En poste
<b>5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (35)</b>			
1	DONGO Etienne	Professeur	<b><i>Vice-Doyen / DPSAA</i></b>
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	<i>Dir. IBAF/UDS</i>
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	En poste
4	NKENGFAK Augustin Ephreïm	Professeur	<b><i>Chef de Département</i></b>
5	NYASSE Barthélemy	Professeur	<i>Directeur/UN</i>
6	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP</i>
7	WANDJI Jean	Professeur	En poste
8	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	<i>DEPE/ Rectorat/UYI</i>
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	<i>Chef Service DPER</i>
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste

14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>Chef Service/Minesup</i>
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINRESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
20	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
21	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
24	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
25	AMBASSA Pantaléon	Chargé de Cours	En poste
26	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
27	MVOT AKAK CARINE	Chargé de Cours	En poste
28	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
29	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
30	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
31	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
32	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
33	ZONDENDEGOUNBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
34	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste
<b>6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (26)</b>			
1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<b>Chef de Département</b> <i>ENS/ChefIGA.MINESUP</i>
3	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
4	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	En poste
5	DJAM Xaviera YOUH-KIMBI	Chargé de Cours	En poste
6	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
7	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
8	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
9	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
11	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
12	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
13	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
14	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
15	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
16	KAMGUEU Patrick Olivier	Chargé de Cours	En poste
17	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	<i>C/D Enset. Ebolowa</i>
18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
22	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
23	MAKEMBE S. Oswald	Assistant	En poste
24	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste

25	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistant	En poste
26	NKONDOCK MI BAHANACK N.	Assistant	En poste
<b>7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)</b>			
1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>CD Info/ CD/ MINESUP</i>
2	AYISSI Raoult Domingo	Maître de Conférences	<b>Chef de Département</b>
3	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
4	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
7	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINPLAMAT</i>
8	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
9	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
10	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
11	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
12	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
13	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
14	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
15	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
16	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Chargé de Cours	En poste
17	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
18	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
19	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
20	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
21	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
22	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
23	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargée de Cours	En poste
24	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
25	NIMPA PEFOUNKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
26	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
27	BITYEMVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
29	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
30	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
<b>8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)</b>			
1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>DRV/IMPM</i>
2	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste
4	NYEGUE Maximilienne Ascension	Maître de Conférences	En poste
5	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
6	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
7	ASSAM ASSAM Jean Paul	Chargé de Cours	En poste
8	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
9	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
11	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
13	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
14	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste



15	MEYIN A EBONG Solange	Assistant	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAI Richard	Assistant	En poste
<b>9- DEPARTEMENT DE PYSIQUE (PHY) (40)</b>			
1	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
2	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
3	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<b>Chef de Département</b>
4	NJOMO Donatien	Professeur	En poste
5	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
6	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen Univ/Bda</i>
7	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
8	WOAFO Paul	Professeur	En poste
9	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
10	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	<i>Sous-Directeur/ MINRESI</i>
11	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	<i>Director/Students/Affairs.UB</i>
12	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	<b>DG/HYDRO Mekin</b>
13	BODO Bernard	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Maître de Conférences	En poste
15	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Maître de Conférences	<i>Chef Division. UN</i>
16	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
17	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
18	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
19	MBANE BIOUELE	Maître de Conférences	En poste
20	NANA NBENDJO Blaise	Maître de Conférences	En poste
21	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
22	SAIDOU	Maître de Conférences	<i>Sous-Directeur/Minresi</i>
23	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
24	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
25	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
26	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Sous-Directeur/MINESUP</i>
27	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
28	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
29	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
30	ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA	Chargée de Cours	En poste
31	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	<b>Chef Cell. MINADER</b>
32	MBINACK Clément	Chargé de Cours	En poste
33	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
34	MEL'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
35	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
36	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	<i>DA/Univ Inter Etat/Sangmélina</i>
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
38	AYISSI EYEBE Guy François Valerie	Assistant	En poste
39	CHAMANI Roméo	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)</b>			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>

2	KAMGANG Pierre	Professeur	En poste
3	NGOS III Simon	Professeur	DAAC/Uma
4	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
5	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	<b>Chef de Département</b>
6	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
7	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
8	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
9	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
10	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	<i>CD/UMa</i>
11	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
12	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
13	ONANA Vincent	Maître de Conférences	En poste
14	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
15	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
16	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
17	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
18	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
19	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
20	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. /MINTP</i>
21	NGUETCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	FUH Calistus Gentry	Chargé de cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
28	LAMILLEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
29	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de cours	En poste
30	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
31	METANG Victor	Chargé de cours	En poste
32	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	<i>CD/Uma</i>
33	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
34	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
35	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de cours	En poste
36	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de cours	En poste
37	TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM	Chargée de Cours	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de cours	En poste
41	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de cours	En poste
42	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
43	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	9 (1)	13 (9)	14 (5)	3 (1)	38 (18)
BPA	13 (1)	9 (6)	19 (5)	5 (0)	46 (13)
BPV	6 (0)	9 (2)	9 (4)	7 (0)	33 (9)
CI	10 (1)	9 (2)	13 (2)	2 (0)	34 (5)
CO	7 (0)	17 (4)	9 (3)	3 (0)	35 (7)
IN	2 (0)	1 (0)	14 (1)	10 (3)	26 (3)
MA	1 (0)	5 (0)	19 (1)	5 (0)	30 (2)
MB	1 (0)	5 (2)	6 (1)	6 (0)	18 (5)
PH	12 (0)	16 (1)	10 (3)	3 (0)	40 (4)
ST	8 (1)	14 (1)	19 (4)	2 (0)	43 (6)
<b>Total</b>	<b>68 (4)</b>	<b>99 (27)</b>	<b>131 (33)</b>	<b>46 (10)</b>	<b>343 (75)</b>

Soit un total de 343 (75) dont :

- Professeurs 68 (4)
- Maîtres de Conférences 98 (28)
- Chargés de Cours 131 (33)
- Assistants 46 (10)
- ( ) = Nombre de Femmes 75

## **DEDICACE**

À

la grande famille ZEMKO

## REMERCIEMENTS

Ce manuscrit et l'ensemble du travail de recherche présentés ne sont pas les fruits des efforts d'une seule personne, mais les efforts conjoints de plusieurs personnes autour de moi qui m'ont formé et m'ont apporté leurs aides et leurs soutiens. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à :

- Pr NDONGO BEKOLO, Co-directeur de cette thèse pour la formation à la recherche qu'il m'a prodiguée, pour son encadrement, sa rigueur scientifique, et sa disponibilité de tous les jours. Vous avez toujours été présent pour ma thèse quand j'en ai eu besoin, que ce soit pour la mise au point d'une expérience ou pour me blâmer des fautes d'orthographe ou de grammaire. Je pense en être ressorti « grandi », Alors encore un grand merci pour tout ;

- Pr DJIETO-LORDON Champlain, Co-directeur de cette thèse qui m'a accepté dès notre première rencontre dans son Laboratoire d'Entomologie, bien que nous soyons de deux Départements distincts. Aussi pour sa créativité, sa rigueur à la méthodologie et à l'analyse des données. Je tiens à t'apporter ma plus grande reconnaissance ;

- Pr YOUMBI Emmanuel, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales, de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, pour sa rigueur au style scientifique ;

- Pr AMBANG Zachée, enseignant et Chef de l'Unité de Recherche Phytopathologie/Phytopharmacie du Laboratoire de Biotechnologies Végétales et Environnement pour l'accueil et ses encouragements ;

- les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I pour la formation et les enseignements dispensés ;

- Pr TSOATA Esaïe, enseignant au Département de Biologie et Physiologie Végétales de L'Université de Yaoundé I, pour ses encouragements et ses conseils ;

- Pr NGO MBING Joséphine, enseignante au Département de Chimie Organique de l'Université de Yaoundé I, pour m'avoir admis au sein de son Laboratoire, pour l'encadrement et l'assistance à travers Dr KAMTO Ledoux et Mle NGIMBOUS Yolande, dont j'ai bénéficié lors des travaux d'extraction des composés organiques ;

- Pr FEKAM BOYOM Fabrice et les Dr EKE Pierre, TOEGHOUE Rufin, M. KEPNGOP Lanvin du Département de Biochimie pour leur aide et accueil au sein du Laboratoire de Phytobiochimie et Etude des Plantes Médicinales, pour la réalisation des travaux de dosage des métabolites secondaires ;

- Dr NGO DOOH Jules Patrice, enseignant à l'Université de Maroua et membre de l'Unité de Recherche Phytopathologie/Phytopharmacie de l'Université de Yaoundé I, pour le Screening phytochimique des extraits ;
- Dr MANGA NJDAGA Jude, Dr TEKEU Honoré, M. MIMONG Charles, M. ABENKU Benjamin, pour les nombreuses et édifiantes discussions ;
- toute l'équipe de l'Unité de Recherche Phytopathologie/Phytopharmacie de l'Université de Yaoundé I pour les moments passé ensemble, Dr MBOUSSI Serge, Dr KONE SANGOU Abdou, Dr HEU Alain, Dr KUATE William, Dr NGANTI Dorothée et Dr NDOGHO PEGALEPO, M. DiDA LONTSI, ESSOME SALE ;
- tous mes camarades de promotion, Dr CHIMI Cédric, Dr. ZEKENG Jules Christian, MOUNPOUBEYI NJIPIT Mamadou, ETOUNDI Florent, FORBI Preasious, FOFÉ, KENFACK, ATINDO, NOUMEGNE Hubert, NKENMEGNE Séverin pour les moments de convivialités ;
- tous les étudiants de l'équipe de recherche de phytopathologie/phytopharmacie plus particulièrement TIZE TIZE, NZONGANG Sorelle, MBIATON Modeste, NDONGO Eric, ETAME, BOLIE, STOGO, ATANGANA et AKON.
- M. MANGA Désiré et M. TOKA Apollinaire pour vos soutiens, aides et encouragements ;
- mes oncles M. TECHIADA Sylvestre, DONKEN Pascal, TEIFOUET Etienne, NBOUNOU Jerome et M. DJIOBONG Hugor ainsi que mes tantes ;
- ma mère TSAGUE Véronique, mes frères et mes sœurs, pour vos soutiens moral, affectif et encouragement ;
- M. NKODO, Mme Alphonsine et maman Fillette, pour leur hospitalité durant mon long séjour à Akonolinga ;
- Mes amis Dr ZEUKENG Francis, M. YAKAM Samuel, PIELEU Rodrigue, NDE Dimitri, DAMEN Arlette, NINGAHI Franck, PETSEFEU, OLANGANA, FENEU, ATANGANA, DJIOBONG, MANFO, BEYALA, DIBI Delair, pour leur soutien ;
- les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de toute ma gratitude ;
- tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et dont les noms ne figurent pas ici, tous trouveront l'expression de ma très profonde gratitude.

## SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE.....	i
DEDICACE.....	x
REMERCIEMENTS .....	xi
SOMMAIRE .....	xiii
LISTE DES FIGURES .....	xviii
LISTE DES TABLEAUX.....	xx
LISTE DES ABREVIATIONS .....	xxi
LISTE DES ANNEXES.....	xxii
RESUME.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE.....	5
I.1. Généralités sur le manioc.....	5
I.1.1. Systématique .....	5
I.1.2. Origine et répartition géographique .....	5
I.1.3. Morphologie.....	6
I.1.3.1. Feuilles .....	6
I.1.3.2. Tige .....	7
I.1.3.3. Racines .....	8
I.1.3.4. Appareil reproducteur et organes de reproduction.....	8
I.1.4. Importance de la culture du manioc.....	9
I.1.5. Intérêt agronomique, utilisations et valeur alimentaire.....	10
I.1.6. Physiologie du manioc .....	11
I.1.6.1. Emergence des pousses .....	11
I.1.6.2. Début du développement foliaire et formation du système racinaire .....	11
I.1.6.3. Développement des tiges et des feuilles.....	12
I.1.6.4. Translocation des sucres dans les racines .....	12
I.1.6.5. Dormance .....	12
I.1.7. Mode de reproduction et techniques de multiplication.....	12
I.1.8. Nutrition minérale .....	13
I.1.9. Toxicologie .....	13
I.1.10. Ecologie .....	14

I.1.10.1. Température .....	14
I.1.10.2. Eclairage .....	15
I.1.10.3. Sol .....	15
I.1.10.4. Régime hydrique .....	15
I.1.11. Photosynthèse et production de matière chez le manioc.....	15
I.1.12. Techniques culturales.....	17
I.1.12.1. Préparation du sol.....	17
I.1.12.2. Matériel de plantation .....	17
I.1.12.3. Mode de semis.....	18
I.1.12.4. Densité de plantation.....	18
I.1.12.5. Entretien culturaux .....	18
I.1.12.6. Nutrition minérale et besoins nutritionnels du plant.....	18
I.1.12.7. Cycle cultural .....	19
I.1.13. Contraintes liées à la production du manioc et principales maladies .....	19
I.2. Généralités sur <i>Stictococcus vayssierei</i> Richard.....	20
I.2.1. Systématique de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	21
I.2.2. Besoins nutritifs de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	21
I.2.3. Distribution .....	21
I.2.4. Description, moyens de mouvement et de dispersion.....	22
I.2.5. Associations, exigences environnementales et climat .....	23
I.2.6. Plantes hôtes de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	24
I.2.7. Biologie et écologie du ravageur .....	25
I.2.7.1. Biologie de la reproduction.....	25
I.2.7.2. Impact socioéconomique de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	25
I.2.8. Stratégies de contrôle des populations de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	26
I.2.8.1. Lutte culturale .....	26
I.2.8.2. Lutte chimique .....	26
I.2.8.3. Lutte biologique .....	26
I.3. Utilisation des plantes à effets pecticides dans la lutte contre les insectes ravageurs ...	27
I.3.1. Taxonomie et description botanique de <i>Thevetia peruviana</i> .....	28
I.3.1.1. Quelques propriétés de <i>Thevetia peruviana</i> .....	29
I.4. Résistance variétale.....	30
I.5. Mécanisme de défense des plantes .....	31
I.5.1. Mécanisme généraux .....	31



I.5.1.1. Défense passive .....	31
I.5.1.2. Défense active .....	31
I.5.2. Réactions de défense du manioc aux attaques des cochenilles .....	32
I.5.2.1. Production des substances cyanogènes chez le manioc .....	33
I.5.2.2. Composés phénoliques et enzymes oxydatives.....	35
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES .....	39
II.1. Matériel.....	39
II.1.1. Présentation des sites d'étude .....	39
II.1.2. Matériel végétal .....	40
II.1.3. Matériel animal.....	42
II.1.4. Matériel chimique.....	42
II.2. Méthodes .....	42
II.2.1. Préparation des extraits aqueux et organiques des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	42
II.2.2. Screening phytochimique des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	43
II.2.3. Chromatographie liquide des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	44
II.2.4. Evaluation de l'effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> contre la cochenille racinaire du manioc en champ et sur <i>Anoplolepis tenella</i> .....	44
II.2.4.1. Evaluation de l'effet des extraits aqueux ou organiques des graines de <i>Thevetia peruviana</i> contre la cochenille racinaire du manioc en champ.....	44
II.2.4.2. Evaluation de l'activité insecticide des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> par contact contre les fourmis ( <i>Anoplolepis tenella</i> ).....	46
II.2.5. Evaluation en champ, de la tolérance à <i>Stictococcus vayssierei</i> , des plants issus des boutures sectionnées à différents hauteurs sur la plante mère .....	47
II.2.5.1. Dispositif expérimental et pratiques culturales.....	47
II.2.5.2. Collecte de données .....	48
II.2.6. Criblage des variétés de manioc expérimentées .....	48
II.2.6.1. Criblage des variétés de manioc en champ .....	48
II.2.6.2. Criblage des variétés de manioc en laboratoire .....	51
II.2.7. Mode d'action de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	57
II.2.7.1. Préparation des extraits enzymatiques .....	57
II.2.7.2. Dosage qualitatif des enzymes hydrolytiques.....	57
II.2.8. Analyse en composantes principales et cluster des variétés criblées .....	58
II.2.9. Analyse statistique des données.....	59
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION .....	60

III.1. Résultats .....	60
III.1.1. Rendement d'extraction et screening phytochimique des extraits de graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	60
III.1.1.1. Rendement d'extraction des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	60
III.1.1.2. Identification des constituants des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	60
III.1.2. Profil chromatographique des différents extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	61
III.1.3. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> sur la croissance, contre la cochenille racinaire et le rendement du manioc en champ.....	63
III.1.3.1. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> et de la variété sur les paramètres de croissances des plants de manioc .....	63
III.1.3.2. Evaluation de l'activité insecticide des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> par contact vis-à-vis de <i>Anoplolepis tenella</i> .....	70
III.1.4. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur la croissance et contre <i>Stictococcus vayssierei</i> en champ .....	72
III.1.4.1. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur les paramètres de croissance durant la campagne 2016-2017 et 2017-2018 .....	72
III.1.4.2. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le nombre de cochenilles totales durant les deux campagnes .....	77
III.1.4.3. Effet de la hauteur de coupe des boutures et de la variété sur le rendement durant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018 .....	79
III.1.4.4. Analyse en composantes principales des variétés de manioc criblées .....	80
III.1.5. Criblage des variétés de manioc .....	82
III.1.5.1. Criblage en champ des variétés de manioc.....	82
III.1.5.2. Teneur de certaines substances secondaires impliquées dans la défense naturelle des variétés de manioc criblées .....	86
III.1.6. Relation entre paramètres biochimiques évalués et le nombre de cochenilles.....	92
III.1.7. Analyse en composantes principales et dendrogramme entre les paramètres étudiés et les variétés criblées .....	94
III.1.7.1. Nombre d'axes de l'analyse .....	94
III.1.7.2. Regroupement des variétés sur les deux premiers axes de l'ACP.....	95
III.1.8. Mode d'action de <i>Stictococcus vayssierei</i> .....	97
III.2. Discussion .....	98
III.2.1. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> sur la croissance, contre la cochenille racinaire et le rendement du manioc en champ.....	98

III.2.1.1. Rendement d'extraction et screening phytochimique des extraits de graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	98
III.2.1.2. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> et de la variété sur les paramètres de croissance .....	99
III.2.1.3. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> et de la variété sur le nombre de cochenilles .....	100
III.2.1.4. Effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> et de la variété sur le nombre de tubercules et le rendement .....	101
III.2.1.5. Activité insecticide des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> par contact vis-à-vis de <i>Anoplolepis tenella</i> .....	102
III.2.2. Effet combiné de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété contre l'infestation par <i>Stictococcus vayssierei</i> en champ .....	102
III.2.2.1. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur les paramètres de croissance durant la campagne 2016-2017 et 2017-2018 .....	103
III.2.2.2. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le nombre de cochenilles totales durant les deux campagnes .....	104
III.2.2.3. Effet de la hauteur de coupe des boutures et de la variété sur le rendement durant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018 .....	105
II.2.3. Criblage des variétés de manioc .....	106
III.2.3.1. Criblage en champ des variétés de manioc .....	106
III.2.3.2. Criblage en laboratoire des variétés de manioc .....	107
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	111
Conclusion .....	111
Perspectives .....	113
BIBLIOGRAPHIE .....	114
ANNEXES .....	136
PUBLICATIONS .....	144

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Appareil végétatif du manioc .....	6
Fig. 2. Fruit et graine mûre du manioc .....	9
Fig. 3. Symptôme des maladies du manioc .....	20
Fig. 4. Carte de distribution du genre <i>Stictococcus</i> en Afrique.....	22
Fig. 5. <i>Anoplolepis tenella</i> Santchi.....	24
Fig. 6. <i>Stictococcus vayssierei</i> Richard .....	25
Fig. 7. Composés secondaires responsables de l'activité insecticide (en %). .....	28
Fig. 8. Plante du laurier jaune. ....	29
Fig. 9. Structure chimique des glucosides cyanogènes. ....	33
Fig. 10. Acides phénoliques .....	36
Fig. 11. Squelette de base des flavonoïdes .....	37
Fig. 12. Situation géographique de la zone d'étude. ....	40
Fig. 13. Bouture des variétés de manioc .....	41
Fig. 14. Plante et graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	41
Fig. 15. Dispositif expérimental de l'essai aux extraits des graines de laurier jaune.....	45
Fig. 16. Dispositif expérimental de l'essai sur la hauteur de coupe des boutures de manioc ..	47
Fig. 17. Dispositif expérimental de l'essai du criblage variétal. ....	49
Fig. 18. Protocole de d'extraction des composés phénoliques.....	52
Fig. 19. Protocole d'extraction des protéines totales.....	54
Fig. 20. Profils chromatographiques HPLC-UV-VIS des spectres de masse des composés secondaires présent dans les extraits des graines de laurier jaune.....	62
Fig. 21. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de cochenilles vivantes en fonction du temps.....	66
Fig. 22. Individus de cochenille sur les variétés de manioc à 3 MAP .....	67
Fig. 23. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de cochenilles mortes en fonction du temps.....	68
Fig. 24. Variation de la mortalité corrigée par contact de l'extrait aqueux de <i>Thevetia peruviana</i> sur <i>A. tenella</i> .....	71
Fig. 25. Variation de la mortalité corrigée par contact de l'extrait au méthanol .....	71
Fig. 26. Efficacité des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> contre <i>Anoplolepis tenella</i>	72
Fig. 27. Effet variétal et des hauteurs de coupe des boutures de manioc sur le nombre de cochenille en fonction du temps année 2017.....	77

Fig. 28. Effet variétal et des hauteurs de coupe des boutures de manioc sur le nombre de cochenille en fonction du temps année 2018.....	78
Fig. 29. Structure en ACP entre variétés de manioc et paramètre étudiés. ....	81
Fig. 30. Analyse en composante principale entre les variétés de manioc et les paramètres étudiés.....	82
Fig. 31. Symptôme des maladies observées sur le manioc .....	84
Fig. 32. Evolution de l'antracnose en fonction du temps.....	85
Fig. 33. Evolution de la mosaïque africaine du manioc en fonction du temp .....	85
Fig. 34. Variation de la teneur en phénols dans les tissus des variétés de manioc.....	87
Fig. 35. Variation de la teneur en flavonoïde dans les tissus des variétés de manioc.....	87
Fig. 36. Variation de la teneur en cyanure total dans les tissus des variétés de manioc. ....	88
Fig. 37. Variation de la teneur en protéines solubles totales dans les tissus de manioc.....	89
Fig. 38. Activité de la catalase dans les tissus des variétés de manioc criblées. ....	90
Fig. 39. Activité du gaïacol peroxydase dans les tissus des variétés de manioc criblées.....	91
Fig. 40. Activité du gaïacol peroxydase dans les tissus des variétés de manioc criblées.....	92
Fig. 41. Analyse en composantes principales entre variétés de manioc et paramètre étudié... ..	96
Fig. 42. Dendrogramme de rapprochement entre les variétés de manioc criblées et les paramètres étudiés. ....	97
Fig. 43. Capacité des cochenilles à produire des enzymes hydrolytiques.....	97

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Composition des parties principales du manioc.....	11
Tableau II. Caractéristiques des variétés de manioc utilisées .....	41
Tableau III. Protocole du screening chimique des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	43
Tableau IV. Système d'éluant pour la HPLC.....	44
Tableau V. Indice d'infestation des cochenilles.....	50
Tableau VI. Rendement d'extraction et caractéristiques des extraits de graines de <i>Thevetia</i> ..	60
Tableau VII. Compositions chimiques des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	61
Tableau VIII. Effet des traitements et variétal sur le diamètre au collet des plants de manioc	64
Tableau IX. Effet des traitements et variétal sur le poids frais des pousses de manioc .....	65
Tableau X. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de tubercule par plant.....	69
Tableau XI. Effet des traitements et de la variété sur le rendement de manioc .....	70
Tableau XII. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le poids frais des pousses des plants de manioc .....	74
Tableau XIII. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le diamètre au collet des plants de manioc .....	76
Tableau XIV. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le rendement.....	80
Tableau XV. Paramètres de croissance et rendement des variétés de manioc .....	83
Tableau XVI. Classement des variétés en fonction de l'infestation par les cochenilles .....	83
Tableau XVII. Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres biochimiques dans la moelle des racines de manioc et le nombre de cocheilles.....	93
Tableau XVIII. Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres biochimiques dans le cortex des racines de manioc et le nombre de cocheilles.....	94
Tableau XIX. Valeurs propres des cinq axes de l'Analyse en Composantes Principales.....	94

## LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA :	Analyse des variances (Analysis Of Variance)
ACP :	Analyse en Composante Principale
ARTS :	African Root and Tuber and Scale
BSA :	Bovine Serum Albumine
CAT :	Catalase
CART :	Cochenille Africaine des Racines et Tubercules
CART/P :	Cochenille Africaine des Racines et Tubercules par Plant
COSCA :	Etude Collaborative sur le Manioc en Afrique
EAG :	Equivalence en Acide Gallique
EDTA :	Ethylene-diamine-tetra-acetic acid
FAO :	Food and Agriculture Organization
GPS :	Global Positioning System
GPX :	Gaïacol Peroxydase
HCN :	Acide cyanhydrique
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :	Peroxyde d'hydrogène
HPLC :	High Performance Liquid Chromatography
HR :	Réaction d'Hypersensibilité
IRAD :	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
IITA :	International Institut of Tropical Agriculture
IPM :	Integrated Pest Management
JAP :	Jours Après Plantation
LAR :	Local acquired resistance
MAM :	Mosaïque Africaine du Manioc
MAP :	Mois Après Plantation
MeOH :	Méthanol
MF :	Masse fraîche
MHA :	Muller Hinton Agar
MS :	Masse sèche
m/v :	Masse par volume
nmol :	Nanomole
PAL :	Phénylalanine ammonialyase
PPO :	Polyphénoloxydase
ppm :	Partie par million
PVP:	Polyvinylpyrillidone
SAR:	Systemic acquired resistance
SPAD :	Système Portable d'Analyses des Données
SPSS :	Statistical Package for Social Sciences

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Statistiques descriptives des variétés de l'essai sur <i>Thevetia peruviana</i> .....	136
Annexe 2. Statistiques descriptives des traitements de l'essai sur <i>Thevetia peruviana</i> .....	136
Annexe 3. Statistiques descriptives des variétés durant la campagne 2016-2017 .....	137
Annexe 4. Statistiques descriptives de la hauteur de coupe des boutures campagne 2016-2017 .....	137
Annexe 5. Statistiques descriptives des variétés durant la campagne 2017-2018 .....	138
Annexe 6. Statistiques descriptives de la hauteur de coupe des boutures campagne 2017-2018 .....	138
Annexe 7. Fiche description et histoire des sites .....	139
Annexe 8. Préparation des extraits de graines de <i>Thevetia peruviana</i> et pulvérisation .....	140
Annexe 9. Courbe d'étalonnage des dosages .....	141
Annexe 10. Dosage du cyanure total par la méthode du papier picrate .....	141
Annexe 11. Préparation des milieux de culture Muller Hinton Agar (MHA).....	141
Annexe 12. Cochenilles sur les différentes parties des plants de manioc .....	142
Annexe 13. Conditions climatique durant l'expérimentation .....	142
Annexe 14. Echelle d'évaluation de la sévérité des maladies .....	143



## RESUME

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz), source de glucides pour plus de 800 millions de personnes dans le monde est cultivé pour ses racines riches en amidon garant de la sécurité alimentaire. Mais sa culture fait face à de nombreuses contraintes dont divers agents pathogènes et les ravageurs. Parmi les ravageurs du manioc, la Cochenille Africaine des Racines et Tubercules (CART) *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera : Stictococcidae) est un insecte piqueur suceur de sève qui colonise les tubercules et les racines des plants de manioc dans la zone forestière humide d'Afrique. L'infestation par ce ravageur affecte la physiologie de la plante et réduit fortement la productivité des agrosystèmes en Afrique Centrale, causant des pertes de rendement pouvant aller de 60 à 100 % en champ. Le transport et la dispersion de ce ravageur en champ est assuré par la fourmi *Anoplolepis tenella* (Hymenoptera : Formicidae). Ces deux espèces symbiotiques d'insectes ont un mode de vie essentiellement endogée, ce qui rend le contrôle de leur population particulièrement délicat. Ainsi, pour améliorer la production du manioc par la réduction de perte de rendement, la recherche de méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique contre ce ravageur est l'objectif de ce travail. L'objectif général est de proposer une stratégie pluridimensionnelle dans le contrôle des populations de *S. vayssierei*. Les expérimentations en champ ont été réalisées suivant un dispositif factoriel. Durant 12 mois avec un pas d'échantillonnage de trois mois, le nombre de cochenilles, les paramètres de croissance, l'incidence et la sévérité des maladies les plus représentatives, tout comme le rendement ont été évalués. Par ailleurs en laboratoire, le screening des extraits (aqueux, acétone et méthanol) de graines de *Thevetia peruviana* et le test *in vivo* des extraits contre la fourmi *A. tenella* ont été réalisés. De même, la teneur en phénols, en flavonoïdes totaux, en cyanure total, en protéines totales, l'activité des enzymes oxydatives et le mode d'action de *S. vayssierei* sur sa capacité de produire des enzymes hydrolytiques de la paroi cellulaire de la plante (cellulase, protéase et amylase) ont été déterminés. Les résultats montrent que le screening des extraits (aqueux et organiques) de graines de *T. peruviana* présente de nombreuses familles de composés tels que les stérols, phénols et saponines. Les parcelles traitées avec l'extrait aqueux (75,67 cochenilles par plant CART/P) et les parcelles traitées à l'extrait à l'acétone (72,78 CART/P) ont en moyenne moins de cochenilles que les parcelles témoins (93,66 CART/P). L'évaluation en champ (2016-2017 et 2017-2018) de trois sections de boutures issues de la même tige de quatre variétés de manioc dans le contrôle des populations de la cochenille africaine des racines et tubercules montre un nombre élevé de cochenilles sur les boutures sectionnées à la base et au

milieu par rapport aux boutures sectionnées au sommet. De manière générale, le nombre de cochenilles est de 112,28 et 42,97 CART/P sur les boutures sectionnées à la base, 103,04 et 41,78 CART/P sur les boutures sectionnées au milieu, 100,86 et 31,94 CART/P sur les boutures sectionnées au sommet respectivement. Pour les campagnes 2016-2017 et 2017-2018, les boutures sectionnées à la base ont un rendement de (16,9 et 19,40 t.ha<sup>-1</sup>), au milieu (15,72 et 19,58 t.ha<sup>-1</sup>) et au sommet (10,81 et 13,51 t.ha<sup>-1</sup>) respectivement. Les résultats du criblage pratiqué en champ sur six variétés de manioc montrent que le poids frais des pousses le plus élevé est produit par la variété Douma (2,69 ± 0,43 kg) de même que le rendement en tubercule frais (23,8 t.ha<sup>-1</sup>) par rapport à la variété Excel qui produit le rendement le plus faible (14,1 t.ha<sup>-1</sup>). Outre l'infestation par la CART, deux maladies à savoir la mosaïque et l'anthracnose du manioc ont été observées dans les parcelles, avec des incidences et sévérités variables. Le test en laboratoire sur quelques paramètres biochimiques montre que les variétés améliorées 96/0023 et 92/0057 ont une forte teneur en cyanure total, en phénylalanine ammonia-lyase et une forte activité en catalase dans le cortex des racines tubéreuses. La variété locale Douma est caractérisée par une teneur élevée en phénols, flavonoïdes et cyanure total dans la moelle. La variété améliorée 8034 et la variété locale Miboutou ont une forte production en catalase, en gaïacol peroxydase dans la moelle. Le filtrat obtenu par broyage des cochenilles produit la cellulase, la protéase et l'amylase. Les extraits de graines de *T. peruviana*, les hauteurs de coupe des boutures d'une même tige des variétés et la défense naturelle des variétés testées se sont avérés efficace et peuvent être exploités dans la lutte intégrée vis-à-vis de *S. vayssierei*. Les variétés améliorées 96/0023, 92/0057 et la variété locale Douma peuvent être les variétés les mieux appropriées dans la lutte contre ce ravageur de même que les boutures de manioc sectionnées à la base et au milieu probablement à cause de la meilleure vigueur des plants au démarrage.

**Mots clés :** *Stictococcus vayssierei*, *Manihot esculenta*, criblage variétal, hauteur de coupe des boutures, extraits de plante, composés secondaires.

## ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz), a source of carbohydrates for more than 800 million people worldwide, is cultivated for its starchy roots that guarantee food security. But its cultivation faces many constraints including various pathogens and pests. Among the pests of cassava, the African Root and Tuber Scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera: Stictococcidae) is a sap-sucking insect that colonizes tubers and roots of cassava plants in the humid forest zone of Africa. Infestation by this pest affects plant physiology and severely reduces the productivity of agrosystems in Central Africa, causing yield losses of 60-100 % in the field. The transport and dispersal of this pest in the field is ensured by the ant *Anoplolepis tenella* (Hymenoptera: Formicidae). These two symbiotic species of insects have an essentially endogenous way of life, which makes the control of their population particularly delicate. Thus, in order to improve cassava production by reducing yield loss, research of alternative control methods to chemical control of this pest is the objective of this work. The general objective is to test the efficacy of plant extracts, cultivation practices, and varietal selection in controlling *S. vayssierei* populations. Field experiments were carried out using a factorial design. During 12 months with a sampling interval of three months, the number of scale insects, growth parameters, incidence, and severity of the most representative diseases, as well as yield was evaluated. In addition, in the laboratory, the screening of extracts (aqueous, acetone, and methanol) of *Thevetia peruviana* seeds and the *in vivo* testing of the extracts against the ant *A. tenella* were carried out. Similarly, the content of total phenols and flavonoids, total cyanide, total protein, the activity of oxidative enzymes, and the mode of action of *S. vayssierei* on its ability to produce hydrolytic enzymes of the plant cell wall (cellulase, protease, and amylase) were determined. The results show that the screening of extracts (aqueous and organic) from *T. peruviana* seeds shows that the extracts contain many families of compounds such as sterols, phenols, and saponins. The plots treated with the aqueous extract (75.67 scale insects per plant ARTS/P) and the plots treated with the acetone extract (72.78 ARTS/P) had on average fewer scale insects than the control plots (93.66 ARTS/P). The field evaluation in 2016-2017 and 2017-2018 of three cuttings portions from the same stem of four varieties of cassava against scale insect showed a high number of scales on lower portions and middle portions compared to upper portions. In general, the number of scale insects is 112.28 and 42.97 ARTS/P on lower portions, 103.04 and 41.78 ARTS/P on middle portions, and 100.86 and 31.94 ARTS/P on upper portions respectively. For the 2016-2017 and 2017-2018 crop years, the lower portions gave a yield of (16.9 and 19.40 t.ha<sup>-1</sup>),

middle portions (15.72 and 19.58 t.ha<sup>-1</sup>) and upper portions (10.81 and 13.51 t.ha<sup>-1</sup>) respectively. The results of field screening of six cassava varieties show that the highest fresh shoot weight is produced by the Douma variety (2.69 ± 0.43 kg) as well as yield (23.8 t.ha<sup>-1</sup>) compared to the Excel variety which produced the lowest yield (14.1 t.ha<sup>-1</sup>). In addition to ARTS infestation, two diseases, namely mosaic and anthracnose of cassava, were observed in the plots, with varying incidence and severity. Laboratory testing on some biochemical parameters showed that the improved varieties 96/0023 and 92/0057 are characterized by a high potential for production of total cyanide, phenylalanine ammonia-lyase and catalase in the cortex of tuberous roots. The local variety Douma is characterized by a high production of phenols, flavonoids and total cyanide in the pith. The improved variety 8034 and the local variety Miboutou have a high production of catalase and guaiacol peroxidase in the pith. The filtrate obtained by crushing Scale insect produces cellulase, protease and amylase. Seed extracts of *T. peruviana*, cuttings portions from the same stem of the varieties and the natural defense of the tested varieties proved to be effective and can be exploited in Integrated Pest Management against *S. vayssierei*. The improved varieties 96/0023, 92/0057 and the local variety Douma may be the most suitable varieties for the control of this pest as well as the lower portions and the middle portions probably because of the better vigour of the plants at the start.

**Key words:** Scale insect, *Manihot esculenta*, varietal screening, cuttings portions, plant extracts, secondary metabolites.

# **INTRODUCTION**

Le développement socio-économique de la plupart des régions du Cameroun est basé essentiellement sur les activités agro-pastorales. Cependant, les contraintes édaphiques et climatiques d'une part, et les contraintes biotiques d'autre part, limitent l'accroissement de la production et de la productivité des systèmes agricoles. L'atteinte d'une autosuffisance alimentaire nécessite la recherche de stratégies durables, alternatives aux stratégies chimiques actuellement en cours, en vue d'accroître les rendements des cultures.

La recherche de nouvelles stratégies d'optimisation des rendements des cultures passe par l'utilisation des variétés améliorées et la maîtrise des maladies et ravageurs des cultures. Plusieurs travaux ont déjà été effectués sur le manioc qui constitue une importante source de glucides pour plus de 800 millions de personnes à travers les continents africain, américain et asiatique (Liu *et al.*, 2011). Produit partout sous les tropiques (Pursglove, 1981) entre le 30° N et le 30° S (El Sharkawy, 2004), le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une plante arbustive pérenne de la famille des Euphorbiacées et originaire d'Amérique latine (Westphal, 1985). Le manioc est cultivé principalement pour ses racines tubéreuses amylicées (amidon 20 à 40 %), qui entrent pour une grande part dans la consommation industrielle et l'alimentation quotidienne de nombreuses populations humaine et animale (Jose *et al.*, 2008). En plus de la consommation de ses feuilles, le manioc sert à l'alimentation sous forme de "manioc vert" ou de farine. Le tubercule de manioc est transformable en amidon, en tapioca, en biscuits, en pâtes alimentaires, en colles, en glucose, en alcool, en biocarburant etc. (Sylvestre & Arraudeau, 1983 ; Raffaillac, 1998).

Compte tenu de sa faible exigence en termes de coût de production, et de son extrême rusticité, cette spéculacation très vivace constitue une ressource de choix dans la bataille pour la sécurité alimentaire et le développement socio-économique chez les populations à faibles revenus et des zones à sols peu riches. Le manioc est la quatrième source d'énergie alimentaire dans les pays en développement après le maïs, le blé, le riz (Anonyme, 2015). Sa capacité à garder ses propriétés nutritionnelles dans le sol jusqu'à trois ans en fait une excellente culture de sécurité alimentaire (Nweke *et al.*, 2002). En 2018, la production annuelle du manioc était estimée à 278 millions de tonnes (Mt) dans le monde, à environ 170 millions de tonnes (Mt) en Afrique et à environ 5,3 millions de tonnes au Cameroun (Anonyme, 2020). Les régions de l'Adamaoua, du Centre, de l'Est, du Littoral et du Sud-ouest sont celles où la culture est intense. Malheureusement, cette insuffisante production nationale, au regard de la demande, est le fait de nombreux facteurs, notamment la susceptibilité des variétés couramment cultivées aux principales maladies, ravageurs et adventices (Nassar & Ortiz, 2007) qui constituent à l'heure

actuelle une véritable pandémie en Afrique Centrale et dans d'autres pays producteurs (Ambang *et al.*, 2009) ; de même que la pauvreté des sols et les facteurs climatiques.

Les ravageurs constituent une sérieuse contrainte à laquelle sont confrontés les cultivateurs de manioc, en particulier la pression de la Cochenille Africaine des Racines et Tubercules (CART), *Stictococcus vayssierei* Richard. Cette cochenille est l'un des plus importants ravageurs arthropodes du manioc, dans les agrosystèmes en région forestière semi-humide, causant jusqu'à 31 millions de tonnes de perte par an dans le bassin du Congo (Anonyme, 1989 ; Hanna *et al.*, 2004 ; Anonyme, 2014). Elle est connue comme étant endémique en Afrique. Probablement à cause de son habitat souterrain, *S. vayssierei* est un ravageur polyphage répertorié tardivement dans les années 1970 (Richard, 1971 ; Dejean & Matile-Ferrero, 1996 ; Ambe *et al.*, 1999 ; Ngeve, 2003 ; Tata Hangy *et al.*, 2006). Il existe 16 espèces de plantes d'hôtes appartenant à 13 familles dont il prélève la sève des racines pour se nourrir (Tindo *et al.*, 2009). En cas d'infestations sévères, des prélèvements importants de sèves peuvent entraîner la chute des feuilles, le flétrissement, le dépérissement de la pointe et finalement la mort des jeunes plants de manioc (Ngeve, 2003 ; Williams *et al.*, 2010) causant des pertes de rendement allant de 60 % jusqu'à 100 % dans les plantations et constituant une menace majeure pour la production de manioc en Afrique Centrale si aucune mesure de lutte efficace n'est prise (Ngeve, 2003 ; Hanna *et al.*, 2004 ; Lema *et al.*, 2004 ; Tata-Hangy *et al.*, 2006). Pendant le prélèvement de sa ressource alimentaire, la cochenille injecte dans les tissus de la plante une salive toxique qui affecte les tissus végétaux, et peut parfois transmettre divers pathogènes dont des virus et des champignons chez de nombreuses plantes à racines et tubercules d'importance économique (Richard, 1971 ; Mutsaers *et al.*, 1981 ; Tindo *et al.*, 2006). Le transport et la dissémination de la cochenille racinaire dans les champs sont assurés par des fourmis (*Anoplolepis tenella* Santchi) avec lesquelles elles vivent en relation de type mutualisme (Dejean & Matile-Ferrero, 1996 ; Fotso *et al.*, 2008 ; Doumtsop *et al.*, 2019).

Au Cameroun, la cochenille africaine des racines et tubercules est connue pour être l'un des plus importants ravageurs ; les nymphes et les adultes attaquent les racines tubéreuses du manioc. La stratégie de contrôle des dommages causés en champ par ce ravageur est l'utilisation des insecticides chimiques. Ces insecticides sont onéreux et dégradent l'environnement (Ben-Dov, 1997) par la présence de leurs résidus dans le sol, les eaux superficielles et souterraines (Ndongo, 1999), source d'importants risques sanitaires. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 25 millions de producteurs sont empoisonnés chaque année dans le monde, et environ 10 à 20 mille meurent d'un empoisonnement aux pesticides (Rajiv *et al.*, 2016). Le souci d'intensifier les pratiques d'une

agriculture plus respectueuse de l'environnement, nécessite l'utilisation des solutions alternatives, aux produits chimiques, qui reposent entre autres sur l'emploi des techniques agronomiques, l'utilisation des plantes à potentiel pesticide et la lutte génétique pour réduire les pertes en champs.

Les stratégies agronomiques de contrôle de la cochenille s'effectuent sous plusieurs angles. Ambe *et al.* (1999) ont préconisé le décalage de la date des semis entre Avril et Mai comme une méthode de contrôle du ravageur. Fotso (2011) suggère que la lutte contre *S. vayssierei* est subordonnée à la réduction de la densité de *Anoplolepis tenella* (Hymenoptera : Formicidae) dans les champs. De même, l'utilisation de la portion de coupe sur la tige mère comme stratégie de lutte contre les CART mérite l'attention car la première est signalée comme un outil moins coûteux et sûr pour l'environnement. Aussi, l'usage des plantes à potentiel pesticide riches en métabolites présentent une action défensive contre les ravageurs (Boulogne, 2011). Les activités pesticides de ces métabolites ont été mises en évidence par les observations empiriques des populations durant des siècles (Regnault-Roger *et al.*, 2002). Par ailleurs, la sélection variétale et les mécanismes de défense incluant les barrières physiques (cellulase, cuticule, lignine, cire, etc.) et chimiques (composés phénoliques, enzymes oxydatives etc.) pourrait être intégré à d'autres mesures pour optimiser leurs effets individuels dans le cadre de la lutte intégrée contre les parasites. Il a été démontré que dans le cadre de sa nutrition, la cochenille possède un équipement enzymatique qui lui permet d'hydrolyser les composés secondaires produits par la plante hôte (Catalayud, 1993). De ce qui précède, il ressort la nécessité de renforcer la recherche de solutions alternatives à la réduction de la cochenille africaine des racines et tubercules en champ.

Les questions de recherches qui suscitent l'engouement de la présente étude centrée sur la réduction de l'impact des cochenilles sont entre autres : i) Les extraits de *T. peruviana* répriment-ils mieux la multiplication et les dégâts causés par la cochenille racinaire en champ comme l'insecticide de synthèse ? ii) Quelle portion de boutures de la même tige des variétés de manioc peut développer une tolérance suite à l'agression du ravageur ? iii) Quels sont les variétés développant une tolérance à la cochenille du point de vue agronomique et biochimique ? Les hypothèses de recherche formulées autour de ces questions sont : les extraits aqueux ou organiques de *T. peruviana* répriment mieux la multiplication de la cochenille racinaire du manioc ; il existe parmi les hauteurs de coupe des boutures de manioc celles qui confèrent la tolérance à la cochenille racinaire du manioc parmi les variétés testées ; les variétés locales développent une tolérance supérieure à la cochenille que les variétés améliorées. L'objectif général assigné à ce travail est de proposer une stratégie



pluridimensionnelle dans le contrôle des populations de *S. vayssierei* dans les champs de manioc.

Plus spécifiquement il s'agit de :

- évaluer l'effet des extraits des graines de *T. peruviana* contre la cochenille racinaire en champ ;
- étudier en champ, la tolérance à *S. vayssierei*, des plants issus des boutures sectionnées à différents hauteurs sur la plante mère ;
- cribler les variétés de manioc tolérant à la cochenille en champ et en laboratoire.

Le présent travail possède des intérêts sur le plan scientifique, économique, écologique et alimentaire.

Sur le plan scientifique, le présent travail montre l'efficacité des méthodes de lutte culturale par l'utilisation des hauteurs de coupe des boutures d'une même tige de manioc, biologique par l'utilisation des extraits de plante et enfin variétale du point de vue génétique dans le cadre de la lutte intégrée contre les CART.

Sur le plan économique, la production de manioc donne lieu à des produits industriels et pharmaceutiques et est source de revenus non négligeables pour de nombreuses populations. Mais sa culture en zone forestière humide fait face à la pression de la cochenille africaine des racines et tubercules qui occasionnent des pertes de rendement allant de 60 à 100 % en champ. L'identification d'une pratique culturale, phytosanitaire et des variétés de manioc tolérantes permettra de limiter les dégâts et augmenter la production.

Sur le plan écologique, les différentes méthodes de lutte proposées sont respectueuses de l'environnement et limitent la multiplication du ravageur et ou de son symbiote.

Sur le plan alimentaire, le manioc est une source de glucide pour plus de 800 millions de personnes à travers le monde. Au Cameroun, sa culture constitue une ressource de choix dans la bataille pour la sécurité alimentaire chez les populations à faibles revenus. Les résultats de cette étude peuvent contribuer à augmenter la productivité du manioc.

**CHAPITRE I. REVUE DE LA  
LITTÉRATURE**

## **I.1. Généralités sur le manioc**

### **I.1.1. Systématique**

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) appartient au règne des Plantae (végétal), au sous règne des Tracheobionta (plantes vasculaires), à l'embranchement des Spermaphyta (plantes à graines), au sous-embranchement des Magnoliophyta (plantes à fleurs), à la classe des Magnoliopsida (Dicotylédones), à la sous-classe des Rosidae, à l'ordre des Euphorbiales et à la famille des Euphorbiacées. Cette famille compte plus de trois cents genres et huit mille espèces presque toutes tropicales ; seule l'espèce *M. esculenta* de formule chromosomique  $2n= 36$  est répandue en culture (Penet, 1999 ; Allem, 2002). Ses différents synonymes sont *M. utilissima*, *M. dulcis* ou *M. aipi*. Il est communément appelé manioc en français ; cassava en anglais ; «mbong» en bassa et beti. Deux variétés de manioc existent à savoir, le manioc amer et le manioc doux. Le manioc amer dont les racines ont de fortes concentrations en glucosides cyanogénétiques toxiques (Fungula *et al.*, 1997), notamment l'acide prussique à une concentration de 0,03 à 0,04 %. L'amertume est liée à la libération d'acide cyanhydrique, composé produit par l'hydrolyse enzymatique de la linamarine, et la lotaustraline, deux cyanoglucosides retrouvées dans les proportions de 95 % et 5 % respectivement (Chalandre, 2000). La teneur en acide cyanhydrique peut atteindre 250 mg/kg de racines fraîches (Grace, 1977). Le cycle végétatif des variétés amères est de 12 à 18 mois (Jochen, 1993). Le manioc doux, dont les tubercules sont directement consommables sans risque, à cause de sa faible teneur en acide cyanhydrique (0,01 %) a été domestiqué 6000 ans avant J.C dans la forêt humide amazonienne. Le cycle végétatif des variétés douces est de 6 à 9 mois, et leurs racines pourrissent rapidement, contrairement à celles des variétés amères (Jochen, 1993).

### **I.1.2. Origine et répartition géographique**

Le manioc (*Manihot esculenta*) est originaire d'Amérique latine où initialement il a été domestiqué dans le bassin amazonien par les Amérindiens il y a plus de 5000 ans (Olsen & Schaal, 1999 ; Nassar & Ortiz, 2009). Sa dissémination a commencé au seizième siècle où, la culture a été répandue en raison de la grande quantité de tubercules qu'il produit (Pynaert, 1951). Il a été introduit en Afrique par les commerçants portugais (Hillocks *et al.*, 2002) en deux temps : une première introduction faite par le golfe de Guinée au XVI<sup>e</sup> siècle puis, une seconde plus tard par la côte africaine orientale au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle. Sa diffusion s'est faite depuis les comptoirs situés sur les côtes vers l'intérieur du continent au travers des migrations (Fargette, 1987 ; Carter *et al.*, 1992).

La culture du manioc s'étend approximativement entre 30° de latitude Nord et Sud et dans ces limites jusqu'à 2000 m d'altitude au plus (El Sharkawy, 2004). Au Cameroun, son aire de culture est répartie dans toutes les zones agro-écologiques (Anonyme, 2008).

### I.1.3. Morphologie

Le manioc est un arbuste dont la taille varie de 1 à 5 m suivant la variété et les conditions de culture (Fig. 1). Il porte une à plusieurs tiges ramifiées ou non. Il a été proposé un classement du port des variétés en fonction de l'orientation des pétioles et des limbes et de l'angle d'écartement entre les branches : variétés à port cylindrique ou érigé (sans floraison), à port dressé (1 ou 2 floraisons tardives), à port étalé, rampant ou encore en boule (floraisons précoces et nombreuses) (Raffaillac & Segond, 2004).

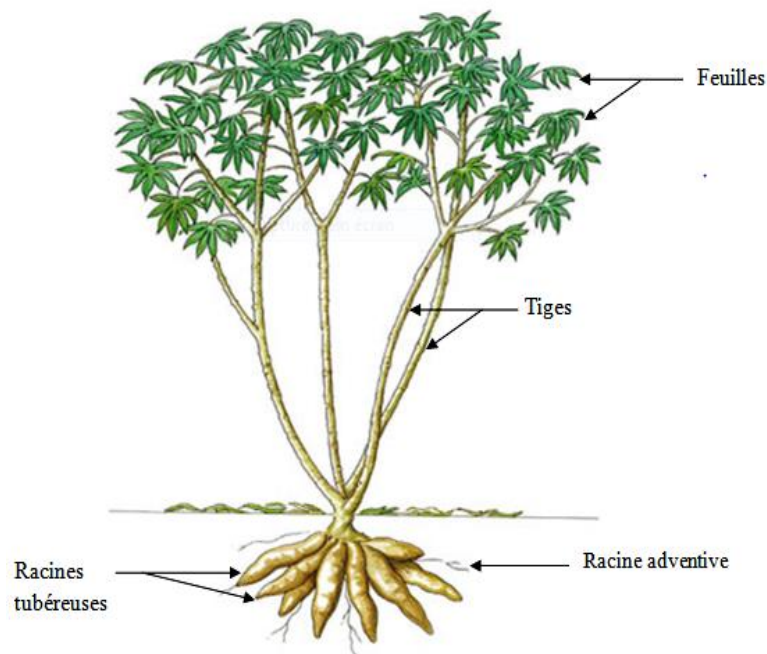


Fig. 1. Appareil végétatif du manioc (Anonyme, 2013).

#### I.1.3.1. Feuilles

Les feuilles du manioc sont simples, palmées, alternes et caduques. Elles sont disposées en spirale sur la tige selon une phyllotaxie 2/5 (Alves, 2002). Le limbe membraneux, rattaché à la tige par un pétiole allongé (1 mm à 6 cm), est divisé par un nombre variable de lobes (de 3 à 9 lobes mais parfois 11). Les feuilles peuvent être minces ou grosses, allongées, ovales ou lancéolées. Les colorations vont du vert au rouge pourpre pour les pétioles et du vert au rouge cuivré pour les jeunes feuilles non encore complètement développées. Les feuilles matures sont glabres et chacune d'elle est entourée par deux stipules

(d'environ 0,5 à 1 cm de long) qui restent attachées à la tige quand la feuille est complètement développée (Alves, 2002). Les feuilles sont de type simple ; autour de leurs aisselles, se trouvent des bourgeons qui demeurent le plus souvent dormants. Le limbe est palmatilobé à 3, 5 et 7 lobes qui peuvent être petits ou gros, allongés, ovales ou lancéolés (Bezpal, 1984) ; les fleurs sont réunies en grappes de 20 cm de longueur le long d'un axe principal portant des ramifications latérales réunies sur la même inflorescence. Les fruits sont une capsule trilobulaire de 12 à 15 mm de diamètre. Les graines sont elliptiques, minces et munies d'une caroncule blanche (Angelo, 1992).

### **I.1.3.2. Tige**

La tige est de couleur variable suivant l'âge et la variété. A maturité, elle est ligneuse, cylindrique et formée par une alternance de nœuds et d'entre-nœuds. Celle-ci présente un aspect noueux du fait de la présence de cicatrices pétiolaires proéminentes. Les tiges de manioc sont remplies à l'intérieur de tissus blanc spongieux. L'écorce jeune est verte ou vert foncé. Pendant le vieillissement de la plante, l'écorce devient grise ou vert foncé chocolaté. Les tiges et les branches présentent des coussinets qui sont des cicatrices laissées par la chute des feuilles (Terry *et al.*, 1980) ; le nombre de nœuds dépend de la longueur des entre-nœuds, du diamètre et de l'âge de la plante (Oustimenko-bakumovsky, 1988).

Une plante cultivée à partir de bouture peut donner plusieurs tiges primaires issues du développement des nœuds viables sur la bouture. Chez certains cultivars à forte dominance apicale, une tige seulement se développe. Selon la variété, la tige peut donner des ramifications une ou plusieurs fois au cours du cycle. Le manioc a une ramification sympodiale avec deux types d'axes selon la terminologie de Hallé :

- ceux issus de la floraison par transformation du méristème végétatif terminal en méristème floral accompagnée du développement de 2 à 4 branches ou axes sylleptiques. Raffaillac & Second (1999) a proposé un classement de variétés en fonction de l'orientation des pétioles et des limbes, et de l'angle d'écartement entre les branches, ainsi on a les variétés à port cylindrique ou érigé (sans floraison), les variétés à port dressés (1 à 2 floraisons tardives), et les variétés à port étalé, rampant ou encore en boule (floraison précoce et nombreuses).
- ceux issus du développement de bourgeons latéraux par levée de dominance apicale ou axes proleptiques (Médard *et al.*, 1992). La ou les tiges principale(s) peuvent se diviser de façon di, tri ou tétradichotomique produisant des branches secondaires qui donnent elles-mêmes d'autres ramifications (Alves, 2002).

### **I.1.3.3. Racines**

Les racines sont le principal organe de stockage d'amidon chez le manioc. Elles possèdent la même structure anatomique quelle que soit leur origine. Selon Raffailac & Second (1999), le système racinaire outre ses fonctions classiques d'ancrage, d'absorption hydrique et minérale, intervient directement dans l'élaboration de la rentabilité par le composant nombre de tubercules. Son système racinaire est de type fasciculé c'est-à-dire constitué de racines fines et nombreuses. Chez les plantes propagées par les graines, un système typique des racines pivotantes est développé, semblable à celui des espèces dicotylédones. La radicule de la graine en germination croît verticalement vers le bas et se développe en une racine pivotante de laquelle naissent des racines adventives. Plus tard, la racine pivotante et les racines adventives deviennent des racines de réserve. Chez les plantes propagées par les boutures, les racines qui sont ici adventives croissent à partir de la base de la bouture et occasionnellement des nœuds dans le sol. Ces racines se développent pour devenir le système racinaire fasciculé. Quelques-unes seulement de ces racines (entre 3 et 10) commencent à grossir et deviennent des racines de réserve. La plupart des fines racines du système fasciculé restent minces et continuent à fonctionner pour l'absorption hydrique et minérale. Les tubercules lourds de 0,5 à 3,4 kg par plant (Dimyati, 1994 ; Alves, 2002), sont la partie essentielle de la plante. Elles se forment de 3 à 6 mois selon la variété et le milieu à partir des racines de réserve. Les tubercules peuvent être directement attachés à la tige qui leur a donné naissance (racines tubéreuses sessiles) ou reliées celle-ci par un pédoncule (racines tubéreuses pédonculées) (Fukuda & Guevarra, 1998 ; Alves, 2002).

### **I.1.3.4. Appareil reproducteur et organes de reproduction**

#### **I.1.3.4.1. Inflorescences et fleurs**

Le manioc est une plante monoïque c'est-à-dire qu'elle porte des fleurs mâles et femelles sur le même pied (Fig. 2). Les inflorescences qui apparaissent au-delà du sixième mois, sont en général des grappes de 20 à 60 fleurs unisexuées et monopérianthées (Raffailac & Second, 2004). Elles se forment très souvent au point d'insertion des ramifications reproductives ou peuvent être occasionnellement trouvées sur les axes foliaires dans la partie supérieure de la plante. La fleur ne comporte pas de calice ou de corolle, mais a un périante formé de cinq sépales jaunes, rougeâtre ou violets. Les pollens sont généralement jaunes ou oranges ; leur taille varie de 122 à 148  $\mu\text{m}$  ; ceux-ci sont alors de grande taille comparativement à ceux des autres plantes à fleurs. Les fleurs femelles, situées à la base de l'inflorescence, s'épanouissent 1 à 2 semaines avant les fleurs mâles (protogynie) qui sont en

grand nombre (dix fois plus le nombre de fleurs femelles) sur la partie supérieure de l'inflorescence (Alves, 2002). Sa pollinisation qui est entomo-anémophile (Raffaillac & Segond, 2004), se fait de façon croisée (allogamie).

#### **I.1.3.4.2. Fruits et graines**

Les fruits sont des capsules déhiscentes à trois loges (triloculaires). Ovoïdes et globulaires, les fruits mesurent de 1 à 1,5 cm de diamètre et mûrissent après la nouaison. Ils s'ouvrent en six valves causant une déhiscence explosive qui projette les graines à plusieurs mètres (Alves, 2002). La maturation du fruit a lieu 75 à 90 jours après la pollinisation. Le fruit présente une déhiscence bicidale, est une combinaison des déhiscences septidales et loculicides, avec des ouvertures respectivement le long du plan parallèle des cloisons et le long de la nervure médiane des carpelles (Fig. 2). La graine porte un corps oléagineux favorise la dissémination par les fourmis. Elles possèdent un tégument marbré de couleur marron à gris avec une caroncule. Elles sont munies d'une caroncule blanche et germent environ 16 jours après la mise en culture (Angelo, 1992).

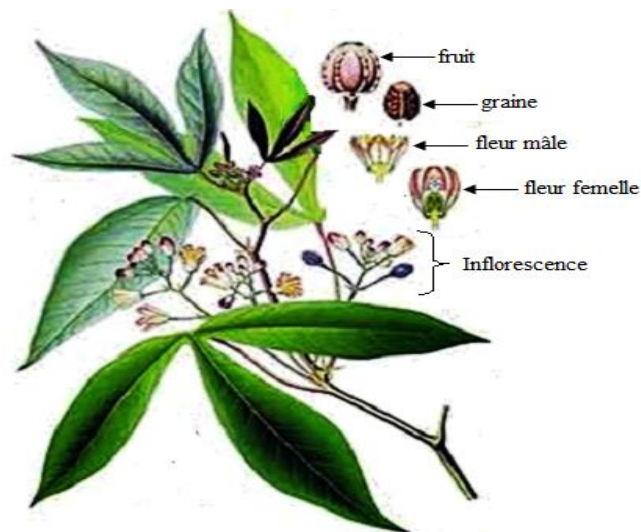


Fig. 2. Fruit et graine mûre du manioc (Anonyme, 2013).

#### **I.1.4. Importance de la culture du manioc**

. Le manioc est la quatrième source d'énergie alimentaire dans les pays en développement après le maïs, le blé, le riz (Anonyme, 2015). Sa production est destinée à l'alimentation humaine. Cependant, les pays asiatiques comme la Thaïlande, l'Indonésie, la Chine et le Vietnam produisent majoritairement le manioc pour l'alimentation animale et pour l'industrie. Le manioc a plusieurs produits dérivés et variés ; on y trouve des produits

destinés non seulement à la consommation, soit à l'état frais (feuilles, racines fraîches bouillies), soit après une transformation (gari, fufou, bâton de manioc, beignets, etc.), mais aussi des produits destinés à l'industrie comme le fécule et l'amidon utilisés dans la lingerie, l'alimentation (Raffaillac & Second, 1999). Le manioc peut offrir grâce à la diversité de ses produits dérivés des emplois et des revenus susceptibles de lutter contre le chômage, la pauvreté et la faim. La production mondiale annuelle est estimée à 278 millions de tonnes (Mt) en 2018 (Anonyme, 2020). Il est devenu l'une des denrées alimentaires féculentes la plus dominante des régimes quotidiens en Afrique Sub-Saharienne (However *et al.*, 2000), et joue un rôle important dans la sécurité alimentaire pour plus de 300 millions de personnes de l'Afrique sub-saharienne (Nweke, 1996). Il tolère la sécheresse, des sols pauvres et peut même produire un rendement économiquement important sur des sols où d'autres cultures ne peuvent pas produire (Anonyme, 1990). Les tubercules frais, qui contiennent entre 25 à 45 % de matière sèche composée de 85 % d'amidon sont utilisés de plusieurs manières. Les feuilles sont largement utilisées comme légumes, fournissant des protéines, des vitamines, et des minéraux à plusieurs populations particulièrement en Afrique de l'Est et Centrale.

### **I.1.5. Intérêt agronomique, utilisations et valeur alimentaire**

Du point de vue agronomique, l'intérêt du manioc tient à sa tolérance vis-à-vis de la sécheresse, de ses faibles exigences agro-culturelles et de sa possibilité de conservation dans le sol. Les objectifs de production sont variés : autoconsommation dominante ou secondaire (aliment de soudure), commercialisation en frais ou après transformation (artisanales ou mécanisées) en de nombreux produits pour l'alimentation humaine (gari, attiéké, fufou, tapioca, etc.) ou animale (cossettes, farine), parfois pour l'industrie tels amidon, colles et dextrines (Raffaillac, 1998).

L'utilisation du manioc varie en fonction des continents. En Afrique, il est surtout cultivé pour ses tubercules qui entrent pour 37,9 % dans l'alimentation humaine, 50,8 % dans des procédés de transformation et 1,4 % dans l'alimentation du bétail. En Amérique, seulement 18,5 % de la production sont consommés par les populations humaines et quasiment le double pour les animaux domestiques (Cock, 1985 ; Westby, 2002).

Sur le plan nutritionnel, les tubercules de manioc produisent plus de calories que la plupart des céréales cultivées (Anonyme, 1997). De plus, le manioc fournit un amidon prisé par les nutritionnistes du fait de sa très grande digestibilité. Les feuilles consommées comme légumes en Afrique, contiennent une proportion appréciable de protéines et de fer (Tableau I).



Tableau I. Composition des parties principales du manioc (Sylvestre & Arraudeau, 1983)

Composition chimique	Organes				
	Racines entières	Écorces 8 à 15 % de la racine	Cylindre central	Tiges	Feuilles
Matière sèche % MF	35	30	40	30	15
Glucides % MS	89	75	91	48	41
Lipides % MS	1	2	0,5	9	3
Protides % MS	2,5	4	2	10	6
Fibres % MS	4,5	12	4	23	20
Cendres % MS	3	5	2,5	10	8

MF : matière fraîche; MS : matière sèche

### I.1.6. Physiologie du manioc

On peut distinguer selon Alves (2002) cinq phases principales dans le développement du manioc : l'émergence des pousses, le développement foliaire et la formation du système racinaire, le développement des tiges et des feuilles (établissement de la canopée), la translocation des sucres dans les racines (tubérisation) et enfin la dormance. La succession de ces phases dépendent de plusieurs facteurs liés à la variété, aux conditions environnementales et aux pratiques culturales.

#### I.1.6.1. Emergence des pousses

L'émergence des pousses ou germination des boutures observé quelques jours après plantation (JAP) est le moment qui marque la sortie des jeunes pousses sur les bourgeons situés dans la partie supérieure de la bouture. Cette phase correspond aux premières émissions des racines nodales puis basales (5 à 7 JAP) et à la sortie d'une ou plusieurs tiges à petites feuilles (10 à 12 JAP). Elle s'achève au bout de 15 JAP (Sylvestre, 1989).

#### I.1.6.2. Début du développement foliaire et formation du système racinaire

Durant cette phase, les petites feuilles commencent à s'élargir jusqu'à 30 jours après plantation (JAP), moment où la photosynthèse devient prépondérante sur la croissance. Les racines fibreuses entament leur croissance remplaçant les premières racines adventives. Ces nouvelles racines pénètrent dans le sol. Quelques-unes parmi elles se transforment en racines de réserve (tubéreuses) qui grossissent. Ces dernières se différencient des racines fibreuses entre 60 et 90 JAP (Cock *et al.*, 1976 ; Alves, 2002). Cette phase dure de 15 à 90 JAP.

### **I.1.6.3. Développement des tiges et des feuilles**

Le développement de la partie aérienne de la plante commence environ trois mois après plantation des boutures et dure un mois et demi. Durant cette période, la tige se développe rapidement et la plante produit abondamment de feuilles (Silvestre, 1989). L'arrêt de la tige principale coïncide avec le début de la tubérisation des racines.

### **I.1.6.4. Translocation des sucres dans les racines**

La translocation des sucres dans les racines consiste principalement en : le transport accru des sucres des feuilles vers les structures de stockages (racines tubéreuses). Ceci provoque leur grossissement rapide, la sénescence importante des feuilles et la lignification des tiges (Alves, 2002). Cette phase s'étend entre 180 et 300 JAP.

### **I.1.6.5. Dormance**

La phase de dormance se caractérise par une baisse du taux de production foliaire la chute de la plupart des feuilles. Ici, seule la translocation de sucres persiste. Cette phase dépend principalement de la température et des précipitations. Entre 18 et 20 °C, les bourgeons restent dormants alors qu'ils débourrent entre 25 et 30 °C lorsque l'humidité est suffisante (Silvestre & Arraudeau, 1983). A douze mois, la plante boucle son cycle qui peut néanmoins être suivi par une nouvelle période de croissance végétative et d'une nouvelle dormance.

### **I.1.7. Mode de reproduction et techniques de multiplication**

Le manioc se reproduit de façons sexuée et végétative. La propagation par les graines est peu utilisée du fait du faible pouvoir germinatif de la graine qui n'est que d'environ 30 %. De plus, la phase de la levée de germination peut prendre plusieurs mois (Raffaillac & Segond, 2004). Toutefois, des traitements thermiques ou chimiques peuvent améliorer ce pouvoir germinatif (Lefèvre, 1989). Ce mode de reproduction reste donc réservé à la sélection variétale dans les stations de recherche, même si des semis spontanés sont parfois observés et utilisés dans certains systèmes de culture (Raffaillac & Segond, 2004). La propagation végétative est le mode le plus utilisé. Elle se fait à partir des boutures avec un taux de reprise de près de 100 %. Cependant la quantité de semences que l'on peut obtenir à partir d'un plant est nettement inférieure à celle des plantes alimentaires qui se propagent par les graines (Alves, 2002). Un système utilisant de petites boutures à deux nœuds desquelles un nombre de pousses en germination sont successivement obtenues, enracinées dans de l'eau bouillie

puis plantées en champ fut inventé par Cock *et al.* (1976). Ce système permet d'obtenir entre 12000 et 24000 tiges en un an (Leihner, 2002). Une méthode plus productive fut créée plus tard en utilisant le bourgeon axillaire (Cock, 1985). Elle 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, on plante ces segments dans des casiers remplis de sable ou de tourbe placés dans un germoir humide. Des racines se développent normalement en deux semaines. Après quoi, ils sont prêts à être transplantés dans un champ où ils doivent être correctement arrosés jusqu'à leur reprise. Cette méthode est extrêmement rapide et permet d'obtenir, à partir d'une seule plante, jusqu'à 15 000 nouveaux plants en moins de six mois (Leihner, 2002).

### **I.1.8. Nutrition minérale**

Les besoins en éléments nutritifs du manioc ne sont pas aussi importants que ceux des plantes à cycle court. Un apport supplémentaire d'azote ne modifie pas la tubérisation en quantité mais, il augmente le nombre de racines concernées par la tubérisation (Egle, 1992). La réponse à l'azote diffère selon les variétés ; une variété améliorée réagissant mieux avec 150 kg/ha, mais le rendement diminuant au-delà de cette dose (Obigbesan, 1976 ; Anonyme, 1995). Les besoins en phosphore sont faibles du fait de la présence d'endomycorhizes sur les racines qui aident à la nutrition phosphatée. Kang *et al.* (1980) situaient les besoins en phosphore à 3,4 ppm pour obtenir un bon rendement et précisaient que la présence d'endomycorhizes est forte dans les sols qui sont dépourvus en cet élément et faible que dans ceux qui en contiennent beaucoup.

Le potassium accélère le début de tubérisation. Associé ou non à l'azote, il augmente le diamètre des tubercules, la taille des cellules de stockage et le rendement final (Kasele *et al.*, 1983 ; Santoir & Villiers, 1995).

### **I.1.9. Toxicologie**

Tous les organes du manioc à l'exception des graines contiennent des cyanoglucosides. Les variétés sont classées en deux catégories suivant leur teneur en glucosides cyanogènes dans le poids frais du tubercule (Wheatley *et al.*, 1993 ; Alves, 2002). La première catégorie est celle des variétés dites « douces » avec une teneur inférieure à 100 mg/kg et la seconde, celle des variétés dites « amères » avec une teneur de 100 à 500 mg/kg. Ces glucosides cyanogènes sont la linamarine qui est le plus abondant (95 %) et la lotaustraline qui a une teneur moindre (5 %). La teneur totale en substances cyanogènes

dépend du cultivar, des conditions environnementales, des pratiques culturales et de l'âge de la plante (McMahon & Sayre, 1994 ; Raffailac & Segond, 2004). Des cas d'intoxication alimentaire, rares mais parfois mortels chez des populations humaines qui se nourrissent exclusivement de manioc amer, en périodes de troubles civils ou de pénurie ont été signalés au Vietnam, au Mozambique, en Angola et en République Démocratique du Congo. Il existe néanmoins des procédés qui permettent l'élimination des glucosides cyanogènes tels le rouissage, la fermentation, le séchage et la cuisson à sec ou humide qui contribuent à faire disparaître ces composés en les transformant en acide cyanhydrique qui est soluble et volatile (Raffailac & Segond, 2004). Au Cameroun, la consommation de manioc riche en composé est considéré comme facteur goitrogène chez les populations humaines, car réduisant la capacité d'absorption de l'iode.

#### **I.1.10. Ecologie**

Le manioc est une plante dotée d'une très grande adaptation aux mauvaises conditions tant climatiques qu'édaphiques. Il peut croître dans toutes les régions tropicales et subtropicales, mais il affectionne un climat chaud et pluvieux. En aucun cas, le manioc ne supporte la gelée. C'est une plante héliophile qui requiert une insolation abondante (Porto, 1983 ; Fukai *et al.*, 1984 ; Veltkamp, 1985), un bon régime hydrique et minéral, une bonne photopériode pour un développement et une production optimale (Cadavid & El-Sharkawy, 2002). Elle résiste mal aux vents violents et doit être planté dans des endroits abrités.

##### **I.1.10.1. Température**

Le manioc exige pour sa croissance un optimum de température situé entre 25 et 29 °C (Alves, 2002). La croissance est inhibée pour des températures inférieures à 15 °C. Elle s'accélère pour des températures au-delà de 30 °C, mais chute avec des températures supérieures à 37 °C (Keating & Evenson, 1979). En général, le manioc tolère des températures comprises entre 16 et 38 °C (Cock, 1985 ; Alves, 2002). Les températures en dessous de 16 °C lui sont préjudiciables et la croissance s'arrête en dessous de 10 °C et très ralentie à 40 °C. Au-delà de 1800 m le manioc se développe très lentement. En aucun cas le manioc ne supporte le gel (Janssens, 2001). Comme toutes les cultures annuelles tropicales, le manioc est une plante héliophile qui requiert une insolation abondante. Son cycle de photosynthèse est intermédiaire entre le cycle C<sub>4</sub> et C<sub>3</sub>. Une réduction de la radiation solaire entraîne une augmentation de la longueur des entre-nœuds et réduit la vitesse de production des nouvelles feuilles, la durée de vie des feuilles et en définitive la surface foliaire. La partie

de la matière sèche formée allant vers les racines est également réduite. Le manioc est en outre considéré comme une plante de jours courts. (Janssens, 2001). D'une façon générale, c'est une plante tolérante à la sécheresse et cultivée dans les régions de faible pluviométrie.

#### **I.1.10.2. Eclairage**

Le manioc est une plante héliophile mais une longue photopériode peut augmenter les besoins des pousses, réduisant ainsi l'excédent d'hydrates de carbone disponible pour la croissance racinaire (Vestkamp, 1985 ; Alves, 2002). Le manioc est donc considéré comme une plante de jours courts.

#### **I.1.10.3. Sol**

Le manioc peut se développer dans de nombreux types de sol (alluvions récents, ferrallitiques, tourbeux), même s'ils sont de fertilité médiocre. Toutefois, le choix du sol dépend en grande partie : de la présence ou non d'une couverture végétale sur le site, de la texture et de la fertilité du sol, mais aussi de la présence ou non d'une pente (Anonyme, 2000). Les meilleurs sols sont en général profonds, avec de bonne réserve en eau, de texture sablo-limoneuse ou argilo-sableuse, à structure stable et à pH = 5,5. Cette plante ne supporte pas les sols hydromorphes.

#### **I.1.10.4. Régime hydrique**

Le manioc est une plante qui tolère bien la sécheresse. En général, une pluviométrie comprise entre 1000 et 2000 mm lui est satisfaisante. Cependant, bien qu'il soit capable de croître dans des zones de pluviométrie inférieure à 800 mm d'eau à saison sèche de 4 à 6 mois, des saisons sèches prolongées diminuent la croissance et le rendement (Streiner *et al.*, 1979). Les phases les plus critiques du déficit hydrique sont l'émergence des pousses et la tubérisation. Un déficit hydrique de deux mois durant ces périodes peut réduire le rendement en tubercules de 32 à 60 % (Porto, 1983 ; Alves, 2002).

#### **I.1.11. Photosynthèse et production de matière chez le manioc**

Chez le manioc, la photosynthèse est de type C<sub>3</sub>. En champ elle est optimale à 35 °C de température et un plateau est formé entre 25 °C et 35 °C. Le manioc est ainsi adapté à l'environnement tropical ; il a besoin des températures élevées et de fortes radiations solaires pour un développement optimal des feuilles et une meilleure expression de son potentiel photosynthétique (Alves, 2002).

Au cours du développement du manioc les hydrates de carbone issus de la photosynthèse sont redistribués dans la plante afin d'assurer le bon développement des organes producteurs (les feuilles actives) et l'approvisionnement des organes de destination (racines tubéreuses, tige, jeunes feuilles) en matière sèche. La matière sèche est transportée principalement vers les tiges et les racines tubéreuses ; elle diminue dans les feuilles au cours du cycle de la plante. Pour un cycle de 12 mois par exemple, le manioc accumule beaucoup plus de matière dans les feuilles que dans les racines jusqu'à 60-75 jours après plantation (JAP). Autour de 120 JAP, les racines tubéreuses augmentent dans la plante et comportent 50 à 60 % de la matière sèche totale de la plante. Ainsi après le quatrième mois et jusqu'à la récolte (12 mois après plantation), la plus grande partie de la matière sèche de la plante est accumulée dans les racines tubéreuses du manioc, suivi de la tige puis des feuilles. La période d'accumulation maximale de matière sèche dans les racines est fonction de la variété et des conditions de production. Dans la plupart des conditions tropicales, l'accumulation de matière sèche est plus rapide avec un maximum entre 3-5 mois après plantation (Alves, 2002).

Pour évaluer l'efficacité de stockage de matière sèche dans les tubercules (partie la plus économiquement intéressante) et évaluer la capacité de production de la plante, l'on mesure l'indice de récolte (HI) qui est le rapport de la masse des racines tubéreuses sur la masse totale de la plante. La mesure de la balance entre les organes de production et d'accumulation est donc essentielle dans l'évaluation de la capacité de production ou encore du maximum du potentiel de productivité de la plante. Le nombre total de racines tubéreuses et la moyenne de leur masse sont également des composantes du rendement qui permettent l'évaluation de la capacité des organes d'accumulation de la matière sèche dans les organes de réserve (Alves, 2002). Le manioc peut produire une grande quantité de matière sèche. Le rendement potentiel a été estimé à 30 tonnes de matière sèche à l'hectare et par an, et certaines variétés améliorées s'en rapprochent (Raffaillac & Second, 1999). Dans d'excellentes conditions, la biomasse totale en une année atteint 45 tonnes par hectare au Sud de la Côte d'Ivoire. Au Sud du Togo, sur un sol cultivé pendant dix-huit ans sans fertilisation, on a pu obtenir un rendement de 4 tonnes de matière sèche par ha, alors que le maïs ou les légumineuses avaient, dans ces mêmes conditions un rendement nul. C'est la raison pour laquelle les agriculteurs cultivent le manioc après d'autres cultures vivrières, car il peut assurer une production quand d'autres ne produisent plus rien en raison de la faible fertilité des sols (Onayemi, 1982 ; Leihner, 1983 ; Raffaillac & Second, 1999).

### **I.1.12. Techniques culturales**

Les systèmes traditionnels de production du manioc sont pour la plupart caractérisés par une agriculture itinérante sur brûlis, l'emploi d'instruments aratoires manuels et l'utilisation faible ou non d'intrants agricoles. Ces systèmes ont deux modalités de culture : la culture pure ou la culture en association. Le premier type est très souvent réalisé sur de grandes superficies à des fins de commercialisation et de consommation. Pour la culture mixte, elle est presque toujours faite sur de petites superficies dans le but d'obtenir un aliment d'appoint pendant les périodes de pénurie. L'amélioration des techniques de production du manioc, l'emploi de cultivars performants sélectionnés par les stations de recherche, la mécanisation et l'utilisation d'intrants agricoles sont les principales méthodes des systèmes de culture améliorés. Ces dernières accroissent considérablement les rendements en comparaison avec les systèmes de culture traditionnelle.

#### **I.1.12.1. Préparation du sol**

Le manioc est cultivé sur buttes, billons ou terrain plat labouré. Le choix de la méthode de plantation (buttes, billons ou plantation à plat) dépend de la nature du sol. Un sol lourd demande un billonnage tandis qu'un sol sableux (léger) requiert une plantation à plat. Un labour ne s'accompagnera pas forcément d'une augmentation de production (Raffaillac & Nedelec, 1985).

#### **I.1.12.2. Matériel de plantation**

La qualité du matériel semencier repose sur plusieurs critères : longueur, diamètre, état physiologique et l'état sanitaire des boutures. Ces dernières doivent avoir pour des considérations pratiques et économiques une longueur de 20 à 25 cm, portées aux moins 5 à 8 nœuds et être prélevées sur les parties moyennes suffisamment lignifiées des plantes mères saines (Anonyme, 2000). Les boutures longues de 25 cm facilitent la mécanisation, le transport et la manipulation de grandes quantités de matériel de plantation (Anikwe & Ikenganyia, 2018). Les boutures mères peuvent être sectionnées en trois parties : la base, le milieu et le sommet. Selon Eze & Ugwuoke (2010), la base de la tige correspond au point d'attache entre la partie souterraine jusqu'à 15 nœuds sur la bouture mères. Le milieu est la longueur de la tige depuis le 20<sup>e</sup> nœud à l'attache du pétiole de la première feuille à la tige, tandis que le sommet est la partie de la tige de la plante constituée de feuilles.

### **I.1.12.3. Mode de semis**

Les boutures de manioc sont semées suivant la nature et l'humidité du sol. Sur sol humide argileux, le mode horizontal est préférable alors que sur sol sableux et drainant, les modes obliques et/ou verticaux conviennent mieux.

### **I.1.12.4. Densité de plantation**

Les densités de plantation du manioc se situent entre 5000 et 20000 boutures par hectare et ceci selon les systèmes de culture et les objectifs de production (Keating *et al.*, 1988 ; El-Sharkawy, 2004). Elles varient avec les cultivars et la fertilité du sol. Les écarts recommandés entre les plants et entre les sillons sont de 0,8 x 1,2 m ; 0,8 x 1,5 m ; 0,8 m x 1,0 m ; 1,0 x 1,0 m ; 0,5 x 1,0 m. Mais l'utilisation de la densité la plus faible est la plus appropriée pour des sols fertiles (Anonyme, 2009).

### **I.1.12.5. Entretien culturaux**

Ils incluent le désherbage, le buttage, le binage et l'application des traitements phytosanitaires. Le désherbage est pratiqué plusieurs fois dans les champs en fonction de l'enherbement et de la vitesse de croissance des adventices. Le buttage est fonction des types de sols. Le binage est effectué en fonction des besoins des plants cultivés.

L'application des traitements phytosanitaires se fait mais de moins en moins, laissant la place à la lutte biologique ; ceci dans un souci de préservation de l'environnement. L'utilisation de pesticides est peu fréquente sauf dans le cas de grandes exploitations agricoles.

### **I.1.12.6. Nutrition minérale et besoins nutritionnels du plant**

Le manioc contient principalement les minéraux suivants : azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), bore (B), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn). Toutefois, parmi les quantités d'éléments nutritifs majeurs (N, P, K) prélevés dans le sol comparés à celles d'autres cultures tels que la patate, le maïs, le riz ou la canne à sucre, celle du potassium est très élevée par rapport aux plantes citées (Howeler, 2002). L'amélioration de la fertilité des sols de production de manioc par les engrais organiques ou minéraux accroît considérablement les rendements. Cependant selon El-Sharkawy (2004), l'emploi d'engrais ternaires est plus productif que chacun des engrais simples ou binaires utilisés séparément. Le fumier présente également un effet bénéfique. Il est moindre sur le rendement la première année en comparaison avec un engrais chimique,



mais celui-ci est vite équilibré au bout de quelques années. Par exemple, la fiente de poule appliqué pendant 3 ans à la dose 6,25 t/ha produit un rendement moyen en tubercules frais 53,1 t/ha contre 58,4 t/ha avec un engrais 47-47-47 à la même dose au terme de cette période (Rammachat *et al.*, 2001).

#### **I.1.12.7. Cycle cultural**

Le manioc est généralement récolté à différentes dates en fonction des variétés et de l'utilisation que l'on veut faire : 8 à 12 mois pour la consommation en frais et 12 à 24 mois pour les féculeries (Sékou, 1983). Au Cameroun, la plupart des variétés améliorées les plus vulgarisées pour l'utilisation alimentaire et industrielle se récoltent autour de 9 mois (Anonyme, 2000).

#### **I.1.13. Contraintes liées à la production du manioc et principales maladies**

La production des racines et tubercules, notamment celle du manioc est freinée par des contraintes de divers ordres. Les grands défis de la filière qui ont été relevés par la stratégie globale de développement du manioc comprennent : le développement des variétés résistantes, l'amélioration des systèmes de production et des pratiques culturales y compris la lutte contre les maladies et ravageurs, la protection de l'environnement des produits chimiques et l'amélioration de la compétitivité des produits issus de la filière dans les différents marchés (Plucknett *et al.*, 2000). Le développement de la filière manioc au Cameroun est affecté par les problèmes financiers, matériels et logistiques, si bien que, ce n'est qu'une faible proportion des agriculteurs qui possèdent les équipements agricoles essentiels. En outre, le manioc comme les autres racines et tubercules fait partie des produits vivriers fragiles et périssables. En effet la conservation des produits frais de manioc ne dépasse pas 15 à 20 jours. Les pertes dues au pourrissement des tubercules sont estimées à 50 % après 42 jours et 80 % après 63 jours. Par ailleurs, l'inadaptation des variétés locales utilisées par la majorité des producteurs est l'une des causes des faibles rendements obtenus dans les champs. Au Cameroun, les maladies et ravageurs sont parmi les principales contraintes à la production du manioc.

Les maladies les plus courantes du manioc sont : la mosaïque du manioc, l'anthracnose (Fig. 3), la bactériose, la nécrose du bourgeon et la pourriture racinaire, la maladie des stries brunes du manioc. Certaines maladies s'attaquent aux feuilles et aux tiges des plantes tandis que d'autres s'en prennent aux racines tubéreuses (Msikita *et al.*, 2000 ; Hillocks *et al.*, 2002). L'entomofaune nuisible du manioc est constituée par des insectes

appartenant à différentes familles et attaquant le manioc sur une ou plusieurs parties du plant. Il s'agit du criquet puant (*Zonocerus variegatus*), les aleurodes (*Aleurodicus dispersus*), la mouche blanche (*Bemisia tabaci*), les cochenilles : la cochenille farineuse ou cochenille des pousses du manioc (*Phenacoccus manihoti*) et la cochenille Africaine des racines et tubercules (*Stictococcus vayssierei*).

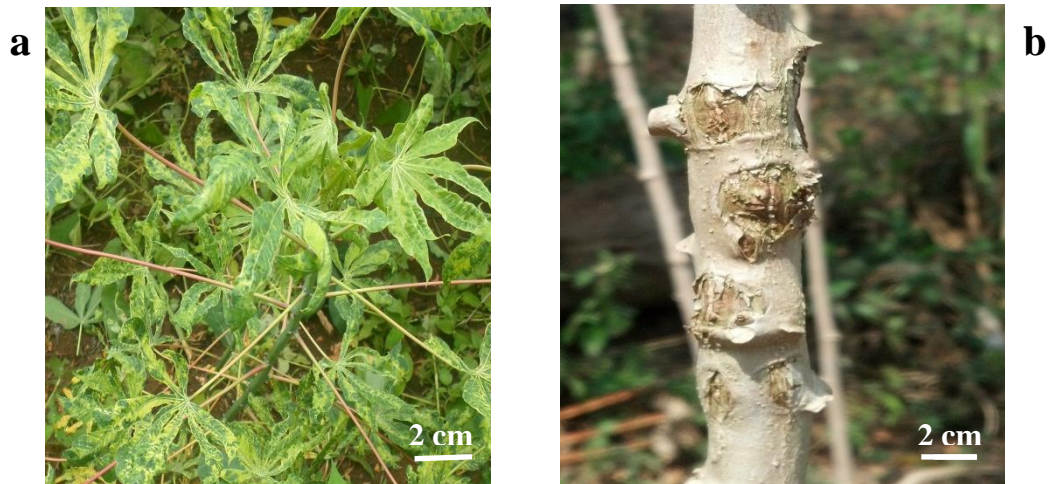


Fig. 3. Symptôme des maladies du manioc ; a : symptôme de la mosaïque sur les feuilles ; b : symptôme de l'antracnose sur la tige.

## I.2. Généralité sur *Stictococcus vayssierei* Richard

*Stictococcus vayssierei* Richard 1971 (Hemiptera : Stictococcidae), encore appelé cochenille africaine des racines et tubercules (CART) est un ravageur trouvé en Afrique équatoriale et vivant sur les organes souterrains du manioc (Bani *et al.*, 2003). Il est l'un des représentants à habitat souterrain d'un genre comprenant près de sept autres espèces (Tindo *et al.*, 2006). Les individus rencontrés très souvent sur les plantes sont des femelles. C'est un insecte piqueur-suceur qui se nourrit exclusivement de la sève de ses hôtes et peut provoquer la chute des feuilles, le flétrissement, le dépérissement de la pointe et finalement l'arrêt de croissance des jeunes plants de manioc (Ngeve, 2003 ; Williams *et al.*, 2010). *Stictococcus vayssierei* peut entraîner des pertes de rendement allant de 60 % jusqu'à 100 % et pourrait constituer une menace majeure pour la production de manioc en Afrique Centrale si de fortes mesures de contrôle ne sont pas prises pour contrôler sa propagation ou ses effets sur le rendement. Au Cameroun, le ravageur est responsable de pertes de rendement allant jusqu'à 27 % dans les racines de manioc (Ngeve, 2003 ; Lema *et al.*, 2004 ; Hanna *et al.*, 2004 ; Tata-Hangy *et al.*, 2006).

### **I.2.1. Systématique de *Stictococcus vayssierei***

*Stictococcus vayssierei* R. appartient au règne animal (Eucaryotes), à l'embranchement des Arthropodes, au sous-embranchement des Uniramia, à la classe des Insectes, à l'ordre des Hemiptera et à la famille des Stictococcidae. Cette famille compte plus de trois genres : *Stictococcus* sensu stricto ; *Parastictococcus* et *Hockiana*. *Stictococcus vayssierei* fait partie du genre *Stictococcus* sensu stricto, avec sept autres espèces, dont *Stictococcus sjostedti* (espèce type), *S. formicarius*, *S. intermedius*, *S. subterreus*, *S. tuberculatus* et *S. pujoli* (Richards, 1971 ; Williams *et al.*, 2010).

### **I.2.2. Besoins nutritifs de *Stictococcus vayssierei***

Chez les insectes principalement piqueurs-suceurs, l'analyse biochimique de la sève phloémienne de la plante hôte permet de caractériser leur régime alimentaire, d'identifier les composants de leur alimentation et les nutriments absorbés (Calatayud *et al.*, 1997). Ces insectes sont responsables des pertes directes en assimilât. Les insectes piqueurs-suceurs, en plus des prélèvements immédiats sur la plante, ils sont porteurs de virus, bactéries et peuvent avoir de nombreuses conséquences sur le métabolisme de la plante : diminution du taux photosynthétique (Zangeril *et al.*, 2002).

*Manihot esculenta* ne présente aucune originalité quant à la composition de sa sève. Le saccharose est le constituant majeur représentant 70 % des composés détectés. Parmi les acides aminés libres, la glutamine est l'acide aminé de loin majoritaire (jusqu'à 42 % de la totalité des acides aminés). Néanmoins, le faible niveau en acides aminés libres en fait une plante particulièrement pauvre en ces composés. En plus des constituants primaires, la sève de manioc contient de la linamarine (un glucoside cyanogénique) et un composé phénolique, la rutine jouant un rôle respectivement phagostimulant et phagodéterrent vis-à-vis des insectes piqueurs-suceurs (Calatayud *et al.*, 1997).

### **I.2.3. Distribution**

En décrivant le genre *Stictococcus*, Williams *et al.* (2010) ont déclaré que, bien que les dégâts causés par *S. vayssierei* n'aient été signalés que récemment, l'espèce est probablement présente mais non remarquée depuis un certain temps en raison de son mode de vie essentiellement endogée. Dans la littérature, *S. vayssierei* est décrit comme « du Cameroun et des pays voisins d'Afrique centrale » (Capinera, 2008) ; cependant, des citations individuelles (Richard 1971 ; Ngeve, 1995 ; Dejean et Matile-Ferrero, 1996 ; Lutete *et al.*, 1997 ; Ambe *et al.*, 1999 ; Tchuanyo *et al.*, 2000) n'ont été trouvées que pour le Cameroun et la république

Démocratique du Congo (RDC), et font défaut pour les pays voisins d'Afrique centrale. Les cochenilles de la famille des Stictococcidae ne sont présentes qu'en Afrique entre le 12° de latitude nord et le 20° de latitude sud (Richard, 1971). Ils ont été décrits pour la première fois par Richard (1971) à partir de spécimens collectés au Cameroun en 1969 et en République Centrafricaine (RCA) en 1970. Des enquêtes menées dans neuf pays englobant 13 régions autour du bassin du Congo ont montré la distribution des cochenilles (Doumtsop *et al.*, 2019). La cochenille africaine des racines et tubercules est présente au Cameroun (Tchuanyo *et al.*, 2000), en République Centrafricaine, en République démocratique du Congo (Lutete *et al.*, 1997 ; Lema *et al.*, 2000), au Congo, au Gabon (Bani *et al.*, 2003), en Ouganda et en Guinée équatoriale (Williams *et al.*, 2010).

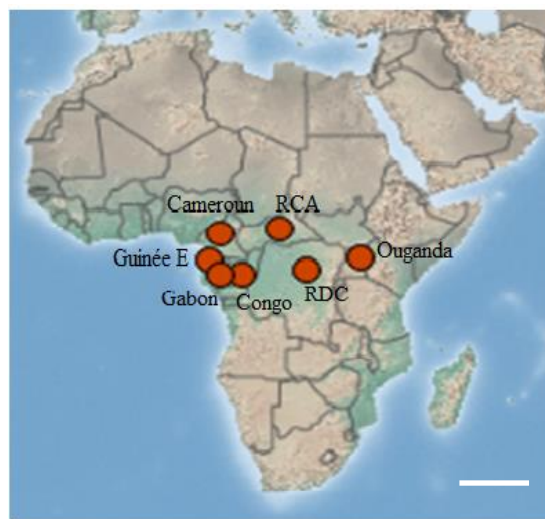


Fig. 4. Carte de distribution du genre *Stictococcus* en Afrique (Anonyme, 2017 modifié).

#### I.2.4. Description, moyens de mouvement et de dispersion

*Stictococcus vayssierei* (Hemiptera, Sternorrhyncha), comme tous les Hemiptère a une métamorphose incomplète. Ngeve (2003) a décrit les mâles comme rares et la femelle adulte la plus commune rouge foncé, circulaire et aplatie. En revanche, Tindo *et al.* (2006) ont décrit les femelles adultes vivantes comme étant généralement brunes, les premier et deuxième stades en violet-rouge. Les mâles qui sont très éphémères, ont des pièces buccales rudimentaires, ne s'alimentent pas et ont une durée de vie de 3 jours environ à des taux d'humidité relative de 75 ou 90 % (Doumtsop, 2006). Ces derniers ne sont utilisés que pour des études phylogéniques de niveaux supérieures car les mâles dans le genre *Stictococcus* sont presque uniformes et sont très minuscules (Richard, 1971). Les femelles ont un corps presque circulaire, aplati dorsalement. De 1,2 à 3,5 mm de long, 1 à 3,10 mm de large et membraneux au départ, il devient scléreux par la suite. Elles s'alimentent en suçant la sève des pousses, des

tiges et des racines souterraines de leurs plantes hôtes ; elles sont beaucoup plus grandes et vivent plus longtemps que les mâles. Les femelles sont souvent abondantes et voyantes, et sont responsables de tous les dégâts causés aux plantes hôtes. Les femelles possèdent un anus dorsal tandis que les mâles l'ont à l'extrémité postérieure du corps (Williams *et al.*, 2010).

Cinq stades de développement avec une métamorphose néométabolique sont observés chez les mâles et trois stades de développement chez les femelles qui présentent une métamorphose incomplète (Richard, 1971 ; Williams *et al.*, 2010). Le stade I ou larves I chez le mâle et la femelle, le stade II ou pupes chez le mâle et larve II ou nymphe chez la femelle et le stade III ou adulte chez les deux sexes (Doumtsop, 2006 ; Tindo *et al.*, 2006). Les stades I et II de la femelle sont de couleur rouge pourpre alors que l'adulte est de couleur marron. Les stades II et adulte produisent une sécrétion cireuse blanchâtre alors que le stade I ne l'émet pas. Les stades II et adulte demeurent accrochées à la bouture tandis que le stade I sont mobiles mais sur de petites distances (ne se déplace que sur les parties souterraines d'un même plant). Les larves nouvellement éclos bougent au-dessus des plantes pour localiser des positions d'alimentation appropriées. Les fourmis, en particulier *Anoplolepis tenella* Santschi, sont les principaux agents de transport et de dissémination de *S. vayssierei* dans le sud du Cameroun (Dejean & Matile-Ferrero, 1996 ; Fotso *et al.*, 2015).

### **I.2.5. Associations, exigences environnementales et climat**

*Stictococcus vayssierei* (Fig. 5) est souvent associé à diverses espèces de fourmis, dont la plus commune est *Anoplolepis tenella* Santschi, avec qui elle entretient une relation de type mutualiste (Fotso, 2011). En effet, toutes les cochenilles de la famille des *Stictococcidae* vivent en association de mutualisme avec les fourmis sans lesquelles elles ne peuvent vivre sinon elles se noieraient dans le miellat qu'elles sécrètent en abondance (Dejean & Matile-Ferrero, 1996). La fourmi se nourrit des sécrétions de *S. vayssierei* et l'empêche ainsi de se noyer dans ce miellat qu'elle produit. La cochenille quant à elle bénéficie du transport et de la dispersion de sa progéniture par cette fourmi (Fotso *et al.*, 2015). Les populations de *S. vayssierei* sur le terrain semblent être influencées par la saison (Tchuanyo *et al.*, 2000). Ngeve (2003) a signalé une infestation plus sévère de *S. vayssierei* sur le manioc pendant la saison sèche par rapport au sol humide d'une part et sur un sol plat que sur les crêtes d'autre part. Au Cameroun, *S. vayssierei* se limite au sud du pays, situé dans la zone semi-humide et à pluviométrie bimodale (Tchuanyo *et al.*, 2000 ; Doumtsop, 2006).

En général, les infestations sévères se produisent dans les champs à sols argileux et latéritiques, dans les champs à fertilité décroissante et dans les terres où la préparation du sol

est peu profonde, ou des plantations ont été réalisées sur le plat. *Stictococcus vayssierei* est rarement présent dans les exploitations forestières nouvellement ouvertes ou dans les parcelles de manioc non cultivées (Ngeve, 2003). Par contre, il est présent dans la forêt, la mosaïque forêt-savane et dans la savane où il n'avait jamais été signalé auparavant. La présence de *S. vayssierei* dans la savane était limité aux hautes terres humides de la savane et absent des savanes sèches (Doumtsop *et al.*, 2019). Le ravageur s'adapte mieux au climat de savane tropicale humide et sèche avec des précipitations inférieures à 60 mm en saison sèche et des précipitations annuelles inférieures à 100 mm.

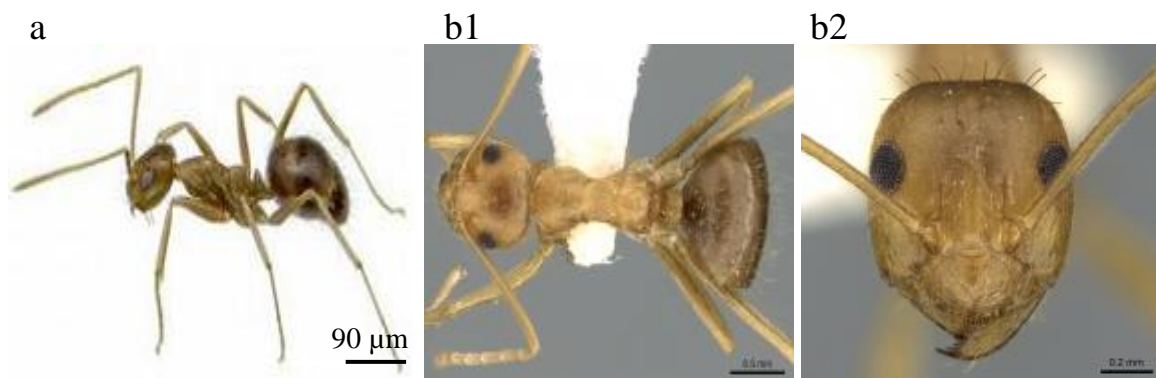


Fig. 5. *Anoplolepis tenella* Santchi (Fotso, 2011 ; Anonyme 2017).

#### I.2.6. Plantes d'hôtes de *Stictococcus vayssierei*

Les larves et adultes de *S. vayssierei* attaquent les jeunes racines nourricières sur les boutures en germination fraîchement semées, provoquant la défoliation, le flétrissement et la mort de la plantule. *Stictococcus vayssierei* se nourrit sur le système racinaire du manioc, ce qui affecte la formation des tubercules (Williams *et al.*, 2010) ; cependant, il existe des preuves suggérant une polyphagie ou l'implication de plus d'une espèce de plante hôte à *S. vayssierei* (Tindo *et al.*, 2006). Seize espèces (16) de plantes appartenant à 13 familles ont été identifiées comme hôtes de *S. vayssierei* dans le bassin du Congo et six nouvelles familles ont été identifiées (Tindo *et al.*, 2009), mais cela pourrait refléter l'implication de plusieurs espèces à ce jour non identifiées. Les espèces indigènes de *Dioscorea* spp. joueraient un rôle important dans le maintien des populations de *Stictococcus vayssierei* pendant les longues jachères et dans les forêts secondaires et primaires. Le manioc, une plante exotique de cette région, pourrait contribuer à la croissance de *S. vayssierei* dans les jachères de moins de 8 ans (Tindo *et al.*, 2009). De même, le macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L.) Schott, le taro (*Colocasia esculentus* (L.) Schott) et l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) sont les espèces végétales les plus infestées.

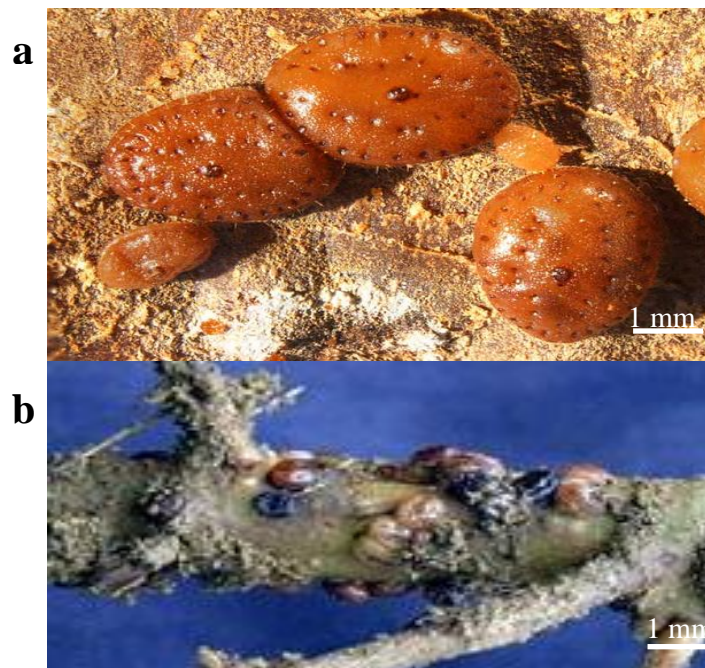


Fig. 6. *Stictococcus vayssierei* Richard ; a : Adultes ; b : Populations sur une bouture de manioc (Williams *et al.*, 2010 ; Fotso, 2011).

## **I.2.7. Biologie et écologie du ravageur**

### **I.2.7.1. Biologie de la reproduction**

Les femelles de la cochenille africaine des racines et tubercules sont enregistré comme étant ovovivipare (Richard, 1976 ; Ambe *et al.*, 1999). Ngeve (2003) rapporte que les œufs sont pondus dans des fils de cire sécrétés sous le corps, où ils sont protégés et éclosent en nymphes blanc crème de premier stade. *Stictococcus vayssierei* apparaît généralement en groupes ou en agrégations sur les parties souterraines des plantes hôtes (Ambe *et al.*, 1999).

### **I.2.7.2. Impact socioéconomique de *Stictococcus vayssierei***

Le manioc constitue une importante source de glucides pour plus de 800 millions de personnes sur les continents africain, américain et asiatique. Il est largement cultivé dans les régions tropicales et subtropicales du globe (Liu *et al.*, 2011). En effet, si on prend le seul cas de l'Afrique Centrale la production de manioc est compromise par les attaques de *Stictococcus vayssierei*, la protection de cette culture pourrait améliorer le niveau de la sécurité alimentaire tout en procurant des revenus aux agriculteurs. Les plants de manioc infestés produisent des racines de stockage petites et déformées, souvent recouvertes de cochenilles, et peu attrayantes pour les acheteurs. Une forte infestation empêché le remplissage des racines (Ngeve, 1995 ; Lutete *et al.*, 1997 ; Ambe *et al.*, 1999 ; Bani *et al.*,

2003). La cochenille Africaine des racinaires et tubercules est un ennemi redoutable à la production de manioc en Afrique Centrale causant des pertes de rendement allant de 60 à 100 % (Lema *et al.*, 2004 ; Ngeve, 2003).

## **I.2.8. Stratégies de contrôle des populations de *Stictococcus vayssierei***

### **I.2.8.1. Lutte culturale**

Quelques stratégies sont utilisées pour réduire les dégâts causés par *S. vayssierei* sur la croissance et le rendement du manioc. Ambe *et al.* (1999) dans une étude réalisée dans les régions du Centre et le Sud du Cameroun constate que des densités plus élevées de *S. vayssierei* étaient généralement enregistrées pendant la saison sèche. Il préconise la date des semis entre Avril et Mai comme une méthode de contrôle de ce ravageur et la plus appropriée pour la plantation de manioc. Ngeve (2003) lui, a proposé l'utilisation de buttes, de clones améliorés, ou de la monoculture sur des sites hautement infestés pour diminuer la sévérité et l'incidence de la cochenille racinaire. Tindo *et al.* (2009), travaillant dans le bassin du Congo, suggèrent que la destruction et l'élimination des plantes hôtes de *S. vayssierei* de la végétation non cultivé pourraient être une méthode de réduction des infestations du ravageur afin d'améliorer les rendements de manioc. Ndengo *et al.* (2016a) dans une étude réalisée dans différentes zone agro-écologique de Beni en République du Congo, constate que des densités plus faibles sont enregistrées en haute altitude qu'en altitude moyenne.

### **I.2.8.2. Lutte chimique**

Elle consiste à l'utilisation des substances chimiques actives appelées « insecticides ou pesticides » pour l'élimination pure et simple des ravageurs. Les boutures doivent être traitées avec ces pesticides (insecticides) avant la plantation (Ngeve, 2003) ou plantées avec des pesticides de sol afin de réduire la densité de population de la cochenille racinaire.

### **I.2.8.3. Lutte biologique**

Le développement de la résistance des insectes aux insecticides chimiques (Lefevre, 1985 ; Haubruge & Amichot, 1998), a incité à la recherche d'autres alternatives de lutte comme l'utilisation des ennemis naturels aux ravageurs et des biopesticides d'origines végétales. Ces derniers ont fait l'objet de plusieurs travaux.

Parmi les méthodes de lutte alternatives aux pesticides de synthèse, citons l'utilisation des médiateurs chimiques qui sont impliqués dans les relations intra et interspécifique



(Picimbon & Regnault-Roger, 2008), et l'utilisation des hormones, qui présentent une spécificité contre les formes immatures des insectes (Mohandas *et al.*, 2006).

D'après Gueye *et al.*, (2011), les différentes méthodes présentées comme alternatives aux pesticides présentent chacune des avantages, mais aussi quelques limites. C'est là tout le sens d'une gestion intégrée basée sur la combinaison de plusieurs procédés pour circonscrire l'activité des insectes redoutables.

### **I.3. Utilisation des plantes à effets pesticides dans la lutte contre les insectes ravageurs**

Les plantes à effets pesticides sont des plantes qui sont riches en molécules allélochimiques. Ces dernières sont des composés développés par les plantes au cours de l'évolution pour repousser les déprédateurs ou les empêcher de prélever leur substances alimentaires (substances répulsives, irritantes), de donner un goût désagréable à la prise alimentaire et de perturber le système digestif (composés anti-appétant) ou neurologique (Yarou *et al.*, 2017). Les molécules allélochimiques végétales sont en grande majorité des sous produits du métabolisme (métabolites secondaires) des plantes (réactions chimiques aux cours desquelles les molécules se transforment et donnent des sous-produits ne servant pas à la croissance de la plante). Elles appartiennent majoritairement à 3 grandes familles chimiques :

- les composés phénoliques, par exemple les acides phénoliques, les coumarines, les lignanes, les flavonoïdes, les tannins etc.
- les terpènes, par exemples les substances volatiles des plantes, les glycosides, les caroténoïdes, les stérols etc.
- les composés azotés tels que les alcaloïdes, glucosinolates etc.

Les plantes pesticides peuvent être utilisées sous forme d'extraits de plantes en protection foliaire (Mochiah *et al.*, 2011 ; Mondédji *et al.*, 2014) ou en association avec d'autres cultures (Asare-Bediako *et al.*, 2010 ; Baidoo *et al.*, 2012). Des huiles essentielles (liquide concentré de composés organiques volatiles de plantes) ou des plantes entières sont également utilisées dans les greniers de denrées stockées (Anjarwalla *et al.*, 2016). Divers organes des plantes pesticides sont utilisés pour la préparation des extraits. Ces derniers peuvent être des extraits aqueux ou organiques, des huiles ou des huiles essentielles obtenues le plus souvent par hydrodistillation. Selon Boulogne (2011), 116 molécules ont été répertorié comme présentant une activité insecticide. Le pourcentage des types de molécules responsables de l'activité insecticide trouvées dans la littérature est présenté par la figure 7.

L'auteur indique que les trois types de molécules les plus souvent responsables de l'activité insecticide sont respectivement les terpénoïdes, les alcaloïdes et les composés phénoliques.

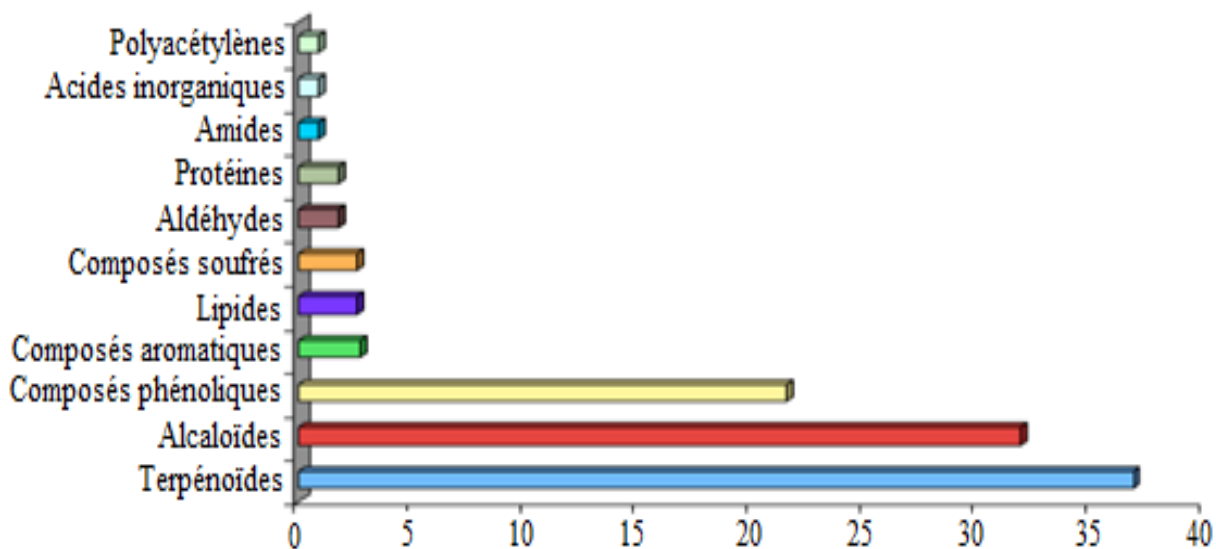


Fig. 7. Types de composés secondaires responsables de l'activité insecticide (en %) (Boulogne, 2011).

### I.3.1. Taxonomie et description botanique de *Thevetia peruviana*

Le laurier jaune (Fig. 8) *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. est un arbuste décoratif de la famille des Apocynacées et généralement connu sous le nom de « Laurier jaune » (Tabrez *et al.*, 2017). Il est originaire d'Amérique Centrale. C'est une plante à écorce grisâtre, à port ramifié et dressé en forme de buisson. Haut de 2 à 8 m, c'est une plante à croissance rapide et au feuillage persistant. Sur des tiges contenant une sève laiteuse toxique, les feuilles sont brillantes sur le dessus, à revers terne, coriaces, sessiles, longues (13-15 cm), étroites, lancéolées, pointues, à nervure centrale marquée et à court pétiole (Zibbu & Batra, 2011). Les fleurs sont de couleur jaune orangé, parfumées, mellifères, hermaphrodites, en cimes terminales (4-6 cm). La corolle en entonnoir, est spiralée, évasée à 5 pétales et à bord légèrement ondulé. Les fruits sont des drupes vertes triangulaires (3 x 2 cm), qui à maturité sont de couleur marron (Kengne, 1984). Le péricarpe est ligneux et composé de deux carpelles séparés par une cloison ligneuse ailée, contenant chacun deux graines aplaties, ovoïdes logées dans des alvéoles. Il a une croissance rapide se multiplie par bouturage. Il préfère les sols fertiles, acides, neutres, ou alcalins. Toutes les parties de la plantes contiennent un latex blanc visible lorsqu'on blesse le fruit ou l'extrémité des tiges et se dessèche rapidement, il renferme un principe toxique (Berthaut, 1971). Les principales toxines sont : la thévétine A, thévétine B, la péruvoside. Les graines du laurier jaune sont riches en huiles 35,5 à 41 et même 57 % (Boulay, 1985 ; Atteh *et al.*, 1990 ; Oderinde & Oladimeji, 1990 ; Ibiyemi *et al.*, 2002). Cette huile serait incolore de saveur agréable et riche en protéine (35

%) (Ibiyemi *et al.*, 2002). Il est particulièrement connu pour sa capacité à produire des glycosides cardiotoxiques tels que la nerrifoline et la peruvosidéthévétine A, thévétine B. D'autres glycosides également ont été isolés de *T. peruviana* comme la theveside, la thevetoxide, la nerrifoline, la cerberine, perusitine, le bornecitol (Zibbu & Batra, 2011).



Fig. 8. Plante du laurier jaune.

### **I.3.1.1. Quelques propriétés de *Thevetia peruviana***

#### **I.3.1.1.1. Propriétés fongicides**

Les extraits des différents organes de *T. peruviana* sont utilisés dans la lutte contre les champignons d'une part, et d'autres parts dans la détermination des composés actifs contre les différents microorganismes. Kurucheve (1997) et Gata-Gonçalves *et al.* (2003) ont ainsi démontré l'efficacité des graines du laurier jaune contre *Rhizoctonia* et *Cladosporium cucumerinum*. L'effet fongicide a été montré sur la cercosporiose de l'arachide à l'aide des extraits méthanoliques des graines de *T. peruviana* (Ambang *et al.*, 2011).

#### **I.3.1.1.2. Propriétés bactéricides**

Saxena & Jain (1990), Obasi & Igboechi (1991) ont démontré l'efficacité de l'huile des graines du laurier jaune comme un potentiel agent antibactérien.

#### **I.3.1.1.3. Propriétés rodenticides**

Dans une étude comparative des extraits de feuilles, d'écorces et de graines, Ojio & Okafor (2000) ont montré l'efficacité des différentes parties du laurier jaune sur les rongeurs. La protection des plantations de cacaoyer est assurée dans certaines de nos régions par les graines du laurier jaune qui sont utilisées pour tuer les rongeurs venant dévaster ces cacaoyers (Dounias, 1995).

#### **I.3.1.1.4. Propriétés médicinales**

Les graines, les feuilles, les fruits et les racines sont couramment utilisés en médecine traditionnelle comme purgatif contre l'hydropisie et le rhumatisme. Elles sont aussi utilisées au même titre que l'écorce pour le traitement des fièvres intermittentes (Gata-Gonçalves *et al.*, 2003). Le latex mélangé à l'huile de cotonnier est recommandé contre la gale, la lèpre et psoriasis (Berhaut, 1971).

Tewtrakul *et al.* (2002) ont isolé des feuilles de *T. peruviana* des flavones et des flavonoïdes gluconiques et qui auraient des propriétés inhibitrices contre la transcriptase reverse et l'intégrase du virus du sida.

#### **I.3.1.1.5. Propriétés insecticides**

La plante du laurier jaune contient un latex blanc laiteux toxique (Berhaut, 1971). Les flavonoïdes contenus dans ce latex sont à la fois responsables de sa couleur et de sa toxicité. Des noyaux broyés et mis à tremper dans de l'eau froide constitueraient un bon insecticide en additionnant à cette solution une quantité de détergent égale au poids des noyaux utilisés le dosage est d'autant plus important que le squelette des insectes à détruire est dur (Berhaut, 1971 ; Chougourou *et al.*, 2012). D'autres études ont permis de montrer que des substances extraites du feuillage (aucubine) auraient des propriétés insecticides efficaces sur la mouche domestique (Reed *et al.*, 1982).

### **I.4. Résistance variétale**

La résistance variétale est l'aptitude d'un cultivar à se développer et donner une production économiquement acceptable, malgré la pression des ravageurs. Selon Painter (1951), la résistance variétale est la capacité relative, propre à la plante, de limiter les dommages créés par l'insecte. La lutte contre les ennemis des cultures passe par des mesures préventives, et notamment par un choix de variétés présentant des résistances à un large panel de maladies et ravageurs. Trois catégories qui sous-tendent le concept de résistance ont été proposées par Painter (1951).

La non-préférence ou non-acceptation, qui fait référence au choix de l'insecte de ne pas s'alimenter, de déposer ses œufs ou de s'abriter sur un végétal en absence des qualités attractives émises par ce dernier. La non-acceptation qui remplace le terme non-préférence suggère que pendant les phases d'orientation et de colonisation, un insecte en situation de choix ou non n'accepte pas une plante pour son alimentation. Par ailleurs, Kogan & Ortman

(1978) emploie le terme antixénose pour caractériser des facteurs propres à la plante et défavorables à la colonisation de la plante par l'insecte ravageur.

L'antibiose, fait référence aux facteurs, internes à la plante, qui réduisent le développement, la croissance, la reproduction ou provoquent la mortalité de l'insecte (Calatayud, 1993). De même, c'est l'effet adverse qu'exercent les substances contenues dans une plante résistante à certains aspects de la biologie de l'insecte ravageur telle la prise de nourriture, la survie, le développement et la reproduction.

La tolérance quant à elle, confère à la plante la capacité de supporter des populations d'insectes qui affaibliraient les variétés susceptibles. Dans le cas de la tolérance, les plantes peuvent se développer, en présentant des dégâts non dommageables pour la physiologie du végétal, en dépit du niveau de population du ravageur qui provoqueraient des dommages importants sur d'autres plantes.

## **I.5. Mécanisme de défense des plantes**

Une plante est soumise à divers stress biotiques ou abiotiques dans son environnement, mais elle peut se protéger contre des bioagresseurs potentiels malgré un « système immunitaire » peu évolué (Kot *et al.*, 2015).

### **I.5.1. Mécanisme généraux**

#### **I.5.1.1. Défense passive**

Les plantes, au cours de leur évolution, ont mis en place des barrières protectrices contre les bioagresseurs : cuticule, paroi pectocellulosique. Ces barrières mécaniques leur confèrent une résistance constitutive, notamment face aux agents pathogènes (Kauffmann, 2001). Mais si ceux-ci réussissent à les franchir, ils ont affaire aux mécanismes de défense active.

#### **I.5.1.2. Défense active**

Les mécanismes de défense active peuvent débiter par la réaction d'hypersensibilité (HR) qui est un type de défense naturelle globale. La réaction HR est une réaction spécifique basée sur le concept gène pour gène de Flor, dans laquelle le produit du gène de virulence du pathogène est reconnu par le produit du gène de résistance de la plante (Klarzynski & Fritig, 2001). Cette réaction intense et violente se manifeste par la mort de la cellule hôte qui, avant de s'autodétruire, aura émis des signaux d'alerte vers les cellules voisines pour créer une zone de résistance locale acquise (LAR). Il s'ensuit la synthèse de molécules de défense

antimicrobienne à action directe ou indirecte. Ces premières lignes de défense sont très efficaces pour confiner le pathogène et retarder son invasion dans l'organisme. La propagation des signaux et la synthèse des molécules de défense peuvent se généraliser à la plante entière : il s'agit de la résistance systémique acquise (RAS). Ce type de résistance est certes moins intense mais plus durable : la plante est préparée contre une nouvelle attaque du pathogène ou du ravageur et pourra y répondre plus rapidement (Kauffmann, 2001).

### **I.5.2. Réactions de défense du manioc aux attaques des cochenilles**

Chez les plantes supérieures, beaucoup de stratégies (biophysiques, biochimiques et écologiques) sont élaborées pour la défense contre les insectes phytophages. La stratégie biochimique est la plus efficace et la plus rencontrée chez les végétaux (Bell, 1974 ; Schoonhoven *et al.*, 2005).

Des stratégies à la fois biophysiques et biochimiques de défense face à l'attaque des cochenilles ont été mises en évidence chez le manioc pour réagir à l'attaque des cochenilles. La première réaction, très rapide et commune à beaucoup d'espèces végétales (voire à toutes), est l'apposition de callose (polymère de  $\beta$  [1,3]-D-glucopyranose) au point contact des stylets de cochenille. Cette réaction constitue une sorte de cicatrisation, principalement au niveau des vaisseaux du phloème. Elle gênerait l'alimentation soutenue de l'insecte phloémophage. De plus, les analyses des substances secondaires présentes dans les liquides intercellulaires de feuilles ont montré que les acides phénoliques influenceraient significativement les mécanismes de fixation de la cochenille sur la plante. En effet, ces acides phénoliques constitutifs de la paroi végétale, précurseurs de synthèse de lignines, de cutines/subérines ou de composés couplés aux pectines pourraient constituer des facteurs majeurs d'interaction avec les enzymes salivaires de cochenille. Les flavonoïdes ne semblent pas intervenir lors de cette phase précoce. La présence de composés cyanés constitue une des caractéristiques biochimiques du manioc. Ces composés sont présents dans les feuilles, les tiges et les tubercules et circulent dans la sève phloémienne et jouent un rôle dans la défense de la plante contre les agressions des pathogènes et des ravageurs.

Dans les tissus de la plante, le groupement -CN est lié au D-glucose sous forme de glucosides cyanogéniques (Conn, 1980) : principalement la linamarine (Butler *et al.*, 1965). Lors d'une destruction, les tissus de manioc ont la propriété d'émettre de l'acide cyanhydrique (HCN). Cette propriété, appelée cyanogénèse, résulte notamment de l'action d'une enzyme endogène,  $\beta$ -glucosidasiqye : la linamarase (Conn, 1980). La cyanogénèse, processus

biochimique permettant l'apparition d'une molécule toxique, constitue en quelque sorte, un système de protection pour la plante vis-à-vis de l'attaque des ravageurs.

### I.5.2.1. Production des substances cyanogènes chez le manioc

Les substances cyanogènes sont des substances naturelles capables de libérer l'acide cyanhydrique (HCN) sous certaines conditions. La majorité des glycosides cyanogènes sont des  $\beta$ -glucosides. Parmi les 2000 espèces végétales cyanogénétiques recensées, le manioc, comme le sorgho, l'amandier amer, le haricot, la patate douce, la laitue et le pois, sont capables de synthétiser les substances cyanogènes dans ses tissus. Chez le manioc on rencontre deux principales glucosides cyanogènes (Fig. 9) ; la linamarine et la lotaustraline avec un ratio (linamarine/lotaustraline) variant de 93/7 et 97/3 (Bourdoux *et al.*, 1980).

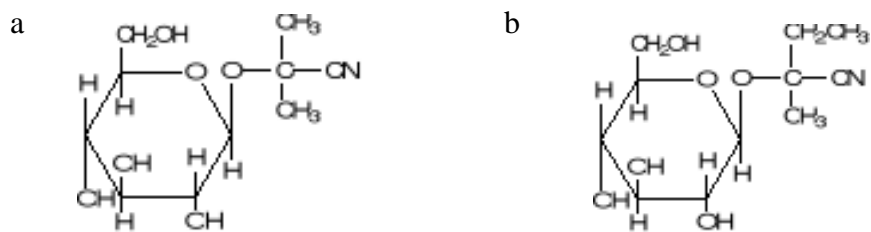


Fig. 9. Structure chimique des glucosides cyanogènes ; a : Linamarine ; b : Lotaustraline.

#### I.5.2.1.1. Biosynthèse, transport et dégradation des glucosides cyanogènes

La linamarine principale glucoside cyanogène du manioc est synthétisée dans les jeunes feuilles et les pétioles, s'accumule par la suite dans les vacuoles et les cellules foliaires avant d'être transportée ultérieurement dans les autres parties de la plantes, les racines en occurrence (Rakipov, 1987).

Le transport des glucosides cyanogènes peut se faire soit par la voie apoplastique, soit par la voie symplastique. Le transport par la voie apoplastique nécessiterait au préalable une conversion de la linamarine en glucoside non hydrolysable à cause de la présence dans les parois cellulaires des enzymes d'hydrolyse telles que la beta-glucosidase et la linamarase. La linamarase sera transportée dans le phloème par la voie apoplastique, sans subir de dommage, sous forme de linustatine (diglucoside). Arrivé dans les cellules de stockage des racines, ce diglucoside sera hydrolysé par des diglucosidases pour régénérer la linamarine qui va ensuite être stockée dans les vacuoles des cellules de réserve (McMahon & Sayre, 1994).

L'hydrolyse des glucosides cyanogènes donne lieu à la libération de l'acide cyanhydrique, suite à deux phases de réaction. La première réaction passe par la désintégration des parois cellulaires en vue de libérer les enzymes d'hydrolyse appelées

linamarases. L'acide cyanhydrique ainsi libéré ne dure pas longtemps, il se dissout facilement dans l'eau, s'évapore dans l'air ou réagit avec des hydrures de carbone pour former des sucres non réducteurs et inhydrolysables (très souvent le glucose) et une fraction non glucidique ou aglycone (Bourdoux *et al.*, 1980). La libération d'acide cyanhydrique (HCN) suite à l'hydrolyse des glucosides cyanogéniques (porteur de groupe -CN) est la cause de la toxicité des tissus de manioc. Cet acide étant volatile et fortement soluble dans l'eau s'échappe pendant la transformation.

#### **I.5.2.1.2. Variation des teneurs des glucosides cyanogènes dans les tissus de la plante**

Chez le manioc on trouve les glucosides cyanogènes à des teneurs variables dans les feuilles, les tiges et les tubercules. Dans les feuilles matures, la teneur de la linamarine reste constante durant la phase active de croissance mais chute pendant les périodes de sécheresse. Dans les racines, le stockages des glucosides cyanogènes commence très tôt dès le premier mois et atteint le maximum autour du troisième mois après plantation. La différence de teneur en glucosides cyanogènes dans les racines peut être rattachée à l'âge, ou à la différence de la vitesse de synthèse et de transport de la linamarine dans les feuilles et les pétioles de ces plantes. Il a été démontré que la vitesse de synthèse de la linamarine est plus importante chez les variétés amères que chez les variétés douces, il en est de même du transport à partir des feuilles.

La distribution de la linamarine varie aussi selon les différentes phases de croissance de la plante. Pendant la phase de croissance active des tubercules on note une baisse des glucosides cyanogéniques, pour atteindre le niveau minimal à la maturité, lorsque l'accumulation de la matière sèche est maximale. Par ailleurs, les conditions environnementales peuvent modifier la teneur en substances cyanogènes. Ainsi pendant la période de sécheresse, il y'a une augmentation de la teneur de glucosides cyanogènes dans les tubercules. Celle-ci serait associée à une accélération de la sénescence des feuilles suivie de leur chute, entraînant une probable augmentation de la translocation vers les racines (McMahon & Sayre, 1994).

En fonction de la teneur des substances cyanogènes dans les racines, on classe les variétés de manioc en « variétés amères », « variétés intermédiaires » et « variétés douces ». Les « variétés douces » sont celles dont les teneurs sont inférieures à 50 mg.kg<sup>-1</sup> de matière fraîche ; les « variétés intermédiaires » celles dont les teneurs varient de 50 à 100 mg.kg<sup>-1</sup> de matière fraîche ; et enfin les « variétés amères » celles dont les teneurs sont supérieures à 100



mg.kg<sup>-1</sup> de matière fraîche. Les teneurs de substances cyanogènes chez les variétés amères peuvent atteindre 1500 mg.kg<sup>-1</sup> de matière fraîche (Bourdoux *et al.*, 1980).

### **I.5.2.1.3. Rôles possibles des substances cyanogènes dans la plante**

Plusieurs hypothèses sont émises pour justifier la présence des substances cyanogènes dans les plantes. Certains disent que ces substances sont des formes d'accumulation des produits du catabolisme des acides aminés. Le plus souvent l'augmentation de la teneur des substances cyanogènes est accompagnée d'une augmentation du métabolisme de l'azote. Ces substances constitueraient de ce fait des sources d'approvisionnement en carbone et en azote et pourraient être une alternative au cycle de l'azote (Bourdoux *et al.*, 1980).

D'autres suggèrent que ces substances protègent la plante contre les agressions des ravageurs et des pathogènes (Belloti *et al.*, 1994 ; Ambang *et al.*, 2009). Les substances cyanogènes constitueraient de ce fait un atout supplémentaire dans les mécanismes de défense des plantes.

### **I.5.2.2. Composés phénoliques et enzymes oxydatives**

#### **I.5.2.2.1. Composés phénoliques**

Les polyphénols encore appelés composés phénoliques, sont des molécules appartenant au métabolisme secondaire du règne végétal (Huang & Sumpio, 2008 ; Japon-Lujan *et al.*, 2008) ; ils sont présents dans toutes les parties de la plante, de la racine jusqu'aux fruits. La survie de la plante n'est pas dépendante de la présence de ces molécules, mais leur fonction majeure est dans l'interaction de la plante avec son environnement en jouant soit le rôle des signaux de reconnaissance entre les plantes (Allélopathie), entre les plantes et les symbioses, ou bien lui permettant de résister aux diverses agressions vis-à-vis des organismes pathogènes (Keys & Keys, 1975 ; El-Modafar *et al.*, 2008). Ils participent de manière très efficace à la tolérance des végétaux à des stress variés, donc ces composés jouent un rôle essentiel dans l'équilibre de l'adaptation de la plante au sein de son milieu naturel. Le terme phénol regroupe approximativement 10000 molécules naturelles identifiées (Gerber, 1994 ; Keys *et al.*, 1981). La structure fondamentale qui les caractérise est la présence d'un ou de plusieurs cycles benzéniques, auquel est directement lié au moins un groupe Hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction éther, ester ou hétéroside (Lesage-Meessen *et al.*, 2001 ; Macheix *et al.*, 2005 ; Bouaziz *et al.*, 2008).

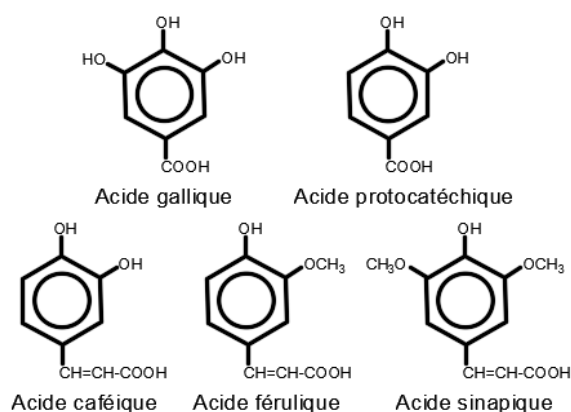


Fig. 10. Acides phénoliques (Léger, 2006).

#### I.5.2.2.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes désignent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Zoughlache, 2008). Ce sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone (Fig. 11), constitués de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyrane, formant une structure C6-C3-C6 (De Souza *et al.*, 2004). Ces molécules sont considérées comme des pigments quasiment universels des végétaux ; ils sont responsables de la pigmentation des fleurs. Ils interviennent dans les processus de défense contre le rayonnement UV, les herbivores et les attaques microbiennes (Korkina & Afanas'eva, 1997). Les flavonoïdes montrent des propriétés intéressantes dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec les diverses hormones végétales de croissance. Certains d'entre eux jouent également un rôle de phytoalexines, c'est-à-dire de métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries. D'autres activités, thérapeutiques, ont été décrites dans la littérature pour les flavonoïdes. Elles seraient la conséquence des propriétés antioxydantes, d'inhibition d'enzyme et décomplexations des métaux. Ils protègent également les plantes contre les attaques des bactéries, les champignons et les insectes. La classe des flavonoïdes comporte à elle seule plus de 4000 substances qui ont été isolées et identifiées à partir des milliers de plantes (Zoughlache, 2008), elles sont divisées en plusieurs catégories dont les principales sont les flavones, les flavonols, les flavan-3-ols, les isoflavones, les flavanones et les anthocyanidines. La structure de base de ces différents flavonoïdes peut subir de nombreuses substitutions, les groupements hydroxyles étant généralement en positions 4, 5 et 7. Ces substances existent généralement sous formes de glycosides (Afanas'eva *et al.*, 2001).

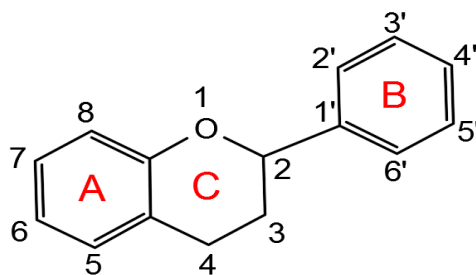


Fig. 11. Squelette de base des flavonoïdes (Afanas'eva *et al.*, 2001).

### I.5.2.2.3. Protéines

Les protéines sont des macromolécules biologiques présentes dans toutes les cellules vivantes. Elles sont formées d'une ou de plusieurs chaînes polypeptidiques. Chacune de ces chaînes est constituée de l'enchaînement de résidus d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques. Ceux-ci sont apportés par l'alimentation, et peuvent être d'origine animale (viande, poisson, œufs) ou végétale (fruits, légumes, céréales).

Bien que la plupart des protéines intracellulaires soient produites dans le cytoplasme et que la plupart des protéines membranaires ou sécrétées dans le milieu extracellulaire sont produites dans le réticulum endoplasmique, il est rare qu'on comprenne précisément comment les protéines ciblent spécifiquement certaines structures cellulaires ou certains organites. Le génie génétique offre des outils utiles pour se faire une idée de la localisation de certaines protéines.

Les protéines assurent une multitude de fonctions au sein de la cellule vivante et dans les tissus. Ce sont des protéines enzymatiques qui catalysent les réactions chimiques de synthèse et de dégradation nécessaires au métabolisme de la cellule. D'autres protéines assurent un rôle structurel au sein du cytosquelette ou des tissus, certaines sont des moteurs moléculaires qui permettent la mobilité, d'autres sont impliquées dans le conditionnement de l'ADN, la régulation de l'expression génétique ou encore la transmission des signaux cellulaires. Les protéines sont régulièrement renouvelées et la dégradation des protéines est appelée protéolyse ou hydrolyse. C'est en partie pour remplacer les protéines dégradées que nous avons besoin d'ingérer des aliments tous les jours (Gregory *et al.*, 1984).

### I.5.2.2.4. Catalase

La catalase est une hydroperoxydase peroxisomique qui dégrade  $H_2O_2$  en  $H_2O$  et  $O_2$ . Elle joue un rôle important dans la protection de la cellule contre les dommages oxydatifs par des espèces réactives de l'oxygène (ROS) et possède l'un des nombreux les plus élevés de turnover de toutes les enzymes ; une molécule de catalase peut convertir des millions de

molécules de peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène chaque seconde. Des contraintes environnementales telles que la salinité, les chocs thermiques ou le froid, réduisent le taux de renouvellement des protéines, provoquent une baisse de l'activité catalase (Boguszewska *et al.*, 2010). Les catalases sont impliquées dans les mécanismes de défense des plantes en réponse aux stress biotique et abiotique, à travers leur participation au renforcement de la paroi cellulaire (Blilou *et al.*, 2000).

#### **I.5.2.2.5. Phenylalanine ammonia-lyase**

La PAL est une enzyme dont l'activité varie avec l'état physiologique de la plante. Elle est la première enzyme engagée dans la voie du phénylpropanoïde. Elle catalyse une réaction transformant la L-phénylalanine en ammoniaque et en acide trans-cinnamique, et participe donc à la biosynthèse des composés polyphénoliques tels que les flavonoïdes, les phénylpropanoïdes, la lignine (Fritz *et al.*, 1976), et l'acide salicylique dans les plantes (Nugroho *et al.*, 2002). C'est une voie métabolique secondaire qui est active dans les plantes supérieures et certains autres organismes qui sont principalement impliqués dans les mécanismes de défense (MacDonald & Cunha, 2007). L'activité de la PAL est induite de manière spectaculaire en réponse à divers stimuli tels que la blessure des tissus, l'attaque pathogène (fongique) ou élicitation des plantes, la lumière, les basses températures et les hormones (Gümez-Vásquez *et al.*, 2004). L'induction de ces mécanismes de défense est précoce et intense chez les cultivars résistants alors qu'elle est tardive et faible chez les cultivars sensibles.

**CHAPITRE II. MATERIEL ET  
METHODES**

## II.1. Matériel

### II.1.1. Présentation des sites d'étude

Les expérimentations ont été réalisées en champs et en laboratoires. Les travaux de laboratoires ont été conduits à l'Université de Yaoundé I (Yaoundé). Le Laboratoire de Biotechnologies Végétales et Environnement, le Laboratoire de Chimie Organique et le Laboratoire de Phytobiochimie et Etude des Plantes Médicinales ont permis de réaliser les différents tests.

Les essais en champs ont été conduits dans la localité d'Akonolinga située dans la région du Centre, chef-lieu du Département du Nyong et Mfoumou (à 110 km de Yaoundé). Elle est limitée au Nord par les communes de Lembé, Yezoum et Ayos, au Sud par les communes d'Endom et de Bengbis, à l'Est par la commune de Messamena et à l'Ouest par la commune de Mengang. Cette localité appartient à la zone agro-écologique V du Cameroun (zone forestière à pluviométrie bimodale). Les coordonnées géographiques du site relevées à l'aide d'un GPS (Garmin modèle Etrex Legend HCX) sont : N 03°48.136' et E 012°15.518', pour une altitude moyenne de 671 m (précision de  $\pm 3$  m) (Fig. 12). Le choix de ce site d'étude a été motivé par la présence naturelle de la cochenille africaine des racines et tubercules (CART) du manioc dans les jachères sur précédent culturales manioc-arachide-macabo-plantain, la présence des fourmis *Anoplolepis tenella*, qui sont associés aux CART dans ces jachères et par la présence d'une famille d'accueil.

Le climat d'Akonolinga est un climat sub-équatorial de type congo-guinéen, avec deux saisons sèches alternant avec deux saisons de pluies. La pluviométrie moyenne est de 1633 mm/an répartie en une petite saison de pluie (mars-juin) et une grande saison de pluie (septembre-novembre). La température moyenne annuelle est relativement constante (de l'ordre de 23 à 27 °C). La moyenne annuelle de l'humidité relative est d'environ 80 %.

Le sol appartient au groupe de sols ferrallitiques de roches acides, latéritiques, limono-sableux et marécageux. Il est caractérisé par des affleurements de l'horizon induré sous forme de dalles ou de gravillons qui stérilisent d'importantes superficies de terre (Moudingo, 2007).

Le site est situé dans le bassin moyen du fleuve Nyong et Mfoumou. Les principaux cours d'eaux sont : la Longo, Ebolba'a, Wombo, Yanga, Yang, So'o, Lala et Bakou.

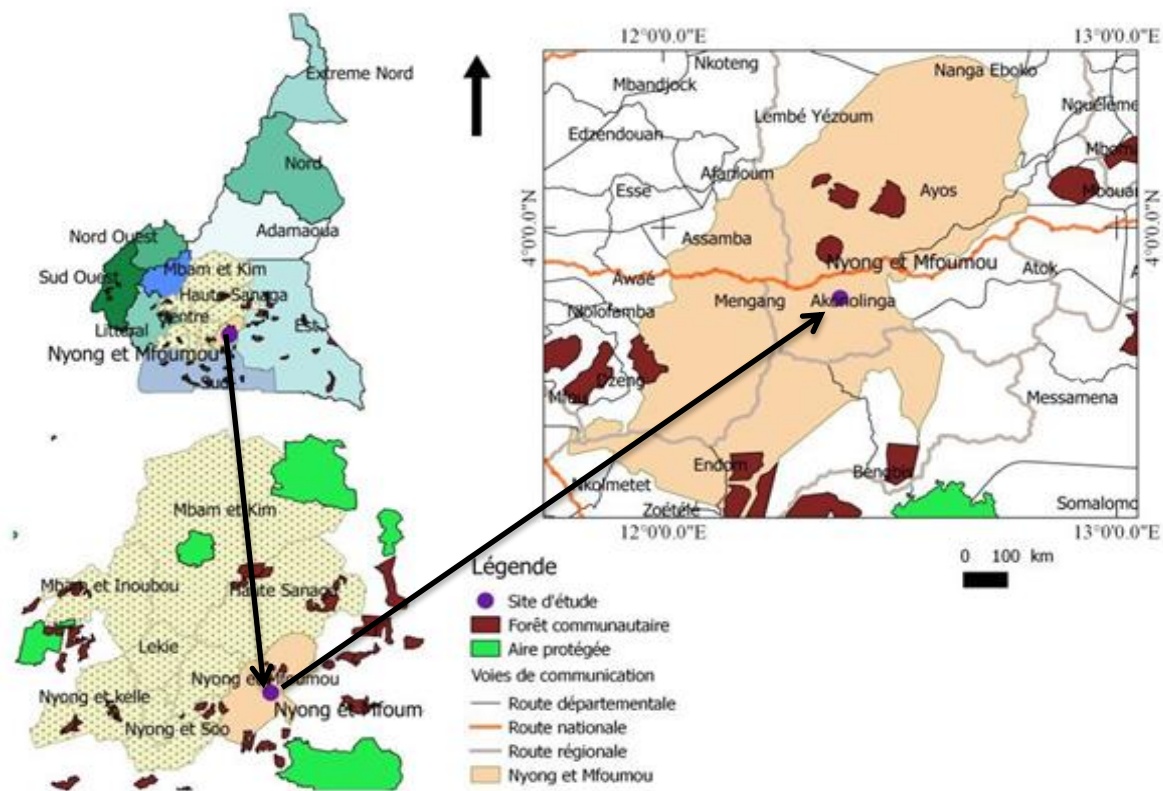


Fig. 12. Situation géographique de la zone d'étude.

### II.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été constitué des boutures de manioc (Fig. 13), des amandes des noyaux de *T. peruviana* (Fig. 14). Les boutures (30 cm environ) de manioc utilisées dans l'expérimentation appartiennent à six variétés de manioc choisies sur la base de leur performance agronomique ; dont quatre améliorées en termes de résistance aux maladies virales en diffusion dans les zones agroécologiques du Cameroun (variétés améliorées TMS 96/0023, TMS 92/0057, 8034 et Excel) toutes tolérantes à la mosaïque du manioc et deux variétés locales (Miboutou, Douma) sensibles à la mosaïque. Les portions des boutures issues de la tige mère utilisées pour les expérimentations n'ont pas été désinfectées et aucune nymphe ou adulte des CART n'ont été présente. Les variétés améliorées sont obtenues à l'Institut International de l'Agriculture Tropical (variété TMS 96/0023 et TMS 92/0057) et l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (Excel et 8034) ; les variétés locales ont été obtenues auprès des villageois de la localité d'Akonolinga. Les caractéristiques des quatre variétés sont données dans le tableau II. Les graines de *T. peruviana* collectées aux pieds des arbres dans la ville de Yaoundé et de Bafoussam où les arbres de cette plante forment des barrières autour des maisons d'habitation ont été également utilisées.

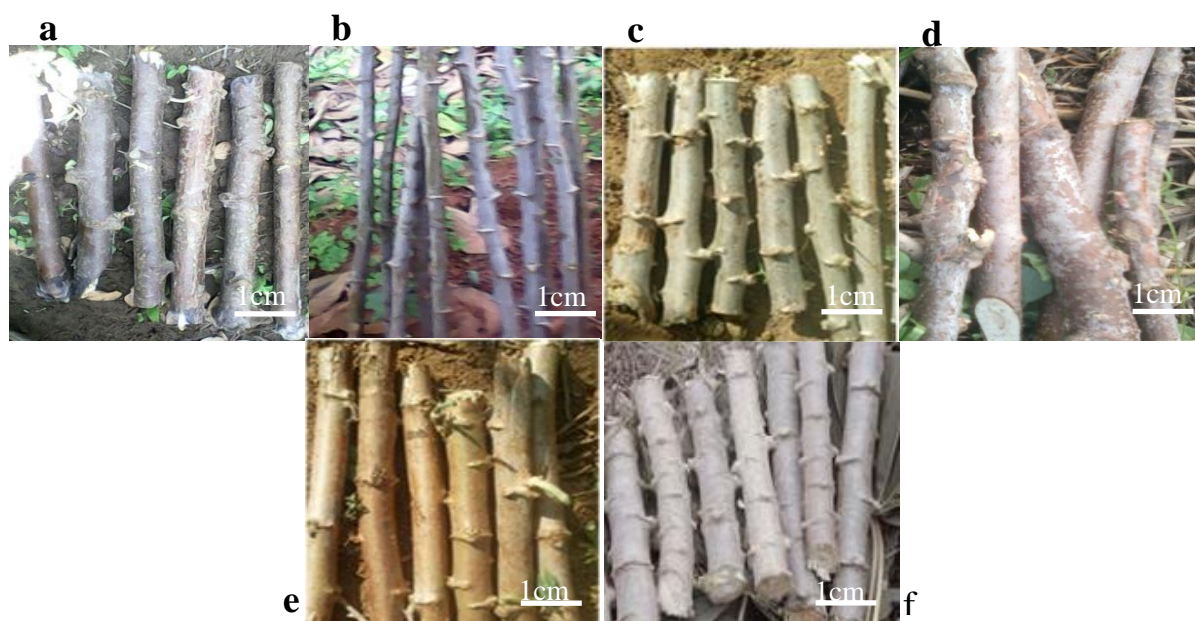


Fig. 13. Bouture des variétés de manioc ; a : variété 96/0023 ; b : variété Excel ; c : 92/0057 ; d : variété 8034 ; e : variété locale Miboutou ; f : variété locale Douma



Fig. 14. Plante et graines de *Thevetia peruviana* ; a : arbre ; b : graines ; c : amandes.

Tableau II. Caractéristiques des variétés de manioc utilisées (Anonyme, 2000 et 2008)

Variétés Noms et/ou code	Couleur cortex	Maturité	Profil phytosanitaire	Rdt (t/Ha)	Origine
TMS 96/0023 (Abeng-Ngon)	Blanche	12 mois	Résistance à : mosaïque, Anthracnose tolérance à l'acarien vert	18-27	IITA- Nkolbison
Excel	Marron	12 mois	Résistance à : mosaïque, Anthracnose tolérance à l'acarien vert	25-30	IRAD-Ekona
TMS 92/0057 (Ayengye-Sahti)	Rouge	12 mois	Résistance à : mosaïque, Anthracnose tolérance à l'acarien vert	21-30	IITA- Nkolbison
8034	Blanche	12 mois	Résistance à : mosaïque, Anthracnose tolérance à l'acarien vert	18-27	IRAD-Ekona
Miboutou	Blanche	12 mois	Sensible à la mosaïque	nd	Locale
Douma	Rouge	12 mois	Sensible à la mosaïque	nd	Locale

nd : non déterminé



### **II.1.3. Matériel animal**

L'expérimentation a été réalisée d'une part sur des individus de *Stictococcus vayssierei* et d'autre part sur des fourmis *Anoplolepis tenella* récoltés aux pieds des plants de manioc dans le champ expérimental. Le choix des individus de *A. tenella* se justifie par son association de type mutualisme décrite entre cette fourmi et la cochenille qui cause d'importants dégâts sur la quantité et la qualité des racines tubéreuses de manioc.

### **II.1.4. Matériel chimique**

Le matériel chimique a été constitué d'un insecticide. Le BASTION SUPER de matière active l'Oxamyl 5 % largement commercialisé dans les magasins spécialisés à Yaoundé. Il est d'aspect granuleux et de couleur violette. Les solvants d'extraction utilisés ont été constitués du méthanol et de l'acétone, l'éthanol. Les réactifs et les standards utilisés sont le folin-ciocalteau, l'acide gallique, chloridrique et ascorbique, la catéchine, chlorure ferrique, hydroxide de sodium, Agar, formaldéhyde, le bicarbonate de sodium, l'acétate d'éthyle, l'eau distillée.

## **II.2. Méthodes**

### **II.2.1. Préparation des extraits aqueux et organiques des graines de *Thevetia peruviana***

Les fruits matures de *T. peruviana* ont été collectés dans la ville de Yaoundé et de Bagangté. Les graines des fruits récoltés ont été séchés à l'ombre puis décortiqués et les amandes obtenues ont été broyées à l'aide d'un moulin manuel « Victoria ».

Les extraits organiques ont été préparés par macération de la poudre obtenue au laboratoire à raison de 500 g dans 2 L (concentration : 250 g/L) d'Acétone et de Méthanol à 70 °. Après 48 heures de macération, les produits obtenus ont été filtrés à l'aide du papier filtre et concentrés dans un évaporateur rotatif jusqu'à obtention de l'huile essentielle. Les extraits obtenus ont été placés dans un dessiccateur afin d'éliminer le reste de solvant, par la suite ils ont été pesés et conservés au réfrigérateur à 4 °C jusqu'à utilisation (Gata-Gonçalves *et al.*, 2003).

L'extrait aqueux de *T. peruviana* a été obtenu par macération de 600 g de poudre dans 3 L d'eau ce qui correspond à une solution de 20 % pendant 48 heures (Stoll, 1994). Le produit obtenu a été filtré à l'aide d'une toile et versé dans un pulvérisateur à dos auquel 10 g de savon en poudre ont été ajoutés comme agent mouillant.

Le rendement en extraction des extraits organiques a été calculé suivant la formule ci-dessous cit par Ngho Dooh (2014) :

$$\text{Rdt (\%)} = \frac{\text{masse de l'extrait (g)}}{\text{masse de matériel végétal (g)}} \times 100$$

### II.2.2. Screening phytochimique des extraits de graines de *Thevetia peruviana*

Les différents extraits de graines de *T. peruviana* ont fait l'objet d'une analyse phytochimique afin de déterminer leur composition chimique. Les composés chimiques ont été identifiés par observation de certaines caractéristiques après des tests de chaque extrait avec des colorants spécifiques. Le protocole standard décrit par Edeoga *et al.* (2005) ; Sahuviwod *et al.* (2010) ; Tiwari *et al.* (2011) et Banu *et al.* (2015) a été utilisé (Tableau III).

Tableau III. Protocole du screening chimique des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Famille	Mode opératoire	Caractéristiques
Huiles essentielles	Evaporation de 2 mL d'extrait dans l'eau	
Huiles saponifiables	2 gouttes d'extrait sur du papier filtre	Tache translucide sur papier
Coumarines	1 mL d'extrait + eau chaude + 10 % NH <sub>4</sub> OH	Fluorescence
Alcaloïdes	1 mL d'extrait + 2 mL de réactif de Meyer + agitation	Un précipité blanc cremeux
Stérols	1 mL d'extrait + 4 mL d'anhydride acétique + 1 mL CHCl <sub>3</sub> + quelques gouttes H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Coloration bleu vert
Triterpénoïdes	1 mL d'extrait + 4 mL d'anhydride acétique + 1 mL CHCl <sub>3</sub> + quelques gouttes de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentré	Coloration jaune marron
Flavonoïdes	2 mL d'extrait + 3 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentré + 3 mL tournures de magnésium	Coloration jaune
Anthraquinones	2 mL d'extrait + 1 mL de CHCl <sub>3</sub> + 1 mL NHOH ou NaOH	Coloration bleu vert
Tannis catéchiques	1 mL d'extrait + 1 mL d'eau + 3 gouttes de chlorure ferrique à 0,1 %	Coloration vert brunâtre ou bleu noire
Saponines	1 mL d'extrait + 1 mL d'eau + agitation vigoureuse	Formation d'une mousse persistante indiquant leur présence
Anthocyanes	Extrait + NaOH + HCl + papier pH	Couleur rouge sur milieu acide, violette sur milieu neutre, vert sur milieu basique
Phénols	1 mL d'extrait + éthanol + solution d'acétate	Apparition d'un précipité blanc

### II.2.3. Chromatographie liquide des extraits de graines de *Thevetia peruviana*

La chromatographie liquide haute performance (HPLC) a été réalisée afin de déterminer le profil en richesse des différents extraits. Le système d'éluant utilisé a été le système eau/méthanol à un niveau de séparation (Tableau IV). Les extraits (environ quelques  $\mu\text{L}$ ) ont été dilués dans du méthanol à l'intérieur des tubes Eppendorf. L'eau a été éliminée dans les tuyaux avant l'application des produits dans l'appareil utilisé de marque Gynkotech. Le débit a été de 0,8 mL/min. Les longueurs d'onde de 75 nm, 125 nm, 175 nm et 225 nm ont été utilisées pour les observations et le meilleur profil a été retenu à une longueur d'onde de 225 nm (Ngho Dooh *et al.*, 2014).

Tableau IV. Système d'éluant pour la HPLC

Eluant	Temps (minutes)					
	0	6	8	34	37	40
MeOH	50	50	75	75	50	50
H <sub>2</sub> O	50	50	25	25	50	50

### II.2.4. Evaluation de l'effet des extraits aqueux ou organiques des graines de *Thevetia peruviana* contre la cochenille racinaire du manioc en champ et sur *Anoplolepis tenella*

#### II.2.4.1. Evaluation de l'effet des extraits aqueux ou organiques des graines de *Thevetia peruviana* contre la cochenille racinaire du manioc en champ

##### II.2.4.1.1. Dispositif expérimental et pratiques culturales

L'expérimentation a été menée en champ en Mars 2018, suivant un dispositif factoriel en parcelles divisées ou « Split-plot » (Sehgal, 2012) avec deux facteurs étudiés. Le premier facteur a été disposé en parcelle principale à deux niveaux (V1 : variété améliorée TMS 92/0057 et V2 : variété locale Miboutou) et les traitements ont été représentés en facteurs secondaires, à cinq niveaux (T0 : témoin ; T1 : extrait aqueux ; T2 : extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone et T4 : insecticide de synthèse (BASTION-SUPER). Dix combinaisons de traitements par bloc issues de deux variétés et cinq traitements ont été testées. Chaque combinaison ou unité expérimentale a été constituée de 16 boutures, 4 lignes possédant chacune 4 pieds pour un total de 160 boutures par bloc. Au total, on dénombre 40 unités expérimentales (avec 640 boutures) mesurant chacune 4 m x 4 m séparées entre elles par une distance de 1 m et 2 m entre les blocs. Les boutures ont été implantées de façon oblique en

enfonçant les tiges au 2/3 de la longueur dans le sol suivant un espacement de 1 m entre les lignes (Anonyme, 2000).

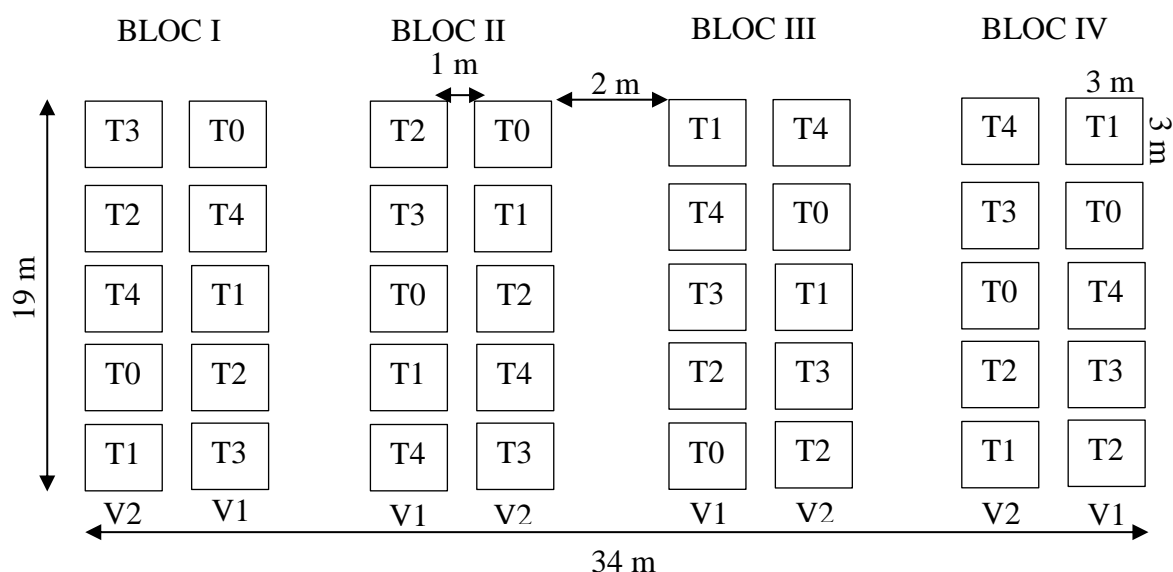


Fig. 15. Dispositif expérimental de l'essai aux extraits des graines de laurier jaune.

#### II.2.4.1.2. Application des traitements

L'insecticide de synthèse (BASTION-SUPER) a été enfoui et recouvert de terre à une profondeur d'environ 10 cm du collet du plant, ceci à raison de 30 g par plant. Le traitement chimique des plantes a été effectué une seule fois au cours de l'expérimentation. Les extraits à solvant organiques (méthanol et acétone) obtenus, un volume de 60 mL ( $1200 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a été prélevé et dilué dans un pulvérisateur à dos contenant 15 L d'eau et 10 g de savon ont été ajoutés comme agent mouillant (Zakari *et al.*, 2011). L'extrait aqueux à une concentration de 20 %, l'extrait à solvant organiques et le témoin (eau + savon) ont été appliqués au niveau du collet des pieds de manioc. L'emploi de l'ensemble des traitements débute à deux mois après plantations (2 MAP). L'application des extraits aqueux et organiques du laurier jaune et du témoin ont été renouvelés à 3, 4, 5, 6, 7 et 8 MAP.

#### II.2.4.1.3. Collecte de données

La collecte des données a été effectuée sur des plants choisis au hasard par méthode destructive sur deux plants par unité expérimentale respectivement à 3 mois après plantation (MAP), 6 MAP, 9 MAP et 12 MAP.

Le poids frais des pousses qui inclue la biomasse aérienne (des tiges et des feuilles) et la biomasse souterraine (racines tubéreuses) ont été mesurés à l'aide d'une balance de précisions 200 à 250 g de marque Pesola sur deux plants choisis de manière aléatoire et

déterrés. Les poids des tubercules ont été calculés à chaque échantillonnage en tonne par hectare pour estimer le rendement en tubercules frais (Rdt) des deux variétés et des cinq traitements en utilisant la formule de Kamau *et al.* (2011).

$$\text{Rdt (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{poids tubercules (kg/m}^2\text{)} \times 10000 \text{ (m}^2\text{/ha)} \times 1 \text{ (t)} / 1000 \text{ (kg)}.$$

Le diamètre au collet de la tige a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse sur trois plants étiquetés et âgés de 3, 6, 9 et 12 mois après plantation (MAP). Les cochenilles ont été dénombrées avec l'aide d'un compteur manuel sur deux plants échantillonnés au hasard par sous parcelle à l'aide d'une loupe frontale de grossissement X 10 à chaque échéance d'évaluation. Tous les stades de vie (nymphe de premier stade L1, nymphe du deuxième stade L2, adultes, individus morts) de la cochenille ont été dénombrés sur les boutures mères, les racines tubéreuses du manioc selon Ambe *et al.* (1999) ; Ndengo *et al.* (2016a).

#### **II.2.4.2. Evaluation de l'activité insecticide des extraits des graines de *Thevetia peruviana* par contact contre les fourmis (*Anoplolepis tenella*)**

L'action des extraits de *Thevetia peruviana* par contact sur les fourmis a été évalué par méthode d'imprégnation de papier filtre avec les doses d'extraits.

Sur les disques de papier filtre de 9 cm de diamètre et 63,58 cm<sup>2</sup> de surface, trois concentrations de 1,18 ; 2,35 ; 4,72 µL/cm<sup>2</sup> ont été préparées en prélevant successivement 75 ; 150 et 300 µL d'une solution mère de concentration initiale de 500 µL/mL des extraits obtenus, selon une progression géométrique de raison de 2 pour chaque extrait (acétone, méthanol et aqueux) pour un volume final de 3 mL. Les huiles ont été diluées dans 1 mL d'acétone (solvant organique) du fait de sa rapidité d'évaporation et pour son absence d'effet résiduel déjà démontrée (Derradji-Heffaf, 2013). Les solutions obtenues ont été homogénéisées par agitation et répandus à raison de 1 mL pour chaque dose ou acétone pour le témoin sur le papier filtre de 9 cm de diamètre placé dans les boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre. Trois répétitions ont été réalisées pour chacune des doses de même que le témoin. Les boîtes de Pétri ont été laissés ouverts pendant 10 min pour évaporation du solvant, dix fourmis ont été déposées sur le papier filtre traité. La mortalité des fourmis a été relevée toutes les 10 min jusqu'à la mort de toutes les fourmis et calculée suivant la formule proposée par Abbott (1925).

$$\text{MC (\%)} = \frac{\text{Mp} - \text{Mt}}{100 - \text{Mt}} \times 100$$

MC : Pourcentage de mortalité corrigé ; Mp : Pourcentage de morts dans la population traitée ; Mt : Pourcentage de morts dans la population témoin.

## II.2.5. Evaluation en champ, de la tolérance à *Stictococcus vayssierei*, des plants issus des boutures sectionnées à différents hauteurs sur la plante mère

### II.2.5.1. Dispositif expérimental et pratiques culturales

L'expérimentation a été menée sur un champ expérimental durant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018 sur deux parcelles différentes. Elle s'est faite à l'aide d'un dispositif factoriel en parcelles divisées ou « split-plot » (Sehgal, 2012) à quatre répétitions avec deux facteurs étudiés. Les variétés ont constitué le facteur principal à quatre variantes : V1 (Excel), V2 (96/0023) V3 (Miboutou) et V4 (Douma). Les hauteurs de coupe des boutures ont représenté le facteur secondaire à trois variantes : Bb (Bouture sectionnée à la base), Bm (Bouture sectionnée au milieu) et Bs (Bouture sectionnée au sommet). Douze traitements issus de la combinaison des niveaux des deux facteurs ont été testés. Chaque combinaison qui constitue une unité expérimentale utilise 21 boutures aux écartements de 1 x 0,8 m (12500 plants.ha<sup>-1</sup>), ce qui donne 252 boutures par bloc. Soit 84 boutures sectionnées chacune à la base, au milieu et au sommet des quatre variétés. Les parcelles élémentaires qui mesurent environ 4 m x 5 m ont été séparées par des allées de 1 m. Elles renferment chacune trois rangées de sept plants. Les blocs ont été quant à eux distants de 2 m l'un de l'autre. Les boutures ont été implantées de façon oblique en enfonçant les tiges au 2/3 de la longueur dans le sol (Anonyme, 2000). Le désherbage a été effectué 2, 3, 5 et 8 MAP à l'aide d'une houe. Aucune fertilisation ni de traitement chimique n'a été apporté.

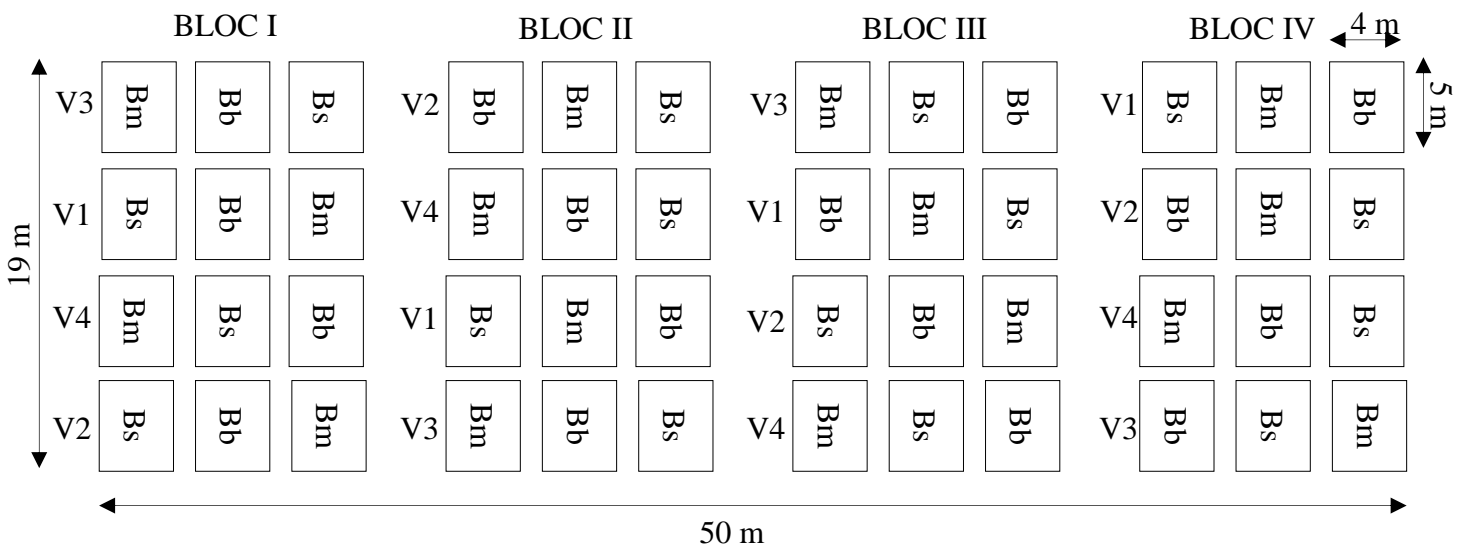


Fig. 16. Dispositif expérimental de l'essai sur la hauteur de coupe des boutures de manioc. Bb : bouture sectionnée à la base, Bm : bouture sectionnée au milieu, Bs : bouture sectionnée au sommet de la tige, V1 : Excel, V2 : 96/0023, V3 : Miboutou, V4 : Douma.

### **II.2.5.2. Collecte de données**

La collecte des données a été faite sur deux (02) plants choisis au hasard par méthode destructive des plants par unité expérimentale respectivement à 3 mois après plantation (3 MAP), 6 MAP, 9 MAP et 12 MAP.

La biomasse aérienne fraîche (tiges, feuilles) et la biomasse souterraine fraîche (tubercules) ont été mesurés à l'aide d'une balance de précision 200 à 250 g de marque Pesola sur deux plants choisis de manière aléatoire et déterrés. Les poids des tubercules ont été calculés en tonne par hectare pour estimer le rendement en tubercules frais (Rdt) en utilisant la formule de Kamau *et al.* (2011).

$$\text{Rdt (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{poids tubercules (kg/m}^2\text{)} \times 10000 \text{ (m}^2\text{/ha)} \times 1 \text{ (t)} / 1000 \text{ (kg)}.$$

Le diamètre au collet de la tige est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse sur trois plants étiquetés. Les mesures ont été faites en 4 temps de 3, 6, 9 et 12 mois après plantation (MAP). Les cochenilles ont été dénombrées à l'aide d'un compteur manuel sur deux plants choisis au hasard par unité expérimentale par chaque variété et chaque traitement (hauteur de coupe des boutures d'une tige) et d'une loupe frontale de grossissement 10 X. Tous les stades de vie (nymphe de premier stade L1, nymphe du deuxième stade L2, adultes, individus morts) de la cochenille ont été dénombrés sur les boutures mères, les racines tubéreuses et nourricières du manioc selon Ambe *et al.*, 1999 ; Ndengo *et al.*, 2016a.

## **II.2.6. Criblage des variétés de manioc expérimentées**

### **II.2.6.1. Criblage des variétés de manioc en champ**

#### **II.2.6.1.1. Dispositif expérimental et pratiques culturales**

L'essai a été menée dans une jachère âgée de 3 ans à antécédent cultural manioc, arachide, macabo naturellement infestée par la cochenille dans la localité d'Akonolinga (N 03°48.136' ; E 012°15.518' ; altitude 671 m) dans la région du Centre du Cameroun à partir du mois de Mars 2018. Les boutures de six variétés de manioc ont été plantées dans un dispositif en blocs (de Fisher) complètement randomisé à quatre répétitions. Chaque bloc contenant 15 boutures aux écartements de 1 m x 0,8 m (12 500 plants.ha<sup>-1</sup>) a été constitué de six sous-parcelles mesurant 12 m<sup>2</sup> (3 m x 4 m) et distant 1 m. Le désherbage a été effectué à 2, 3, 5 et 8 mois après plantation (MAP). Aucune fertilisation ni de traitement ont été apportés.

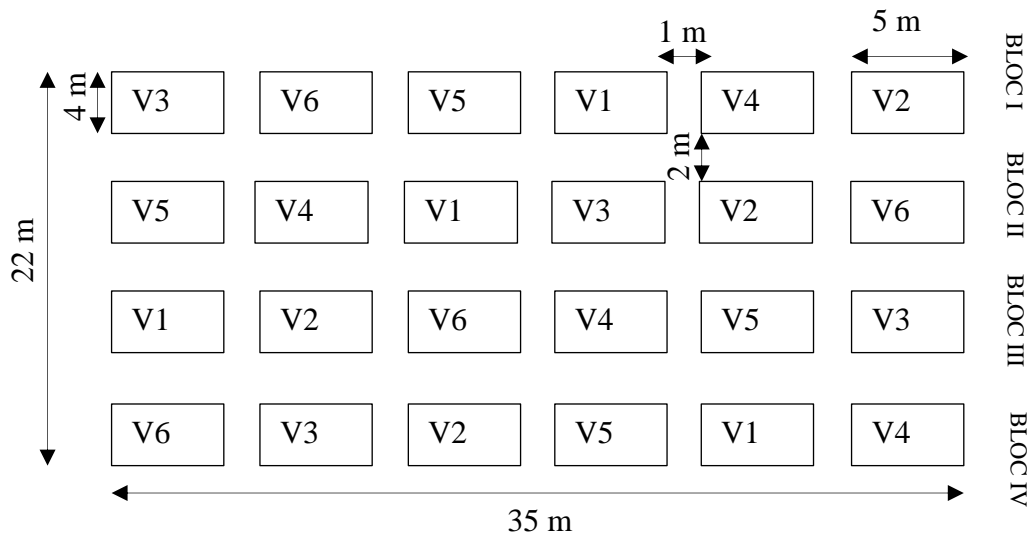


Fig. 17. Dispositif expérimental de l'essai du criblage variétal.

## II.2.6.1.2. Paramètres mesurés

### II.2.6.1.2.1. Evaluation des paramètres agronomiques

Les paramètres agronomiques ont été évalués à intervalle de 3 mois, c'est-à-dire 3, 6, 9 et 12 mois après plantation (MAP). Le diamètre au collet des tiges a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse sur trois plants étiquetés. La biomasse aérienne fraîche (tiges et feuilles) et la biomasse souterraine (tubercules) sont mesurées à l'aide d'une balance de précision 200 à 250 g de marque pesola sur trois plants déterrés de manière aléatoire. Les poids frais des tubercules ont été calculés en tonne par hectare pour estimer le rendement en tubercules frais (Rdt) des six variétés de manioc en utilisant la formule de Kamau *et al.* (2011).

$$\text{Rdt (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{poids tubercules (kg/m}^2\text{)} \times 10000 \text{ (m}^2\text{/ha)} \times 1 \text{ (t)} / 1000 \text{ (kg)}.$$

### II.2.6.1.2.2. Evaluation du nombre de cochenilles sur les organes des variétés de manioc

Les cochenilles présentes sur les pieds de manioc ont été dénombrées sur trois plants choisis au hasard dans les sous-parcelles par la méthode destructive. Tous les stades de vie (nymphes de premier stade L1, nymphes du deuxième stade L2, adultes, individus morts) de la cochenille ont été dénombrés sur les boutures mères, les racines tubéreuses et nourricières du manioc à 3, 6, 9 et 12 MAP, selon Ambe *et al.*, 1999 ; Ndengo *et al.*, 2016a. Par la suite, le niveau d'infestation a été déterminé par estimation visuelle avec un classement sur un indice du nombre de cochenilles (Tertuliano, 1993).



Tableau V. Indice d'infestation des cochenilles

Indice	Nombre de cochenilles par plante	Description
1	1-25	Infestation très faible
2	26-50	Infestation faible
3	51-75	Infestation moyenne
4	76-100	Infestation forte
5	>100	Infestation très forte

### II.2.6.1.2.3. Diagnostic, évaluation de l'impact des maladies identifiées en champ

En prélevant des substances nutritives, la CART injecte dans les tissus de la plante une salive toxique pouvant affaiblir le système de défense de la plante et favoriser l'apparition des maladies. La méthode de diagnostic visuel grâce à des observations, comparaisons précises des symptômes et de leur évolution dans le temps et dans l'espace (Renard & Foucart, 2008) a permis de suivre l'évolution des maladies en champ. Par la suite en laboratoire, l'identification de la maladie fongique a été faite par isolement des souches à partir des fragments de plant présentant les symptômes de la maladie. Les fragments de plant infectés ont été lavés à l'eau distillée, désinfectés à de l'alcool 70 °C et introduits dans une boîte de Pétri contenant le milieu de culture constitué de Potato, Dextrose et Agar (PDA) amendé à la streptomycine (200 µg/mL). Après apparition des colonies de spores 3 à 5 jours, l'identification du pathogène a été faite par observation des fructifications au microscope à l'aide d'une clé d'identification (Hsieh & Goh, 1990). Les paramètres épidémiologiques à savoir l'incidence et la sévérité des maladies ont été évalués sur les plants en champ.

#### - Evaluation de l'incidence des maladies identifiées

L'incidence des maladies a été évaluée à partir des fréquences d'apparition sur les plantes dans les unités expérimentales et a été calculée par la formule proposée par Tchoumakov & Zaharova (1990):

$$I (\%) = (n / N) \times 100$$

I : incidence de la maladie ;

n : nombre de plants malades ;

N : nombre total de plant

### - Sévérité des maladies identifiées

La sévérité des maladies a été évaluée sur des plants de manioc dans les unités expérimentales et une estimation en pourcentage a été attribuée à chaque plante. Son évaluation a consisté à collecter les données dans les parcelles selon une échelle de notation visuelle de 1 à 5 qui représentent différents degrés d'infection (Anonyme, 1990 ; Wydra & Verdier, 2002 ; Rwegasia & Rey, 2012). Ainsi la sévérité au cours du développement a été donnée par la formule de Tchoumakov & Zaharova (1990) qui s'exprime comme suit :

$$S (\%) = \sum (a.b) / N$$

S (%) : sévérité de la maladie ;

$\sum (a.b)$  : somme des multiplications du nombre de plants malades (a) par le degré d'infection correspondant (b) donné en pourcentage ;

N : nombre total de plant malade.

## II.2.6.2. Criblage des variétés de manioc en laboratoire

### II.2.6.2.1. Extraction et dosage des composés phénoliques

#### II.2.6.2.1.1. Extraction des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques totaux pour l'analyse quantitative a été faite selon la méthode décrite par Boudjeko *et al.*, (2007).

#### - Mode opératoire

A un gramme (1 g) de moelle fraîche et de cortex de tubercule de manioc broyé, a été ajouté 10 mL de méthanol 80 %. Après agitation au vortex, le mélange est centrifugé à 6000 g pendant 20 min. Le surnageant S1 a été recueilli, et le culot C1 retraité de nouveau tel que décrit précédemment. Les surnageants obtenus ont servi au dosage des phénols et flavonoïdes totaux.

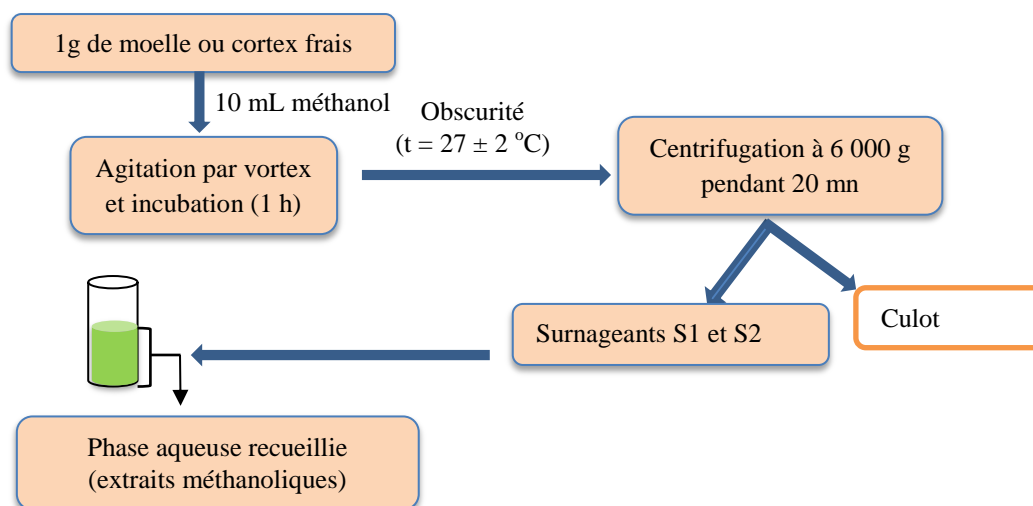
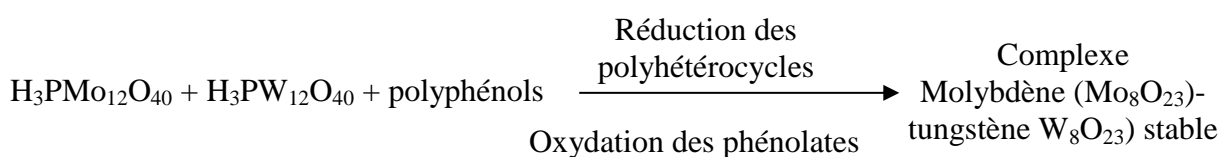


Fig. 18. Protocole de d'extraction des composés phénoliques (Boudjeko *et al.*, 2007).

#### II.2.6.2.1.2. Dosage des phénols totaux

##### - Principe

La teneur en phénol total a été déterminée selon la méthode proposée par Singleton *et al.* (1999) qui utilise la mixture d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ) du réactif de Folin-Ciocalteu par les groupements oxydables des composés phénoliques conduisant à la formation des produits de réduction de couleur bleue de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_3$ ) dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en phénols. Ce complexe présente un maximum d'absorption à 725 nm.



##### - Mode opératoire

Pour cela 1mL du réactif de Folin-Ciocalteu 10 % a été ajouté à 0,2 mL d'extrait brut dans un tube à essai. Le mélange a été homogénéisé et incubé pendant 5 min à l'obscurité et à température ambiante. Ensuite, 0,8 mL de  $Na_2CO_3$  anhydre 20 % sont ajoutés et l'ensemble est agité sur un vortex, puis incubé pendant 5 minutes à 50 °C au bain marie à l'obscurité. Après, le mélange est refroidi dans un bac à glaçons, l'absorbance à 725 nm est immédiatement mesurée au spectrophotomètre contre un blanc dans lequel l'extrait est

remplacé par l'eau distillée. Les dosages sont en tripliquet et la teneur en phénols totaux a été exprimée en mg d'équivalent d'acide chlorogénique par gramme (EACl/g) de masse fraîche par référence à la courbe standard ( $Y = 0,005x$ ,  $R^2 = 0,9981$ ).

#### **II.2.6.2.1.3. Flavonoïdes totaux**

La teneur en flavonoïdes des extraits a été estimée selon la méthode décrite par Kramling & Singleton (1969).

##### **– Principe**

Cette méthode est basée sur la précipitation par le formaldéhyde des flavonoïdes présents dans les extraits et leur quantification par différence entre la quantité de phénols totaux et celle des phénols non flavonoïdes restant dans l'extrait.

##### **– Mode opératoire**

A 4 mL d'extrait méthanolique, ont été ajoutés respectivement 2 mL de HCl dilué à 50 % et 2 mL de formaldéhyde. Le mélange a été incubé pendant 24 h à température ambiante puis filtré pour enlever le produit condensé. Le filtrat ainsi recueilli représentant les composés phénoliques non flavonoïdes a été dosé conformément au protocole décrit plus haut (Singleton & Rossi, 1965) et la teneur en flavonoïdes a été déterminée selon la formule suivante :

$$T \text{ Flavonoïde} = T (\text{phénols totaux}) - T (\text{phénols non flavonoïdes})$$

#### **II.2.6.2.2. Extraction et dosage des protéines et évaluation de l'activité des enzymes oxydatives**

##### **II.2.6.2.2.1. Extraction et dosage des protéines solubles totales**

L'extraction des protéines totales a été réalisée selon la méthode légèrement modifiée de Mbouobda *et al.* (2007). 1 g de moelle et de cortex de tubercule congelées de manioc frais a été broyé dans un mortier en porcelaine et mélangé à 5 mL de tampon phosphate de sodium à pH 7 (0,1 M). Après 30 mn d'incubation à 4 °C, le broyat a été centrifugé pendant 10 mn à 5 000 g. Le surnageant S1 a été recueilli et le culot a été suspendu et centrifugé comme précédemment. Les surnageant S1 et S2 ont été stockés dans les tubes Eppendorf et conservé à - 20 °C pour analyses ultérieures.

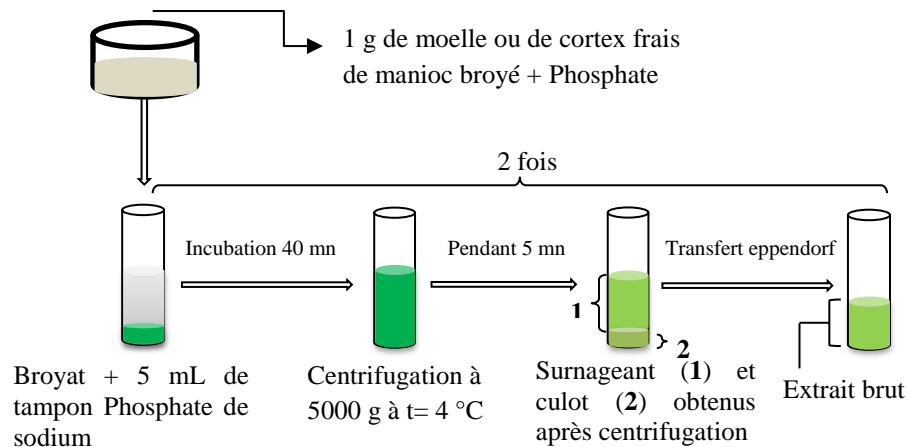


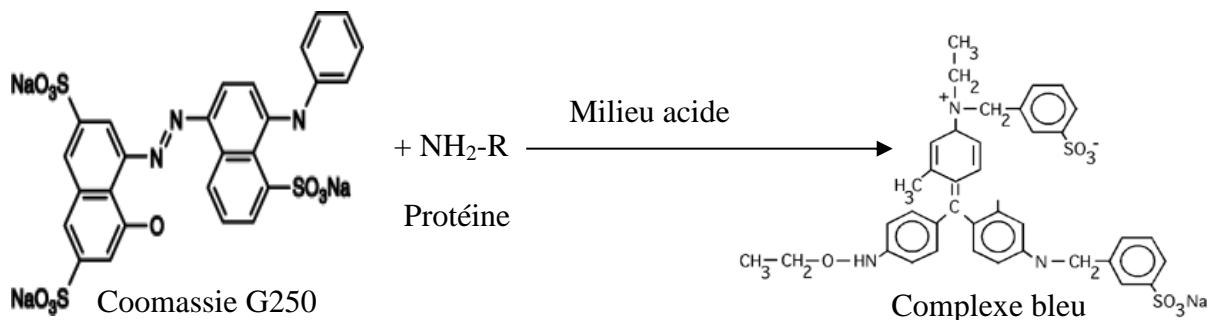
Fig. 19. Protocole d'extraction des protéines totales (Mbouobda *et al.*, 2007).

### - Dosage de protéines totales

Les teneurs en protéines totales de l'extrait, ont été déterminées grâce à la méthode de Bradford (1976), qui utilise le BSA (bovine serum albumin, 1 mg/mL) comme protéine standard.

### - Principe

En présence des chaînes latérales des acides aminés basiques (lysine, arginine, histidine), aromatiques et sur les fonctions amines libres de la chaîne polypeptidique, le bleu de Coomassie G<sub>250</sub> forme un complexe chromogène de coloration bleu, présentant un maximum d'absorption à 595 nm. L'équation de la réaction est celle donnée ci-dessous :



### - Mode opératoire

Pour le dosage des protéines, 100 µL de l'extrait protéique (surnageant) précédemment obtenu ont été prélevés et on y a ajouté 0,5 mL de tampon phosphate, 400 µL d'eau distillée et 2 mL du réactif de Bradford pour un volume final de 3 mL. Les valeurs obtenues après lecture au spectrophotomètre à 595 nm ont été comparées aux valeurs exprimées par une courbe

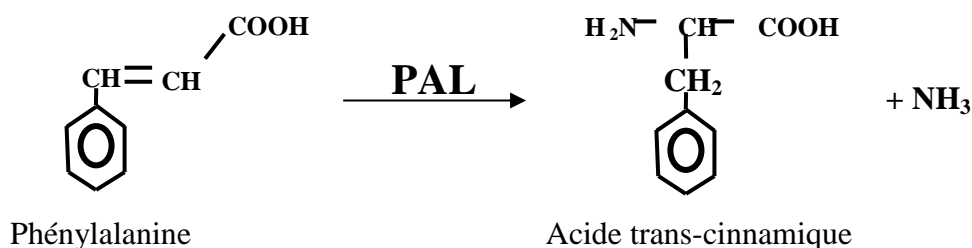
d'étalonnage préparée à partir des solutions de BSA (Bovine Serum Albumine) allant de 0 à 70 µg/mL. Les teneurs en protéines sont exprimées en µg/g MF.

#### II.2.6.2.2.2. Evaluation de l'activité de la Phénylalanine ammonia-lyase (PAL)

L'activité de la Phénylalanine ammonia-lyase a été évaluée suivant la méthode de Okey *et al.* (1997) avec quelques modifications.

##### - Principe

En présence de la Phénylalanine ammonia-lyase (PAL), la Phénylalanine est désaminée en acide trans-cinnamique capable d'absorber la lumière à une longueur d'onde de 290 nm.



##### - Mode opératoire

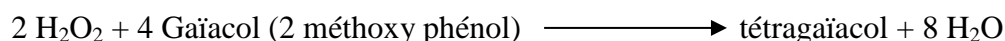
Dans chaque tube test, 50 µL de tampon phosphate 0,1 M (Ph 7) a été mélangé à 50 µL de phénylalanine 50 mM contenu dans un tube à essai, puis 50 µL d'extrait enzymatique a été ajouté. Après incubation à 37 °C pendant 30 min, la réaction a été stoppée par ajout de 0,5 mL de HCl 5N et l'absorbance mesurée par spectrophotométrie à 290 nm contre le blanc. Chaque essai a été répété 3 fois. Une unité d'activité de la PAL est définie comme la variation d'absorbance par millilitre d'extrait enzymatique. L'activité spécifique de l'enzyme a été exprimée en DO/min/mg de protéine.

#### II.2.6.2.2.3. Evaluation de l'activité du Gaïacol peroxydase (GPX)

L'activité du gaïacol peroxydase a été évaluée suivant le protocole modifié de Hiner (2002).

##### - Principe

Cette activité est mesurée par l'augmentation de l'absorbance à 470 nm due à la polymérisation du gaïacol en tétragaïacol en présence de peroxyde d'hydrogène.



#### - **Mode opératoire**

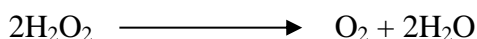
Dix microlitres (50  $\mu$ L) d'extrait ont été déposés dans des tubes tests auxquels ont été ajoutés 1425  $\mu$ L de tampon phosphate, de gaïacol et de 25  $\mu$ L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 0,3 %. Le mélange a été répété 3 fois et laissé incuber pendant 1 min à 37 °C. La réaction a été stoppée par ajout de 0,5 mL de HCl 5N et l'absorbance est mesurée par spectrométrie à 470 nm contre un blanc. L'activité GPX est exprimée en DO/min/mg de protéine.

#### **II.2.6.2.2.4. Evaluation de l'activité de la catalase (CAT)**

L'activité de la catalase a été effectuée selon la méthode modifiée de Cakmak (1991).

#### - **Principe**

La décomposition du peroxyde d'hydrogène est déterminée par la diminution de l'absorbance à 240 nm due à la consommation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La décroissance de l'absorbance est enregistré pendant 3 min.



#### - **Mode opératoire**

Le milieu réactionnel a été constitué de 30  $\mu$ L d'extrait enzymatique, 50  $\mu$ L de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à 0,3 % et 100  $\mu$ L de 0,1 M tampon phosphate pH 7. La réaction a été stoppée par ajout de 0,5 mL de HCl 5N et l'absorbance est mesurée par spectrométrie à 470 nm contre un blanc et l'activité est exprimée en DO/min/mg de protéine.

#### **II.2.6.2.3. Evaluation de la teneur en cyanure total des tissus racinaires de manioc**

#### - **Principe**

Cette méthode est basée sur l'hydrolyse enzymatique des cyanoglycosides en cyanohydrine par une  $\beta$ -glucosidase exogène, puis la dégradation de la cyanohydrine en acide cyanhydrique, qui réagit aussitôt avec le picrate afin de former un composé coloré quantifiable par spectrophotométrie à 510 nm (Rezaul & Bradbury, 2002).

#### - **Mode opératoire**

Les échantillons de racines de manioc à analyser (100 mg de moelle et de cortex) ont été broyés, et placés dans un tube à essai avec 10 mL de tampon phosphate afin d'avoir un pH entre 4 et 10. Par la suite, 5 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> anhydre 20 % ont été ajoutés dans le milieu afin d'hydrolyser les cyanoglycosides par voie enzymatique.

Une bande de papier picrate obtenue à partir de papier chromatographique «Whatman» de 9 cm de diamètre a été déposée au fond des boîtes de pétri, puis immergée et les boîtes ont été immédiatement fermées (Bradbury & Egan, 1999).

Le papier a été traité avec le picrate de sodium dans 2 % de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> avant utilisation. Après environ 16 h à 30 °C, le papier picrate a été retiré puis plongé dans 5 mL d'eau pendant au moins 30 min afin d'éluer. L'absorbance (A) de la solution obtenue a été mesurée à 510 nm contre un blanc.

La teneur totale du cyanure libéré est déterminée par l'équation suivante :

$$\text{HCN (mg/kg)} = 381 * A * 100/\text{pe}$$

Avec pe = la prise d'essai ou poids (mg) de la moelle et du cortex broyée.

## **II.2.7. Mode d'action de *Stictococcus vayssierei***

### **II.2.7.1. Préparation des extraits enzymatiques**

Les échantillons de cochenilles ont été broyés dans un mortier contenant du tampon phosphate 0,1 M à pH 7 dans un bac contenant des cristaux de glace. Le broyat obtenu a été centrifugé à 12000 trs/min et le surnageant (filtrat) a été conservé à -4 °C pour la suite de l'expérimentation.

### **II.2.7.2. Dosage qualitatif des enzymes hydrolytiques**

#### **II.2.7.2.1. Activité protéasique**

L'activité protéasique a été évaluée selon la méthode de Saran *et al.* (2007) légèrement modifiée. Le skim Milk Agar a été préparé et stérilisé puis coulé dans les boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre. Le filtrat obtenu, 10 µL a été prélevé et déposé au centre des boîtes de Pétri ; la boîte a été ensuite scellée et placée à incubation à 37 °C pendant 72 h. L'apparition d'une auréole autour de la zone de dépôt du filtrat traduit la présence de la protéase.

#### **II.2.7.2.2. Activité amylasique**

La capacité à produire l'amylase a été évaluée selon la méthode décrite par Fentahun & Kumari (2017). Le milieu constitué du Muler Hinton Agar (MHA) et de l'amidon (2 %) a été stérilisé à 121 °C pendant 20 min et coulé dans une boîte de Pétri. 10 µL de filtrat obtenu au plus haut ont été déposé au centre des boîtes et ensuite placé à incubation à 37 °C pendant



24 h. au bout de 24 h, l'iode (1 %) a été ajouté. L'activité amylasique est caractérisée par l'apparition d'une auréole claire autour du spot de l'extrait enzymatique.

### **II.2.7.2.3. Activité cellulasique**

La production de la cellulase a été évaluée selon la méthode décrite par Kasana *et al.* (2008). Le milieu constitué du Muler Hinton Agar (MHA), et du carboxyméthyl cellulose, substrat de l'enzyme a été homogénéisé et stérilisé à 121 °C pendant 20 min puis coulé dans les boîtes de Pétri. Le filtrat (10 µL) obtenu a été versé au centre des boîtes puis incubé à 28 ± 2 °C pendant 24 h. Le rouge Congo a été ajouté dans les boîtes. L'observation d'une zone claire indique la présence de la cellulase.

### **II.2.8. Analyse en composantes principales et cluster des variétés criblées**

L'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchisée, ont été réalisées pour définir les liens qui existent entre les variables. Le nombre de cochenilles, l'incidence et la sévérité des maladies identifiées, le diamètre au collet, le poids frais des pousses, le nombre de tubercules et le rendement ont été choisis à 3, 6, 9 et 12 mois après plantation (MAP) pour la construction de l'ACP.

Le nombre d'axes à retenir pour l'analyse a été déterminé à l'aide du critère de Kaiser (ou critère « absolu »), qui consiste à ne retenir que les axes dont les valeurs propres sont supérieures à 1. Ceci permet de mesurer la fiabilité de la lecture et de la qualité globale explicative de l'analyse.

Afin de déterminer les composantes principales de l'analyse, une sélection des individus et variables a été faite pour ne retenir que les variables et les individus bien représentés sur le plan factoriel. Pour la sélection des individus ou variétés bien représentés sur le plan factoriel, les contributions absolues et relatives ont été examinées. Alors que les variables bien représentées ont été celles qui figurent sur le cercle de corrélation de la représentation des variables ou s'en rapprochent. Les positions des variables par rapport aux axes permettent de déterminer celles qui « font les axes », tandis que les positions des variables les unes par rapport aux autres permettent de déterminer les relations entre les variables. La proximité de deux individus sur un plan factoriel est synonyme d'un comportement similaire. Ces deux individus ont des réponses très proches des variables de l'analyse.

### **II.2.9. Analyse statistique des données**

Les données relevées pour les différents paramètres étudiés ont été soumises à une analyse de variance à un facteur et à deux facteurs (ANOVA) grâce aux logiciels R version 3.5.1. Les données testées suivaient une loi normale (Test de Shapiro-Wilk ;  $P > 0,05$ ) de même que l'homogénéité de variance (Test de Bartlett ;  $P > 0,05$ ). La comparaison multiple des moyennes a été déterminée et le test de Tukey HSD fait suite à l'analyse de variance lorsque, des différences significatives ( $P < 0,05$ ) pour un des facteurs ont été décelées. Les données sont représentées sous formes de moyenne  $\pm$  écart type d'un minimum de trois répétitions ( $n = 3$ ). Les graphes sont réalisés à l'aide du tableur Excel. Les corrélations de Pearson entre les différents paramètres biochimiques étudiés et le nombre de cochenilles ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS version 20.0. L'analyse en composantes principales (ACP) et le dendrogramme ont été réalisés grâce au logiciel SPAD version 5 entre les variétés, les paramètres agronomiques (diamètre au collet, poids frais des pousses), biochimiques (phénols, flavonoïdes, cyanure, protéines et enzymes oxydatives) épidémiologiques (incidence et sévérité), le nombre de cochenilles et le rendement en vue de déceler le rapprochement entre les variétés moins susceptibles à la cochenille africaine des racines et tubercules et plus performantes du point de vue productivité du manioc.

**CHAPITRE III. RESULTATS ET  
DISCUSSION**

### III.1. Résultats

#### III.1.1. Rendement d'extraction et screening phytochimique des extraits de graines de *Thevetia peruviana*

##### III.1.1.1. Rendement d'extraction d'extrait des graines de *Thevetia peruviana*

Les rendements, la couleur et l'aspect des différents extraits de graines de *Thevetia peruviana* sont regroupés dans le tableau VI. Les résultats montrent que l'extraction de 500 g de graines de *T. peruviana* avec l'acétone a donné le rendement le plus élevé (44,44 %) par rapport à l'extraction au méthanol qui enregistre un rendement de 20,55 %. L'extrait à l'acétone et au méthanol ont une couleur marron et un aspect visqueux. L'extraction de 50 g de poudre de graine de *T. peruviana* dans 0,25 L d'eau a donné un rendement de 34,67 %, de couleur blanchâtre et d'aspect liquide.

Tableau VI. Rendement d'extraction et caractéristiques des extraits de graines de *Thevetia*

Solvant	Rendement en (%)	Couleur	Aspect
Acétone	44,44	Marron	Visqueux
Méthanol	20,55	Marron	Clair et très visqueux
Eau	34,67	Blanchâtre	Liquide

##### III.1.1.2. Identification des constituants des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Le screening phytochimique des différents extraits des graines de *Thevetia peruviana* montre la présence de plusieurs composés chimiques qui appartiennent à diverses familles (Tableau VII). Les résultats obtenus montrent que l'ensemble des extraits sont riches en huiles essentielles, en coumarines, en stérols, et en saponines. Par contre, les extraits des graines ne sont pas riches en flavonoïdes. Les phénols et les terpénoïdes sont présents en trace dans l'extrait au méthanol. L'extrait aqueux et l'extrait au méthanol sont les plus riches en composés chimiques par rapport à l'extrait à l'acétone.

Tableau VII. Compositions chimiques des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Produits	Acétone	Méthanol	Aqueux
Huiles essentielles	+	+	+
Huiles saponifiées	+	-	+
Coumarines	+	+	+
Alcaloïdes	-	+	+
Stérols	+	+	+++
Terpénoïdes	-	T	-
Flavonoïdes	-	-	-
Anthraquinones	-	-	+
Tannins catechique	-	+	-
Phénols	-	T	-
Saponines	+	+	+
Anthocyanes	-	+	-

- : absence, + : présence, +++ : très présent, T : trace

### III.1.2. Profil chromatographique des extraits de graines de *Thevetia peruviana*

La chromatographie liquide à haute performance réalisée à partir des extraits des graines de *T. peruviana* a révélé la présence des composés dont les pics représentent les composés majoritaires, minoritaires et ultra-minoritaires avec les pics les plus élevés constituant les familles de composés majoritaires.

Le profil chromatographique aqueux, montre la présence de deux composés majoritaires (Fig. 20 A) ; les composés minoritaires étant peu nombreux que les composés ultra-minoritaires qui ont été les plus nombreux.

Pour l'extrait à l'acétone on note la présence de neuf composés majoritaires par les pics les plus élevés. Par contre les autres pics représentent les composés minoritaires et ultra-minoritaires (Fig. 20 B).

Le profil de l'extrait au méthanol a révélé trois composés majoritaires. On note la présence de nombreux composés ultra-minoritaires (Fig. 20 C).

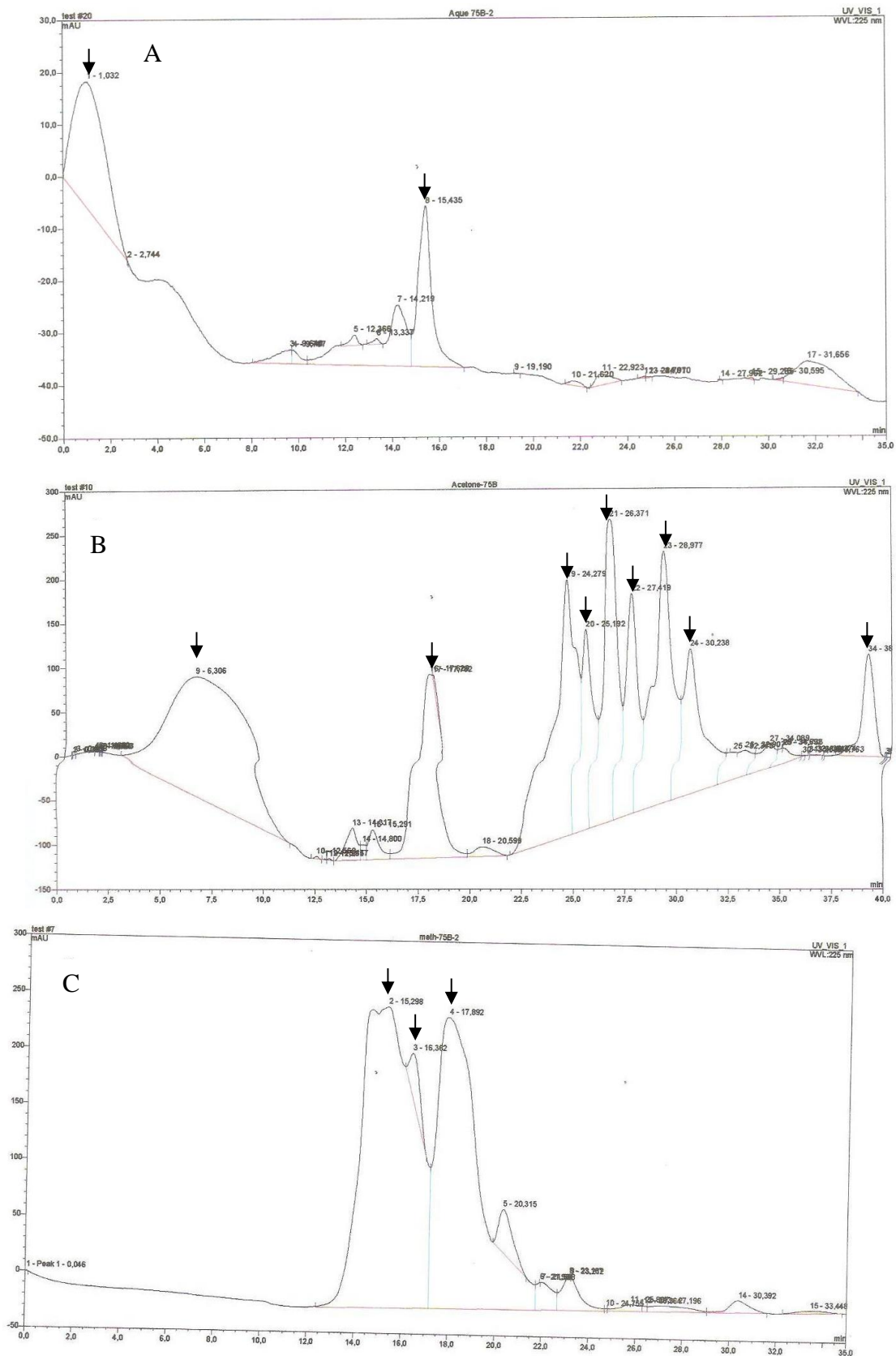


Fig. 20. Profils chromatographiques HPLC-UV-VIS des spectres de masse des composés secondaires présent dans les extraits des graines de laurier jaune ; A : extrait aqueux ; B : extrait à l'acétone ; C : extrait au méthanol.

### **III.1.3. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* sur la croissance, contre la cochenille racinaire et le rendement du manioc en champ**

#### **III.1.3.1. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur les paramètres de croissances des plants de manioc**

##### **III.1.3.1.1. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le diamètre au collet**

Les données sur le diamètre au collet des plants de manioc sont consignées dans le tableau VIII. On note une augmentation du diamètre au collet des plants de manioc dans les traitements des deux variétés en fonction du temps. A 3 MAP, aucune différence significative ( $P < 0,05$ ) n'est enregistrée entre les traitements, les variétés et l'interaction variété x traitement. Par contre, à 6 MAP un effet très hautement significatif est observé entre les traitements ( $P < 0,001$ ), les variétés ( $P < 0,001$ ) et l'interaction variété x traitement ( $P < 0,01$ ). Le plus gros diamètre est produit par la variété Miboutou traitée à l'insecticide de synthèse BASTION SUPER ( $2,43 \pm 0,12$  cm) et le plus petit diamètre dans le traitement à l'extrait aqueux de *T. peruviana* ( $1,81 \pm 0,12$  cm) de la même variété. Aucun effet significatif n'est observé entre les variétés et l'interaction variété x traitement à 9 et 12 MAP. Seul l'effet traitement est significatif ( $P < 0,05$ ). Les parcelles traitées ont donné les plus gros diamètres. Dans les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse BASTION SUPER, la variété 92/0057 ( $2,41 \pm 0,19$  ;  $2,56 \pm 0,17$  cm) et la variété Miboutou ( $2,57 \pm 0,27$  ;  $2,63 \pm 0,20$  cm) ont les plus gros diamètres tandis que dans les parcelles non traitées la variété 92/0057 ( $2,12 \pm 0,23$  ;  $2,27 \pm 0,22$  cm) et la variété Miboutou ( $1,94 \pm 0,18$  ;  $2,09 \pm 0,25$  cm) ont présenté les plus petits diamètres respectivement à 9 et 12 MAP. A 6 MAP, l'effet variété est très hautement significatif ( $P < 0,001$ ). La variété locale Miboutou a le diamètre le plus élevé ( $2,14 \pm 0,25$  cm) par rapport à la variété améliorée 92/0057 ( $1,98 \pm 0,11$  cm).

Tableau VIII. Effet des traitements et de la variété sur le diamètre des plants de manioc

Variétés	Traitements	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
TMS 92/0057	T0	1,69 ± 0,13a	2,04 ± 0,10bcd	2,12 ± 0,23ab	2,27 ± 0,22a
	T1	1,45 ± 0,08a	1,90 ± 0,09cd	2,22 ± 0,27ab	2,42 ± 0,34a
	T2	1,51 ± 0,04a	1,99 ± 0,11cd	2,24 ± 0,12ab	2,29 ± 0,13a
	T3	1,49 ± 0,18a	1,97 ± 0,12cd	2,28 ± 0,19ab	2,37 ± 0,26a
	T4	1,57 ± 0,09a	2,04 ± 0,09bcd	2,41 ± 0,19ab	2,56 ± 0,17a
Moyenne V1		1,54 ± 0,14a	1,98 ± 0,11b	2,25 ± 0,22a	2,38 ± 0,23a
Miboutou	T0	1,56 ± 0,15a	2,01 ± 0,15bcd	1,94 ± 0,18b	2,09 ± 0,25a
	T1	1,45 ± 0,16a	1,81 ± 0,12d	2,08 ± 0,09ab	2,23 ± 0,19a
	T2	1,68 ± 0,06a	2,29 ± 0,19ab	2,43 ± 0,17ab	2,57 ± 0,18a
	T3	1,72 ± 0,11a	2,19 ± 0,06abc	2,25 ± 0,08ab	2,41 ± 0,22a
	T4	1,59 ± 0,16a	2,43 ± 0,12a	2,57 ± 0,27a	2,63 ± 0,20a
Moyenne V2		1,60 ± 0,15a	2,14 ± 0,25a	2,27 ± 0,29a	2,42 ± 0,28a
Pr (> F) V		0,1535ns	0,0003***	0,9915	0,9593ns
Pr (> F) T		0,0595ns	<0,001***	0,0085**	0,0413*
Pr (> F) VxT		0,0561ns	0,0013***	0,1184ns	0,0844ns

P : 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*\*' 0,01 '\*\*' 0,05, ns : non significatif, MAP : mois après plantation, V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 : extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide de synthèse BASTION SUPER. Les valeurs suivies d'une même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.3.1.2. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le poids frais des pousses

Globalement, le poids frais des pousses augmente en fonction du temps dans tous les traitements (Tableau IX). A 3 MAP, on note un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) entre les traitements des deux variétés. Le poids frais des pousses le plus élevé est produit par la variété TMS 92/0057 ( $0,98 \pm 0,08$  kg) et la variété Miboutou ( $0,92 \pm 0,07$  kg) traitées à l'extrait à l'acétone (T3) comparé au poids frais des pousses de la variété 92/0057 ( $0,75 \pm 0,02$  kg) et de la variété Miboutou ( $0,80 \pm 0,06$  kg) traitées à l'extrait aqueux (T1). Un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) est enregistré entre les variétés, les traitements et l'interaction variété x traitement à 6 MAP. Le poids frais des pousses le plus élevé est enregistré dans les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse ( $1,96 \pm 0,12$  kg) suivi des parcelles traitées à l'extrait à l'acétone ( $1,91 \pm 0,13$  kg) de la variété 92/0057. Pour la variété Miboutou, le poids frais des pousses le plus élevé est observé dans les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse ( $2,05 \pm 0,06$  kg) suivi des parcelles traitées à l'extrait à l'acétone ( $1,97 \pm 0,13$  kg) et des parcelles traitées à l'extrait au méthanol ( $1,97 \pm 0,12$  kg). Les parcelles non traitées présentent les plus faibles valeurs ( $1,38 \pm 0,05$  kg). A 12 MAP, on note un effet



significatif ( $P < 0,001$ ) entre les traitements et les variétés ( $P < 0,01$ ). Le poids frais des pousses le plus élevé est obtenu par la variété Miboutou traitée avec l'extrait à l'acétone ( $2,91 \pm 0,06$  kg) et le poids frais des pousses le plus faible par la variété 92/0057 non traitée ( $2,06 \pm 0,08$  kg).

Tableau IX. Effet des traitements et de la variété sur le poids frais des pousses de manioc

Variétés	Traitements	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
TMS 92/0057	T0	0,82 ± 0,07abc	1,38 ± 0,05b	1,54 ± 0,43c	2,06 ± 0,08c
	T1	0,75 ± 0,02c	1,45 ± 0,14b	2,51 ± 0,31ab	2,61 ± 0,15abc
	T2	0,83 ± 0,06abc	1,47 ± 0,06b	2,08 ± 0,42ab	2,51 ± 0,32abc
	T3	0,98 ± 0,08a	1,91 ± 0,13a	2,71 ± 0,16ab	2,80 ± 0,31ab
	T4	0,94 ± 0,05ab	1,96 ± 0,12a	2,11 ± 0,10abc	2,29 ± 0,09abc
Moyenne V1		0,86 ± 0,10a	1,63 ± 0,27b	2,19 ± 0,50b	2,45 ± 0,34b
Miboutou	T0	0,82 ± 0,10abc	1,38 ± 0,07b	2,15 ± 0,20abc	2,25 ± 0,38bc
	T1	0,80 ± 0,06bc	1,49 ± 0,08b	2,48 ± 0,35ab	2,88 ± 0,17ab
	T2	0,89 ± 0,05abc	1,97 ± 0,12a	2,75 ± 0,21ab	2,84 ± 0,49ab
	T3	0,92 ± 0,07abc	1,97 ± 0,13a	2,87 ± 0,23a	2,91 ± 0,06a
	T4	0,91 ± 0,09abc	2,05 ± 0,06a	1,98 ± 0,52bc	2,65 ± 0,27abc
Moyenne V2		0,87 ± 0,08a	1,76 ± 0,30a	2,45 ± 0,45a	2,70 ± 0,31a
Pr (> F) V		0,8265ns	0,0002***	0,0161*	0,0053*
Pr (> F) T		0,0002***	<0,001***	0,0024**	<0,001***
Pr (> F) VxT		0,3892ns	<0,001***	0,0001***	0,8691ns

P : 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05, ns : non significatif, MAP : mois après plantation, V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 : extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide de synthèse BASTION SUPER. Les valeurs suivies d'une même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.3.1.3. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le nombre de cochenilles vivantes

Le nombre de cochenilles (CART/P) augmente en fonction de l'âge du plant de manioc dans les différents traitements (Fig. 21). Il ressort que sur les deux variétés de manioc il est observé un nombre de cochenilles élevé à 6 et 9 MAP par rapport à 3 et 12 MAP. A 3 MAP, on note un effet traitement très hautement significatif ( $P < 0,001$ ). Les parcelles traitées au BASTION (60,68 CART/P) ont le nombre moyen de cochenilles le plus faible que les parcelles témoin (85,56 CART/P). L'effet variété est hautement significatif ( $P < 0,01$ ). La variété Miboutou obtient (77,63 CART/P) et la variété 92/0057 (70,70 CART/P). Ce nombre de cochenilles sur les deux variétés de manioc est illustré par la figure 22. A cette période, l'interaction n'est pas significative ( $P < 0,05$ ). A 6 MAP, seul l'effet traitement est très hautement significatif ( $P < 0,001$ ). Les parcelles non traitées (115 CART/P) ont le nombre

moyen de cochenilles le plus élevé que les parcelles traitées. Dans les parcelles traitées, le plus faible nombre de cochenilles est observé dans les parcelles traitées à l'extrait aqueux (87,44 CART/P), suivi des parcelles traitées à l'extrait à l'acétone (95,43 CART/P). Il est observé un nombre moyen de cochenilles élevé sur la variété Miboutou non traitées (125 CART/P) que sur la variété 92/0057 traitées à l'extrait aqueux (84,13 CART/P). Un effet très hautement significatif est enregistré entre variétés ( $P < 0,001$ ), traitements ( $P < 0,001$ ) et interaction variété x traitement ( $P < 0,01$ ) à 9 MAP. On observe sur la figure que la variété 92/0057 dans les parcelles traitées à l'acétone (71,38 CART/P) a moins de cochenille que la variété Miboutou dans les parcelles non traitées (118,63 CART/P). Pour ce qui est de l'effet traitement, les parcelles traitées à l'extrait à l'acétone ont moins de cochenilles (74,82 CART/P) suivi des parcelles traitées à l'extrait aqueux (89,12 CART/P) et à l'extrait au méthanol (91,25 CART/P). Les parcelles non traitées étant les plus infestées par la cochenille (110,31 CART/P). La variété Miboutou a le plus de cochenille (99,63 CART/P) que la variété 92/0057 (88,15 CART/P). A 12 MAP, l'effet variété ( $P < 0,001$ ), traitement ( $P < 0,01$ ) et l'interaction variété x traitement ( $P < 0,05$ ) sont significatifs. La variété Miboutou dans les parcelles non traitées (75,63 CART/P) a le nombre moyen de cochenilles le plus élevé que la variété 92/0057 dans les parcelles traitées à l'extrait au méthanol (51 CART/P).

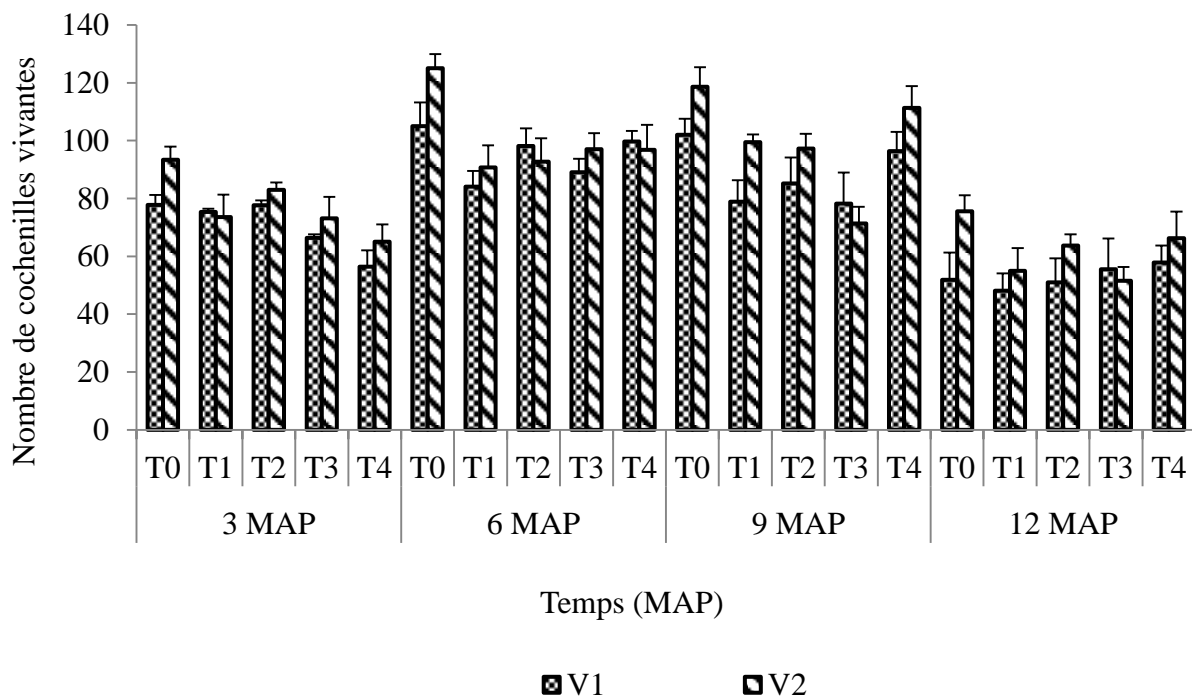


Fig. 21. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de cochenilles vivantes en fonction du temps. T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 ; extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide Bastion super, V1 : variété 92/0057, V2 : variété Miboutou.



Fig. 22. Individus de cochenille sur les variétés de manioc à 3 MAP ; A : variété locale ; B : variété améliorée.

#### III.1.3.1.4. Nombre de cochenilles mortes observé dans les différents traitements

Le nombre de cochenilles mortes varient d'un traitement à l'autre dans les deux variétés (Fig. 23). Un effet significatif est observé entre les traitements ( $P < 0,001$ ), les variétés ( $P < 0,01$ ) et l'interaction variété x traitement ( $P < 0,01$ ). Le nombre de cochenilles mortes le plus élevé est observé dans le traitement à l'extrait au méthanol (97,5 CART/P) de la variété Miboutou et le plus faible dans les parcelles non traitées (19,75 ; 36,88 CART/P) de la variété TMS 92/0057 et Miboutou respectivement. A 9 MAP, l'effet traitement ( $P < 0,001$ ) et l'interaction ( $P < 0,01$ ) sont significatifs. Les parcelles traitées à l'extrait aqueux (92,63 CART/P) de la variété Miboutou ont le nombre de cochenilles mortes le plus élevé que les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse (47,88 CART/P) de la variété 92/0057. La variété Miboutou a plus de cochenilles mortes (73,70 CART/P) que la variété 92/0057 (70,48 CART/P). A 12 MAP, un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) est observé entre les traitements, les variétés et l'interaction variété x traitement. Le nombre de cochenilles mortes le plus faibles est observé dans les parcelles témoins (19,69 CART/P) et les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse (25,69 CART/P) que dans les parcelles traitées à l'extrait à l'acétone (46,69 CART/P). La variété Miboutou traitée à l'extrait aqueux renferme le nombre de cochenilles mortes le plus élevé (64,88 CART/P) comparée à la variété 92/0057 des parcelles témoins (19,63 CART/P).

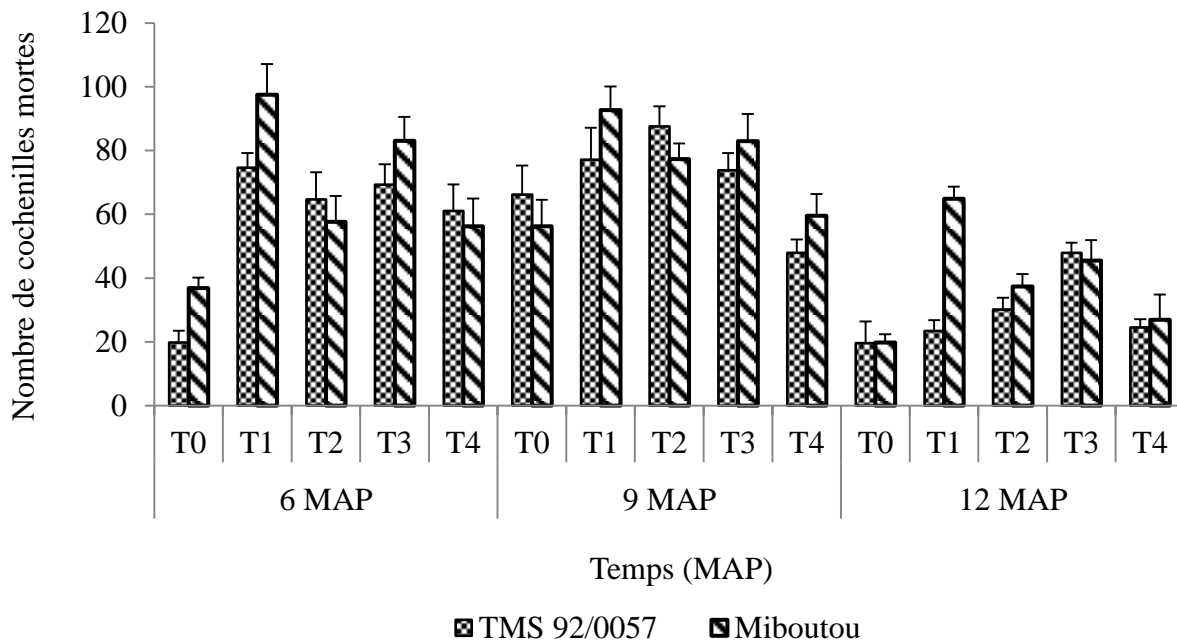


Fig. 23. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de cochenilles mortes en fonction du temps. T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 ; extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide Bastion super, V1 : variété 92/0057, V2 : variété Miboutou.

### III.1.3.1.5. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le nombre de tubercules

Le nombre de tubercules (Tableau X) montrent à 3 MAP une différence significative ( $P < 0,05$ ) entre les variétés. Le nombre de tubercules de la variété 92/0057 ( $2,22 \pm 0,66$ ) est supérieur au nombre de tubercules de la variété locale ( $1,85 \pm 0,49$ ). À cette période, les traitements et l'interaction variété x traitement ne présentent aucun effet significatif. A 9 MAP, seulement l'effet variété est significatif ( $P < 0,01$ ). Le nombre de tubercules le plus faible est produit par la variété 92/0057 traitée avec l'extrait au méthanol ( $3,13 \pm 0,47$ ) et le plus grand nombre de tubercules par la variété Miboutou non traité ( $6,50 \pm 1,08$ ). On observe à 12 MAP aucun effet significatif entre les traitements et les variétés. Par contre, l'interaction variété x traitement est significatif ( $P < 0,05$ ). Le plus grand nombre de tubercules est observé dans la variété Miboutou traitée avec l'insecticide de synthèse ( $6,34 \pm 0,47$ ), suivi de la variété 92/0057 traitée avec l'extrait à l'acétone ( $5,63 \pm 0,75$ ) par rapport à la variété 92/0057 des parcelles non traitées ( $4,40 \pm 0,48$ ). Le nombre de tubercules varie de façon croissante en fonction du temps dans les variétés et dans les traitements.

Tableau X. Effet des traitements et de la variété sur le nombre de tubercule par plant

Variétés	Traitements	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
TMS 92/0057	T0	2,50 ± 0,57a	2,87 ± 0,47c	4,75 ± 1,70ab	4,40 ± 0,48b
	T1	2,13 ± 0,85a	4,00 ± 0,41abc	4,50 ± 1,29ab	5,12 ± 0,63ab
	T2	1,88 ± 0,25a	4,50 ± 0,41ab	3,13 ± 0,47b	4,75 ± 0,96ab
	T3	2,13 ± 0,71a	4,63 ± 0,85a	4,87 ± 1,03ab	5,63 ± 0,75ab
	T4	2,50 ± 0,46a	3,00 ± 0,81c	4,63 ± 1,10ab	5,00 ± 0,82 ab
Moyenne V1		2,23 ± 0,57a	3,80 ± 0,93a	4,38 ± 1,12b	4,98 ± 0,78a
Miboutou	T0	1,63 ± 0,25a	4,25 ± 0,29abc	6,50 ± 1,08a	4,63 ± 0,75ab
	T1	1,38 ± 0,75a	4,63 ± 0,75a	5,63 ± 0,75ab	5,34 ± 0,94ab
	T2	2,00 ± 0,12a	3,13 ± 0,48bc	5,37 ± 1,10ab	5,50 ± 0,41ab
	T3	2,25 ± 0,28a	3,75 ± 0,50abc	4,38 ± 0,94ab	5,13 ± 0,85ab
	T4	2,00 ± 0,40a	3,88 ± 0,48abc	6,13 ± 0,75a	6,34 ± 0,47a
Moyenne V2		1,85 ± 0,56b	3,93 ± 0,69a	5,60 ± 0,92a	5,40 ± 0,86a
Pr (> F) V		0,0403*	0,4974ns	0,0011**	0,0762ns
Pr (> F) T		0,3976ns	0,0182*	0,0992ns	0,0404*
Pr (> F) VxT		0,2331ns	0,0001***	0,1356ns	0,1553ns

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05, ns : non significatif, MAP : mois après plantation, V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 ; extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide de synthèse BASTION SUPER. Les valeurs suivies d'une même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.3.1.6. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le rendement

Le rendement en tubercule frais varie en fonction des périodes d'échantillonnage (Tableau XI). Seul l'effet traitement est significatif à 6 MAP. A 9 MAP, l'interaction variété x traitement est significative ( $P < 0,001$ ) par contre, aucun effet significatif ( $P < 0,05$ ) n'est observé entre les variétés et les traitements. Le rendement le plus élevé est enregistré dans la variété 92/0057 traitée à l'extrait à l'acétone (13,98 t.ha<sup>-1</sup>) comparé au rendement enregistré dans la Miboutou traitée à l'extrait à l'acétone (7,50 t.ha<sup>-1</sup>) suivi de la variété 92/0057 non traitée (9,30 t.ha<sup>-1</sup>). A 12 MAP, l'effet traitement ( $P < 0,05$ ) et l'interaction variété x traitement ( $P < 0,001$ ) sont observés. Le rendement en tubercule frais le plus faible est obtenu par la variété Miboutou non traitée (11,50 t.ha<sup>-1</sup>). Les rendements les plus élevés sont obtenus par la variété 92/0057 traitée à l'extrait à l'acétone (15,20 t.ha<sup>-1</sup>) et la variété Miboutou traitée à l'insecticide de synthèse (15,05 t.ha<sup>-1</sup>). En général, le traitement à l'insecticide de synthèse produit un rendement de 14,90 t.ha<sup>-1</sup>, le traitement à l'extrait à l'acétone un rendement de 14,77 t.ha<sup>-1</sup>, le traitement à l'extrait au méthanol un rendement de 14,65 t.ha<sup>-1</sup> et le témoin non traitée un rendement de 15,23 t.ha<sup>-1</sup> à 12 MAP.

Tableau XI. Effet des traitements et de la variété sur le rendement de manioc

Variétés	Traitements	6 MAP	9 MAP	12 MAP
TMS 92/0057	T0	5,56 ± 0,31a	9,30 ± 1,21c	12,90 ± 1,31bc
	T1	4,89 ± 0,24a	10,55 ± 2,67bc	13,65 ± 3,13ab
	T2	5,06 ± 0,60a	10,00 ± 1,51bc	14,60 ± 2,67ab
	T3	5,42 ± 0,39a	13,98 ± 2,69a	15,20 ± 4,73a
	T4	5,39 ± 0,43a	9,38 ± 2,98bc	14,75 ± 1,94ab
Moyenne V1		5,26 ± 0,39a	10,64 ± 2,21a	14,22 ± 2,76a
Miboutou	T0	5,08 ± 0,24a	9,53 ± 1,36bc	11,50 ± 1,40c
	T1	5,09 ± 0,26a	12,58 ± 1,26ab	14,65 ± 2,47ab
	T2	5,55 ± 0,34a	9,84 ± 1,07bc	14,95 ± 2,60a
	T3	5,98 ± 0,31a	7,50 ± 1,53c	14,10 ± 2,13ab
	T4	5,69 ± 0,35a	9,53 ± 1,16bc	15,05 ± 2,20a
Moyenne V2		5,48 ± 0,30a	9,79 ± 1,27a	14,05 ± 2,16a
Pr (> F) V		0,7538ns	0,0536ns	0,4518ns
Pr (> F) T		0,0326*	0,1767ns	<0,001***
Pr (> F) VxT		0,8744ns	<0,001***	0,0166*

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05, ns : non significatif, MAP : mois après plantation, V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; T0 : témoin non traité ; T1 : extrait aqueux ; T2 ; extrait au méthanol ; T3 : extrait à l'acétone ; T4 : insecticide de synthèse BASTION SUPER. Les valeurs suivies d'une même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.3.2. Evaluation de l'activité insecticide des extraits des graines de *Thevetia peruviana* par contact vis-à-vis de *Anoplolepis tenella*

#### III.1.3.2.1. Cas des différents extraits des graines de *Thevetia peruviana* vis-à-vis de *Anoplolepis tenella*

L'évaluation de la toxicité par contact des extraits des graines de *T. peruviana* montre leur efficacité contre la fourmi. Il ressort que l'efficacité des différents extraits augmente avec la dose prélevée. Un effet hautement significatif est observé ( $P < 0,001$ ).

Ainsi pour l'extrait aqueux (EAq), il est observé à 10 min un pourcentage de mortalité variant de 6 à 20 % dans les différentes doses (Fig. 24). A 70 min, le pourcentage de mortalité est de 40, 53,33 et 56,67 % pour les doses 75, 150 et 300 µL respectivement. Le pourcentage de mortalité atteint les 60 et 63,33 % avec les doses 150 et 300 µL, par contre avec la dose 1 (75 µL) elle reste inférieure à 50 %.

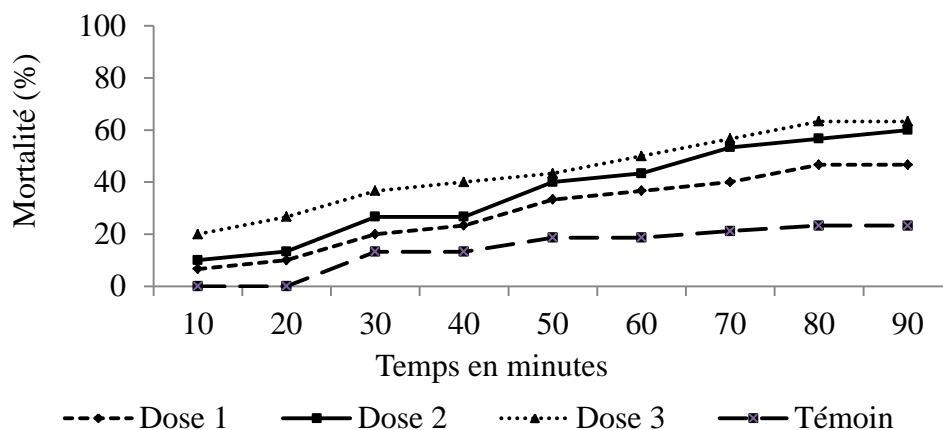


Fig. 24. Variation de la mortalité corrigée par contact de l'extrait aqueux de *Thevetia peruviana* sur *A. tenella*. Dose 1= 75 µL, Dose 2=150 µL, Dose 3=300 µL.

Pour l'extrait au méthanol et l'extrait à l'acétone, on observe un pourcentage de mortalité de (43,33, 55 et 73,33 %) et (56,67, 70 et 86,67 %) pour les doses 75, 150 et 300 µL respectivement à 20 min. Il est observé une augmentation du pourcentage de mortalité qui atteint les 100 % dans les différentes doses testées à partir de 30 min (Fig. 25. A et B).

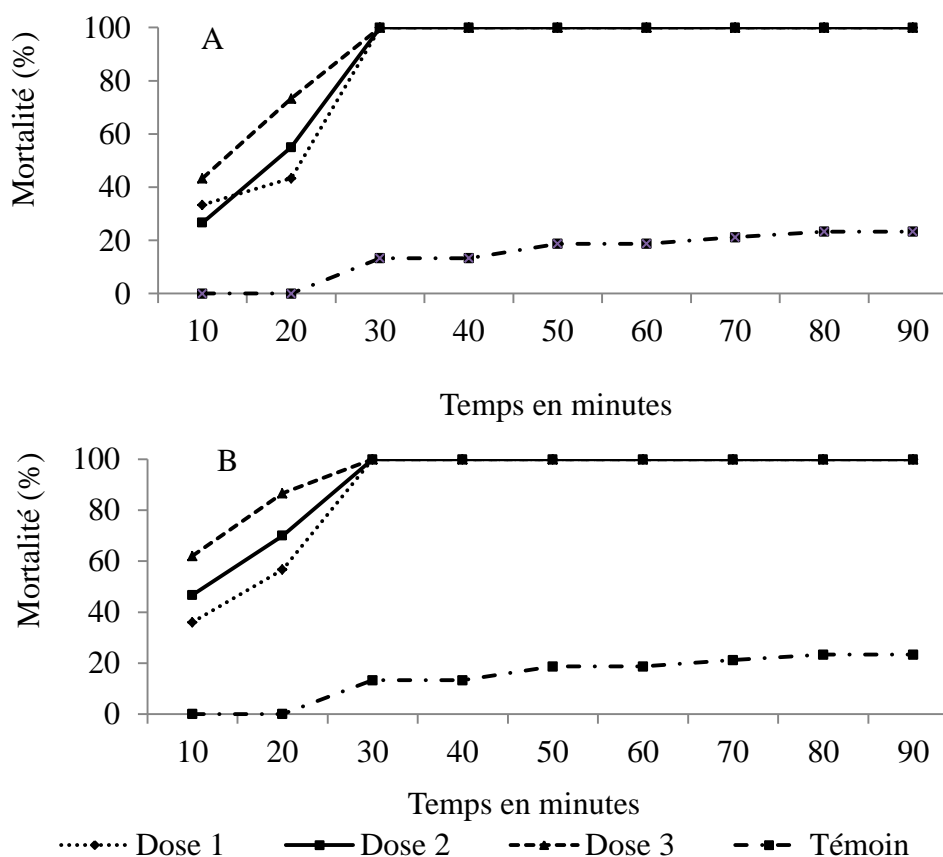


Fig. 25. Variation de la mortalité corrigée par contact de l'extrait au méthanol ; (A) et à l'acétone (B) de *T. peruviana* sur *A. tenella* Dose 1 : 75 µL, Dose 2 : 150 µL, Dose 3 : 300 µL.

### III.1.3.2.2. Comparaison de l'effet contact des extraits de *Thevetia peruviana* sur *Anoplolepis tenella*

Le test par contact des extraits de *T. peruviana* à différentes doses montre une variation du pourcentage de mortalité vis-à-vis de *A. tenella* par rapport au témoin (Fig. 26). On note que le pourcentage de mortalité varie de 29 à 45 % pour l'extrait aqueux, 86 à 91 % pour l'extrait au méthanol et 88 à 95 % pour l'extrait à l'acétone. De même, il est observé que ce pourcentage de mortalité augmente avec la dose des différents extraits.

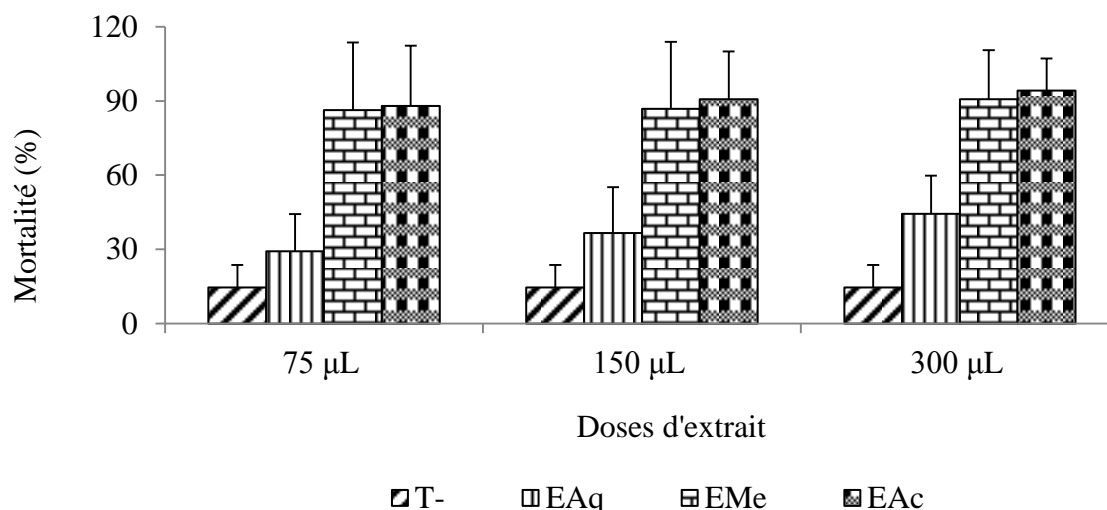


Fig. 26. Efficacité des extraits des graines de *Thevetia peruviana* contre *Anoplolepis tenella*. T- : témoin, EAq : extrait aqueux, EMe : extrait au méthanol, EAc : extrait à l'acétone.

### III.1.4. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur la croissance et contre *Stictococcus vayssierei* en champ

#### III.1.4.1. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur les paramètres de croissance durant la campagne 2016-2017 et 2017-2018

##### III.1.4.1.1. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le poids frais des pousses

Aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'est observée sur le poids frais des pousses en ce qui concerne l'interaction variété x hauteur de coupe des boutures des tiges de manioc à 3, 6, 9 et 12 MAP durant la campagne 2016-2017 et à 6 et 12 MAP durant la campagne 2017-2018 (Tableau XII). A 3 et 6 MAP (campagne 2016-2017), la variété locale Miboutou dans les parcelles plantées avec les boutures sectionnées à la base ( $1,87 \pm 0,52$  ;  $2,26 \pm 0,59$  kg) produit le poids frais des pousses le plus élevé que la variété améliorée TMS 96/0023 plantées avec les boutures sectionnées au sommet ( $0,95 \pm 0,21$  ;  $1,21 \pm 0,31$  kg)



respectivement pour les deux périodes (3 et 6 MAP). Pour la variété Douma, le poids frais des pousses à 12 MAP est supérieur dans les parcelles plantées avec des boutures sectionnées au milieu ( $2,99 \pm 0,26$  kg) par rapport aux boutures sectionnées au sommet ( $1,97 \pm 0,17$  kg). A cette période (12 MAP), on observe une baisse du poids frais des pousses dans la variété Miboutou (0,67 kg) et Douma (0,16 kg) dans les parcelles plantées avec les boutures sectionnées au sommet par rapport à 9 MAP. A 12 MAP, un effet hautement significatif ( $P < 0,01$ ) est enregistré. Le poids frais des pousses de la variété Douma ( $2,61 \pm 0,65$  kg) est plus élevé que celui de la variété Excel ( $2,04 \pm 0,54$  kg). Les résultats montrent que les hauteurs de coupe des boutures des tiges ont un impact significatif sur le poids frais des pousses. A 3 et 6 MAP, une différence significative ( $P < 0,05$ ) est observée entre les hauteurs de coupe des boutures. En ce qui concerne l'effet variété, aucune différence significative n'est observée à 3 MAP. A 6 et 9 MAP, le poids frais des pousses de la variété Miboutou ( $1,92 \pm 0,47$  ;  $2,54 \pm 0,36$  kg) et de la variété Douma ( $1,98 \pm 0,28$  ;  $2,41 \pm 0,25$  kg) est plus élevé que la variété Excel ( $1,53 \pm 0,27$  ;  $2,07 \pm 0,36$  kg) et la variété TMS 96/0023 ( $1,34 \pm 0,29$  ;  $1,87 \pm 0,21$  kg). A 12 MAP, un effet hautement significatif ( $P < 0,01$ ) est enregistré. Le poids frais des pousses de la variété Douma ( $2,61 \pm 0,65$  kg) est plus élevé que celui de la variété Excel ( $2,04 \pm 0,54$  kg). Durant la campagne 2017-2018, les résultats montrent qu'il existe une interaction significative ( $P < 0,05$ ) à 3 et 9 MAP. A 3 MAP, le poids frais des pousses le plus élevé est observé chez la variété 96/0023 ( $1,95 \pm 0,14$  kg) plantée avec les boutures sectionnées à la base et la variété Douma ( $1,95 \pm 0,14$  kg) plantée avec les boutures sectionnées au milieu. Le poids le plus faible est observé chez la variété Excel ( $1,20 \pm 0,07$  kg) et Miboutou ( $1,25 \pm 0,03$  kg) plantée avec les boutures sectionnées au sommet. A 9 MAP, la variété Excel ( $2,70 \pm 0,14$  kg) plantée avec les boutures sectionnées à la base obtient le poids frais des pousses le plus élevé que la variété 96/0023 ( $2,14 \pm 0,19$  kg) plantée avec les boutures sectionnées au sommet. L'effet variété est très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) à 3 MAP. A cette période, la variété Douma ( $1,85 \pm 0,14$  kg) produit le meilleur poids frais des pousses que la variété Miboutou ( $1,43 \pm 0,16$  kg). Un effet significatif sur la hauteur de coupe des boutures d'une même tige de manioc est observé à 3, 6, 9 et 12 MAP. Les boutures sectionnées à la base obtiennent le meilleur poids frais des pousses ( $2,84 \pm 0,12$  kg) et les boutures sectionnées au sommet le poids frais des pousses le plus faible ( $2,59 \pm 0,14$  kg) à 12 MAP.

Tableau XII. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le poids frais des pousses des plants de manioc

Variétés	Traitements	Campagne 2016-2017				Campagne 2017-2018			
		3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Bb	1,64±0,24abc	1,74±0,16abc	2,31±0,18bcd	2,51±0,30abc	1,85±0,03ab	2,04±0,04a	2,70±0,14a	2,75±0,07ab
	Bm	1,44±0,21abc	1,54±0,26abc	2,09±0,24abcd	2,08±0,41abc	1,45±0,14bcd	1,92±0,13a	2,20±0,14bc	2,86±0,21ab
	Bs	1,22±0,11abc	1,32±0,26ab	1,81±0,46ab	1,54±0,42a	1,20±0,07d	1,82±0,02a	2,05±0,07c	2,28±0,12b
Moyenne V1		1,26±0,27a	1,53±0,27b	2,07±0,36b	2,04±0,54b	1,50±0,08ab	1,93±0,06a	2,32±0,12a	2,63±0,13a
96/0023	Bb	1,49±0,29abc	1,41±0,27ab	2,06±0,09abcd	2,75±0,22bc	1,95±0,14a	2,08±0,07a	2,65±0,11a	2,75±0,06ab
	Bm	1,41±0,23abc	1,40±0,34ab	1,91±0,2abc	2,72±0,33bc	1,70±0,07abc	1,99±0,22a	2,37±0,06abc	2,85±0,21ab
	Bs	0,95±0,21a	1,21±0,31a	1,63±0,07a	2,12±0,39abc	1,40±0,07cd	1,81±0,06a	2,14±0,19c	2,55±0,07ab
Moyenne V2		1,12±0,32a	1,34±0,29b	1,87±0,21b	2,52±0,42ab	1,68±0,09ab	1,96±0,12a	2,39±0,12a	2,72±0,11a
Miboutou	Bb	1,87±0,52c	2,26±0,59c	2,68±0,38e	2,48±0,35abc	1,55±0,14abcd	2,14±0,02a	2,64±0,06ab	2,95±0,21a
	Bm	1,79±0,49bc	1,84±0,46abc	2,29±0,28e	2,15±0,21abc	1,50±0,07bcd	1,94±0,09a	2,40±0,14abc	2,48±0,01ab
	Bs	1,06±0,18ab	1,67±0,17abc	2,66±0,37bcd	1,99±0,52ab	1,25±0,03d	1,89±0,14a	2,35±0,09abc	2,70±0,14ab
Moyenne V3		1,48±0,51a	1,92±0,47a	2,54±0,36a	2,20±0,40ab	1,43±0,08b	1,99±0,08a	2,46±0,09a	2,71±0,12a
Douma	Bb	1,81±0,37bc	2,11±0,39bc	2,59±0,39e	2,88±0,79bc	1,85±0,14ab	1,91±0,06a	2,33±0,06abc	2,90±0,14ab
	Bm	1,54±0,19abc	1,97±0,21abc	2,50±0,15cd	2,99±0,26c	1,95±0,14a	1,99±0,27a	2,41±0,07abc	3,00±0,28a
	Bs	1,27±0,39abc	1,86±0,21abc	2,13±0,09abcd	1,97±0,17ab	1,75±0,15abc	1,77±0,03a	2,19±0,09c	2,85±0,22ab
Moyenne V4		1,54±0,40a	1,98±0,28a	2,41±0,25a	2,61±0,65a	1,85±0,14a	1,89±0,12a	2,31±0,07a	2,92±0,21a
Pr (> F) V		0,1009ns	<0,001***	<0,001***	0,0037**	<0,001***	0,5669ns	0,1141ns	0,0644ns
Pr (> F) T		<0,001***	0,0127*	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,0131*	<0,001***	0,0285*
Pr (> F) VxT		0,6834ns	0,8639ns	0,993ns	0,4325ns	0,0413*	0,7984ns	0,0423*	0,0719ns

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif ; V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; MAP : Mois après plantation ; Bb : bouture sectionnée à la base ; Bm : bouture sectionnée au milieu ; Bs : bouture sectionnée au sommet. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes au test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.4.1.2. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le diamètre au collet

Le diamètre au collet des plants de manioc sont consignés dans le tableau XIII. Les résultats montrent que le diamètre au collet des variétés de manioc plantées avec les boutures sectionnées à la base, au milieu et au sommet augmente en fonction du temps pendant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018. Aucun effet significatif ( $P > 0,05$ ) n'est observé dans l'interaction variété x hauteurs de coupe à 3, 6, 9 et 12 MAP pendant la campagne 2016-2017. Il ressort du tableau que le meilleur diamètre est enregistré par la variété Douma ( $1,63 \pm 0,37$  ;  $1,97 \pm 0,31$  ;  $2,63 \pm 0,32$  ;  $2,69 \pm 0,42$  cm) plantée avec les boutures sectionnées à la base durant toutes les périodes de mesure du paramètre. L'effet variétal n'est pas significatif à 3 MAP par contre, un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) est observé à 9 et 12 MAP. Le meilleur diamètre est produit par la variété Douma ( $2,64 \pm 0,32$  ;  $2,69 \pm 0,33$  cm) comparée à la variété Excel ( $2,08 \pm 0,20$  ;  $2,17 \pm 0,18$  cm) respectivement à 9 et 12 MAP. Pour ce qui est de l'effet des hauteurs de coupe des boutures de manioc, les boutures sectionnées à la base ont le diamètre le plus élevé ( $1,55 \pm 0,22$  ;  $1,84 \pm 0,31$  ;  $2,55 \pm 0,36$  et  $2,68 \pm 0,32$  cm), suivi des boutures sectionnées au milieu ( $1,37 \pm 0,20$  ;  $1,65 \pm 0,21$  ;  $2,41 \pm 0,39$  et  $2,46 \pm 0,36$  cm). Durant la campagne 2017-2018, il ressort du tableau qu'une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) est enregistrée pour ce qui est de l'interaction hauteur de coupe x variété à 9 MAP. La variété Douma ( $2,92 \pm 0,06$  cm) et la variété 96/0023 ( $2,85 \pm 0,05$  cm) plantées avec les boutures sectionnées à la base ont produit en moyenne les plus gros diamètres que la variété 96/0023 ( $2,21 \pm 0,02$  cm) plantée avec les boutures sectionnées au sommet à 9 MAP. L'effet variété est significatif à 9 MAP ( $P < 0,001$ ) et 12 MAP ( $P < 0,01$ ). A 12 MAP, la variété Douma ( $2,94 \pm 0,08$  cm) et 96/0023 ont les plus gros diamètres ( $2,82 \pm 0,07$  cm) par rapport à la variété Miboutou ( $2,68 \pm 0,20$  cm) et Excel ( $2,76 \pm 0,18$  cm). Pour ce qui est de l'effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc, un effet très hautement significatif est observé à 3, 6, 9 et 12 MAP. Les parcelles plantées avec les boutures sectionnées à la base ont un diamètre moyen de  $2,92 \pm 0,12$  cm, suivi des parcelles plantées avec les boutures sectionnées au milieu  $2,88 \pm 0,14$  cm et les parcelles plantées avec les boutures sectionnées au sommet  $2,60 \pm 0,13$  cm le diamètre le plus faible à 12 MAP.

Tableau XIII. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le diamètre au collet des plants de manioc

Variétés	Traitements	Campagne 2016-2017				Campagne 2017-2018			
		3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Bb	1,55±0,15ab	1,87±0,14bc	2,20±0,23abc	2,28±0,18abc	1,62±0,11a	1,92±0,20ab	2,60±0,09bc	2,76±0,13abcd
	Bm	1,46±0,12ab	1,69±0,11abc	2,12±0,19ab	2,15±0,23ab	1,57±0,06a	1,73±0,11abc	2,53±0,05cd	2,80±0,26abcd
	Bs	1,17±0,05ab	1,44±0,09ab	1,93±0,12ab	2,08±0,09a	1,37±0,14a	1,65±0,10abc	2,32±0,06de	2,72±0,15abcd
Moyenne V1		1,39±0,19a	1,67±0,21ab	2,08±0,20c	2,17±0,18b	1,52±0,10a	1,76±0,13a	2,48±0,06ab	2,76±0,18ab
96/0023	Bb	1,46±0,13ab	1,68±0,15abc	2,46±0,46abc	2,72±0,33bcd	1,70±0,22a	2,05±0,20a	2,85±0,05a	3,00±0,06ab
	Bm	1,24±0,07ab	1,45±0,19ab	2,45±0,50abc	2,33±0,27abcd	1,63±0,12a	1,88±0,14abc	2,78±0,03ab	3,00±0,05abc
	Bs	1,13±0,07a	1,30±0,16a	1,88±0,36a	2,11±0,27ab	1,47±0,16a	1,43±0,18c	2,21±0,02e	2,48±0,10d
Moyenne V2		1,27±0,17a	1,47±0,22b	2,19±0,47bc	2,39±0,37ab	1,60±0,16a	1,78±0,17a	2,61±0,03ab	2,82±0,07ab
Miboutou	Bb	1,57±0,23ab	1,85±0,20bc	2,66±0,14bc	2,78±0,19cd	1,65±0,22a	1,90±0,20abc	2,57±0,03bc	2,77±0,23abcd
	Bm	1,43±0,15ab	1,69±0,16abc	2,65±0,25bc	2,65±0,24abcd	1,52±0,08a	1,78±0,15abc	2,42±0,06cde	2,70±0,20abcd
	Bs	1,18±0,13ab	1,56±0,11abc	2,29±0,32abc	2,40±0,25abcd	1,40±0,09a	1,53±0,22bc	2,32±0,15de	2,57±0,17cd
Moyenne V3		1,39±0,23a	1,70±0,19ab	2,53±0,29ab	2,60±0,27a	1,52±0,13a	1,74±0,19a	2,43±0,08b	2,68±0,20b
Douma	Bb	1,63±0,37b	1,97±0,31c	2,90±0,11c	2,95±0,13d	1,65±0,13a	1,68±0,12abc	2,92±0,06a	3,13±0,06a
	Bm	1,38±0,35ab	1,78±0,25bc	2,63±0,32bc	2,69±0,42abcd	1,60±0,05a	1,70±0,13abc	2,86±0,10a	3,05±0,04ab
	Bs	1,12±0,25a	1,52±0,27abc	2,40±0,32abc	2,46±0,42abcd	1,42±0,11a	1,43±0,11c	2,43±0,12cde	2,63±0,13bcd
Moyenne V4		1,37±0,37a	1,75±0,31a	2,64±0,32a	2,69±0,33a	1,56±0,09a	1,60±0,31a	2,73±0,09a	2,94±0,08a
Pr (> F) V		0,9387ns	0,0055**	0,0001***	<0,001***	0,5366ns	0,0984ns	<0,001***	0,00775**
Pr (> F) T		<0,001***	<0,001***	0,0010**	0,0001***	0,0006***	<0,001***	<0,001***	<0,001***
Pr (> F) VxT		0,4226ns	0,9783ns	0,9251ns	0,7402ns	0,9973ns	0,3691ns	0,00039***	0,06252ns

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif ; V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; MAP : Mois après plantation ; Bb : bouture sectionnée à la base ; Bm : bouture sectionnée au milieu ; Bs : bouture sectionnée au sommet. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes au test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.4.2. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le nombre de cochenilles totales durant les deux campagnes

Durant la campagne 2016-2017, le nombre moyen de cochenilles totales (vivants et morts) par plant sur chaque variété de manioc en fonction de la hauteur de coupe des boutures à 3, 6, 9 et 12 MAP est illustré par la figure 27. Il ressort de la figure que le nombre de cochenilles racinaire (CART/P) le plus élevé est observé à 6 MAP par rapport à 3, 9 et 12 MAP, soit en moyenne 107 CART/P à 6 MAP, 91 CART/P à 9 MAP, 83 CART/P à 3 MAP et 61 CART/P à 12 MAP. Le nombre moyen de cochenilles sur la variété Excel (138,38 CART/P) plantées avec les boutures sectionnées à la base est plus élevé que sur la variété Miboutou (89 CART/P) plantées avec les boutures sectionnées au milieu à 6 MAP. A 12 MAP, le plus faible nombre de cochenilles racinaire est observé sur la variété TMS 96/0023 (42,75 CART/P) plantées avec les boutures sectionnées au sommet. L'effet variété ( $P < 0,05$ ) est observé durant les quatre périodes de prise de paramètre. A 3 et 12 MAP, le nombre moyen de cochenilles observé sur la variété 96/0023 (97,5 et 65,67 CART/P) est faible que sur les autres variétés. En ce qui concerne l'effet des hauteurs de coupe des boutures de manioc, on observe statistiquement le même nombre moyen de cochenille sur les boutures sectionnées à la base, au milieu et au sommet.

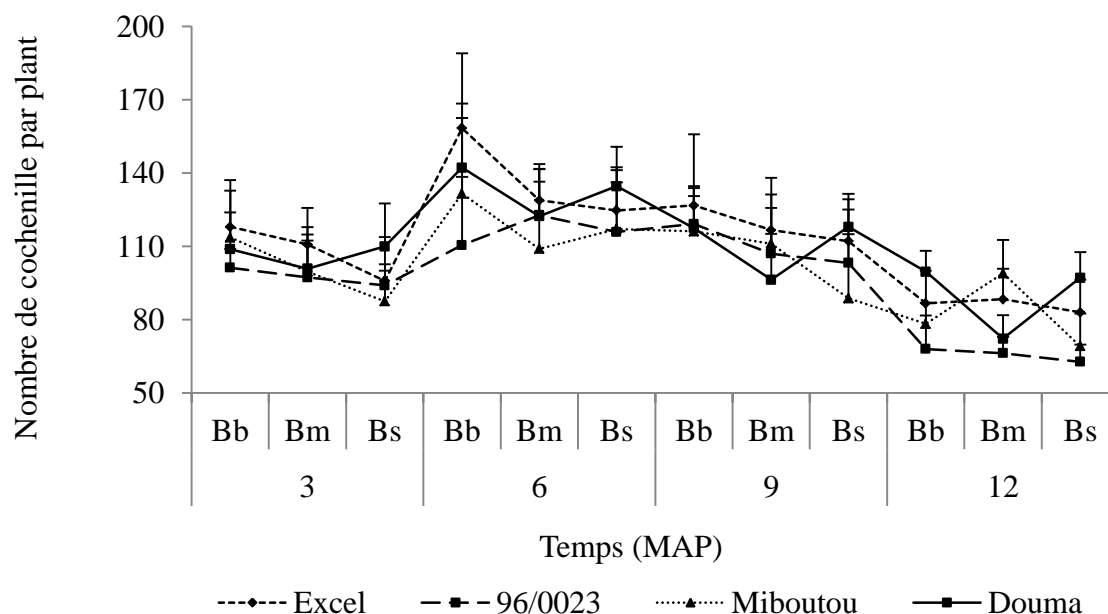


Fig. 27. Effet variétal et des hauteurs de coupe des boutures de manioc sur le nombre de cochenille en fonction du temps année 2016-2017. MAP : Mois après plantation ; Bb : bouture sectionnée à la base ; Bm : bouture sectionnée au milieu ; Bs : bouture sectionnée au sommet.

Au cours de la campagne 2017-2018, Il est observé sur la figure 28 que le nombre de cochenilles a été très faible en début d'expérimentation (3 MAP) par rapport à 6, 9 et 12 MAP. Durant ces trois dernières périodes, il est observé une pullulation des cochenilles sur les différentes sections des boutures des quatre variétés de manioc expérimentés. A 3 MAP, aucune différence significative n'est enregistrée entre les hauteurs de coupe, les variétés et l'interaction variété x hauteur de coupe. Par contre, à 6 et 9 MAP l'effet variété ( $P < 0,05$ ) et l'effet hauteur de coupe des boutures ( $P < 0,001$ ) est observé. Les parcelles plantées avec les boutures sectionnées à la base (48,50 et 64,63 CART/P) et au milieu (43,88 et 54,38 CART/P) ont statistiquement le même nombre moyen de cochenilles et ce nombre est plus élevé que sur les parcelles plantées avec les boutures sectionnées au sommet (37,25 et 36,25 CART/P) respectivement. La variété Douma (51,50 et 59,33 CART/P) a le nombre moyen de cochenilles le plus élevé que la variété 96/0023 (36,83 et 44,83 CART/P) respectivement à 6 et 9 MAP. Il est observé qu'à 6 MAP, le nombre moyen de cochenilles le plus élevé est sur la variété Douma plantées avec les boutures sectionnées au milieu (63 CART/P). A 9 MAP, le nombre de cochenille le plus élevé est sur la variété Douma plantée avec les boutures sectionnées à la base (71 CART/P) par rapport à la variété 96/0023 plantée avec les boutures sectionnées au sommet (26 CART/P).

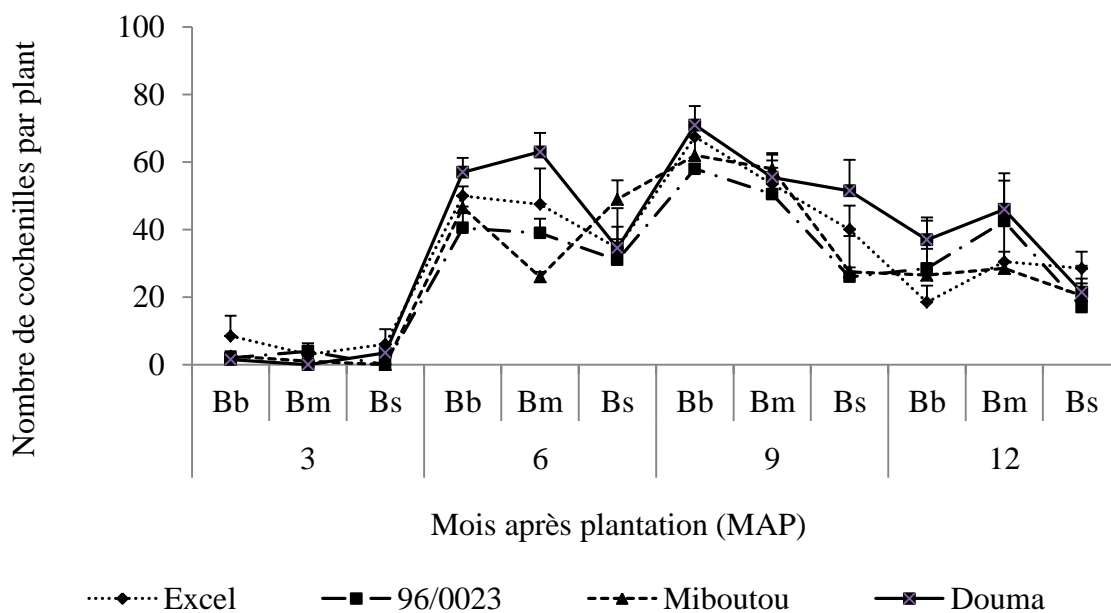


Fig. 28. Effet variétal et des hauteurs de coupe des boutures de manioc sur le nombre de cochenille en fonction du temps année 2017-2018. MAP : Mois après plantation ; Bb : bouture sectionnée à la base ; Bm : bouture sectionnée au milieu ; Bs : bouture sectionnée au sommet.

### III.1.4.3. Effet de la hauteur de coupe des boutures et de la variété sur le rendement durant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018

Le rendement des variétés de manioc en fonction de la hauteur de coupe et du temps durant les deux campagnes est présenté par le tableau XIV. Aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) dans l'interaction variété x hauteur de coupe des boutures de manioc à 6 et 9 MAP et à 6, 9 et 12 MAP à la campagne 2016-2017 et 2017-2018 respectivement. Il ressort du tableau qu'au cours de la campagne 2016-2017, le rendement des quatre variétés de manioc est significativement plus élevé dans les parcelles plantées avec les boutures sectionnées à la base et au milieu et plus faibles dans les parcelles plantées avec les boutures sectionnées au sommet. A 9 MAP, la variété Douma a tendance à donner un rendement maximal de 13,37 t.ha<sup>-1</sup>, tout comme Miboutou (12,72 t.ha<sup>-1</sup>) et 96,0023 (12,40 t.ha<sup>-1</sup>) sur des parcelles plantées avec des boutures provenant de la base. A 12 MAP, la variété Douma (20,11 t.ha<sup>-1</sup>) dans les parcelles plantées avec des boutures sectionnées à la base a enregistré un rendement supérieur à celui de la variété Excel (10,24 t.ha<sup>-1</sup>) dans les parcelles plantées avec des boutures sectionnées au sommet. L'effet variété est significatif à 9 et 12 MAP et le rendement le plus élevé est enregistré par la variété Douma (10,59 et 16,99 t.ha<sup>-1</sup>) respectivement pour les deux périodes (9 et 12 MAP). En ce qui concerne l'effet des hauteurs de coupe, les boutures sectionnées à la base (16,49 t.ha<sup>-1</sup>) et au milieu (15,72 t.ha<sup>-1</sup>) produisent les meilleurs rendements.

Durant la campagne 2017-2018, le meilleur rendement à 6 MAP est obtenu par la variété 96/0023 plantée avec les boutures sectionnées à la base (9,35 t.ha<sup>-1</sup>) et au milieu (9,30 t.ha<sup>-1</sup>) et le rendement le plus faible est obtenu par la même variété plantée avec les boutures sectionnées au sommet (5,50 t.ha<sup>-1</sup>). Seul l'effet de hauteur de coupe des boutures de manioc de la même tige est enregistré à cette période. Les parcelles plantées avec les boutures sectionnées à la base (8,15 t.ha<sup>-1</sup>) et au milieu (8,19 t.ha<sup>-1</sup>) ont les meilleurs rendements. A 9 MAP, le rendement le plus élevé est produit par la variété Douma plantée avec les boutures sectionnées à la base et au sommet (14,45 et 14,42 t.ha<sup>-1</sup>) respectivement. Les meilleurs rendements à 12 MAP sont obtenus par les variétés Douma plantées avec les boutures sectionnées à la base (21,05 t.ha<sup>-1</sup>) et au milieu (20,90 t.ha<sup>-1</sup>), la variété Miboutou plantée avec les boutures sectionnées à la base (19,91 t.ha<sup>-1</sup>), la variété 96/0023 plantée avec les boutures sectionnées au milieu (19,80 t.ha<sup>-1</sup>). La variété Miboutou plantée avec les boutures sectionnées au sommet a le rendement le plus faible (12,22 t.ha<sup>-1</sup>).

Tableau XIV. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le rendement

Variétés	Traitements	Campagne 2016-2017			Campagne 2017-2018		
		6 MAP	9 MAP	12 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Bb	6,25ab	8,82abcde	12,46ab	7,55abc	13,65a	17,75ab
	Bm	4,43ab	7,43ab	11,11a	7,65abc	9,15abc	18,40a
	Bs	3,47a	6,23a	10,24a	5,95bc	6,60c	14,15c
Moyenne V1		4,72a	7,49b	11,27b	7,05a	9,80b	16,76b
96/0023	Bb	8,05b	12,40cde	19,00bc	9,35a	12,40ab	18,90a
	Bm	7,00ab	9,40abcde	13,33abc	9,30a	13,31a	19,80a
	Bs	3,38a	8,22abcd	11,13a	5,50c	9,20abc	12,95c
Moyenne V2		6,14a	10,01ab	14,4ab	8,05a	11,63a	17,21ab
Miboutou	Bb	7,47ab	12,72de	14,40abc	8,35abc	11,65abc	19,91a
	Bm	4,47ab	10,88bcde	18,44bc	7,20abc	10,90abc	19,20a
	Bs	4,47ab	8,05abc	11,00a	6,45abc	7,10bc	12,22c
Moyenne V3		5,47a	10,55a	14,61ab	7,33a	9,88b	17,11ab
Douma	Bb	8,25b	13,37e	20,11c	7,35abc	14,45a	21,05a
	Bm	5,73ab	11,40bcde	20,00c	8,60ab	14,42a	20,90a
	Bs	5,32ab	7,00ab	10,87a	5,60bc	10,10abc	14,70bc
Moyenne V4		6,43a	10,59a	16,99a	7,18a	12,99a	18,88a
Pr (> F) V		0,0796ns	0,0006***	0,0004***	0,1645ns	0,0044**	0,0058**
Pr (> F) T		<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***
Pr (> F) VxT		0,4848ns	0,4459ns	0,0057**	0,1138ns	0,2367ns	0,1202ns

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif ; V : Variétés ; T : Traitements ; VxT : Interaction ; MAP : Mois après plantation ; Bb : bouture sectionnée à la base ; Bm : bouture sectionnée au milieu ; Bs : bouture sectionnée au sommet. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes au test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.4.4. Analyse en composantes principales des variétés de manioc criblées

L'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour grouper les variétés de manioc criblées sur la base des quatre variables notamment le nombre de cochenilles (CART), le poids frais des pousses, le diamètre au collet de la tige et le rendement des racines tubéreuses à trois périodes (6, 9 et 12 MAP). Durant les deux campagnes (2016-2017 et 2017-2018), le système restitue une information assez fiable (58,64 % et 63,73 % de variance pour l'axe 1 ; 33,14 % et 26,29 % de variance pour l'axe 2 respectivement) avec trois groupes formés. Au cours de la campagne 2016-2017, les deux axes représentent 91,78 % (axe 1 et axe 2) de la variation du système étudié. Le premier groupe formé est composé des variétés locales Douma et Miboutou qui sont proche du rendement et de la croissance même en cas de grave d'infestation par les CART. Par contre, la variété Excel (groupe 2) et la variété TMS 96/0023 (groupe 3) se distinguent des autres variétés en raison de leur susceptibilité à



l'infestation par les CART. La variété Excel sensible à la CART enregistre un faible rendement et la variété TMS 96/0023 moins sensible à la CART avec un rendement proche des variétés locales. (Fig. 29).

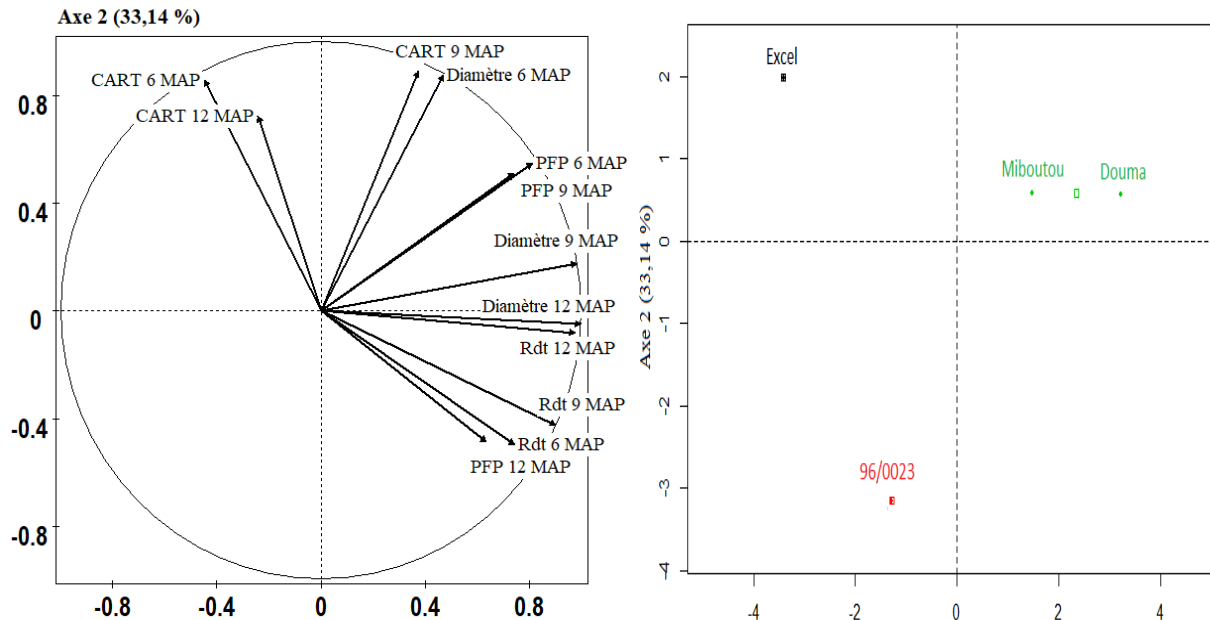


Fig. 29. Structure en ACP entre variétés de manioc et paramètre étudiés.

Durant la campagne 2017-2018 (Fig. 30), la dispersion visualisée représente environ 90,02 % (axe 1 et axe 2) de la variation du système étudié. Le premier groupe se compose de la variété Excel qui est éloigné des paramètres de croissances et du rendement mais légèrement proche de l'infestation par les cochenilles. Le groupe 2 est constitué de la variété TMS 96/0023 et la variété locale Miboutou. Ces variétés sont proches du rendement et sont légèrement éloignés de l'infestation par les cochenilles. Le groupe 3 (variété locale Douma) se distingue des autres variétés en raison de sa susceptibilité à l'infestation par les CART mais avec une bonne productivité.

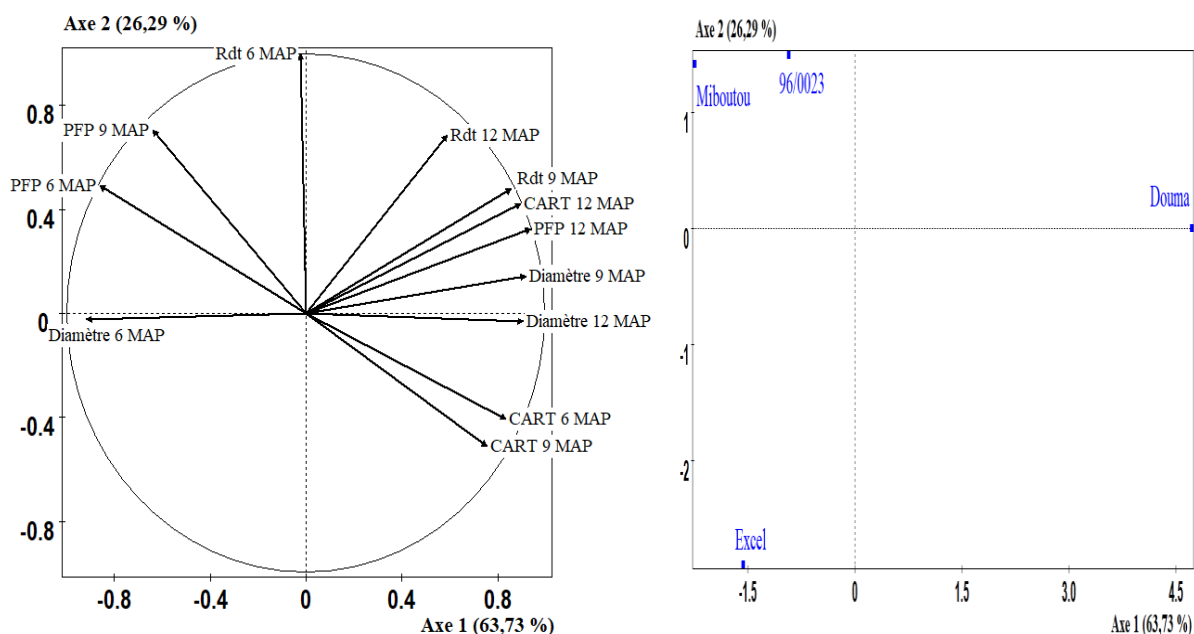


Fig. 30. Analyse en composante principale entre les variétés de manioc et les paramètres étudiés.

### III.1.5. Criblage des variétés de manioc

#### III.1.5.1. Criblage en champ des variétés de manioc

##### III.1.5.1.1. Paramètres agronomiques

Les paramètres agronomiques moyens mesurés à 3, 6, 9 et 12 MAP sont consignés dans le tableau XV. Aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'est observée entre les variétés pour le paramètre diamètre moyen des tiges. En revanche, le poids frais des pousses (tiges et feuilles) et le nombre de tubercules par plant sont significatifs ( $P < 0,001$ ) entre les variétés. La variété locale Douma produit le poids frais des pousses et le nombre de tubercules le plus élevé ( $2,69 \pm 0,43$  kg et  $6,08 \pm 0,43$  tubercules) que la variété Excel ( $1,69 \pm 0,15$  kg et  $4,17 \pm 0,98$ ) respectivement. Un effet significatif ( $P < 0,05$ ) est enregistré entre les variétés en ce qui concerne le rendement en tubercule frais. Le meilleur rendement est enregistré par la variété locale Douma ( $23,8 \pm 2,9$  t.ha<sup>-1</sup>) suivi de la variété améliorée 96/0023 ( $21,8 \pm 5,9$  t.ha<sup>-1</sup>), la variété 92/0057 ( $18,7 \pm 4,5$  t.ha<sup>-1</sup>) et la variété 8034 ( $17,7 \pm 5,7$  t.ha<sup>-1</sup>). La variété Excel accuse le rendement le plus faible ( $14,1 \pm 2,9$  t.ha<sup>-1</sup>).

Tableau XV. Paramètres de croissance et rendement des variétés de manioc

Variétés	Diamètre au collet moyen (cm)	Poids des pousses moyen (kg)	Nombre de tubercules moyen	Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )
92/0057	2,45±0,36a	2,01±0,11bc	4,67±0,52b	18,7±4,5ab
96/0023	2,39±0,29a	2,19±0,38abc	4,50±0,55b	21,8±5,9ab
Excel	2,09±0,22a	1,69±0,15c	4,17±0,98b	14,1±2,8b
8034	2,38±0,35a	2,46±0,25ab	5,17±0,75ab	17,7±5,7ab
Douma	2,55±0,17a	2,69±0,43a	6,08±0,49a	23,8±2,9a
Miboutou	2,29±0,24a	2,30±0,30ab	5,00±0,63ab	20,5±3,7ab
Pr(>F)	0138ns	<0,001***	0,0006***	0,0139*

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05; ns: non significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différent au test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.5.1.2. Variation du nombre de cochenilles sur les variétés de manioc testées

Le nombre de cochenilles racinaires par plant (CART/P) sur les variétés de manioc en fonction du temps est enregistré dans le tableau XVI. Il ressort que les variétés améliorées 96/0023, 92/0057 et 8034 ont un nombre moyen de cochenilles compris entre 50 et 75. Ce sont des variétés moyennement infestées. Par contre les variétés locales Miboutou, Douma et la variété améliorée Excel ont un nombre moyen de cochenilles compris entre 75 et 100 et sont classées parmi les variétés avec une forte infestation. Une différence très hautement significative ( $P < 0,001$ ) est observée à 3, 6, 9 et 12 MAP. Globalement, la variété améliorée Excel (90,12 CART/P) a le nombre moyen de cochenilles le plus élevé, suivi de la variété locale Douma (83,27 CART/P). Par contre les variétés améliorées 92/0057 (65,54 CART/P) et 96/0023 (58,14 CART/P) ont le nombre moyen de cochenilles le plus faible.

Tableau XVI. Classement des variétés en fonction de l'infestation par les cochenilles

Variétés	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	Moyennes	Classement
V1	52,67±8,82cd	92±7,94bc	70,92±5,92cd	46,58±3,42c	65,54±2,34d	2
V2	47,5±3,49d	66,79±3,47e	68,13±4,28d	50,13±5,17c	58,14±1,93e	1
V3	78,21±8,28a	113,67±7,63a	102,83±4,14a	65,75±4,58ab	90,12±3,84a	6
V4	66,17±7,19ab	82,25±9,42cd	74,39±6,70cd	59,56±4,70b	70,59±1,88cd	3
V5	72,83±6,21ab	104,54±9,38ab	87,21±4,76b	68,49±2,91a	83,27±3,03b	5
V6	62,33±6,46bc	73,71±7,36de	78,75±5,18bc	70,63±5,57a	71,36±3,96c	4
Pr(>F)	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	

P : 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05; ns: non significatif ; MAP : mois après plantation ; V1 : 92/0057, V2 : 96/0026, V3 : Excel, V4 : 8034, V5 : Douma, V6 : Miboutou. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différent au test de Tukey à ( $P < 0,05$ )

### III.1.5.1.3. Maladies observées au cours de l'expérimentation

Tout au long de l'expérimentation, deux maladies ont été enregistrées avec une incidence et une sévérité variable outre l'infestation des plants de manioc par la cochenille racinaire (CART). Il s'agit notamment de la Mosaïque Africaine du Manioc (MAM) observée uniquement sur les variétés locales (Fig. 31a) et de l'Anthracnose du manioc causé par *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *Manihotis* observée sur les six variétés de manioc expérimentées (Fig. 31b, c et d).

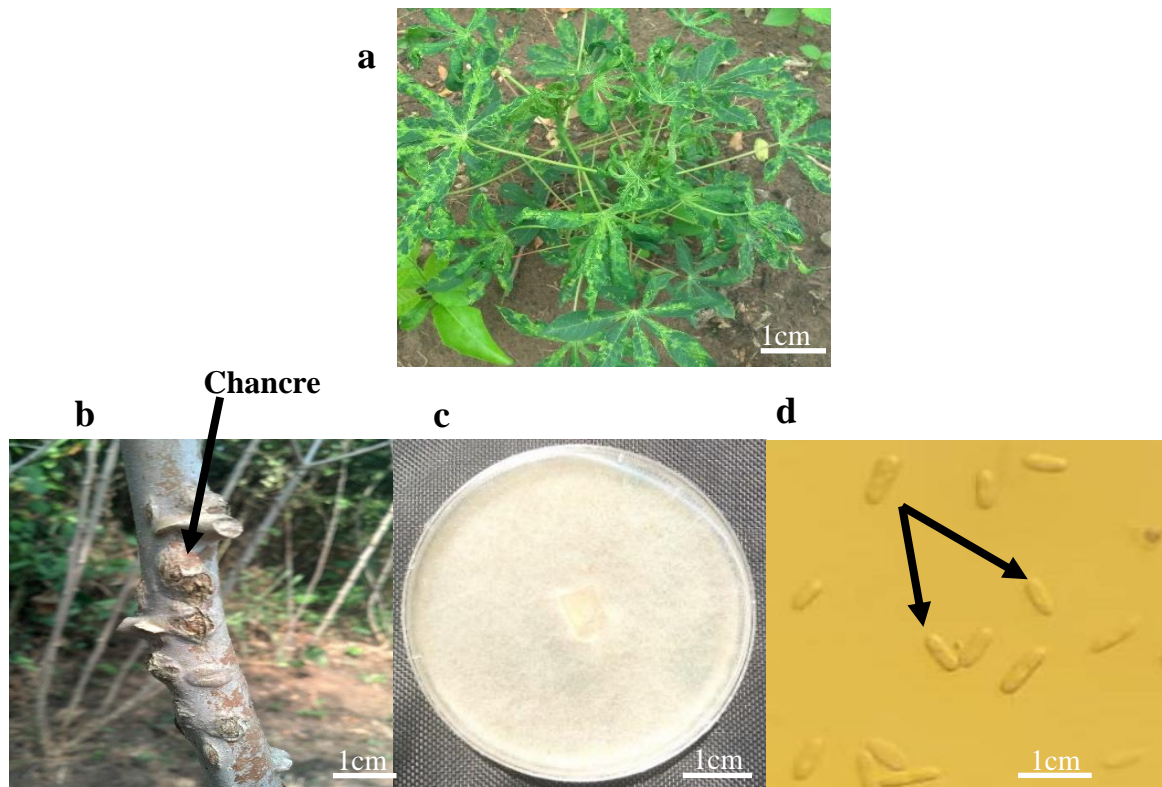


Fig. 31. Symptômes des maladies observés sur les organes de manioc ; a : feuilles de manioc de la variété locale atteintes par la mosaïque ; b : Chancre sur tige de manioc ; c : Souche pure de *Colletotrichum gloeosporioides* ; d : Spores de *Colletotrichum gloeosporioides*.

#### III.1.5.1.3.1. Impact de l'anthracnose du manioc

Les observations de l'évolution de l'anthracnose du manioc au cours de l'expérimentation sur site infesté naturellement par les CART ont permis de mesurer l'incidence et la sévérité de la maladie (Fig. 32).

Il ressort de la variation de ces deux paramètres en fonction du temps qu'ils diffèrent d'une variété à l'autre avec des différences très hautement significative ( $P < 0,001$ ). L'incidence de l'anthracnose augmente jusqu'à 6 MAP et ne varie plus jusqu'à 12 MAP. A 3 MAP, l'incidence la plus faible 35,24 % est observée sur la variété 96/0023 que sur la variété

92/0057 (68,56 %). Pour ce qui est de la sévérité à cette période, la variété Miboutou enregistre la valeur la plus élevée (9,14 %). A 6 et 12 MAP, tous les plants de manioc sont attaqués par la maladie avec une incidence de 100 %. Par contre, la sévérité durant ces périodes varie d'une variété à l'autre. A 6 MAP, la variété Excel a la sévérité la moins élevée (11,14 %). A 9 et 12 MAP, la variété 96/0023 enregistre la sévérité la moins élevée (19,28 et 29,38 % respectivement) que la variété Miboutou (49,87 et 62,37 % respectivement).

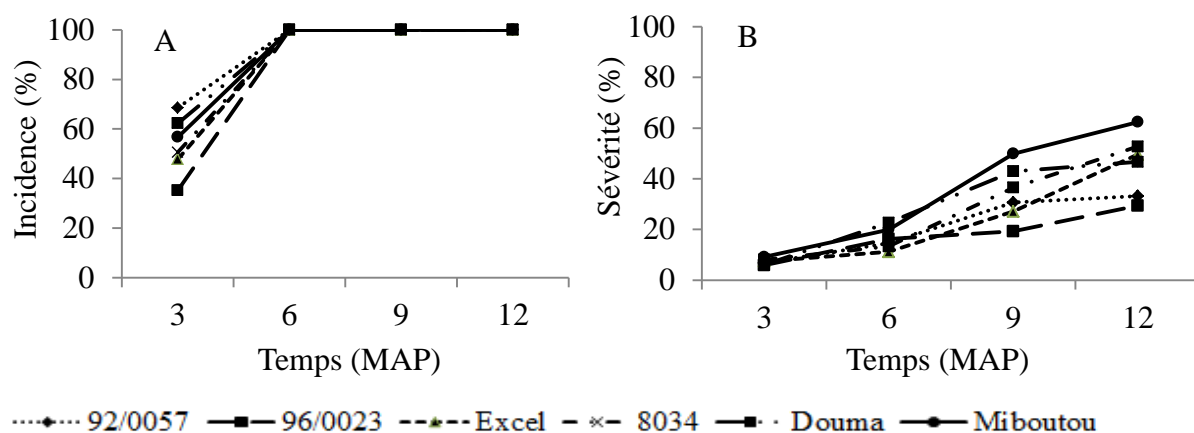


Fig. 32. Evolution de l'antracnose en fonction du temps ; A : Incidence ; B : Sévérité.

### III.1.5.1.3.2. Impact de la mosaïque du manioc

La maladie en champ a été observée sur deux variétés à savoir la variété Douma et la variété Miboutou (Fig. 33). L'évolution de l'incidence montre qu'elle ne varie plus à partir de 6 MAP. A 3 MAP, la variété Douma enregistre une incidence de 36,65 % contre 41,87 % pour la variété Miboutou. La sévérité est plus élevée dans la variété Miboutou (32,93 %, 67,44 %, 77,45 % et 83,68 %) que la variété Douma (25,54 %, 63,63 %, 71,13 et 74,82 %) respectivement à 3, 6, 9 et 12 MAP.

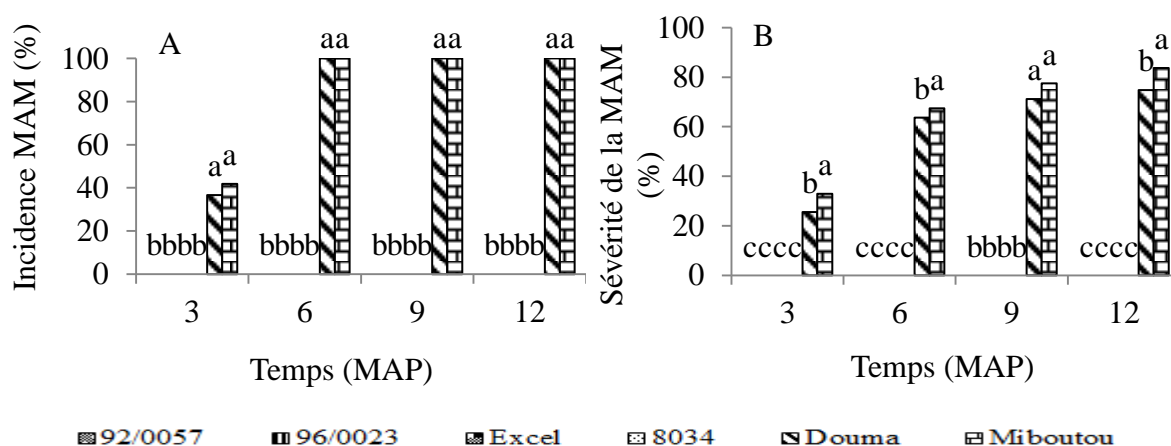


Fig. 33. Evolution de la mosaïque africaine du manioc en fonction du temps ; A Incidence ; B Sévérité.

### **III.1.5.2. Teneur de certaines substances secondaires impliquées dans la défense naturelle des variétés de manioc criblées**

Le dosage des composés phénoliques totaux (phénols et flavonoïdes), du glucoside cyanogène (cyanure total) et l'activité des enzymes oxydatives : catalase (CAT), gâiacol peroxydase (GPX), phénylalanine ammonia-lyase (PAL) et les protéines totales (PT) dans les tissus des racines tubéreuses (moelle et cortex) des variétés de manioc criblées a permis de les comparer à la tolérance aux cochenilles (CART).

#### **III.1.5.2.1. Teneur en composés phénoliques totaux dans les tissus des variétés de manioc**

La teneur en composés phénoliques totaux (phénols et flavonoïdes) dans la moelle et le cortex des racines tubéreuses de manioc infestées par les cochenilles varie significativement ( $P < 0,001$ ) entre les variétés.

Dans les tissus des racines de manioc, on observe une teneur en composés phénoliques (phénols et flavonoïdes) élevée dans le cortex par rapport à la moelle dans les différentes variétés.

La teneur en phénols et flavonoïdes totaux (Fig. 34 et 35), dans la moelle est plus élevée dans la variété Douma ( $44,87 \pm 1,15$  mg/g de MF et  $34,75 \pm 1,66$  mg/g de MF), suivi des variétés TMS 96/0023 ( $36 \pm 0,35$  mg/g de MF et  $30,58 \pm 0,31$  mg/g de MF) et la variété 8034 ( $34,07 \pm 0,35$  mg/g de MF et  $24,31 \pm 2,16$  mg/g de MF) respectivement. La variété Miboutou ( $13,67 \pm 2,05$  mg/g de MF et  $8,11 \pm 0,33$  mg/g de MF) a la teneur la plus faible. Cependant, dans le cortex la teneur en phénols et flavonoïdes totaux respectivement est plus élevé dans la variété Douma ( $80,54 \pm 3,73$  mg/g de MF et  $70,43 \pm 3,33$  mg/g de MF), suivi des variétés TMS 92/0057 ( $43,53 \pm 0,85$  mg/g de MF et  $38,57 \pm 1,01$  mg/g de MF) et TMS 96/0023 ( $41 \pm 1,91$  mg/g de MF et  $35,58 \pm 2,21$  mg/g de MF) que dans la variété Miboutou ( $17,72 \pm 1,16$  mg/g de MF et  $12,17 \pm 2,15$  mg/g de MF).

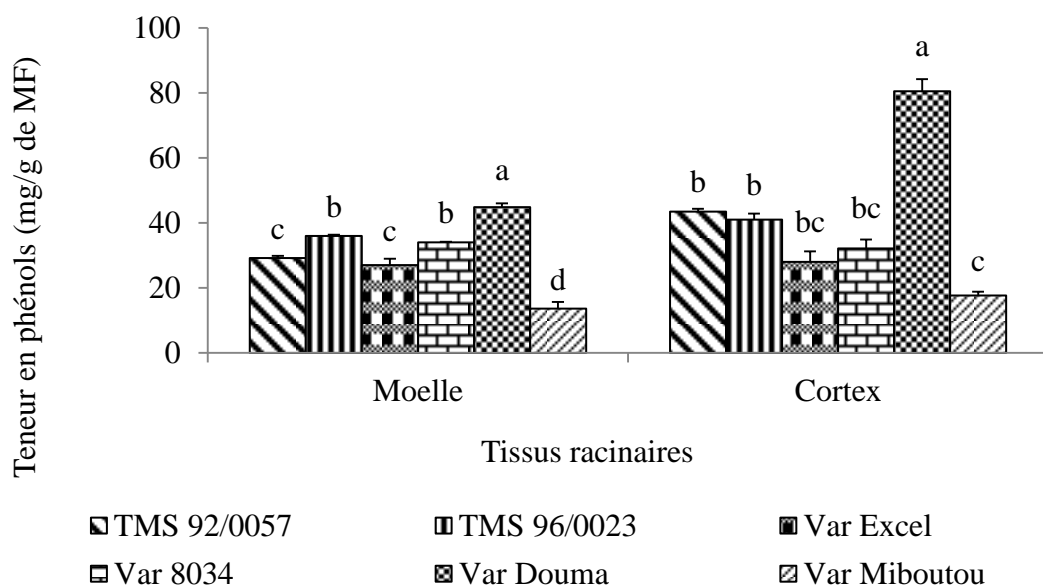


Fig. 34. Variation de la teneur en phénols dans les tissus des variétés de manioc.

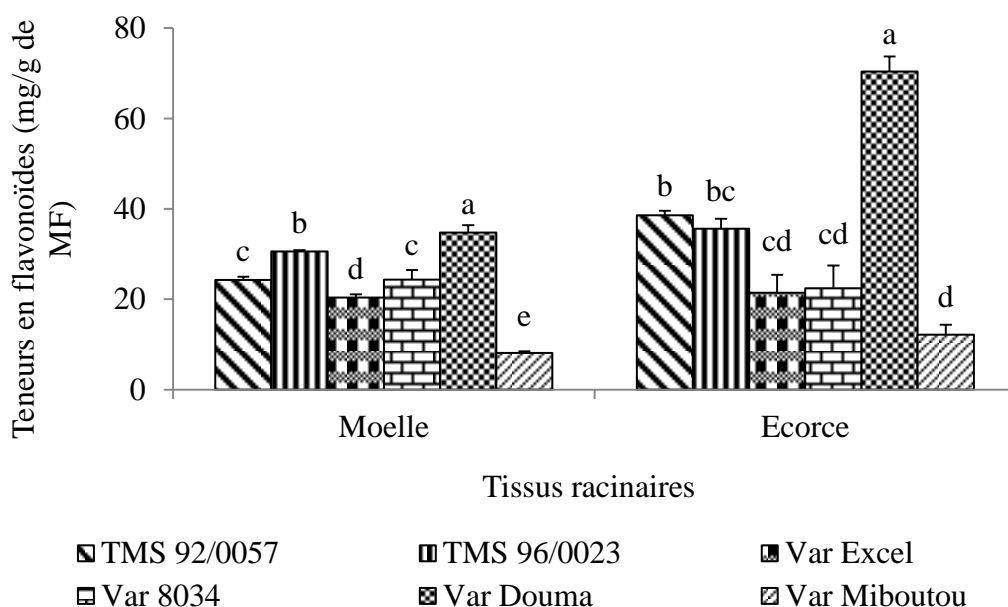


Fig. 35. Variation de la teneur en flavonoïde dans les tissus des variétés de manioc.

### III.1.5.2.2. Teneur en substance cyanogène (cyanure total) dans les tissus des variétés de manioc

Pour toutes les variétés, les résultats montrent que la teneur en cyanure total varie dans les tissus de manioc (Fig. 36). On observe que cette teneur est beaucoup plus importante dans le cortex des variétés de manioc que dans la moelle.

Dans la moelle, la teneur en cyanure total produite par la variété Douma ( $523,43 \pm 23,92$  mg/kg) est la plus élevée suivie de la variété TMS 96/0023 ( $444,43 \pm 13,26$  mg/kg) et de la variété TMS 92/0057 ( $217,54 \pm 3,28$  mg/kg). La variété Excel ( $153 \pm 16,42$  mg/kg) et la

variété 8034 ( $173,7 \pm 5,53$  mg/kg) ont produit statistiquement les teneurs identiques. La variété Miboutou ( $95,93 \pm 4,71$  mg/kg) a la teneur la plus faible en cyanure total dans la moelle.

Dans le cortex, la variété TMS 92/0057 ( $691,63 \pm 14,36$  mg/kg) et la variété TMS 96/0023 ( $691,84 \pm 8,82$  mg/kg) ont produit statistiquement les teneurs en cyanure total identiques. Ces teneurs sont les plus élevées comparés aux teneurs de la variété 8034 ( $540,73 \pm 8,82$  mg/kg), de la variété Douma ( $548,77 \pm 14,01$  mg/kg) et de la variété Excel ( $373,47 \pm 20,27$  mg/kg). La teneur en cyanure total la plus faible est produite par la variété Miboutou ( $300,2 \pm 3,72$  mg/kg).

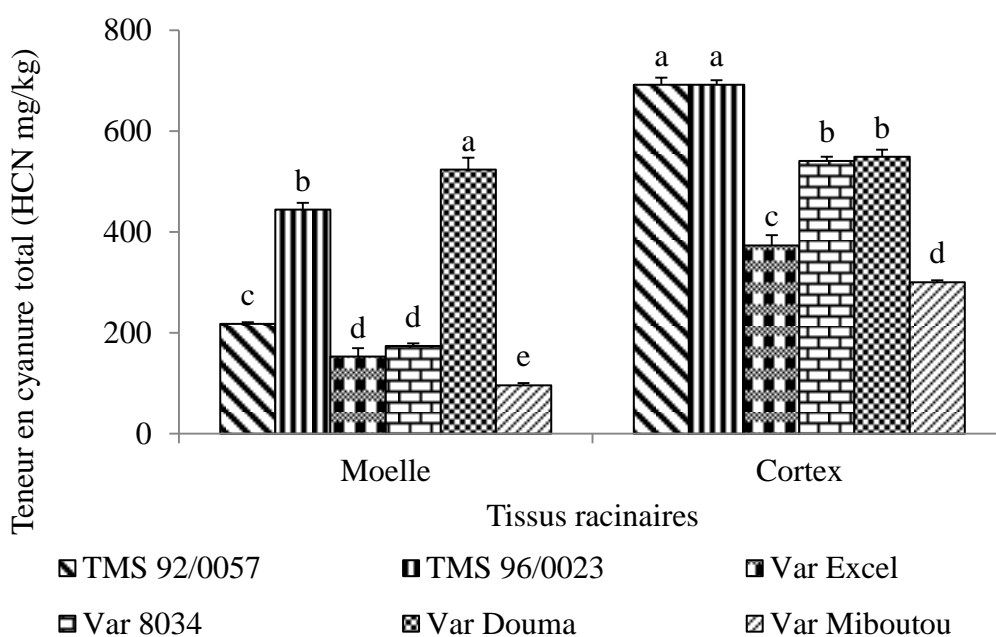


Fig. 36. Variation de la teneur en cyanure total dans les tissus des variétés de manioc.

### III.1.5.2.3. Teneur en protéines solubles totales dans les tissus des racines des variétés de manioc

L'analyse des données montrent que la teneur en protéines solubles totales présente une différence hautement significative ( $P < 0,001$ ) dans des tissus des racines tubéreuses des plants des variétés de manioc (Fig. 37).

En effet, on observe que dans la moelle la variété TMS 92/0057 ( $0,045 \pm 0,006$   $\mu\text{g/g}$  de MF), la variété TMS 96/0023 ( $0,036 \pm 0,004$   $\mu\text{g/g}$  de MF), la variété Excel ( $0,038 \pm 0,005$   $\mu\text{g/g}$  de MF), la variété 8034 ( $0,037 \pm 0,003$   $\mu\text{g/g}$  de MF) et la variété Douma ( $0,039 \pm 0,003$   $\mu\text{g/g}$  de MF) ont produit des teneurs en protéines statistiquement identiques. Par contre, la



variété Miboutou à produit la teneur en protéines solubles totales la plus faible ( $0,024 \pm 0,002$   $\mu\text{g/g}$  de MF).

Dans le cortex, la variété Excel ( $0,046 \pm 0,004$   $\mu\text{g/g}$  de MF) produit la teneur en protéines solubles totales la plus élevée, suivi de la variété Miboutou ( $0,040 \pm 0,005$   $\mu\text{g/g}$  de MF), de la variété Douma ( $0,039 \pm 0,001$   $\mu\text{g/g}$  de MF) et de la variété 8034 ( $0,037 \pm 0,001$   $\mu\text{g/g}$  de MF). La variété TMS 92/0057 ( $0,024 \pm 0,002$   $\mu\text{g/g}$  de MF) et la variété 96/0023 ( $0,02 \pm 0,003$   $\mu\text{g/g}$  de MF) sont statistiquement identique et produisent les teneurs en protéines solubles totales les plus faibles.

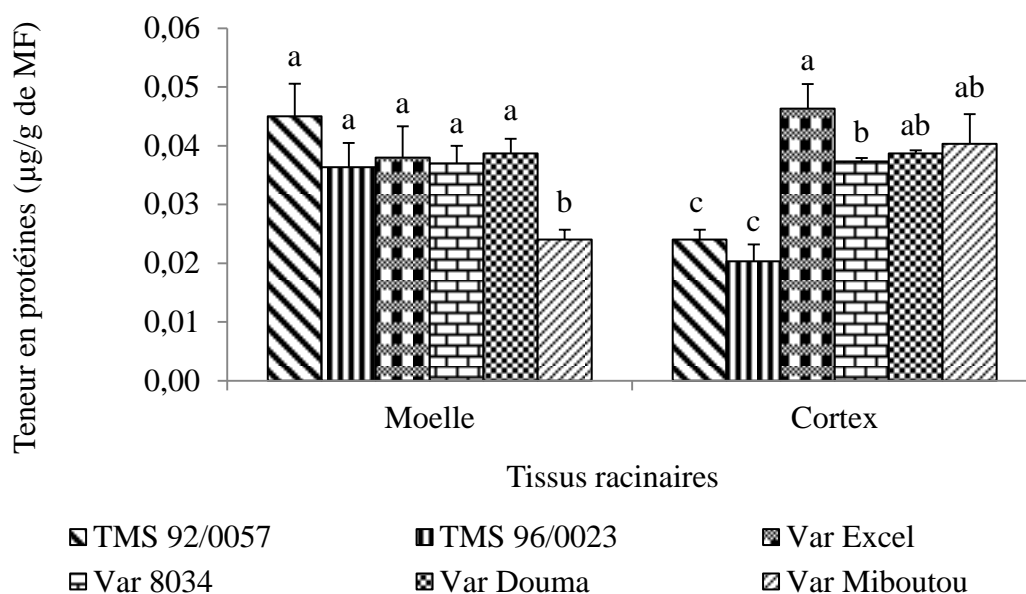


Fig. 37. Variation de la teneur en protéines solubles totales dans les tissus de manioc.

#### III.1.5.2.4. Variation de l'activité des enzymes oxydatives dans les tissus des racines des variétés de manioc

L'activité des enzymes antioxydants (CAT, GPX, PAL) évalués dans la moelle et le cortex des racines tubéreuses des différentes variétés de manioc infestées par les cochenilles (CART) montrent un effet hautement significatif ( $P < 0,001$ ).

##### III.1.5.2.4.1. Activité de la catalase

L'activité de la catalase (CAT) est plus important dans le cortex que dans la moelle des racines tubéreuses des variétés de manioc (Fig. 38).

Dans la moelle des racines tubéreuses des variétés de manioc, la variété 8034 ( $1,78 \pm 0,25$  DO/min/g de MF) a l'activité la plus élevée, suivi de la variété Miboutou ( $1,47 \pm 0,03$  DO/min/g de MF), de la variété TMS 92/0057 ( $1,30 \pm 0,15$  DO/min/g de MF), de la variété

Douma ( $1,23 \pm 0,08$  DO/min/g de MF) et la variété TMS 96/0023 ( $1,08 \pm 0,13$  DO/min/g de MF) que la variété Excel ( $0,88 \pm 0,16$  DO/min/g de MF).

Par contre, dans le cortex la variété TMS 96/0023 ( $4,91 \pm 0,68$  DO/min/g de MF) a l'activité de la catalase la plus élevée. La variété TMS 92/0057 a produit une activité de  $4,28 \pm 0,38$  DO/min/g de MF et la variété Douma une activité de  $3,65 \pm 0,13$  DO/min/g de MF. La variété Miboutou ( $1,87 \pm 0,26$  DO/min/g de MF), la variété 8034 ( $1,86 \pm 0,12$  DO/min/g de MF) et la variété Excel ( $1,67 \pm 0,26$  DO/min/g de MF) ont une l'activité de la catalase la plus faible.

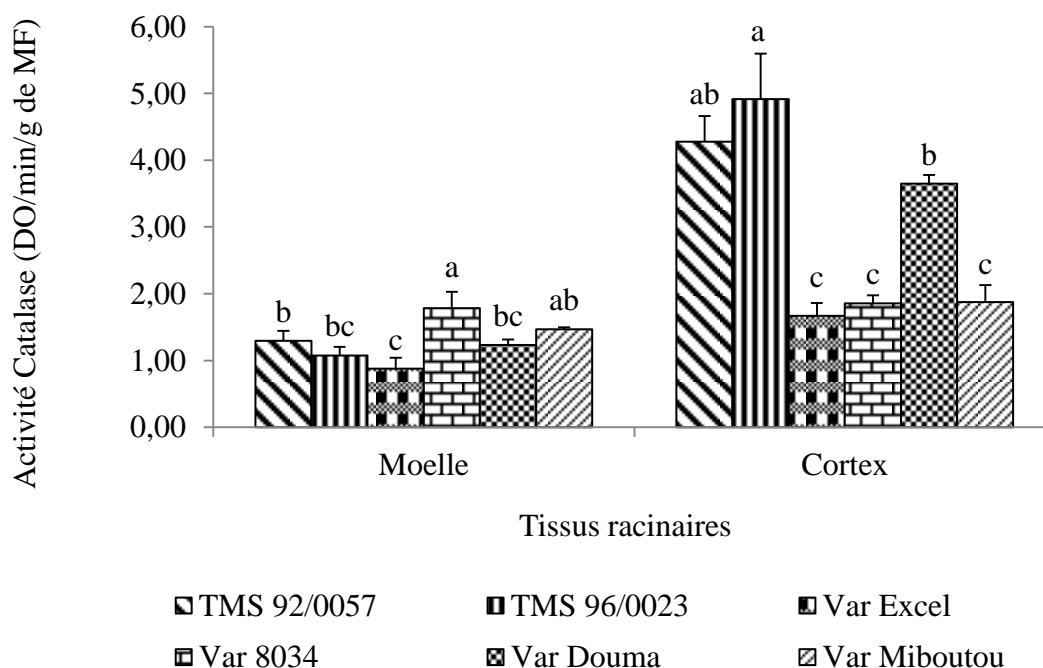


Fig. 38. Activité de la catalase dans les tissus des variétés de manioc criblées.

#### III.1.5.2.4.2. Activité du gaïacol peroxydase (GPX)

Pour la Gaïacol peroxydase (GPX), l'activité est élevée dans le cortex par rapport à la moelle des racines tubéreuses des variétés de manioc (Fig. 39).

Au niveau de la moelle, l'activité du gaïacol peroxydase est faible dans la variété TMS 92/0057 ( $4,70 \pm 0,44$  DO/min/g de MF) et TMS 96/0023 ( $4,85 \pm 0,36$  DO/min/g de MF). Par contre cette activité est élevée dans la variété Miboutou ( $6,96 \pm 0,33$  DO/min/g de MF) suivi de la variété 8034 ( $6,02 \pm 0,38$  DO/min/g de MF) et de la variété Excel ( $5,08 \pm 0,21$  DO/min/g de MF).

L'activité du gaïacol peroxydase au niveau du cortex varie en fonction de la variété. Une forte activité est observée dans les variétés Excel ( $22,19 \pm 1,12$  DO/min/g de MF),

Douma ( $20,80 \text{ } 96 \pm 3,79 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et Miboutou ( $19,33 \text{ } 96 \pm 3,11 \text{ DO/min/g de MF}$ ). La variété 8034 ( $11,77 \text{ } 96 \pm 3,36 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et TMS 92/0057 ( $9,41 \text{ } 96 \pm 1 \text{ DO/min/g de MF}$ ) ont statistiquement une activité identique. La plus faible activité du gaïacol peroxydase est observé dans la variété TMS 96/0023 ( $4,59 \text{ } 96 \pm 0,59 \text{ DO/min/g de MF}$ ).

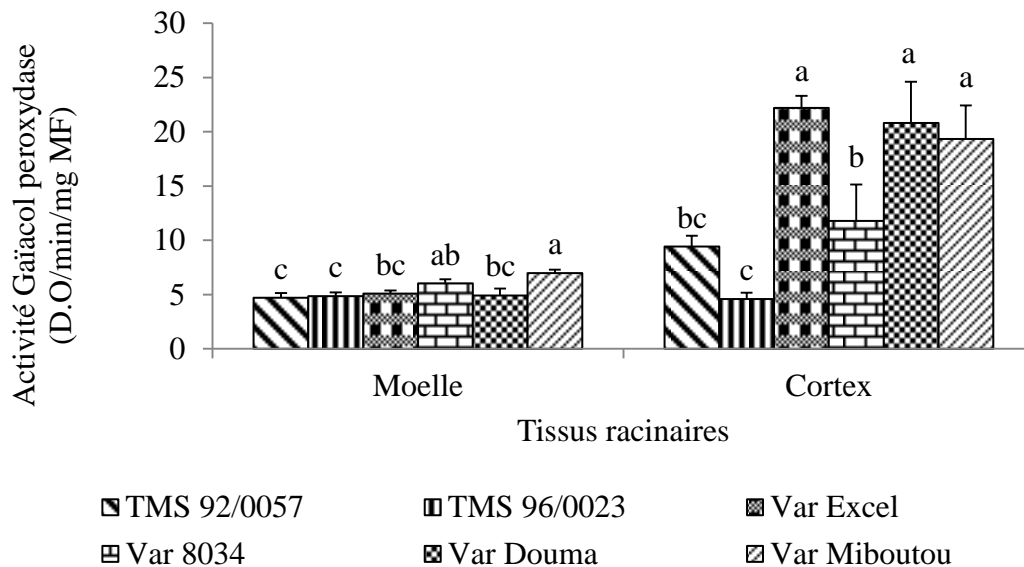


Fig. 39. Activité du gaïacol peroxydase dans les tissus des variétés de manioc criblées.

### III.1.5.2.4.3. Activité de la phénylalanine ammonia-lyase

L'activité de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) observée dans la moelle de la variété TMS 92/0057 ( $0,063 \pm 0,01 \text{ DO/min/g de MF}$ ) est la plus élevée, suivi de la variété Miboutou ( $0,061 \pm 0,004 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et de la variété TMS 96/0023 ( $0,04 \pm 0,003 \text{ DO/min/g de MF}$ ). La plus faible activité est observé dans la variété Douma ( $0,037 \pm 0,006 \text{ DO/min/g de MF}$ ), la variété 8034 ( $0,033 \pm 0,59 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et la variété Excel ( $0,032 \pm 0,009 \text{ DO/min/g de MF}$ ).

Dans le cortex des racines de manioc, la variété 92/0057 ( $0,145 \pm 0,01 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et TMS 96/0023 ( $0,142 \pm 0,02 \text{ DO/min/g de MF}$ ) ont les plus fortes activités. Par contre, la variété Excel ( $0,066 \pm 0,006 \text{ DO/min/g de MF}$ ), la variété 8034 ( $0,076 \pm 0,003 \text{ DO/min/g de MF}$ ) et la variété Miboutou ( $0,061 \pm 0,005 \text{ DO/min/g de MF}$ ) ont les plus faible activités et sont statistiquement identiques. L'activité de la PAL produite dans la moelle est plus faible que l'activité produite dans le cortex (Fig. 40).

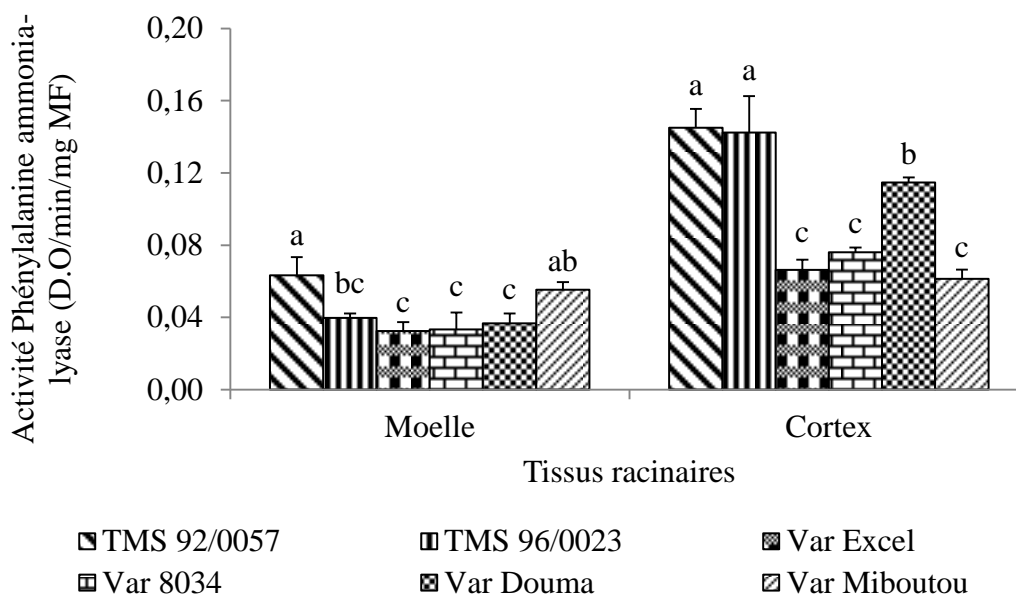


Fig. 40. Activité du gaïacol peroxydase dans les tissus des variétés de manioc criblées.

### III.1.6. Relation entre paramètres biochimiques évalués et le nombre de cochenilles

L'analyse des matrices de corrélation de Pearson a permis de montrer l'existence ou non des corrélations positives ou négatives entre les paramètres biochimiques étudiés dans les tissus des racines tubéreuses des variétés de manioc et le nombre de cochenilles.

Dans la moelle des différentes variétés de manioc, on observe une corrélation positive et significative ( $P < 0,05$ ) entre les paramètres biochimiques évalués et le nombre de cochenilles (Tableau XVII). Une corrélation hautement significative ( $P < 0,01$ ) est observée entre la teneur en phénols totaux et la teneur en flavonoïdes totales ( $r = 0,974^{**}$ ), entre les phénols totaux et le cyanure total ( $r = 0,769^{**}$ ), entre la teneur en flavonoïdes et la teneur en protéine totale ( $r = 0,588^{**}$ ) et entre la teneur en cyanure total ( $r = 0,730^{**}$ ). Une corrélation hautement significative et négative est enregistrée entre la teneur en flavonoïdes et le gaïacol peroxydase ( $r = -0,724^{**}$ ), de même entre le gaïacol peroxydase et la teneur en protéines totales ( $r = -0,777^{**}$ ). Il existe une corrélation significative ( $P < 0,05$ ) entre l'activité de la catalase et l'activité du gaïacol peroxydase ( $r = 0,535^*$ ) et entre la teneur en phénols totaux et la teneur en protéine totale ( $r = -0,543^*$ ). De même, une corrélation significative et positive est observée entre la teneur en phénols ( $r = 0,519^*$ ) et flavonoïdes ( $r = 0,516^*$ ) et le nombre de cochenilles. Cependant, il existe une corrélation négative et non significative entre le gaïacol peroxydase et le nombre de cochenilles ( $r = -0,267$ ).

Tableau XVII. Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres biochimiques dans la moelle des racines de manioc et le nombre de cochenilles

	PPT	FLa	CAT	GPX	PAL	PT	HCN	N.CART
PPT	1							
FLa	0,974**	1						
CAT	-0,092ns	-0,209ns	1					
GPX	-0,627**	-0,724**	0,535*	1				
PAL	-0,449ns	-0,360ns	0,245ns	0,146ns	1			
PT	0,543*	0,588**	-0,334ns	-0,777**	-0,196ns	1		
HCN	0,769**	0,730**	-0,164ns	-0,393ns	-0,264ns	0,211ns	1	
N.CART	0,519*	0,516*	0,002ns	-0,267ns	0,244ns	0,407ns	0,417ns	1

P: 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05, ns: non significatif, PPT : phénols totaux, FLa : flavonoïdes, CAT : catalase, GPX : gaïacol peroxydase, PAL : phénylalanine ammonia-lyase, PT : protéines totales, HCN : acide cyanhydrique, N.CART : nombre de cochenille africaine des racines et tubercules.

Au niveau du cortex des racines tubéreuses des variétés de manioc criblées (Tableau XVIII), on note une corrélation hautement significative ( $P < 0,01$ ) et positive entre la teneur en phénols totaux et les flavonoïdes totales ( $r = 0,992^{**}$ ), entre l'activité de la catalase et l'activité de la phénylalanine ammonia-lyase ( $r = 0,965^{**}$ ). De même, l'activité de la catalase est hautement corrélée à la teneur en cyanure total ( $r = 0,838^{**}$ ) et l'activité du gaïacol peroxydase à la teneur en protéines solubles totales ( $r = 0,822^{**}$ ). Par contre, une corrélation hautement significative et négative est enregistrée entre l'activité de la catalase et la teneur en protéines totales ( $r = -0,875^{**}$ ), entre l'activité du gaïacol peroxydase et la phénylalanine ammonia-lyase ( $r = -0,640^{**}$ ) de même entre la teneur en protéines et la teneur en cyanure total ( $r = -0,838^{**}$ ). Une corrélation significative ( $P < 0,05$ ) entre la teneur en phénols totaux et l'activité de la catalase ( $r = 0,501^*$ ), la teneur en flavonoïdes et l'activité de la phénylalanine ammonia-lyase ( $r = 0,559^*$ ), la teneur en phénols totaux ( $r = 0,520^*$ ), en flavonoïdes ( $r = 0,515^*$ ) et le nombre de cochenilles est observée. En revanche, une corrélation positive et non significative existe entre les autres paramètres et le nombre de cochenilles.

Tableau XVIII. Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres biochimiques dans le cortex des racines de manioc et le nombre de cochenilles

	PPTC	FLaC	CATC	GPXC	PALC	ProtC	HCNC	N.CART
PPTC	1							
FLaC	0,992**	1						
CATC	0,501*	0,558*	1					
GPXC	0,073ns	0,044ns	0,624**	1				
PALC	0,505*	0,559*	0,965**	-0,640**	1			
ProtE	-0,143ns	-0,200ns	-0,875**	0,822**	-0,871**	1		
HCNC	0,473*	0,504*	0,838**	-0,772**	0,898**	-0,838**	1	
N.CART	0,520*	0,515*	0,067ns	0,418ns	0,137ns	0,157ns	0,017ns	1

P: 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns: non significatif, PPT C: phénols totaux, FLaC : flavonoïdes, CAT C: catalase, GPXC: gaïacol peroxydase, PALC : phénylalanine ammonia-lyase, ProtC : protéines totales, HCNC : acide cyanhydrique, N.CART : nombre de cochenille africaine des racines et tubercules.

### III.1.7. Analyse en composantes principales et dendrogramme entre les paramètres étudiés et les variétés criblées

#### III.1.7.1. Nombre d'axes de l'analyse

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) construite à partir des paramètres agronomiques, épidémiologiques, biochimiques et le nombre de cochenilles des différentes variétés a donné lieu au regroupement des variétés selon leur proximité sur les axes.

Les axes 1, 2, 3, 4 et 5 expriment une valeur propre supérieure à 1 dont 100 % de la variabilité totale. L'axe 1 (39,96 %) et l'axe 2 (26,48 %) qui absorbent la variabilité des caractères étudiés ont servi à analyser la variabilité des caractères, exprimant 66,44 % de la variabilité totale (Tableau XIX).

Tableau XIX. Valeurs propres des cinq axes de l'ACP

Axes	Valeur propre	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulé (%)
1	10,3901	39,96	39,96
2	6,8836	26,48	66,44
3	4,9557	19,06	85,50
4	2,1046	8,09	93,59
5	1,6660	6,41	100,00

### III.1.7.2. Regroupement des variétés sur les deux premiers axes de l'ACP

L'analyse en composantes principales (Fig. 41. A et B) construite indique une bonne représentation des variables à travers le cercle de corrélation, un bon taux de restitution de l'information sur la variabilité totale sur l'axe 1 et 2 (66,44 %). Les variables nombre de cochenilles, biochimiques, agronomiques, épidémiologiques ont permis de discriminer les variétés et de les classer en quatre groupes :

- le groupe 1 constitué de la variété 92/0057 et 96/0023 qui est caractérisé par un fort potentiel de production du cyanure total, de la phénylalanine ammonia-lyase, la catalase dans le cortex, la phénylalanine ammonia-lyase et les protéines dans la moelle. Ces variétés sont résistantes à la cochenille ;
- le groupe 2 formé par la variété locale Douma qui est caractérisé une forte production en phénols totaux, flavonoïde, cyanure total dans la moelle, les phénols totaux et flavonoïde dans le cortex, une forte production en poids frais des pousses, en nombre de tubercules, diamètre au collet et rendement. Cette variété est moyennement sensible aux cochenilles et aux maladies ;
- le groupe 3 constitué de la variété amélioré 8034 et la variété locale Miboutou. Ces deux variétés ont une forte production en catalase, en gaïacol peroxydase dans la moelle. Mais différent par leur sensibilité à la CART ;
- le groupe 4 formé de la variété Excel, caractérisé par une forte production en gaïacol peroxydase, en protéines dans le cortex et un faible rendement. Cette variété est sensible aux attaques des CART.

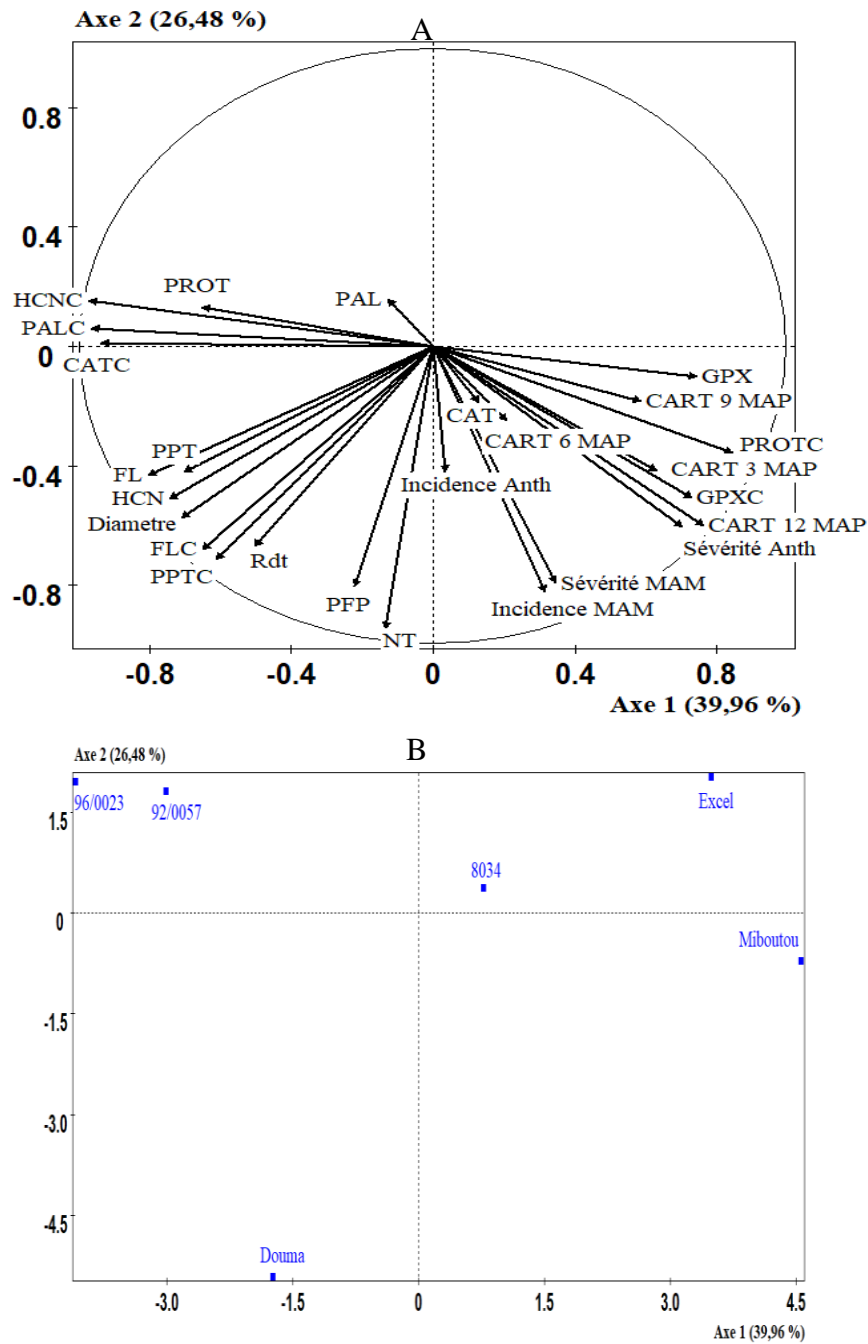


Fig. 41. Analyse en composantes principales entre variétés de manioc et paramètre étudiés ; A : variables continues, B : Individus actifs.

Le dendrogramme (dissimilarité de 5 %) des six variétés de manioc criblées en fonction du nombre de cochenilles (CART), des paramètres agronomiques, biochimiques et épidémiologiques est présenté par la figure 43. Le dendrogramme a révélé quatre groupes constitués de variétés plus ou moins proches les unes des autres en ce qui concerne leur sensibilité à la cochenille racinaire du manioc.



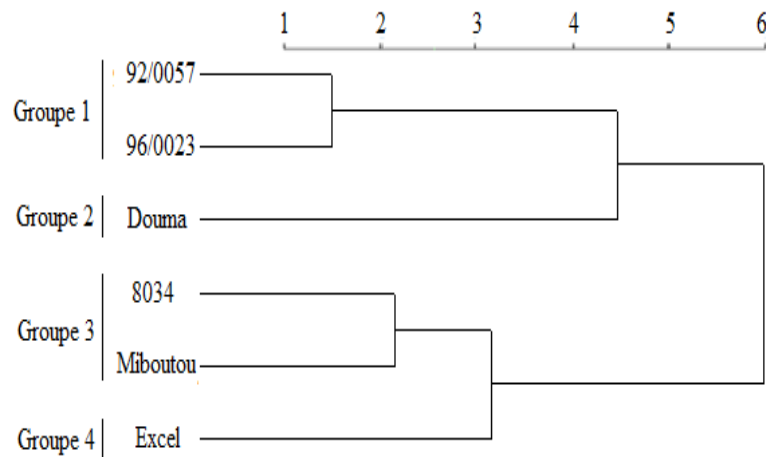


Fig. 42. Dendrogramme de rapprochement entre les variétés de manioc criblées et les paramètres étudiés.

### III.1.8. Mode d'action de *Stictococcus vayssierei*

Le filtrat obtenu après broyage des cochenilles montre qu'il possède une activité protéasique, amylasique et cellulasique. Les résultats positifs au test de production de la protéase montrent une auréole claire formée tout autour du filtrat (Fig. 43.a). Le test de production de l'amylase montre une auréole de couleur jaune tout autour de filtrat (Fig. 43.b) et le test à la production de la cellulase une auréole claire (Fig. 43.c).

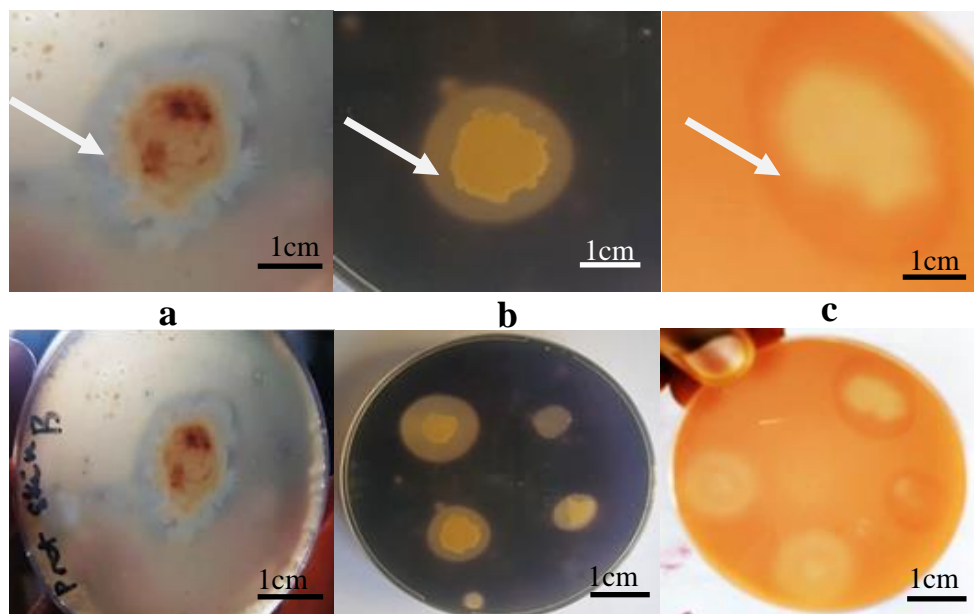


Fig. 43. Capacité des cochenilles à produire des enzymes hydrolytiques a : Résultat positif au test de production de la protéase ; b : Résultat positif au test de production de l'amylase ; c : Résultat positif au test de production de la cellulase.

## **III.2. Discussion**

La cochenille africaine des racines et tubercules est un insecte piqueur-suceur qui se nourrit des ressources disponibles au niveau des racines de manioc, entraînant une perte de vigueur et un affaiblissement de la plante (Johnson, 2009). Les dommages causés au cours de sa nutrition ne se limitent pas à des tissus spécifiques à proximité des sites d'alimentation, mais touchent toute la plante causant des pertes de rendement allant de 60 jusqu'à 100 % dans les champs (Lema *et al.*, 2004 ; Tata-Hangy *et al.*, 2006). L'utilisation des techniques phytosanitaires, agronomiques et génétiques peuvent réduire le nombre de populations de cochenilles infestant les pieds de manioc.

### **III.2.1. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* sur la croissance, contre la cochenille racinaire et le rendement du manioc en champ**

#### **III.2.1.1. Rendement d'extraction et screening phytochimique des extraits de graines de *Thevetia peruviana***

Les extraits de plantes utilisés contre les ravageurs des plantes cultivées et des graines en stockage ont montré plusieurs propriétés qui leur permettent de faire partie de stratégies alternatives à l'utilisation de pesticides de synthèse (Regnault-Roger, 2008). Ainsi, plusieurs plantes ont déjà fait l'objet de travaux, comme *Thevetia peruviana*, dont l'effet insecticide et répulsif des extraits ont été démontré (Mollah & Islam, 2007 ; Akpo *et al.*, 2017). Les résultats de l'extraction de 500 g des amandes de *T. peruviana* a produit un rendement de 44,44 % avec l'extrait à l'Acétone, 20,25 % avec l'extrait au Méthanol et l'extraction de 50 g d'amandes donne un rendement de 34,67 % avec l'eau après passage à l'étuve pendant 15 min. Cette variation de rendement enregistré peut être due à l'état du matériel végétal au moment de la collecte, au cycle végétal de la plante et aux conditions environnementales. Zang & Hamauru (2003) ont montré que les rendements d'extraction varient non seulement d'une plante à une autre d'une même famille mais également en fonction de la maturité, du stockage et des méthodes d'extraction. Selon Stoll (1994) ; Muhammad *et al.* (2013) ; Do et al. (2014), les rendements d'extraction élevés sont peut-être dû à la plus grande solubilité des protéines, des glucides et d'autres composés dans les extraits. Le screening phytochimique des extraits a montré la présence de nombreux composés secondaires et huiles essentielles (Hammuel *et al.*, 2011 ; Gata-Goncalves *et al.*, 2003). Ngoh Dooh *et al.* (2014) ont obtenus plusieurs de ces composés. Le profil chromatographique des extraits montre qu'ils sont riches en composés minoritaires et ultra minoritaires que majoritaires. En effet

selon Ngoh Dooh (2014), l'efficacité des extraits de *T. peruviana* serait due à des molécules qui agiraient à de très faibles doses.

### **III.2.1.2. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur les paramètres de croissance**

Le test de l'efficacité des extraits des graines de *T. peruviana* en comparaison à un insecticide de synthèse vis-à-vis de la cochenille en champ montrent qu'aucun effet significatif n'a été observé entre les traitements (extraits aqueux et organiques) pour le diamètre au collet des plants de manioc à 3 MAP. Ceci s'expliquerait par le fait que, les traitements n'ont pas d'effet sur la croissance des plants. Ce résultat est en accord avec les travaux de Mukendi *et al.* (2014) qui ont montré que les traitements aux extraits aqueux des feuilles de *Azadirachta indica*, de *Carica papaya* et de *Tephrosia vogelii* contre *Ootheca mutabilis* en champ n'ont pas d'effet significatif sur les paramètres de croissance du niébé. De même, aucune différence significative n'a été observée entre les variétés. La mise en place du système racinaire et la partie aérienne des variétés couvre leur besoin en éléments minéraux du sol et la matière carbonée atmosphérique ; ce qui aurait contribué à l'édification de leur port identique. Selon Indira *et al.* (2000) et Segnou (2002) la croissance et le développement des différents clones (améliorés et locaux) de manioc ne présenteraient pas de différence significative pendant les premiers mois. A 6 MAP, une différence significative est observée entre les variétés, les traitements et l'interaction variétés x traitements. La variété locale a un diamètre supérieur à la variété améliorée. Ces résultats sont en accords avec les travaux de Ambang *et al.* (2007), mais contraires à ceux de Segnou (2002) qui montre que la variété améliorée possède une croissance supérieure à la variété locale. Les différences observées au niveau des traitements à 9 et 12 MAP pourraient s'expliquer aussi par un nombre élevé des cochenilles au niveau des parcelles non traitées qui se nourrissent de la sève au niveau des racines et du collet des tiges.

Pour le poids frais des pousses, l'effet variété est observé. Il est plus élevé dans la variété locale (Miboutou) par rapport à celui de la variété améliorée (TMS 92/0057) à 3 MAP et à 6 MAP. Ceci pourrait s'expliquer par la capacité d'adaptation du milieu écologique fortement exprimée par la variété locale et la tolérance à l'infestation des cochenilles dans une espèce de sélection par les paysans. Par contre la variété améliorée requiert des conditions environnementales spécifiques des stations expérimentales pour la mise en place de la couverture aérienne. Selon Mbailao (2003), la variété améliorée exige un temps important pour s'adapter à son nouveau milieu. En ce qui concerne l'effet traitement une différence

significative sur le poids frais des pousses à 3, 6, 9 et 12 MAP est observée. Le poids frais des pousses dans le témoin est plus faible que dans les parcelles traitées aux extraits des graines suite à une forte infestation par la cochenille. On pourrait admettre l'hypothèse selon laquelle, l'infestation des plants par les cochenilles qui se nourrissent au niveau des racines réduirait leur croissance. Prüter & Zebitz (1991) montre que l'infestation en champ par les insectes piqueurs suceurs se traduit par une réduction de la surface foliaire, du poids et du taux moyen de croissance.

### **III.2.1.3. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le nombre de cochenilles**

L'effet traitement est clairement significatif sur le nombre de cochenilles vivantes durant les quatre périodes d'observation. Les plants des parcelles témoins ont été les plus colonisées. A 3 MAP, le nombre de cochenilles vivantes le plus faible est enregistré dans les parcelles traitées à l'insecticide de synthèse BASTION-SUPER, suivi des parcelles traitées aux extraits de *T. peruviana*. L'effet de l'insecticide de synthèse est très vite observé à cette période. De même, les extraits de laurier jaune joueraient un rôle insecticide vis-à-vis des cochenilles. En effet, Ambang *et al.* (2011) ont montré dans leurs travaux que, les feuilles, les fruits et les racines de *T. peruviana* sont considérés comme des sources potentielles des composés biologiques actifs comme insecticides. Mourier (1997), montre l'effet insecticide de l'extrait aqueux du Neem, sur la cochenille farineuse du manioc. Il a été observé au bout de 6 MAP et 9 MAP une augmentation du nombre de cochenilles vivantes par rapport à 12 MAP dans toutes les parcelles. Ndengo *et al.* (2016a) montrent dans les travaux réalisés dans le territoire de Beni (Nord Kivu, RD Congo), portant sur l'influence de la densité des populations de la cochenille Africaine de racines et tubercules sur le rendement des variétés de manioc ; où aucun traitement n'a été effectué que la densité de la population des cochenilles est faible à 3 MAP, et augmente à 6 MAP pour atteindre un pic avant de baisser légèrement à 12 MAP. Le nombre de cochenilles vivantes a été plus élevé sur la variété locale à toutes les périodes d'échantillonnage (3, 6, 9 et 12 MAP). Ainsi, on peut admettre que, les populations de cochenilles s'orientent sur les variétés en fonction de leurs habitudes alimentaires ; de même, le caractère amélioré de la variété TMS 92/0057 lui confèrent les moyens de tolérance à la cochenille racinaire. Les résultats obtenus par Ngeve, (2003) montrent que les clones améliorés ont été plus tolérants aux cochenilles que la variété locale. Selon Ndengo *et al.* (2016b), les clones améliorés de manioc ont été les hôtes d'une population élevée de cochenilles à 6 MAP de même qu'à 9 MAP.

Les résultats relatifs au nombre de cochenilles mortes montrent qu'il a été plus élevé sur la variété Miboutou que sur la variété améliorée 92/0057 dans les parcelles traitées aux extraits de graines de *T. peruviana* par rapport au témoin. En effet, les remarques portées sur l'effet des extraits de *T. peruviana*, témoigneraient leur rôle insecticide. Les travaux de Mollah & Islam (2007) ont montré l'efficacité des extraits organiques de *T. peruviana* contre *Callosobruchus maculatus*. De même, Theurkar *et al.* (2014) ont montré que l'extrait aqueux des feuilles de *T. peruviana* posséderait un effet toxique sur les adultes de *Holotrichia serrata*. Par ailleurs, il serait important de noter que le nombre de cochenilles mortes observé sur les deux variétés pourrait être aussi la résultante des mécanismes de défense développés par ceux-ci dans les parcelles traitées de même que dans le témoin d'où la différence observée. Selon Fürstenberg *et al.* (2013), il est bien établi que les interactions plantes-insectes depuis plusieurs centaines de millions d'années, ont conduit à un processus de coévolution, ce processus évolutif a permis aux plantes de synthétiser des métabolites secondaires bioactifs vis-à-vis des insectes. Aussi, on pourrait admettre qu'au fil du temps, l'interaction entre la variété locale Miboutou et la cochenille a entraînée des sécrétions de substances secondaires par la plante, dans le but de se défendre contre les attaques de cette dernière.

#### **III.2.1.4. Effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* et de la variété sur le nombre de tubercules et le rendement**

Le nombre moyen de tubercules varie selon les variétés et en fonction du temps. De 3 à 12 MAP, le nombre de tubercules moyen est passé de 2 à 7 tubercules dans les variétés et dans les différents traitements. A 3 MAP, le nombre de tubercules le plus élevé est observé chez la variété améliorée avec  $2,22 \pm 0,66$  tubercules par rapport à la variété locale Miboutou avec  $1,85 \pm 0,49$  tubercules. Ceci découlerait de la précocité des variétés améliorées dans la production des racines tubéreuses et aussi par un programme d'amélioration variétale. La sélection récurrente pratiquée dans les institutions consiste à transmettre dans les nouvelles variétés des caractères d'intérêt agronomique provenant des géniteurs choisis (Bakayoko *et al.*, 2012).

L'analyse de variance du rendement montre qu'à 9 MAP, il n'y a aucun effet significatif entre les variétés, les traitements, seule l'interaction variété x traitement est significative. La variété améliorée des parcelles traitées à l'extrait à l'acétone et la variété locale des parcelles traitées à l'extrait aqueux ont les meilleurs rendements. Ceci pourrait se justifier par le fait que les extraits par leur effet insecticide ont réduit le nombre de cochenille,

qui infestait les plants de manioc dans ces parcelles permettant ainsi aux tubercules d'augmenter de volume. Selon Segnou (2002), la différence de rendement en racine tubéreuse fraîche résulterait du volume de la masse foliaire du clone, l'interception de la lumière solaire, son activité photosynthétique et sa vitesse de translocation des réserves nutritives.

#### **III.2.1.5. Activité insecticide des extraits des graines de *Thevetia peruviana* par contact vis-à-vis de *Anoplolepis tenella***

Selon Hanna *et al.*, 2015 ; Fotso *et al.*, 2015, la présence de *Anoplolepis tenella* est apparemment vitale pour la survie des cochenilles. La réduction de la densité de ces fourmis dans les champs pourrait entraîner une baisse significative de l'infestation par les cochenilles et une augmentation de 16 % du rendement du manioc (Hanna *et al.*, 2015). Le test de toxicité par contact des extraits de graines de *Thevetia peruviana* montre qu'ils sont toxiques sur *A. tenella*. Les extraits à solvant organique ayant une action plus rapide que l'extrait aqueux. Ceci pourrait se justifier par la richesse des extraits en composés secondaires tels que les phénols, les saponines, les alcaloïdes, les stérols etc. Selon Boulogne (2011), près de 116 molécules sont identifiées comme présentant une activité insecticide dans les extraits des plantes et les molécules les plus souvent responsables de l'activité insecticide sont les terpénoïdes, les alcaloïdes et les composés phénoliques.

#### **III.2.2. Effet combiné de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété contre l'infestation par *Stictococcus vayssierei* en champ**

Pour les cultures à multiplication végétative, le rendement est une fonction directe de la qualité du matériel de plantation (Agbarevo, 2003). Udealor & Asiegbu (2006) ont également souligné que la forme, le potentiel génétique et la vigueur du matériel végétal peuvent influencer le rendement final des cultures. Dans le cas du manioc, une abondante littérature décrit l'impact des différentes hauteurs de coupe des boutures d'une même tige sur la vigueur et le rendement final (Eze & Ugwuoke, 2010 ; Anikwe & Ikenganyia, 2018). En supposant que la teneur en lignine des tissus de la tige du manioc diminue de la partie supérieure à la partie inférieure et que la teneur en lignine affecte la résistance des plantes aux maladies (Pedersen *et al.*, 2005), il est prévu que les portions de boutures présentant une concentration en lignine différente peuvent présenter une sensibilité différente aux maladies et aux parasites. La sélection variétale est souvent utilisée dans la lutte contre les maladies et les parasites des plantes. Il existe de nombreux cultivars de différentes espèces présentant une résistance aux insectes (Sharma, 1993). Le choix des espèces cultivées est basé sur la

variation naturelle (plus productive) ; ou classique (production de nouvelles variétés) (Acquaah, 2007). De ce fait, l'effet des hauteurs de coupe des boutures d'une tige de manioc, des variétés et leur interaction vis-à-vis de *S. vaysierei* et du rendement a été étudié.

### **III.2.2.1. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur les paramètres de croissance durant la campagne 2016-2017 et 2017-2018**

Les données sur le poids frais des pousses et le diamètre au collet des tiges à 3, 6, 9 et 12 MAP ont montré des effets significatifs avec les différentes hauteurs de coupe des boutures de la tige durant la campagne 2016-2017 et 2017-2018. Le poids frais des pousses des boutures sectionnées à la base et au milieu est statistiquement similaire et plus élevée que le poids frais des pousses des boutures sectionnées au sommet pour toutes les variétés testées. La même tendance a été observée avec le diamètre du collet de la tige, quelle que soit la date d'échantillonnage. Raffailac (1992), en étudiant "l'enracinement des boutures de manioc", a montré que les boutures sectionnées à la base produisaient un poids frais nettement plus élevé que celles du sommet. L'auteur a également identifié un gradient décroissant dans les potentialités des parties de base, des parties distales et des parties plus proches du sommet. D'autre part, Eze & Ugwuoke (2010), ont montré la supériorité des boutures sectionnées au milieu sur les autres. En conséquence, Raffailac (1992) a également relevé un facteur nutritionnel, en mettant en compte la vigueur des boutures sectionnées à la base et au milieu, qui peuvent avoir stocké davantage de réserves pour assurer une croissance normale des jeunes plantules émergentes. Au niveau structural, il a été démontré que les parties supérieures des boutures contiennent moins de lignine que les autres parties de la tige, ce qui assure des plants plus vigoureux (Eze & Ugwuoke, 2010). De plus, les données enregistrées peuvent également être liées au niveau de dommage différentiel causé par la cochenille racinaire du manioc par rapport aux différentes hauteurs de coupe d'une tige de manioc, qui se nourrit de la sève destinée à la croissance et au développement du manioc.

Aucune variation significative du poids frais des pousses à 3 MAP par rapport à la variété n'a été observée durant la campagne 2016-2017 par rapport à la campagne 2017-2018. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que toutes les variétés durant la campagne 2017-2018 ont connu une bonne reprise et une bonne croissance au cours des premiers mois suivant la plantation. En revanche, les variétés locales Douma et Miboutou ont présenté un poids plus élevé, contrairement aux variétés améliorées Excel et TMS 96/0023 à la même période de récolte (3 MAP). A 12 MAP, il est constaté une diminution du poids frais des pousses pour la variété Excel et Miboutou (campagne 2016-2017). Cette diminution pourrait être le résultat

d'un double stress induit par la sécheresse et au nombre élevé de cochenilles sur les variétés de manioc, qui réduirait l'aptitude de la plante (Calatayud, 2011). Dans l'ensemble, les variétés locales ont montré une production de poids frais des pousses supérieure à celle des variétés améliorées en raison de leur adaptabilité au sol local et donc de leur tolérance à la cochenille du manioc (Raffaillac & Segond, 2004, Ndengo *et al.*, 2016a). En ce qui concerne le diamètre au collet de la tige des plants des variétés testées, les petits diamètres ont été observés chez la variété TMS 96/0023 et les plus gros diamètres chez la variété Douma à 6 MAP. En général, les plus gros diamètres sont observés chez les variétés locales par rapport aux variétés améliorées. Ambang *et al.* (2007) concluent que les cultivars locaux ont une morphologie plus développée que les cultivars améliorés (Pynaert, 1951).

### **III.2.2.2. Effet de la hauteur de coupe des boutures de manioc et de la variété sur le nombre de cochenilles totales durant les deux campagnes**

L'évolution du nombre de cochenilles racinaire par rapport à l'interaction hauteur de coupe x variété a montré que l'infestation était plus élevée à 6 MAP en 2016-2017 et à 9 MAP en 2017-2018. Une expérience menée par Ndengo *et al.* (2016a) et Ndengo *et al.* (2016b) montre que l'infestation des variétés de manioc par les cochenilles était plus sévère à 6 MAP, tandis que Lema *et al.* (2004) ont montré un pic d'infestation à 9 et 12 MAP. Les données recueillies au cours de l'expérimentation ont également montré que les cochenilles infestaient toutes les variétés, indépendamment des hauteurs de coupe des boutures, mais avec une intensité différente. En fait, les boutures sectionnées à la base ont été les plus infestées, suivies des boutures sectionnées au milieu, peu importe la période de récolte et la variété. Selon Tindo *et al.* (2006) et Williams *et al.* (2010), l'infestation des plants par des nymphes ou des adultes de *S. vayssierei* n'est pas liée aux sections des boutures issues de la même tige. Les variétés Excel et Douma ont été trouvées plus infestées, que les variétés TMS 96/0023 et Miboutou. Il est intéressant de noter que Lema *et al.* (2004), Ndengo *et al.* (2016b) ont montré que les variétés douces sont les plus attaquées par la cochenille racinaire du manioc, en référence aux variétés amères. Durant la campagne 2016-2017, on a enregistré plus de cochenilles (130 CART) par rapport à la campagne 2017-2018 (85 CART). On peut penser ici que les parcelles au cours de la première campagne ont été plus infestées par les cochenilles du fait du précédent cultural en plus de la variété sauvage d'igname (*Dioscorea* spp.) retrouvée sur le site portant des cochenilles sur ses racines tubéreuses par rapport aux parcelles de la seconde campagne qui ont été moins infestées par les cochenilles.



### **III.2.2.3. Effet de la hauteur de coupe des boutures et de la variété sur le rendement durant les campagnes 2016-2017 et 2017-2018**

Pour la production de racines tubéreuses à 6 MAP et 9 MAP, l'interaction hauteurs de coupe des boutures d'une tige x variété ne soit pas significativement différente durant les deux campagnes. Néanmoins, les boutures sectionnées à la base et au milieu ont produit des rendements supérieurs à ceux des boutures sectionnées au sommet, avec des faibles rendements dans chaque variété (Eze & Ugwuoke, 2010). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les boutures sectionnées à la base et au milieu de la tige favorisent un bon développement des racines (Raffaillac, 1992). Anikwe & Ikenganyia (2018) ont plutôt signalé que les boutures matures prélevées au milieu de la tige sont normalement préférables aux boutures provenant du sommet ou de la base d'une tige de la plante. Dans l'ensemble, les attaques de la cochenille racinaire sur les boutures sectionnées au sommet, au milieu et à la base peuvent être responsables des faibles rendements obtenus pendant les périodes expérimentales. Les cochenilles en nombre élevées, en plus de sucer la sève des boutures et tubercules de manioc, provoquent également la chute des feuilles et le rabougrissement de la plante. Ce qui est observé beaucoup plus dans les parcelles plantées avec les boutures de manioc sectionnées au sommet. Le rendement de la campagne 2017-2018 où les parcelles ont été moins infestées par les cochenilles est nettement meilleur, comparé au rendement de la campagne 2016-2017. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que cet insecte piqueur suceur en se nourrissant entraîne une perte de vigueur de la plante qui ne se limite pas au niveau des tissus spécifiques à proximité des sites d'alimentation, mais sur la plante entière (Kot *et al.*, 2015). Dans des études, Ngeve (2003) ; Lema (2004) ; Williams *et al.* (2010) ont rapporté que les variétés de manioc ont enregistré de faibles rendements sur les sites naturellement infestés par la cochenille racinaire. A 12 MAP, période optimale pour la récolte des variétés de manioc (Mukendi *et al.*, 2018), une différence significative est observée en ce qui concerne l'effet variété et l'effet des différentes hauteurs de coupe des boutures de la tige. Les rendements des variétés locales sont meilleurs que ceux des variétés améliorées en 2016-2017 résultant probablement de l'infestation enregistrée à cette date. Ndengo *et al.* (2016a) ont obtenu des résultats similaires dans l'étude sur l'influence de la densité de population des CART sur le rendement des variétés de manioc en République démocratique du Congo. Ces auteurs ont montré que les variétés locales tolèrent mieux les attaques de la cochenille racinaire que les variétés améliorées. Selon Schulthess *et al.* (1991), des densités élevées d'insectes piqueurs suceurs de sève montrent généralement des effets néfastes sur les rendements des cultures.

L'analyse en composantes principales (ACP) basé sur le nombre de cochenilles racinaires, les paramètres de croissance et le rendement ont rapproché les variétés en trois groupes pour les deux années. Les groupes formés varient en fonction de l'infestation des variétés et des parcelles par les cochenilles. Il est démontré que la répartition des cochenilles est quelque peu inégalable durant une période (année), sur un site, sur un billon et sur des variétés (Ambe *et al.*, 1999 ; Ngeve, 2003).

## **II.2.3. Criblage des variétés de manioc**

### **III.2.3.1. Criblage en champ des variétés de manioc**

Les résultats du criblage variétal en champ montrent que les variétés de manioc ont été infestées différemment par les cochenilles. Le nombre de cochenilles par plant variant en fonction du temps. Ce nombre est élevé à 6 et 9 MAP comparativement à 3 et 12 MAP. En effet, Ndengo *et al.* (2016a et b) ont montré dans leurs travaux qu'un nombre élevé de CART est observé à 6 MAP. Par contre, Lema *et al.* (2004) montrent qu'un pic d'infestation par la CART sur les différents géotypes de manioc est observé à 9 et 12 MAP. La variété améliorée Excel et la variété locale Douma enregistrent le nombre moyen de cochenille le plus élevé que la variété améliorée 96/0023. Selon l'indice d'infestation par la cochenille proposée par Tertuliano (1993), les variétés TMS 96/0023, TMS 92/0057 et la variété 8034 sont classées parmi les variétés moyennement susceptibles à la cochenille. Par contre, les variétés locales Miboutou, Douma et la variété améliorée Excel sont les variétés très susceptibles aux cochenilles. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les variétés criblées n'ont pas le même patrimoine génétique de ce fait ne l'efficacité des mécanismes de défenses mis en jeu peut influencer le comportement de fixation de la cochenille africaine des racines et tubercules.

Toutes les variétés ont été infestées avec une incidence variable et un classement suivant le niveau d'infestation à la CART a été établi. Le criblage n'a pas permis de relever des variétés de manioc totalement résistantes vis-à-vis de *S. vayssierei*. Il est ressorti les variétés infestées (TMS 96/0023 et TMS 92/0057), les variétés moyennement infestées (Miboutou et 8034) et les variétés très infestées (Excel et Douma). Le Rü *et al.* (1991) ; Tertuliano (1993) ont montré que toutes les variétés de manioc criblées en champ contre la cochenille farineuse du manioc ne sont pas totalement résistantes, mais plus tôt partiellement résistantes.

En prélevant sa ressource nutritive (assimilats), la CART injecte dans les tissus de la plante une salive toxique pouvant affaiblir le système de défense de la plante. Les dommages sont fonction de la taille des individus auxquels s'ajoutent des dégâts indirects, la

transmission des agents pathogènes, bactéries, virus, la réduction de la photosynthèse et l'excrétion de miellat (Sauvion *et al.*, 2013). La salive contient des diastases qui ont des propriétés toxiques sur les tissus se manifestant par des taches brunes. La conséquence des pertes en assimilats est la fragilisation de la plante d'où la prolifération de plusieurs maladies. Au cours de l'expérimentation, deux maladies les plus représentatives (Mosaïque africaine du manioc et l'Anthracnose) ont été observées sur le site avec une incidence et sévérité variable. L'importance de l'attaque de la MAM est liée à la sensibilité de la variété locale. Selon les résultats de Fokunang *et al.* (2000), sur les essais menés en champs, la sévérité de l'Anthracnose et de la mosaïque africaine du manioc dépendent de la sensibilité ou de la résistance de la plante hôte. L'incidence et la sévérité de l'Anthracnose sur toutes les variétés de manioc criblées sont évolutives de 3 à 9 MAP. Maho (2017) montre dans ses travaux que les variétés améliorées et locales de manioc étaient sévèrement attaquées par l'Anthracnose.

### **III.2.3.2. Criblage en laboratoire des variétés de manioc**

#### **III.2.3.2.1. Teneur de certaines substances secondaires impliquées dans la défense naturelle des variétés de manioc criblées**

Les piqûres des CART sur les parties souterraines de manioc peuvent activer les mécanismes de défense de la plante (Mai *et al.*, 2013). Les résultats montrent une production significative des métabolites secondaires dans les différentes variétés de manioc criblées. La production des composés phénoliques (phénols et flavonoïde) dans les racines tubéreuses de manioc est élevée dans les variétés améliorées 8034, 96/0023 et la variété locale Douma au niveau de la moelle, suivi des variétés améliorées 92/0057 et 96/0023 au niveau du cortex. La teneur en phénols étant plus élevée que celle de flavonoïdes. Selon Calatayud (1993), les phénols peuvent influencer significativement les mécanismes de fixation des cochenilles sur la plante car contrairement aux flavonoïdes, ils sont généralement extracellulaires et précurseurs de nombreux polymères pariétaux tels que la lignine, la cutine ou la subérine (Goodmann, 1986). Les phénols ont également un rôle antioxydant pour contrer les prooxydants produits lors du stress biotique (Dixon *et al.*, 1995). La détermination de la teneur en cyanure total montre qu'il est abondant dans le cortex que dans la moelle. On observe aussi que dans la moelle, la variété locale Douma a produit une forte quantité de cyanure total (523,4 mg/kg) par contre au niveau du cortex, les variétés améliorées (TMS 92/0057 et 96/0023) ont des teneurs plus élevées. Les glucosides cyanogéniques sont des composés présents dans toutes les parties de la plante et constituent une des caractéristiques

biochimiques du manioc. Ils permettent l'apparition d'une molécule toxique (la linamarine) qui est en quelque sorte, un système de protection de la plante contre les insectes ravageurs. Calatayud (2011) rapporte lors d'une étude de l'interaction *Phenacoccus manihoti*/manioc que la cyanogénèse ne semble pas être impliquée dans la défense du manioc du fait que les processus de pénétration des stylets des cochenilles induisent peu de dommages tissulaires, rendent peu probable son déclenchement. De plus, les cochenilles possèdent un système efficace d'excrétion et/ou de détoxification du cyanure d'hydrogène (HCN) éventuellement libéré dans leur tractus digestif (Calatayud *et al.*, 1997 ; Calatayud & Le Rü 2006). La teneur élevée en composés phénoliques (phénols et flavonoïdes totaux) et en cyanure total au niveau du cortex des variétés TMS 96/0023 et 92/0057 pourrait justifier le faible nombre de cochenilles infestant ces variétés. La catalase (CAT) et le gaïacol peroxydase (GPX) consiste à catalyser et à réduire les produits toxiques intermédiaire du métabolisme de l'oxygène, qui empêche les dommages aux cellules végétales (Gill & Tuteja, 2010). La catalase étant indispensable à la détoxification en cas de stress. Elle libère le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> généré lors du transport d'électrons mitochondrial et de la bêta-oxydation des acides gras (Gill & Tuteja, 2010 ; Kot *et al.*, 2015). Les résultats montrent que l'activité de la CAT dans la moelle des racines de manioc a été plus élevée dans la variété améliorée 8034 suivi de la variété locale Miboutou, et dans le cortex elle est élevée dans les variétés améliorées 96/0023 et 92/0057. Ceci montre que l'activité de la catalase s'accroît ou diminue probablement d'une part en fonction de la variété et d'autre part en fonction du nombre de cochenilles présentes sur les variétés de manioc. Ferry *et al.* (2011) ont rapporté une augmentation de la catalase dans le blé suite à une infestation de *Sitobion avenae*, alors que Kaur *et al.* (2014) ont observé une baisse de l'activité de la catalase dans les feuilles, les graines et la paroi des gousses de *Cajanus cajan* infesté par *Helicoverpa armigera*. Dans le cas du gaïacol peroxydase, on observe une situation inverse à celle de l'activité de la catalase au niveau du cortex. La plus grande activité de la catalase enregistrée dans les variétés améliorées 96/0023 et 92/0057 a été mise en rapport avec la plus faible activité du gaïacol peroxydase. Une diminution de l'activité GPX provoque une augmentation de la concentration de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Belahcene *et al.*, 2015). La phénylalanine ammonia-lyase à partir de son produit qui est l'acide cinnamique joue un rôle dans les mécanismes de défense de la plante de par la synthèse de l'acide salicylique et d'autres composés phénoliques comme les lignines intervenant dans le renforcement des parois pectocellulosiques (Mauch-Mani & Slusarenko, 1996 ; Shirasu *et al.*, 1997 ; Chaman *et al.*, 2003). Il ressort des résultats que l'activité de la PAL est élevée dans les variétés 96/0023

et 92/0057 au niveau du cortex. Un niveau élevé de la PAL peut renforcer la capacité de la plante à tolérer les cochenilles. En effet Dogbo *et al.* (2008) ont montré que l'activité de la PAL dans les tissus des feuilles de manioc stimulée par l'acide salicylique a été 4 à 14 fois plus importante.

Les corrélations positives (non significatives et significatives) entre le nombre de cochenilles racinaires et les paramètres biochimiques dans la moelle et le cortex des racines tubéreuses de manioc révèlent que leur production influencerait la fixation des cochenilles sur les variétés de manioc. Ceci se justifierait par le fait que la production des composés secondaires par la plante n'est que la résultante d'une synergie d'action coordonnée dans le temps et dans l'espace lors d'un stress biotique ou abiotique. Selon Benhamou (2009) ; Klarzynski & Fritiz (2001), les plantes répondent aux agressions biotiques et abiotiques en synthétisant une variété de molécules organiques ayant la capacité d'agir sur l'envahisseur. L'analyse en composantes principales (ACP) et le dendrogramme basé sur le nombre de cochenilles racinaires, les paramètres de croissance, biochimiques et le rendement ont séparé les variétés en quatre groupes. Il ressort de cette analyse que la variété locale Douma en plus d'être très infestée par la cochenille, a une forte teneur en HCN, en phénols et flavonoïdes dans la moelle à l'opposé des variétés améliorées 96/0023 et 92/0057 qui ont une teneur élevée de HCN, PAL et catalase dans le cortex mais avec une faible infestation par les cochenilles. Hemm *et al.* (2004), montrent que la PAL est une enzyme clé dans la synthèse de plusieurs composés secondaires liés à la défense tels que les phénols et la lignine. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que d'autres composés biochimiques autres que celle étudiés participent dans la défense de la plante vis-à-vis de *S. vayssierei* (Le Rü *et al.*, 1991 ; Tertuliano, 1993). Par ailleurs, même si les métabolites secondaires produits par les plantes n'agissent pas sur le nombre de cochenilles, ils pourraient agir sur le métabolisme des insectes. Cette action dépressive sur les métabolismes des cochenilles pourrait expliquer la tolérance de la variété locale Douma et expliquer la pullulation des cochenilles sur ces variétés comme mécanisme d'adaptation et de survie aux stress métaboliques desdits insectes.

#### **III.2.3.2.2. Mode d'action de *Stictococcus vayssierei***

*Stictococcus vassierei* est un insecte endogène et comme tous les insectes de sol, il est difficile à combattre par les produits phytosanitaires classiques. Pour se nourrir il insère ses longs stylets dans le cortex, le périoderme et dans les cellules du parenchyme de stockage de la racine pour aspirer la sève de la plante ou on peut observer par la suite sur ses parties des petites zones dont la coloration devient brunâtre (Kot *et al.*, 2015). De ce fait, elle est capable

de dégrader la paroi cellulaire de la plante ; celle-ci contient entre autre, de la cellulose, de l'hémicellulose, des pectines et des lignines (Albersheim *et al.*, 2011). L'oligophagie de la cochenille sur les plants de manioc suppose qu'elle est capable de franchir les barrières pectocellulosiques en produisant des enzymes hydrolytiques. Tokuda (2019) a suggéré une capacité cellulolytique endogène pouvant être un trait d'adaptation des insectes phytophages. Les résultats positifs au test de production des enzymes hydrolytiques par la cochenille africaine des racines et tubercules ont été observés par l'apparition d'une auréole claire formée autour de la zone de dépôt du filtrat. Ceci pourrait se justifier par le fait que les cochenilles possèdent au niveau de leur organe un équipement enzymatique qui leur permet d'hydrolyser la paroi cellulaire de la plante. Par ailleurs, il a été démontré que pour se nourrir, la cochenille insère son long stylet qui progresse dans les tissus de la plante grâce à la présence d'enzymes pectinolytiques salivaires (Calatayud *et al.*, 1996). Selon Calderon-Cortés *et al.* (2012), les pectinases jouent un rôle clé permettant aux insectes de se nourrir par perçage et succion et de même, les cellulases semblent être des enzymes clés pour les insectes piqueurs suceurs qui se nourrissent de tissus vivants.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## Conclusion

Le présent travail avait pour objectif général de proposer une stratégie pluridimensionnelle dans le contrôle des populations de *S. vayssierei* dans la zone forestière à pluviométrie bimodale. Il a permis d'apporter des éléments d'information non négligeables.

L'efficacité des extraits des graines de *Thevetia peruviana* dans la protection des plants de manioc contre *S. vayssierei* a été mise en évidence par comparaison à l'insecticide de synthèse (oxamyl 5 %), communément utilisé par les producteurs dans la localité. L'extrait aqueux et l'extrait à l'acétone se sont avérés plus efficaces en champ contre ce ravageur que cet insecticide de synthèse. De même, contre *A. tenella* (propageur de *S. vayssierei*) l'extrait de *T. peruviana* à l'acétone et au méthanol ont induit une mortalité de 100 % par contact 30 min après l'application. *Thevetia peruviana* peut être recommandé puisque présentant un potentiel insecticide contre *S. vayssierei* et *A. tenella*.

Les tests de susceptibilités, à *S. vayssierei*, des jeunes plants de manioc, ont permis de mettre en évidence des variations des densités d'infestations en fonction de la hauteur à laquelle les boutures ont été prélevées sur la plante mère. Ainsi, le nombre de cochenilles a varié entre les plants issues des boutures sectionnées à la base et celle sectionnées au milieu des tiges respectivement au cours de la campagne 2016-2017 d'une part, et entre les plants issus des boutures prises au milieu et celles prises au sommet des tiges respectivement au cours de la campagne 2017-2018 d'autre part. Le meilleur rendement ( $20,11 \pm 5,31 \text{ t.ha}^{-1}$ ) est produit par la variété locale Douma plantée avec les boutures sectionnées à la base.

Le criblage en champ montre que la variété de manioc la moins susceptible est la variété 96/0023, suivi de la variété 92/0057. La variété 8034 et la variété Miboutou sont moyennement susceptibles, alors que la variété Excel et la variété Douma ont été les plus susceptibles à la cochenille. La variété locale Douma a produit le meilleur rendement ( $23,8 \text{ t.ha}^{-1}$ ), suivi de la variété TMS 96/0023 ( $21,8 \text{ t.ha}^{-1}$ ), Miboutou ( $20,5 \text{ t.ha}^{-1}$ ), TMS 92/0057 ( $18,7 \text{ t.ha}^{-1}$ ), 8034 ( $17,7 \text{ t.ha}^{-1}$ ) et enfin Excel ( $14,1 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Outre l'infestation par la CART, deux maladies ont été observées dans les parcelles, avec des incidences et sévérités variables. Il s'agit de l'anthracnose du manioc observé sur toutes les variétés criblées et la mosaïque africaine du manioc observée uniquement sur les variétés locales.

L'analyse en laboratoire de quelques paramètres biochimiques au niveau des tissus racinaires (moelle et cortex) montre une variation en fonction des variétés de manioc. La variété Douma a une forte teneur en phénols, flavonoïdes totaux et en cyanure total dans la moelle des racines ; les variétés améliorées 92/0057 et 96/0023 ont une forte teneur en



cyanure total, une forte activité de la phénylalanine ammonia-lyase dans le cortex. Les cochenilles ont la capacité de produire des enzymes hydrolytiques de la paroi cellulaire de la plante telle que la protéase, la cellulase et l'amylase par la présence d'une auréole claire autour de la zone de dépôt du filtrat. La variété Excel a une forte activité de la gâicol peroxydase et une teneur élevée en protéines dans le cortex. Dans le cadre des recherches menées pour la mise au point de techniques de lutte contre *S. vayssierei*, les résultats présentés dans ce travail pourraient contribuer au renforcement du programme de la lutte intégrée.

## Perspectives

Compte-tenu des résultats présentés dans ce travail, différentes perspectives de recherche peuvent être envisagées :

- faire un test *in vivo* avec les cochenilles en utilisant les extraits de plantes respectueuses de l'environnement et multiplier les essais en champ et dans d'autre localité avec ces extraits contre la CART ;
- rechercher d'autres pratiques culturales pouvant limiter le nombre de cochenilles en améliorant le rendement du manioc ;
- faire des tests en serre en combinant la hauteur de coupe des boutures et les extraits des plantes à potentiel insecticide vis-à-vis de *S. vayssierei* ;
- répertorier d'autres variétés locales tolérantes à l'instar de la variété locale Douma en site infesté et les introduire dans le programme d'amélioration génétique du manioc ;
- faire des tests en milieu semi-contrôlé, puis en champ et stimuler la défense naturelle des variétés de manioc infestées et non infestées par les cochenilles et les comparées ;
- identifier le QTL associé à la résistance de *S. vayssierei* afin d'améliorer la résistance du manioc.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abbott W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- Acquaah G., 2007. *Principles of plant genetics and breeding*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford. 758 P.
- Afanas'eva I.B., Ostrakhovitch E.A., Mikhal'chik E.V., Ibragimova G.A. & Korkina L.G., 2001. Enhancement of antioxidant and anti-inflammatory activities of bioflavonoidrutin by complexation with transition metals. *Biochemical Pharmacology*, 61: 677-684.
- Agbarevo M.N., 2003. *Practical Guide to crop Production*. Ogoja: Sogar Printers (Nig). Publishers.
- Akpo A., Chougourou D.C., Osse R.A., Dossou J., Akinro B. & Akogbéto M., 2017. Study on the efficacy of *Thevetia neriifolia* oil for the control of *Anopheles gambiae* S.L. resistant to Pyrethroids. *European Scientific Journal*, 13: 231-248.
- Albersheim P., Darvill A., Roberts K., Sederoff R. & Staehelin A., 2011. *Plant Cell Walls. From chemistry to biology*. New York: Garland Science, 430 P.
- Allem A.C., 2002. The origins and taxonomy of cassava. In: Hillocks R.J., Thresh J.M. & Bellotti A.C. (eds). *Cassava: Biology, Production and Utilization*. CABI, Wallingford, United Kingdom, 1-16.
- Alves A.A.C., 2002. Cassava Botany and Physiology. In: Hillocks R.J., Thresh J.M. & Bellotti A.C. (eds). *Cassava: Biology, Production and Utilization*. CABI, Wallingford, United Kingdom, pp. 67-89.
- Ambang Z., Akoa A., Ndongo B., Nantia J., Nyobe L. & Ongono Y.S.B., 2007. Tolérance de quelques cultivars de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et de l'espèce sauvage (*M. glazovii*) à la mosaïque virale africaine et à la cercosporiose du manioc. *Tropicultura*, 25 (3): 140-145.
- Ambang Z., Akoa A., Ndongo B., Nantia J. & Chewachong G.M., 2009. Résistance à la mosaïque virale du manioc (*Manihot glaziovii*) par greffage sur *M. esculenta*. *Tropicultura*, 27 (1): 8-14.
- Ambang Z., Ndongo B., Essono G., Ngho J.P., Kosma P., Chewachong G.M. & Asanga A., 2011. Control of leaf spot disease caused by *Cercospora* sp. on groundnut (*Arachis*

- hypogaea*) using methanolic extracts of yellow oleander (*Thevetia peruviana*) seeds. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (3): 227-232.
- Ambe J.T., Ntonifor N.N., Awah E.T. & Yaninek J.S., 1999. The effect of planting dates on the incidence and population dynamics of the cassava root scale, *Stictococcus vayssierei* in Cameroon. *International Journal of Pest Management*, 45:125-130
- Angelo B., 1992. *Le manioc en Afrique de l'Est : Rôle et perspective dans le développement agricole*. Dissertation doctorale, Karthala, Paris. 287 p.
- Anikwe M.A.N. & Ikenganyia E.E., 2018. Ecophysiology and Production Principles of Cassava (*Manihot* species) in Southeastern Nigeria. *Intechopen*, 105-121.
- Anjarwalla P., Belmain S., Sola P., Jamnadass R. & Stevenson P.C 2016. *Handbook on pesticidal plants*. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, Kenya. 64 p.
- Anonyme, 1989. Cameroon National Root Improvement Program (CNRCIP), 1981. Annual Report (BP 13, Njombe, Cameroon, IRA Njombe).
- Anonyme, 1990. Cassava in Tropical Africa. A Reference Manual. IITA, Ibadan, Nigeria, 108 p.
- Anonyme, 1997. Estimation de la valeur énergétique des aliments et des matières premières chez le porcelet en post-sevrage et chez le porc charcutier. Institut Technique des Céréales et des Fourrages-Pouline, 41100 Villerable. *Journées de Recherche Porcine en France*, 29: 205-212.
- Anonyme, 2000. Lutte contre les ravageurs du manioc, guide de la pratique de la lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs. IITA, Ibadan, Nigeria. 36 p.
- Anonyme, 2008. Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. IRAD, Cameroun. 74 p.
- Anonyme, 2009. Rapport de consultation en protection et lutte intégrée du manioc. FAO-MINADER, 16 p.
- Anonyme, 2013. *Save and Grow: Cassava. A Guide to Sustainable Production Intensification*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 129 p.
- Anonyme, 2014. Guide de gestion des nuisibles du manioc à l'usage des coopérations. pp. 11-15.
- Anonyme, 2015. FAOSTAT, FAO statistical databases. Italy, Rome. (<http://faostat.fao.org/>).
- Anonyme, 2017. La cochenille racinaire du manioc (*Stictococcus vayssierei*). Distribution Maps of Plant Pests. No. December, CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. pp. 67-89.

- Anonyme 2020. FAOSTAT Statistics databases; annual production of root and tuber crops in Africa. Available at <http://www.fao.org/faostat/en> (Accessed February 2020).
- Asare-Bediako E., Addo-Quaye A.A. & Mohammed A., 2010. Control of diamond back moth (*Plutella xylostella*) on cabbage (*Brassica oleracea* var *Capitata*) using intercropping with non-host crops. *American Journal of Food Technology*, 5 (4): 269-274.
- Atteh J.O., Ibiyemi S.A., Onadepo F.A. & Ugboma O.O., 1990. Replacement of palm oil by *Thevetia* oil in broiler chick diets. *Journal of Agricultural Science*, 115: 141-143.
- Baidoo P.K., Mochiah M.B. & Apusiga K., 2012. Onion as a pest control intercrop in organic cabbage (*Brassica oleracea*) production system in Ghana. *Sustainable Agriculture Research*, 1 (1): 36-41.
- Bakayoko S., Kouadio K.K.H., Soro D., Tschannen A., Nindjin C., Dao D. & Girardin O.X., 2012. Rendements en tubercules frais et teneurs en matière sèche de soixante-dix nouvelles variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 14 (2): 1961-1977.
- Bani G., Divassa M.S., Nzemba D.M. & Magma J.M., 2003. Présence au Congo-Brazzaville de *Stictococcus vayssierei* Richard, ravageur du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) (Hemiptera., Stictococidae). *Bulletin de la société entomologique de France*, 108 (5): 495-529.
- Banu K.S. & Cathrine L., 2015. General Techniques Involved in Phytochemical Analysis. *International Journal of Advanced Research in Chemical science*, 2(4): 25-32.
- Belahcene N., Mouaïssia W., Zenati N. & Djebbar M.R., 2015. Study of the effect of oxidative stress caused by a systemic herbicide Cossack on durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 14: 104-111.
- Bell A.E., 1974. Biochemical bases of resistance of plants to pathogens. In: Maxwells F.G. & Harris F.A. (eds). *Proc. Summer Institute on Biological Control of Plant Insects and Diseases*. Cambridge, University Press. pp. 453-462.
- Bell A., Muck O. & Schuler B., 2000. Les plantes à racines et tubercules en Afrique : Le Manioc, un aliment pour tout le monde. In: *Les richesses du sol*. DSE-GTZ, Berlin. pp. 33-114.
- Bellotti A.C. & Arias B.V., 1994. The possible role of HCN in the biology and feeding behavior of the cassava burrowing bug (*Cyrtomenus bergi* Froeschner: Cydnidae: Hemiptera). In: Roca, W.M. & Thro A.M. (eds). *First International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network*. CIAT, Cali, pp. 406-410.

- Ben-Dov Y., 1997. Diagnosis. In: Ben-Dov Y. & Hodgson C.J. (eds). *Soft Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Elsevier Science B.V. pp. 3-4.
- Benhamou N., 2009. *La résistance chez les plantes : principes de la stratégie défensive et applications agronomiques*. Lavoisier, France. 376 p.
- Berthaut J. 1971. *Flore illustrée du Sénégal*. Tome 1. Claire Afrique. 626 p.
- Bezpalý I., 1984. Le manioc. In: Mir Editions. *Les plantes à racines tubéreuses et à tubercules alimentaires cultivées en Afrique occidentale*. Moscou. pp. 109-119.
- Blilou I., Ocampo J.A. & Garcia-Garrido J.M., 2000. Induction of LTP (lipid transfer protein) and PAL (Phenylalanine ammonia-lyase) gene expression in rice roots colonized by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Journal of Experimental Botany*, 51: 69-77.
- Boguszewska D., Grudkowska M. & Zagdanska B., 2010. Drought responsive antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.), *Potato Research*, 53: 373-382.
- Bouaziz H., Fki I., Jemai H., Ayadi M. & Sayadi S., 2008. Effect of storage on refined and husk olive oils composition, stabilization by addition of natural antioxidant from Chemlali olive leaves. *Food Chemistry*, 108, 253–262.
- Boudjeko T., Djocgoue P.F., Nankeu J.D. & Omokolo N.D., 2007. Luteolin derivatives and heritability of resistance to *Phytophthora megakarya* in *Theobroma cacao* L. *Australian Plant Pathology*, 36: 56-61.
- Boulay A., 1985. Le *Thevetia nerifolia*. Contribution à l'étude des Apocynacées toxiques. Thèse de Doctorat, Université de Paris IV. 175 p.
- Boulogne I., 2011. *Evaluation du potentiel insecticide et antifongique sur Acromyrmex octospinosus (Reich) d'une sélection de plantes à usages ethnopharmacologiques TRAMIL*. Thèse en biologie. Université des Antilles et de la Guyane. 183 p.
- Bourdoux P., Mafuta M., Hanson A. & Ermans A.M., 1980. Cassava toxicity: the role of linamarin. In: Ermans A.M., Mbulamoko N.M., Delange F. & Ahluwalia R. (eds). *Role of cassava in the etiology of endemic goitre and cretinism*. International Development Research Center, Ottawa: pp. 15-27.
- Bradbury M.G. & Egan S.V., 1999. Determination of all forms of cyanogens in cassava roots and cassava products using picrate paper kits. *Journal of science of food and Agriculture*, 79: 593-601.

- Bradford M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitative of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annal of Biochemistry*, 72: 248-254.
- Butler G.W., Bailey R.W. & Kennedy L.D., 1965. Studies on the Glucosidase "Linamarase". *Phytochemistry*, 4: 369-381.
- Cadavid L.F. & El Sharkawy M.A., 2002. Response of cassava to prolonged water stress imposed at different stages of growth. *Agricultural*, 38: 333-350.
- Calatayud P.A., Rouland C. & Le Rü B., 1997. Influence de la linamarine dans la relation manioc-cochenille, *Acta Botanica Gallica*, 144 (4) : 427-432.
- Calatayud P.A., Boher B., Nicole M. & Geiger J.P., 1996. Interactions between cassava mealybug and cassava: cytochemical aspects of plant cell wall modifications. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 80: 242-245.
- Calatayud P.A. & Le Ru B., 2006. *Cassava-mealybugs interactions*. IRD Editions, Montpellier, France. 110 p.
- Calatayud P.A., 2011. *Plant-insect interactions*. Qualification to Conduct Research (HDR). University Paris-sud. 86 p.
- Calatayud P.A., 1993. *Etude des relations nutritionnelles de la cochenille du manioc avec sa plante-hôte*. Thèse en analyse et modélisation des systèmes biologiques. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. 157 p.
- Calderon-Cortés N., Quesada M., Watanabe H., Cano-Camacho H. & Oyama K., 2012. Endogenous plant cell wall digestion: A key mechanism in insect evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43: 45-71.
- Cakmak N. & Horst W.J., 1991. "Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidases activities in root tips of soybean". *Physiology plant*, 83: 463- 468.
- Capinera J.L., 2008. *Encyclopedia of entomology*. Editor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 815 p.
- Carter S.E., Fresco L.O., & Jones P. 1992. An atlas of cassava In: *Africa: historical, agroecological and demographic aspects of crop distribution*. Cali, Colombia, CIAT, 86 p.
- Chalandre M.C., 2000. Elément de botanique ([www.123.bio.net](http://www.123.bio.net)).

- Chaman M.F., Copaja S.V., & Argandona V.H. 2003. Relationships between salicylic acid content, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and resistance of barley to aphid infestation. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51 (8): 2227-2231.
- Chougourou C.D., Dellouh P.L., Agbaka A., Nguessan K.R. & Gbenou J.D., 2012. Toxicité des effets répulsifs de certaines huiles extradites des plantes locales Beninoises sur la mouche domestiques *Musca domestica* L. (Diptera : muscidae). *Journal of Applied Biosciences*, 55: 3953-3961.
- Cock J.H., 1985. *Cassava-New Potential for a Neglected Crop*. Westview press, Boulder, Colorado. 191 p.
- Cock J.H., Wholey D. & Lozano J.C., 1976. A rapid propagation system for cassava. Series EE-20. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali, Colombia.
- Conn E.E., 1980. Cyanogenic compounds. *Annual Review of Plant Physiology*, 31: 433-451.
- De Souza R.F. & De Giovani W.F., 2004. Antioxidant Properties of Complexes of Flavonoids with metal ions. *Redox Report*, 9: 97-104.
- Dejean A. & Matile-Ferrero D., 1996. How a ground-dwelling forest ant species favors the proliferation of an endemic scale insect (Hymenoptera: Formicidae; Homoptera: Stictococcidae). *Sociobiology*, 28:183-195.
- Derradji-Heffaf D.F., 2013. *Composition chimique et activité insecticide de trois extraits végétaux à l'égard de Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). Thèse en sciences agronomiques. Elharrach. 92 p.
- Dimiyati A., 1994. Cassava genetic resources in Indonesia: status and future outlook. *In: IPGR, International Network for Cassava Genetic Resources*. Report of the first meeting of the International Network for Cassava Genetic Resources, CIAT, Cali. Colombia, 18-23 August 1992. International Crop Network Series No. 10. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, pp. 66-70.
- Dixon R.A., Harrison M.J. & Palva N.L., 1995. The isoflavonoid phytoalexins pathway from enzymes to genes to transcription factors. *Physiology Plantarum*, 93: 385-395.
- Dogbo D.O., Bekro M.J.A., Bekro Y.A., Sie R.S., Gogbeu S.J. & Traore A., 2008. Influence de l'acide salicylique sur la synthèse de la phénylalanine ammonia-lyase, des polyphénoloxydases et l'accumulation des composés phénoliques chez le manioc (*Manihot esculenta* Crantz). *Sciences & Nature*, 5: 1-13.



- Doumtsop F.A.R.P., 2006. *Effet de l'humidité relative sur le développement et la survie des stades immatures de Stictococcus vayssierei* (Homoptera : Stictococcidae) *au laboratoire*. Mémoire de DEA. Université de Yaoundé I. 53 p.
- Doumtsop A.R.P.F., Hanna R., Tindo M., Tata-Hangy W.K., Fotso A.K., Fiaboe K.K.M., Fomena A., Kemga A. & Normark B.B., 2019. Geographic distribution and abundance of the Afrotropical subterranean scale insect *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera: Stictococcidae), a pest of root and tuber crops in the Congo basin. *Bulletin of Entomological Research*, 1-9.
- Dounias E., 1995. *Comment les pygmées de Sud-Cameroun forestier modèlent la forêt à l'usage de leur vie nomade*. Le flamboyant, pp. 36-58.
- Edeoga H.O., Okwu D.E. & Mbaebie B.O., 2005. Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. Department of biological and chemicals sciences, Michael Okpara University of agriculture. *African Journal of Biotechnology*. 4 (7): 685-688.
- Egle K., 1992. *Étude de la variabilité des composantes du rendement du manioc (Manihot esculenta Crantz) en fonction de la fertilité du sol*. Mémoire d'Ingénieur Agronome. École Supérieure Agronomique de l'Université du Bénin. ORSTOM, Laboratoire d'Agronomie. Lomé, Togo. 111 p.
- El-modafar C., El-boustani E. & El-Abidine A.Z., 2008. Rôles des polyphénols dans la défense naturelle des plantes contre les phytopathogènes : résistances du palmier dattier à la fusariose in *Biopesticides d'origine végétale*. TEC et DOC. 259-271
- El-Sharkawy M.A., 2004. Cassava biology and physiology. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. *Plant Molecular Biology*, 56: 481-501.
- Eze S.C. & Ugwuoke K.I., 2010. Evaluation of different stem portions of cassava (*Manihot esculenta*) in the management of its establishment and yield. *Research Journal of Agriculture and Biology Science*, 417 (2): 181-185.
- Fargette D., 1987. *Epidémiologie de la mosaïque africaine du manioc en Côte d'Ivoire*. Etudes et Thèses, ORSTOM, 203 p.
- Fentahun M. & Kumari P.V., 2017. Isolation and screening of amylase producing thermophilic spore forming *Bacilli* from starch rich soil and characterization of their amylase activity. *African Journal of Microbiology Research*. 11 (21): 851-859.
- Ferry N., Stavroulakis S., Guan W., Davison G.M., Bell H.A., Weaver R.J., Down R.E., Gatehouse J.A. & Gatehouse A.M.R., 2011. Molecular interactions between wheat and

- cereal aphid (*Sitobion avenae*): analysis of changes to the wheat proteome. *Proteomics*, 11: 1985-2002.
- Fokunang C.N., Dixan A.G.O. & Akem C.N., 2000. Field reaction of cassava genotypes to anthracnose, bacterial blight, cassava mosaic disease and their effects on yield. *Africa crop science journal*, 8 (2): 179-186.
- Fotso K.A., Tindo M., Hanna R., Kenne M. & Goergen G., 2008. Foraging activity and diet breadth of the ant *Anoplolepis tenella* Santschi in southern Cameroon. *African Entomology*, 16: 107-114.
- Fotso K.A., 2011. *Towards the development of sustainable control options for the African root and tuber scale on cassava in Central Africa Understanding the biology and ecology of the tending ant Anoplolepis tenella (Hymenoptera: Formicidae)*. Ph.D Thesis. University of Basel. 150 p.
- Fotso K.A., Hanna R., Tindo M. & Nagel P., 2015. Transport and Dispersal of *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera, Stictococcidae) by *Anoplolepis Tenella* (Hymenoptera, Formicidae). *Journal of Insect Behaviour*, 28: 426-435.
- Fritz R.R., Hodgins D.S. & Abell C.W., 1976. "Phenylalanine ammonia-lyase. Induction and purification from yeast and clearance in mammals". *The Journal of Biological Chemistry*, 251 (15): 46-50.
- Fürstenberg J., Zagrobelny M. & Bak S., 2013. Plant Defense against Insect Herbivores. *International Journal of Molecular Science*, 14 p.
- Fukai S., Alcoy A.B., Lamelo A.B. & Patterson R.D., 1984. Effect of solar radiations on growth of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) I Canopy development and dry growth. *Field Crops Research*, 9: 347-360.
- Fukuda W.M.G. & Guevana C.L., 1998. Descritores Morfológicos Agronômicos para a Caracterização de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Documentos CNPMF no. 78. EMBRAPA/CNPMF, Cruz das Almas BA. Brazil.
- Fungula N., Lele S., Kimananzimbu N. & Nkusu K., 1997. Cinétique de l'hydrolyse de la linamarine du manioc. *Pistes et Recherches*, 12 (3): 12-22.
- Gata-Gonçalves L., Nogueira J.M.F., Matos O. & De Sousa B., 2003. Phytoactive extract from *Thevetia peruviana* with antifungal properties against *Cladosporium cucumerinum*. *Journal of photochemistry and photobiology*, 70 (1): 51-54.
- Gerber M., 1994. Olive oil and cancer, In: Ellis Horwood (eds). «*Epidemiology of Diet and Cancer*», pp. 263-275.

- Gill S.S. & Tuteja N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48: 909–930.
- Goodman R.N., 1986. *Cell-wall composition and metabolism*. (Eds). Columbia: University of Missouri press, 500 p.
- Grace M.R., 1977. Cassava processing, FAO plant Production Protection, series n°3, Rome.
- Gregory P.H., Griffin M.J., Maddison A.C. & Ward M.R., 1984. Cocoa black pod: a reinterpretation. *Cocoa Growers' Bulletin*, 3 (5): 5-22.
- Gueye M.T., Seck D., Wathelet J.P. & Lognay G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. *Biotechnology and Agronomy Society of Environment*, 15 (1): 183-194.
- Gümez-Vásquez R., Day R., Buschmann H., Randles S., Beeching J.R. & Cooper R., 2004. phenylpropanoids, phenylalanine ammonia-lyase and peroxidases in elicited challenged cassava (*Manihot esculenta* Crantz) suspension cells and leaves. *Annals of Botany*, 94: 87-97.
- Hammuel C., Abdullahi M.S., Mankilik M., Anyim B.P., Adesina O.B., Inekwe U.V., Udiba U.U. & Batari M.L., 2011. The phytochemical and antimicrobial activities of oil from the seed of *thevetia peruviana* plant. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1 (12): 597-601.
- Hanna R., Tindo M., Wijnans L., Goergen G., Tata Hangy K., Lema K., Toko M., Ngeve J.M., Dixon A. & Gockowski J., 2004. The African root and tuber scale problem in Central Africa: the nature of the problem and the search for control options. In: *Book of Abstracts of the 9th Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch*, 31 October–5 November 2004, Mombasa, Kenya. 57 p.
- Hanna R., Fotso K.A., Nanga N.S., Tindo M. & Nagel P., 2015. Boric acid for suppression of the ant *Anoplolepis tenella* and effects on an associated scale insect pest *Stictococcus vayssierei* in cassava fields in the Congo basin. *Crop Protection*, 74 : 131–137.
- Haubruge E. & Amichot M., 1998. Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnology and Agronomy Society of Environment*, 2 (3): 161-174.
- Hemm M.R., Rider S.D., Ogas J., Murry D.J. & Chapple C., 2004. Light induces phenylpropanoid metabolism in *Arabidopsis* roots. *Plant Journal*, 38: 765-778.
- Hillocks R.J., Thresh J.M. & Belloti A.C., 2002. *Cassava Biology, Production and utilisation*. CABI, London. 480 p.

- Hiner A., Ruiz J., Lopez J.N., Arnao M.B., Raven E.I., Canovas F.G. & Acosta M.M., 2002. "Kinetic study of the inactivation of Ascorbate-peroxidase by hydrogen peroxide. *Biochemistry Journal*, 348: 321-328.
- Howeler R.H., 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization. *In: Hillocks, R.J., Thresh J.M. & Bellotti A.C. (eds). Cassava: Biology, Production and Utilization*, CABI, Wallingford, United Kingdom, pp. 115-147.
- Howeler R.H., Oates C.G. & Allem A.C., 2000. Strategic Environmental Assessment: An Assessment of the impact of Cassava Production and Processing on the Environment and Biodiversity. *The Global Cassava Development Strategy Validation Forum*, April. pp. 26 -28.
- Hsieh W.H. & Goh T.K., 1990. Cercospora and similar fungi from Taiwan. Maw Chang Book Compagny, Taiwan. [www.brcr.firdi.org.tw/fungi/fungal](http://www.bcrc.firdi.org.tw/fungi/fungal).
- Huang C.L. & Sumpio B.E., 2008. Mediterranean diet and cardiovascular health. *American College of Surgeons*, 207 (3): 408–416. *Chemistry*, 127: 1521–1525.
- Ibiyemi S.A., Fadipe V.O., Akinremi O.O. & Bako S.S., 2002. Variation in oil composition of *Thevetia peruviana* Juss "Yellow olaeander" fruit seed. *Journal of Applied Sciences and Environnement Management*, 6: 61-66
- Indira J., Ekanayake D., Osiru S.O., Marcio C.M. & Porto L., 2000. Morphology of cassava. IITA, Ibadan, 27 p.
- Janssens M., 2001. *Le manioc : Raame ekers. : Agriculture en Afrique tropicale*, DGCI, Ministère des affaires étrangères, Bruscelles, Belgique : 634 P.
- Japon-Lujan R., Janeiro P. & Luque de Castro M.D., 2008. Solid-liquid transfer of biophenols from olive leaves for the enrichment of edible oils by a dynamic ultrasound assisted approach, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 7231-7235.
- Jochen K., 1993. Le stockage traditionnel de l'igname et du manioc et son amelioration. GTZ Post-harvest Project, Hamburg. 96 p.
- Johnson P.J., 2009. Mealybugs on orchids. American Orchid Society, Available online at <https://www.aos.org/Default.aspx?id=511>
- Jose A., Makesh Kumar T. & Edison S., 2008. Host Range of Sri Lankan Cassava Mosaic Virus. *Journal of Root Crops*, 34 (1): 21-25.
- Kamau J., Melis R., Laing M., Derera J., Shanahan P. & Ngugi C.K.E., 2011. Farmers' participatory selection for early Bulking Cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. *Journal of Plant Breeding and crop sciences*, 3 (3): 44-52.

- Kang B.T., Islam R., Sanders F.E. & Ayanaba A., 1980. Effect of phosphate fertilization and inoculation with va-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown on an alfisol. *Field Crops Research*, 3: 83-94.
- Kasana R.C., Salwan R., Dhar H., Dutt S. & Gulati A., 2008. A rapid and easy method for the detection of microbial cellulases on agar plates using gram's iodine. *Current Microbiology*, 57: 503-507.
- Kasele I.N., Hahn S.K., Oputa C.O. & Vine P.N., 1983. Effects of shade, nitrogen, and potassium on cassava. In: Africa Branch (eds). *Tropical Root Crops proceedings of the second Triennial Symposium of ISTRC*. Cameroun, IDRC p. 55-58.
- Kauffmann S., Dorey S. & Fritig B., 2001. *Les stratégies de défense*. Pour la Science, p. 116-121.
- Kaur R., Gupta A.K. & Taggar G.K., 2014. Rôle of catalase, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and phenolics in resistance of *Pigeonpea* towards *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Acta Physiologica Plantarum*, 36: 1513-1527.
- Keating B.A., Wilson G.L. & Evenson J.P., 1988. Effects of length, thickness, orientation, and planting density of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) planting material of subsequent establishment, growth and yield. *East Africa Agriculture and Forest Journal*, 53: 145-149.
- Keating B.A. & Everson J.P., 1979. Effect of soil temperature on sprouting and sprout elongation of stem cuttings of cassava. *Field Crops Research*, 2: 241-252.
- Kengne J., 1984. *Contribution à l'étude botanique de quelques plantes ornementales de Yaoundé*. Mémoire de Maîtrise, université de Yaoundé I. 90 p.
- Keys A. & Keys M., 1975. *How to Eat Well and Stay Well, the Mediterranean Way*; Doubleday and Co., 325 p.
- Keys A., Aravanis C. & Van Buchem H., 1981. The diet and all causes death rate in the seven countries study, *Lancet*, 2: 58-61.
- Klarzynski O. & Fritig B., 2001. Stimulation des défenses naturelles des plantes. C.R. *Academies de Sciences Paris, Sciences de la vie*, 324: 953-963.
- Kogan M. & Ortman E.F., 1978. Antixenosis, a new term proposed to replace Painter's "non-preference" modality of resistance. *S.A.E. Bulletin*, 24: 175-176.
- Korkina L.G. & Afanas'eva I.B., 1997. Antioxidant and chelating properties of flavonoids. *Advances in Pharmacology*, 38: 151-163.

- Kot Kmiec K., Górska-Drabik E., Golan K., Rubinowska K. & Lagowska B., 2015. The effect of mealybug *Pseudococcus longispinus* (Targioni Tozzetti) infestation of different density on physiological responses of *Phalaenopsis* × hybridum ‘Innocence. *Bulletin of Entomological Research*, 105: 373–380.
- Kramling T. & Singleton V., 1969. An estimate of the non-flavonoid phenols in wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 20 (2): 86-92.
- Kurucheve V., Echilan J.G. & Jayaraj J., 1997. Screening of higher plants for fungi toxicity against *Rhizoctonia solanum* in vitro. *Indian Phytopathology*, 50 (2): 235-241.
- Lefevre J.C., 1985. *Insectes, insecticides et santé : colloque national, utilisation des insecticides*. (eds). Angers, ACTA, 609 p.
- Lefèvre F., 1989. *Ressources génétiques et amélioration du Manioc (Manihot esculenta Crantz) en Afrique*. Thèse d’Etat, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Léger C.L., 2006. Antioxydants d’origine alimentaire: diversité, modes d’action antioxydante, interactions. EA Laboratoire Nutrition humaine et athérogenèse, Institut de biologie, Faculté de médecine Montpellier.
- Leihner D., 2002. Agronomy and Cropping System. In: Hillocks R.J., Thresh A.M. & Bellotti A.C. (eds). *Cassava: Biology, Production and Utilization*, CABI, Wallingford, United Kingdom, pp. 91-113
- Leihner D., 1983. Management and Evaluation of Intercropping System with Cassava. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, Cali, Colombia.
- Lema K.M., Tata-Hangy K. & Bidiaka M., 2004. Management of African root and tuber scale using improved cassava genotypes and mineral fertilisers. *African Crop Science Journal*, 12 (3): 217-221.
- Le Rü B., Tertuliano M. & Calatayud P.A., 1991. Les différentes catégories de résistance des plantes-hôtes de la cochenille du manioc *Phenacoccus manihoti* (Homoptera. Pseudococcidae): Perspectives d’études. Résumé du 4ème Atelier du Réseau CORAF Manioc : Biocénose des principaux ravageurs du manioc et lutte biologique. IITA Bénin- Cotonou, 4-9 mars 1991. (Sous presse).
- Lesage-Meessen L., Navarro D., Maunier S., Sigoillot J.C., Lorquin J., Delattre M., Simon J. L., Asther M. & Labat M., 2001. Simple phenolics content in olive oil residues as a function of extraction systems. *Food Chemistry*, 75 (4): 501-507.
- Liu J., Zheng Q., Ma Q., Gadidasu K.K. & Zhang P., 2011. Cassava genetic transformation and its application in breeding. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53 (7): 552-569.

- Lutete D., Tat-Hangy K. & Tombo K., 1997. Présence au Zaïre de *Stictococcus vayssierei* (Homoptera, Stictococcidae), un ravageur du manioc (*Manihot esculenta*). *Journal of African Zoology*, 111: 71-73.
- Macheix J.J., Fleuriot A. & Jay-Allemand C., 2005. Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *Collection Biologie*, pp. 54-65.
- MacDonald M.J. & D’Cunha G.B., 2007. A modern view of phenylalanine ammonia-lyase. *Biochemistry and Cell Biology*, 85: 273–282.
- Maho Y.E.J., 2017. *Epidémiologie de l’anthracnose sur quelques variétés de manioc (Manihot esculenta Crantz) et caractérisation de collectotrichum gloeosporioides agent causal de la maladie au Cameroun*. Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I. 162 p.
- Mai V.C., Bednarski W., Borowiak-Sobkowiak B., Wilkaniec B., Samardakiewicz S. & Morkunas I., 2013. Oxidative stress in pea seedling leaves in response to *Acyrtosiphon pisum* infestation. *Phytochemistry*, 93: 49-62.
- Mauch-Mani B. & Slsarenko A., 1996. Production of Salicylic Acid Precursors is a Major Function of Phenylalanine Ammonia-Lyase in the Resistance of Arabidopsis to *Peronospora parasitica*. *Plant Cell*, 8: 203-212.
- Mbailao K.L., 2003. Evaluation participative de clone de manioc (*Manihot esculenta*) en milieu paysan au Tchad. 3 p.
- Mbouobda H.D., Boudjeko P.F., Tsafack T.J.J. & Omokolo N.D., 2007. Morphological, characterization and agronomic evaluation of cocoyam (*Xanyhosoma sagitifolium* L. Schott) germplasm in Cameroun. *Journal of Biological Sciences*, 7 (1): 27-33.
- McMahon J.M. & Sayre R.T., 1994. Differential biosynthesis and transport of linamarin in high and low cyanide cultivars of cassava (*Manihot esculenta*) In: Roca, W.M. & Thro A.M. (eds). *First international scientific meeting of the cassava Biotechnology Network*, CIAT, Cali, pp. 376-379.
- Médard R., Sell Y. & Barnola P., 1992. Le développement du bourgeon axillaire du *Manihot esculenta*. *Canadian Journal of Botany*, 70: 2041-2052.
- Mochiah M., Banful B. & Fening K., 2011. Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. *Journal of Entomology and Nematology*, 3: 85-97.
- Mohandas S.M., Arthur F.H., Zhua K.Y. & Throneet J.E., 2006. Hydroprene: mode of action, current status instored-product pest management, insect resistance, and future prospects. *Crop Protection*, 25: 902-909.

- Mollah J.U. & Islam W., 2007. Toxicity of *Thevetia peruviana* (Pers) Schum. Extract to Adults of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Agriculture & Rural Development*, 5 (2): 105-109.
- Mondédji A.D., Ketoh G.K., Amévoin K., Ameline A., Giordanengo P. & Glitho I.A., 2014. Evaluation of neem leaves based preparations as insecticidal agents against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sternorrhyncha: Aphididae). *African Journal of Agriculture Research*, 9 (13): 1086-1093.
- Moudingo E.J., 2007. Situation of the forests in Cameroon. Cameroon Wild life Society Conservation. 24 p.
- Mourrier M., 1997. Effects of neem (*Azadirachta indica*) kernel water extracts on cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Homoptera, Pseudococcidae). *Journal of Applied Entomology*, pp. 231-236.
- Msikita W., Braima J., Nwodu E., Legg J., Wydra K. & Ogbe F., 2000. Lutte contre les Maladies du manioc. IITA, Cotonou. 26 p.
- Muhammad Z., Sadia H., Komal R., Nasir R., Muhammad R., Zia-Ul-Haq M. & Vincenzo D.F., 2013. Antioxidant Potential and Oil Composition of *Callistemon viminalis* Leaves, 123 p.
- Mukendi T.D., Tshimbombo J.C., Muyayabantu M.G., Tshiamala N.T., Kamukenji N.M.A., Beya M.S. & Mukendi K.R., 2018. Evaluation of the optimum age of maturation of the various local and improved varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivated at Ngandajika in the Democratic Republic of Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 121: 12121-12128.
- Mukendi R., Tshlengé P., Kabwe C. & Munyuli M.B.T., 2014. Efficacité des plantes médicinales dans la lutte contre *Oothea mutabilis* Sahlb. (Chrysomelidae) en champ de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) en RD du Congo. *Lebanese Science Journal*, (15): 51-72.
- Mutsaers H., Mbouémboué P. & Mouzong B., 1981. Traditional food crop growing in the Yaoundé area (Cameroon). Part I. *Synopsis of the system Agro-Ecosystems*. 6: 87-273.
- Nassar N.M.A. & Ortiz R., 2007. Cassava improvement: challenges and impacts. *Cambridge Journal of Agricultural Science*, 145: 163-171.
- Nassar N.M.A. & Ortiz R., 2009. Cassava genetic resources: Manipulation for crop improvement. *Plant Breeding Review*, 31: 247-275.



- Ndengo N.E., Ki-Munseki A.L., Hanna R., Mahungu N.M. & Ngbolua K., 2016a. Criblage de génotypes de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) pour la résistance à la cochenille Africaine de racines et tubercules (*Stictococcus vayssierei* Richard) dans différentes zones agro-écologiques de Beni (Nord Kivu, RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 16 (2): 247-259.
- Ndengo N.E., Ki-Munseki A.L., Hanna R., Mahungu N.M. & Ngbolua K., 2016b. Influence de la densité des populations de la cochenille Africaine de racines et tubercules (*Stictococcus vayssierei* Richard) sur le rendement des variétés améliorées de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans différentes zones agro-écologiques de Beni (Nord Kivu, RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 16 (2): 247-259.
- Ngho D.J.P., 2014. *Evaluation de l'effet des extraits de Thevetia peruviana (pers) K. Schum. sur trois champignons phytopathogènes: Phytophthora megakarya Bras. Et Grif., collectotrichum gloeosporioides f. sp. Manihotis et Mycophaerella fijiensis Morelet.* Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I. 204 p.
- Ngho Doh J.P., Ambang Z., Ewola A.T., Heu A., Kosma P., Yalen E.J.M. & Goghomu R.T., 2014. Screening and the effect of extracts of *Thevetia peruviana* on the development of *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of cassava anthracnose disease. *Journal of Agricultural Research and Development*, 4: 54-65.
- Ndongo B., 1999. *Lessivage et distribution spatio-temporelle du linuron et de l'irnidaclopride dans les sols sableux sous culture de pomme de terre (Solarium riibrrosiini) à Portneuf (Quebec).* Thèse Ph.D. Université Laval. 176 p.
- Ngeve J.M., 2003. The cassava root mealybug (*Stictococcus vayssierei* Richard) (Homoptera: Stictococcidae): a threat to cassava production and utilization in Cameroon, *International Journal of Pest Management*, 49 (4): 327-333.
- Ngeve J.M., 1995. Outbreak of a new tuberous root mealybug (*Stictococcus vayssierei*) [Homoptera: Stictococcidae] of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Cameroon. Proceedings of the 6th Symposium of the International Society for Tropical Root Crop-Africa Branch. Lilongwe, Malawi, ISTRC-AB, 15 p.
- Nugroho L.H., Verberne M.C. & Verpoorte R., 2002. Activities of enzymes involved in phenylpropanoid pathway in constitutively salicylic acid-producing tobacco plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 755-760.

- Nweke F.I.A., 1996. Cash Crop in Africa. COSCA Working Paper No.14. Collaborative Study of Cassava in Africa, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
- Nweke F.I.A., Spencer D.S.C. & Lynam J.K., 2002. *The Cassava Transformation: Africa's Best-kept Secret*. East Lansing, MI: Michigan State University Press.
- Obasi N.B. & Igboechi A.C., 1991. Seed-oil distillates of *Thevetia peruviana* (SNY.T. *neriifolia*): analysis and antibacterial activity. *Fitoterapia*, 62 (2): 159-162.
- Obigbesam C.O., 1976. Report on potato production in Nigeria. 5<sup>th</sup> International Conference on potato production, Wageningen, the Netherlands 3: 30-40.
- Oderinde R.A. & Oladimiji G.R., 1990. Oil characteristics of *Thevetia peruviana* (Yellow Oleander) and *Pulmeria alba* (White frangipani), Riv. Ital. Sostanza Grasse of *Thevetia peruviana* Juss "Yellow Oleander" fruit seed. *Journal of applied Sciences*, 67: 635-637.
- Ojio O. & Okafor Q.E., 2000. Toxicological studies on stem bark, leaf and seed kernel of Yellow Oleander (*Thevetia peruviana*). *Phototherapy Research*, 14: 133-13.
- Okey E.N., Duncan E.J., Sirju-charran G. & Sreenivasan T.N., 1997. *Phytophthora* canker resistance in cacao: Role of peroxidase, polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase. *Journal of Phytopathology*, 145: 295-299.
- Olsen K. & Schaal B.A. 1999. Evidence on the origin of cassava: Phylogeography of *Manihot esculenta*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96: 5586-5591.
- Onayemi O., 1982. Roots and Tubers in Africa-Their economic importance and *esculenta* Crantz). *Jpn. Agric. Res. Q.* 21: 70-75 technological problems. In: African Regional Centre for Technology (ARCT) (eds). *Roots and Tubers Production, Storage, Processing and Marketing in Africa*, Dakar. Pp. 1-14.
- Oustimenko-Bakumovski G.V., 1988. *Agriculture générale des pays tropicaux et Subtropicaux*. Mir, Moscou. 580 p.
- Pedersen J.F., Vogel K.P. & Funnell D.L., 2005. Impact of Reduced Lignin on Plant Fitness. *Crop Science*, 45, 812-819.
- Penet L., 1999. Impact des pratiques paysannes sur la diversité génétique des variétés locales de manioc. Rapport de DEA ([laurent.pent.free.fr/DEA\\_manioc.html](http://laurent.pent.free.fr/DEA_manioc.html)).
- Picimbon J.F. & Regnault-Roger C., 2008. Compsés sémiocchimiques volatils, phytoprotection et olfraction : cibles moléculaires pour la lutte intégrée in *Biopesticide d'origine Végétale* édition. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, pp. 383-415.

- Plucknett D.L., Truman P.P. & Kagbo R.B., 2000. Global Development Strategy for Cassava: Transforming a traditional Tropical Root Crop. Final report, IFAD, 36 p.
- Porto M.C.M., 1983. *Physiological Mechanisms of Drought Tolerance in Cassava (Manihot esculenta Crantz)*. Ph.D thesis, University of Arizona, USA.
- Prüter C. & Zebitz C.P.W., 1991. Effects of *Aphisfabae* and *Uromyces viciae-fabae* on the growth of a susceptible and an aphid resistant cultivar of *Vicia faba*. *Annual of applied Biology*, 119: 215-226.
- Purseglove J.W., 1981. Tropical Crops, Monocotyledons. Longmans Group Ltd. Harlow, Essex, U.K., 607 p.
- Pynaert L., 1951. Le manioc. In : *Collection technique du Ministère de la coopération du royaume de Belgique*. Bruxelles 2. 166 p.
- Raffaillac J.P. & Nedelec G., 1985. Le travail du sol sous culture du manioc en Basse Côte d'Ivoire. Laboratoire d'Agronomie, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 12 p.
- Raffaillac J.P. & Second G., 1999. Le manioc. In *Plate-forme Espèces Tropicales et Méditerranéennes* ([www.brg.prd.fr/brg/pages/rgv\\_Pi\\_manioc.htm](http://www.brg.prd.fr/brg/pages/rgv_Pi_manioc.htm)).
- Raffaillac J.P. & Segond G., 2004. Le manioc. In: Charrier A., Jacquot M., Hamon S. & Nicholas D. (eds). *L'amélioration des plantes tropicales*. CIRAD. pp. 429-455.
- Raffaillac J.P., 1998. Le rôle de la densité de plantation dans l'élaboration du rendement du manioc. In : Anne Biarnès (eds). *La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes*. ORSTOM, Paris, France. pp. 75-93.
- Raffaillac J.P., 1992. Rooting of cuttings of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) during the first weeks of growth of the plant. *Agronomy Tropical*, 46: 273-281.
- Rajiv K.S., George H., Upendra P. & Chandrajeet K., 2016. Embarking on second green revolution by vermiculture for production of chemical free organic foods, protection of crops and farm soils and elimination of deadly agrochemicals from earth: Meeting the challenges of food security of 21st century by earthworms - sir charles darwin's 'friends of farmers' In: Prathamesh Gorawala (eds). *Agricultural Research Updates*, Nova Science Publishers, Inc. New York, Srushti Mandhatri, pp.1-49.
- Rammachat S., Jantarak S. & Boonseng O., 2001. Study on the response to chemical fertilizer and chicken manure of cassava promising line for high starch yield. Paper presented at Cassava Research Reporting. *Rayong Field Crops Research Center*. Rayong, Thailand. 12 p.

- Rapikov N., 1987. Composition des plantes a tubercules, cas du manioc *In: Mir (eds). Biochimie des cultures tropicales*, Moscou, pp. 270-278.
- Reed D.K., Freedman B. & Ladd T.L., 1982. Insecticidal and antifeedant activity of *neriifolin* against Codling moth, *Striped cucumber* beetle and Japanese beetle. *Journal of Economy and Entomology*, 75 (6): 1093-1097.
- Renard F. & Foucart G., 2008. Les maladies foliaires de la fin de végétation en culture de maïs. CIPF-Centre pilote en culture de maïs. Laboratoire d'Ecophysiologie et d'Amélioration Végétale. UCL-Louvain-la-Neuve. 6 p.
- Regnault-Roger C., 2008. Research of new biopesticides of plant origin of insecticidal nature: methodological approach and application to Mediterranean aromatic plants *In: Tec & Doc (eds). Biopesticides of plant origin*. Paris: 25-49.
- Regnault-Roger C., Philogène B.J.R. & Vincent C., 2002. Biopesticides d'origine végétale. Tec & Doc (eds). 337 P.
- Rezaul H.M. & Bradbury J.H., 2002. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. *Food chemistry*, 77: 107-114.
- Richard C., 1971. Contribution à l'étude morphologique et biologique des Stictococcinae (Hom. Coccoidea). *Annales de la Société Entomologique de France* (n.s.), 7: 571-609.
- Richard C., 1976. Révision du groupe des *Stictococcus*, et création de taxa nouveaux (Homoptera, Coccoidea). *Annales de la Société Entomologique de France* (n.s.). 12: 653-669.
- Rwegasira G.M. & Rey C.M.E. 2012. Response of selected cassava varieties to incidence and severity of cassava brown streak disease in Tanzania. *Journal of Agricultural Science*, 4 (7): 237-245.
- Sahuvinod K., Irehhaiya R., Shashi A. & Gujar H., 2010. Phytochemical investigation and chromatographic evaluation of the ethanolic extract of whole plant extract of *Dendrophthoe falcata* (L.F) Ettingsh. *International Journal of Pharmaceutical sciences and Research*, 1 (1): 39-45.
- Santoir C. & Villiers J.F., 1995. Atlas régional du Sud-Cameroun : Végétation, (eds), ORSTOM, Paris,
- Saran S., Isar J. & Saxena R.K., 2007. A modified method for the detection of microbial proteases on agar plates using tannic acid. *Journal of biochemical and biophysical methods*, 70: 697-699.
- Sauvion N., Calatayud P.A., Thiéry D. & Marion-Pol F., 2013. Interactions insectes-plantes.

- Saxena V.K. & Jain S.K., 1990. *Thevetia peruviana* Kernel oil: a potential Bactericidal agent. *Fitoterapia*, 61 (4): 348-34.
- Schoonhoven L.M., Van Loon J.A. & Dicke M., 2005. *Insect-plant Biology*. Second Edition, University Press, Oxford, 421 p.
- Schulthess F., Baumgartner J.U., Delucchi V. & Gutierrez A.P., 1991. The influence of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* Mat.-Ferr. (Hom., Pseudococcidae) on yield formation of cassava, *Manihot esculenta* Crantz. *Journal of Applied Entomology*, 111: 155-165.
- Segnou, 2002. Développement végétatif et potentiel de rendement chez le manioc. *Tropicultura*, 20 (4): 161-164.
- Sehgal D.K., 2012. Split plot and Strip plot design. IASRI, Library Avenue, New Delhi. pp. 377-388.
- Sékou A., 1983. Étude du système racinaire du manioc (variété CB) suivant le système de coupe de boutures et le mode de planting. Rapport de stage, Institut Agricole de Bouaké (IAB), Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM). 15 p.
- Sharma H.C., 1993. Host-plant resistance to insects in sorghum and its role in integrated pest management. *Crop Protection*, 12: 11–34.
- Shirasu K., Nakajima V.K., Dixon R.A. & Lamb C., 1997. Salicylic acid potentiates an agonistdependent gain control that amplifies pathogen signals in the activation of defense mechanisms. *Plant Cell*, 9 (2): 261-270.
- Singleton V.L. & Rossi J., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- Singleton V.L., Ortofer R. & Lamuela-Raventos R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Stoll G., 1994. Protection Naturelle des Végétaux en Zone Tropicale. CTA. AGRECO. pp 95-99.
- Streiner K.G., Lyonga S., Pfeiffer H.J. & Ngeve J.M., 1979. Report on a survey on production methods, pests and disease of root and tuber crops in Cameroon. IRA. Njombe. 26 p.
- Sylvestre P. & Arraudeau M., 1983. “*Le manioc*”. A.C.C.T., collection : Techniques agricoles et productions tropicales, Maisonneuve et Larose (eds). 263 p.
- Sylvestre P., 1989. Cassava, the tropical agriculturalist. CTA, London, 82 p.

- Tabrez A., Abdulhamid T.H. Anuradha S. & Uma B., 2017. *Thevetia peruviana*: a multipurpose medicinal plant-a review. *International Journal of Advanced Research*, 5(8): 486-493.
- Tata Hangy K., Hanna R., Toko M., Lema K.M. & Solo M., 2006. Changes in population abundance of the African root and tuber scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Homoptera; Stictococcidae) on cassava in the bas-fleuve district in the Democratic Republic of Congo. *In: Improved Nutrition, Wealth and Environmental Conservation in Africa*. Mahungu N.M., Manyong V.M (eds). *Advances in Root and Tuber Crops Technologies for Sustainable Food Security*, Proceedings of 9th ISTRC-AB Symposium Mombassa, Kenya. pp. 574-582.
- Tchumakov E.E. & Zaharova I.I., 1990. Influence et statistique du développement des maladies. *In : Agroprome* (eds). *Domages causées par les maladies aux cultures agricoles*. Moscou, pp 5-60.
- Tchuanyo M., Avan H. & Lenteren J.C.V., 2000. Distribution, incidence and abundance of the cassava brown root scale insect, *Stictococcus vayssierei*, in Cameroon. *Tropical Science*, 40 (1): 20-24.
- Terry E.R., Dok E.V., Arene O.B. & Mahungun N.M., 1980. Plantes tropicales à raciness, strategies de recherche. IITA. Ibadan. 293 p.
- Tertuliano M., 1993. *Résistance du manioc à la cochenille farineuse Phenacoccus manihoti (Homoptera : Pseudococcidae) : rôles de quelques composés chimiques foliaires*. Thèse de doctorat. Université de Rennes 1. 85 p.
- Tewtrakul S., Nakamura N., Hattori M., Fugiwara T. & Suparita T., 2002. Flavonone and Flavonol glycosides from leaves of *Thevetia peruviana* and their HIV-1 reverse Transcriptase and HIV-1 integrase inhibitory activities. *Chemistry and pharmacy bulletin*, 50 (5): 630-635.
- Theurkar S.V., Patil S.B., Ghadage M.K., Birhade D.N. & Gaikwad A.N., 2014. Investigation on effect of *Thevetia peruviana* (Pers) on the mortality of *Holotrichia serrata* (Fab) adults (Coleoptera: Scarabaiedae). *International Research Journal of Pharmacy*, 5 (3): 212-214.
- Tindo M., Hanna R., Goergen G., Zapfack L., Tata-Hangy K. & Attey A., 2009. Host plants of *Stictococcus vayssierei* Richard (Stictococcidae) in non-crop vegetation in the Congo Basin and implications for developing scale management options, *International Journal of Pest Management*, 55 (4): 339-345.

- Tindo M., Doumtsop A., Goergen G. & Hanna R., 2006. Morphological description and illustration of female developmental stages of *Stictococcus vayssierei* (Homoptera: Stictococcidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 26 (2): 126-133.
- Tiwari P., Kumar B., Kaur M., Kaur G. & Kaur H., 2011. Phytochemical Screening and Extraction: A Review. *Internationale Pharmaceutica Scientia*. 1(1): 98-106.
- Tokuda G., 2019. Plant cell wall degradation in insects: Recent progress on endogenous enzymes revealed by multi-omics technologies. *Advances in Insect Physiology*, 57: 97-136.
- Udealor A. & Asiegbu J.E., 2006. Effects of cassava genotype and vegetable cowpea populations on the component crop yield and system productivity on cassava/vegetable cowpea intercropping systems. *The Nigerian Agricultural Journal*, 37: 74-80.
- Veltkamp H.S., 1985. *Physiological Causes of Yield Variation in Cassava (Manihot esculenta Crantz)*. Ph.D thesis, Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 197 p.
- Westby A., 2002. Cassava Utilization, Storage and small-scale processing. In: Hillocks R.J., Thresh J.M. & Bellotti A.C. (eds). *Cassava: Biology, Production and Utilization*. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 281-300.
- Westphal E., 1985. *Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun*. (eds). PUDOC, Wageningen-Netherlands. pp. 119-163
- Williams D.J., Matile-Ferrero D. & Miller D.R., 2010. A study of some species of the genus *Stictococcus* Cockerell (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea: Stictococcidae), and a discussion on *Stictococcus vayssierei* Richard a species injurious cassava in Equatorial Africa with a description of a new species from Nigeria. *Zootaxa*, 2527: 1-27.
- Wheatley C.C., Orrego J.I., Sanchez T. & Granados E., 1993. Quality evaluation of cassava core collection at CIAT. In: Roca W.M. & Thro A.M. (eds). *Proceedings of the first International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network*. CIAT, Cartagena, Columbia. pp. 255-264.
- Wydra K. & Verdier V., 2002. Occurrence of cassava diseases in relation to environmental, agronomic and plant characteristics. *Agricultural Ecosysteme and Environment*, 93: 211-226.
- Yarou B.B., Silvie P., Komlan F.A., Mensah A., Alabi T., Verheggen F. & Francis F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnology and Agronomy Society of Environment*, 21 (4): 288-304.

- Zakari A.H., Haougui A., Mergeai G., Haubruge T., Adam T. & Verheggen F.J., 2011. Insecticidal effect of *Jatropha curcas* oil on the aphid *Aphis fabae Scopoli* (Homoptera: Aphididae) and the main Insect pests associated with Cowpea (*Vigna unguiculata*) in Niger. *Tropicultura*, 29: 225-229.
- Zang D. & Hamauru Y., 2003. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of grebe, red and yellow bell peppers, *Journal of Food and Agricultural Environment*, 1: 22-27.
- Zangeril A.R., Hamilton J.G., Miller T.J., Crofts A.R., Oxborough K., Berenbaum M.R. & De Lucia E.H., 2002. Impact of folivory on photosynthesis is greater than the sum of its holes. *PNAS*, 99(2): 1088–1091.
- Zibbu G. & Batra A., 2011. *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum: A plant with enormous therapeutic potential. *Journal of Pharmacy Research*, 4 (12): 4461-4464.
- Zoughlache S., 2008. *Etude de l'activité biologique des extraits du fruit de Zizyphus lotus L.*, mémoire magister, Université-El Hadj Lakhder-Batna. 82 p.



## ANNEXES

Annexe 1. Statistiques descriptives des variétés de l'essai sur *Thevetia peruviana*

Paramètres	Variétés	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	92/0057	0,86 ± 0,10	1,63 ± 0,27	2,19 ± 0,50	2,45 ± 0,34
Diamètre tiges (cm)		1,54 ± 0,14	1,98 ± 0,11	2,25 ± 0,22	2,38 ± 0,23
CART		70,70±18,81	95,23 ± 16,43	88,15±10,45	52,88±10,71
Nombre tubercules		2,23 ± 0,57	3,80 ± 0,93	4,38 ± 1,12	4,98 ± 0,78
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,26 ± 0,39	10,64 ± 2,21	14,22 ± 2,76
Poids pousses (kg)	Miboutou	0,87 ± 0,08	1,76 ± 0,30	2,45 ± 0,45	2,70 ± 0,31
Diamètre tiges (cm)		1,60 ± 0,15	2,14 ± 0,25	2,27 ± 0,29	2,42 ± 0,28
CART		77,63±19,99	100,48±12,50	99,63±12,2	59,13±13,64
Nombre tubercules		1,85 ± 0,56	3,93 ± 0,69	5,60 ± 0,92	5,40 ± 0,86
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,48 ± 0,3	9,79 ± 1,27	14,05 ± 2,16

Annexe 2. Statistiques descriptives des traitements de l'essai sur *Thevetia peruviana*

Paramètres	Traitements	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	Témoin	0,82 ± 0,08	1,42 ± 0,08	2,63 ± 0,28	2,16 ± 0,17
Diamètre tiges (cm)		1,63 ± 0,15	2,02 ± 0,12	2,18 ± 1,72	2,30 ± 0,27
CART		85,56±4,99	115±6,48	110,32±6,84	63,75±7,42
Nombre tubercules		2,07 ± 0,41	3,56 ± 0,38	5,63 ± 1,69	4,52 ± 0,62
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,32 ± 0,28	9,41 ± 1,23	12,2 ± 1,74
Poids pousses (kg)	Extrait	0,78 ± 0,05	1,47 ± 0,11	2,01 ± 0,62	2,74 ± 0,27
Diamètre tiges (cm)	aqueux	1,45 ± 0,12	1,85 ± 0,11	2,07 ± 0,35	2,26 ± 3,28
CART		74,50 ± 5,21	87,44±5,62	89,12±6,37	51,57±6,88
Nombre tubercules		1,75 ± 0,80	4,31 ± 0,58	5,07 ± 1,02	5,23 ± 0,78
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	4,99 ± 0,25	11,56 ± 1,97	14,15 ± 2,8
Poids pousses (kg)	Extrait au	0,86 ± 0,01	1,67 ± 0,32	2,11 ± 0,31	2,67 ± 0,42
Diamètre tiges (cm)	méthanol	1,59 ± 0,10	2,15 ± 0,21	2,34 ± 0,17	2,44 ± 0,21
CART		80,31±5,59	95,44± 7,49	91,25±5,73	57,38±6,06
Nombre tubercules		1,94 ± 0,19	3,38 ± 0,45	4,25 ± 0,79	5,13 ± 0,68
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,30 ± 0,47	9,92 ± 1,29	14,77 ± 2,64
Poids pousses (kg)	Extrait à	0,95 ± 0,08	1,93 ± 0,13	2,35 ± 0,53	2,85 ± 0,21
Diamètre tiges (cm)	l'acétone	1,60 ± 0,18	2,08 ± 0,15	2,18 ± 1,71	2,34 ± 0,22
CART		69,75±7,45	93,07± 7,86	74,82±6,27	53,50±6,21
Nombre tubercules		2,19 ± 0,49	4,19 ± 0,67	4,62 ± 0,98	5,38 ± 0,80
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,70 ± 0,35	10,74 ± 2,11	14,65 ± 3,43
Poids pousses (kg)	Insecticide	0,92 ± 0,07	2,01 ± 0,10	2,49 ± 0,44	2,47 ± 0,27
Diamètre tiges (cm)	Bastion	1,58 ± 0,13	2,24 ± 0,23	2,49 ± 0,34	2,59 ± 1,76
CART		60,69±5,72	98,32± 14,84	103,88±7,91	62,03±7,04
Nombre tubercules		2,25 ± 0,43	3,44 ± 0,65	5,38 ± 0,93	5,67 ± 0,65
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,38 ± 9,90	9,45 ± 2,07	14,90 ± 2,07

Annexe 3. Statistiques descriptives des variétés durant la campagne 2016-2017

Paramètres	Variétés	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	Excel	1,26 ± 0,27	1,53 ± 0,27	2,07 ± 0,36	2,04 ± 0,54
Diamètre tiges (cm)		1,39 ± 0,19	1,67 ± 0,21	2,08 ± 0,20	2,17 ± 0,18
CART		108,20±13,61	137,33±18,25	118,50±21,16	86,00±10,36
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	4,72 ± 1,47	7,49 ± 1,80	11,27 ± 3,93
Poids pousses (kg)	96/0023	1,12 ± 0,32	1,34 ± 0,29	1,87 ± 0,21	2,52 ± 0,42
Diamètre tiges (cm)		1,27 ± 0,17	1,47 ± 0,22	2,19 ± 0,47	2,39 ± 0,37
CART		97,50±15,02	116,38±19,09	109,79±19,50	65,67 ± 9,11
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	6,14 ± 2,11	10,01 ± 2,33	14,4 ± 4,76
Poids pousses (kg)	Miboutou	1,48 ± 0,51	1,92 ± 0,47	2,54 ± 0,36	2,20 ± 0,40
Diamètre tiges (cm)		1,39 ± 0,23	1,70 ± 0,19	2,53 ± 0,29	2,60 ± 0,27
CART		100,25±14,81	119,25±21,89	105,33±21,34	82,13±11,72
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,47 ± 1,35	10,55 ± 2,91	14,61 ± 4,29
Poids pousses (kg)	Douma	1,54 ± 0,40	1,98 ± 0,28	2,41 ± 0,25	2,61 ± 0,65
Diamètre tiges (cm)		1,37 ± 0,37	1,75 ± 0,31	2,64 ± 0,32	2,69 ± 0,33
CART		106,58±16,53	133,08±21,22	110,63±11,89	89,67 ± 9,53
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	6,43 ± 1,91	10,59 ± 2,90	16,99 ± 4,42

Annexe 4. Statistiques descriptives de la hauteur de coupe des boutures campagne 2016-2017

Paramètres	Sections	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	Base	1,02 ± 0,45	1,88 ± 0,49	2,41 ± 0,33	2,65 ± 0,45
Diamètre tiges (cm)		1,55 ± 0,22	1,84 ± 0,31	2,55 ± 0,36	2,68 ± 0,32
CART		110,44±15,24	135,69±28,94	119,88±18,87	83,13±9,08
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	7,50 ± 2,64	11,83 ± 3,02	16,49 ± 4,35
Poids pousses (kg)	Milieu	0,97 ± 0,33	1,68 ± 0,37	2,29 ± 0,38	2,48 ± 0,48
Diamètre tiges (cm)		1,37 ± 0,20	1,65 ± 0,21	2,41 ± 0,39	2,46 ± 0,36
CART		102,13±15,58	120,75±20,09	107,78±19,72	81,47±8,57
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,41 ± 1,03	9,78 ± 2,08	15,72±4,43
Poids pousses (kg)	Sommet	0,76 ± 0,32	1,52 ± 0,34	1,97 ± 0,37	1,90 ± 0,48
Diamètre tiges (cm)		1,15 ± 0,14	1,45 ± 0,22	2,12 ± 0,35	2,26 ± 0,26
CART		96,84±14,16	123,09±19,57	105,53±19,70	78,00±9,04
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	4,16 ± 1,85	7,38 ± 2,37	10,81±4,17

Annexe 5. Statistiques descriptives des variétés durant la campagne 2017-2018

Paramètres	Variétés	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	Excel	1,50±0,08	1,93±0,06	2,32±0,12	2,63±0,13
Diamètre (cm)		1,52±0,10	1,76±0,13	2,48±0,06	2,76±0,18
CART		5,83±4,24	44,00±5,37	57,00±6,59	25,83±6,84
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	7,05±1,47	9,80±1,80	16,76±3,93
Poids pousses (kg)	96/0023	1,68±0,09	1,96±0,12	2,39±0,12	2,72±0,11
Diamètre (cm)		1,60±0,16	1,78±0,17	2,61±0,03	2,82±0,07
CART		2,00±1,10	36,83±6,83	44,83±7,50	29,37±11,2
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	8,05±2,11	11,63±2,33	17,21±4,76
Poids pousses (kg)	Miboutou	1,43±0,08	1,99±0,08	2,46±0,09	2,71±0,12
Diamètre (cm)		1,52±0,13	1,74±0,19	2,43±0,08	2,68±0,20
CART		1,17±0,81	40,50±3,89	49,16±7,77	25,17±5,89
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	7,33±1,35	9,88±2,91	17,11±4,29
Poids pousses (kg)	Douma	1,85±0,14	1,89±0,12	2,31±0,07	2,92±0,21
Diamètre (cm)		1,56±0,09	1,60±0,31	2,73±0,09	2,94±0,08
CART		1,66±1,21	51,05±7,24	59,33±6,56	34,38±8,04
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	7,18±1,91	12,99±2,90	18,88±4,42

Annexe 6. Statistiques descriptives de la hauteur de coupe des boutures campagne 2017-2018

Paramètres	Sections	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Poids pousses (kg)	Base	1,80 ± 0,11	2,04 ± 0,04	2,58 ± 0,09	2,84 ± 0,12
Diamètre tiges (cm)		1,65 ± 0,17	1,89 ± 0,18	2,74 ± 0,06	2,92 ± 0,12
CART		3,63 ± 2,36	48,50 ± 4,24	64,63 ± 4,47	27,63 ± 8,36
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	8,15 ± 1,85	13,04 ± 2,37	19,40 ± 4,17
Poids pousses (kg)	Milieu	1,65 ± 0,11	1,96 ± 0,18	2,35 ± 0,10	2,79 ± 0,18
Diamètre tiges (cm)		1,58 ± 0,08	1,77 ± 0,14	2,64 ± 0,06	2,88 ± 0,14
CART		2,00 ± 1,38	43,88 ± 5,50	54,38 ± 6,54	36,38 ± 9,57
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	8,19 ± 1,03	11,95 ± 2,08	19,58 ± 4,43
Poids pousses (kg)	Sommet	1,40 ± 0,08	1,82 ± 0,07	2,18 ± 0,11	2,59 ± 0,14
Diamètre tiges (cm)		1,42 ± 0,13	1,51 ± 0,15	2,32 ± 0,09	2,60 ± 0,13
CART		2,38 ± 1,78	37,25 ± 7,52	36,25 ± 7,42	21,88 ± 6,20
Rendement (t.ha <sup>-1</sup> )		-	5,88 ± 1,85	8,25 ± 2,37	13,51±4,17

Annexe 7. Fiche description et histoire des sites

Description du site	Ravageurs, maladies et adventices
<p><b>Couvert végétal</b> Clairsemé Jachère naturelle dense (+) Jachère améliorée dense</p> <p><b>Texture du sol</b> Sablonneux Sablo-limoneux (+) Argileux</p> <p><b>Fertilité du sol</b> Médiocre (+) Bonne</p> <p><b>Relief</b> Plat (+) Accidenté/pentes raides Zone de dépression (+)</p> <p><b>Cultures précédentes</b> Manioc (+) Igne ( + ) Patate douce Riz Maïs Sorgho Niébé/légumineuses Autres (macabos, plantains, taro) (+)</p>	<p><b>Les ravageurs du manioc dans la localité</b> L'acarien vert du manioc La cochenille du manioc Le criquet puant + L'aleurode ++ La cochenille des racines du manioc +++ Les termites + La cochenille blanche Les vertébrés + Autres (précisez)</p> <p><b>Les maladies du manioc dans la localité</b> La mosaïque +++ La bactériose L'anthracnose ++ La nécrose du bourgeon Les pourritures des racines Les cercosporioses + Autres (précisez)</p> <p><b>Les adventices les plus répandues dans la localité</b> Imperata (<i>Imperata cylindrica</i>) Chiendent (<i>Cynodon dactylon</i>) Herbe de guinée (<i>Panicum maximum</i>) Pennisetum (<i>Pennisetum polystachion</i>) + Lâches (<i>Cypéracées</i>) <i>Chromolaena odorata</i> ++ <i>Mimosa invisa</i> ++ Poinsettia sauvage (<i>Euphorbia heterophylla</i>) ++ Tridax (<i>Tridax procumbens</i>) <i>Ageratum conyzoides</i> Phanérogames parasites Autres (<i>Tithonia diversifolia</i>) +++</p>

Pour la description du site, cochez (+) les cases appropriées.

Pour les ennemis, maladies et mauvaises herbes, indiquez l'importance du problème comme suit :

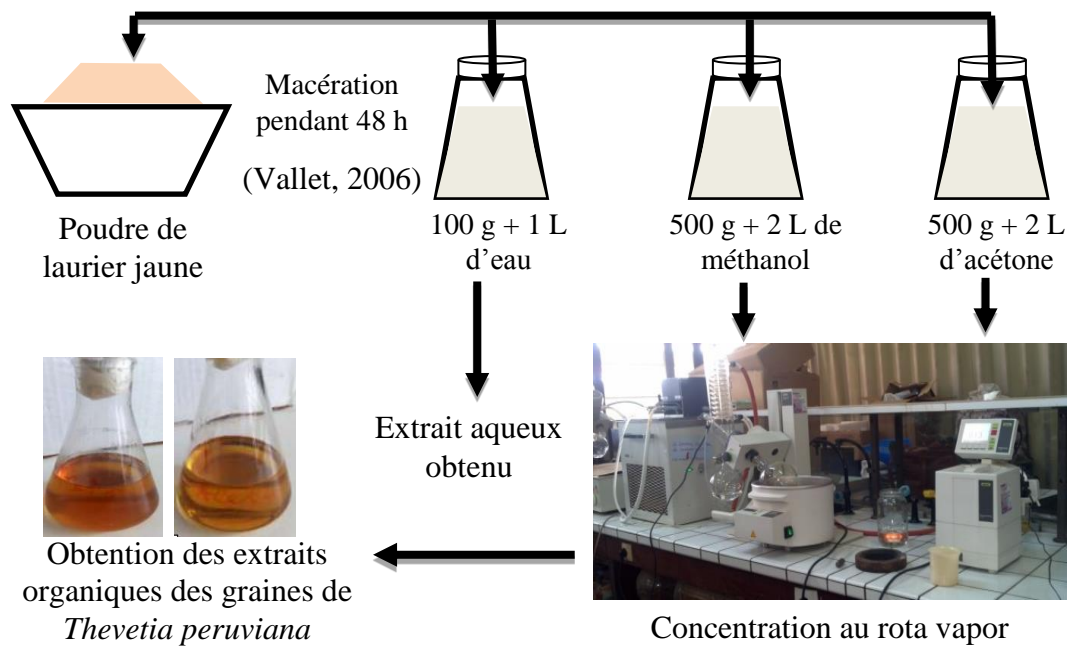
+ = pas grave

++ = grave

+++ = très grave

Source : Comment démarrer un champ de manioc, guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs. IITA, Ibadan, Nigeria. 24 p

Annexe 8. Préparation des extraits de graines de *Thevetia peruviana* et pulvérisation

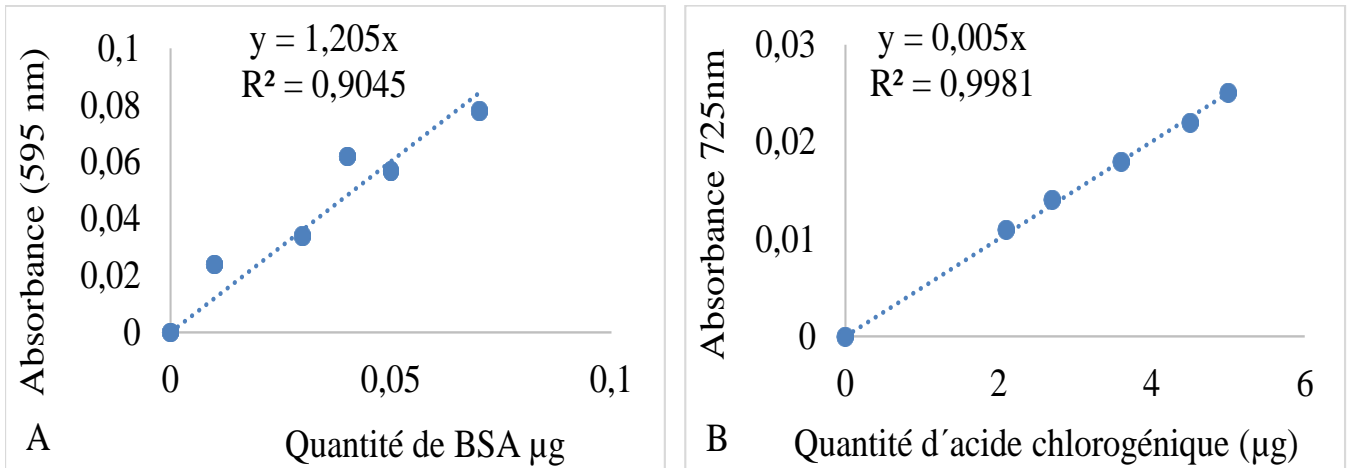


Préparation de extrait aqueux et à solvant organiques des graines de *Thevetia peruviana*



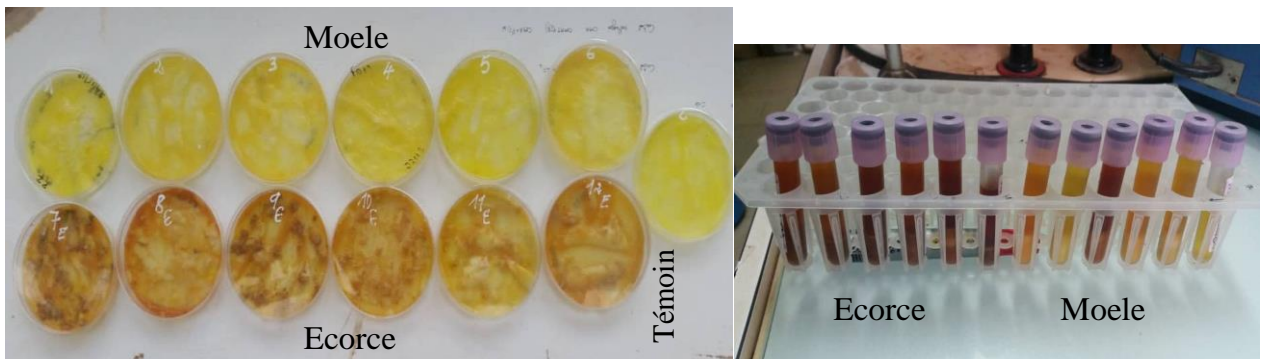
Pulvérisation des extraits au niveau du collet des plants de manioc

Annexe 9. Courbe d'étalonnage des dosages



A : courbe d'étalonnage pour protéine ; B : courbe d'étalonnage pour phénol

Annexe 10. Dosage du cyanure total par la méthode du papier picrate



a : Boîtes de Pétri contenant le papier whatmann imprégné de picrate + filtrat des racines tubéreuse de manioc ; b : Tubes à essai contenant une solution de picrate + carbonate de sodium + filtrat

Annexe 11. Préparation des milieux de culture Muller Hinton Agar (MHA)

Composition	Préparation
Beef extract : 2 g	Le milieu de culture Muller Hinton Agar (MHA) a été préparé selon les recommandations du fabricant en dissolvant 38 g de poudre du milieu dans 1000 mL d'eau distillée. La stérilisation s'est faite à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes
Acid hydrolysate of Casein : 17,50 g	
Starch : 1,5 g	
Agar : 17 g	
Eau distillée : 1 L	

## Annexe 12. Cochenilles sur les différentes parties des plants de manioc

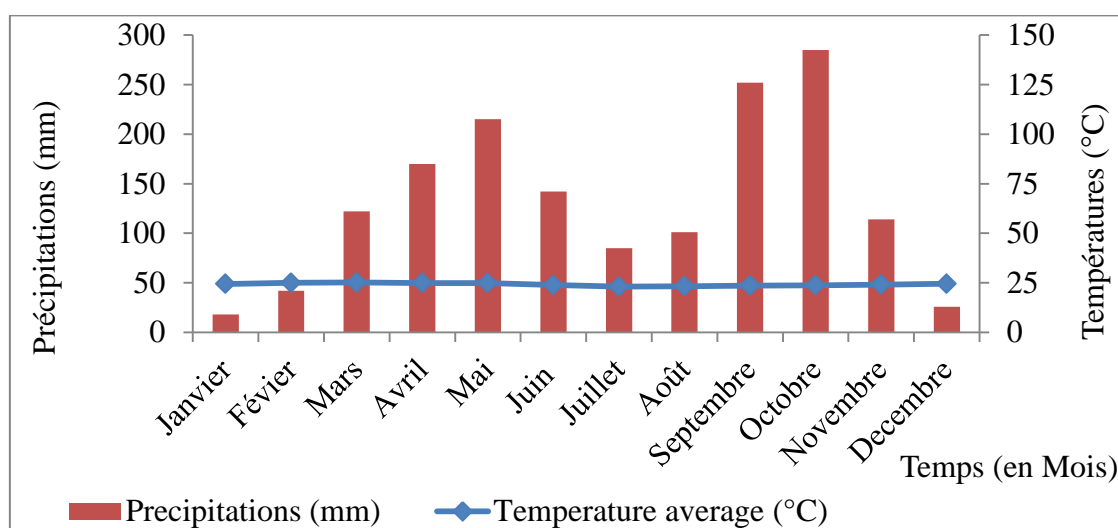


Boutures de manioc non tubérisé à 3 MAP infestées par *Stictococcus vayssierei*



Variétés de manioc infesté par *Stictococcus vayssierei*

## Annexe 13. Conditions climatiques pendant l'expérimentation



Courbe de précipitations et températures pendant la période de 2017. (Source: Section Météorologique d'Akonolinga)

#### Annexe 14. Echelle d'évaluation de la sévérité des maladies

Indices de sévérité	Correspondances (en %)	Description
1	0 %	Pas de symptômes
2	1-5 %	Développement de chancres peu profonds au niveau de la base des tiges
3	5-30 %	Développement d'une succession de chancres sur les parties supérieures de la tige et augmentation de la largeur et de la profondeur des chancres de la base des tiges
4	30-60 %	Développement des lésions brunes sombres sur les parties vertes, flétrissement et distorsion des jeunes pousses
5	60-100 %	Flétrissement et dessèchement des jeunes pousses et des jeunes feuilles, et mort de tout ou partie de la plante

Echelle d'évaluation de la sévérité de l'Anthracnose du manioc (Wydra & verdier, 2002 ; Rwegasia & Rey, 2012).

Indices de sévérité	Description
1	Pas de symptômes observés sur les plantes
2	Plantes présentant des taches chlorotiques moyennes ou une certaine distorsion à la base
3	Plantes présentant des taches sur toute la surface de la feuille avec une torsion de la feuille
4	Plantes présentant des limbes déformés ou rétrécis jusqu'aux 2/3 de la surface foliaire
5	Plantes présentant de nombreux symptômes de la maladie et/ou une distorsion totale des 4/5 de la surface foliaire et un rabougrissement de toute la plante

Echelle d'évaluation de la sévérité de la Mosaïque du manioc (IITA, 1990)



## **PUBLICATIONS**

*Crop genotype and stem cutting portion  
affect infestation pressure of the cassava  
root scale Stictococcus vayssierei Richard  
(Hemiptera: Stictococcidea) in a rainforest  
in Cameroon*

**Patrice Zemko Ngatsi, Bekolo Ndongo,  
Daouda Kutnjem & Champlain Djieto-  
Lordon**

**Phytoparasitica**

ISSN 0334-2123

Phytoparasitica

DOI 10.1007/s12600-020-00823-6



**Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Nature B.V.. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at [link.springer.com](http://link.springer.com)".**



# Crop genotype and stem cutting portion affect infestation pressure of the cassava root scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera: Stictococcidea) in a rainforest in Cameroon

Patrice Zemko Ngatsi · Bekolo Ndongo · Daouda Kutnjem · Champlain Djieto-Lordon

Received: 27 September 2019 / Accepted: 25 May 2020

© Springer Nature B.V. 2020

**Abstract** African root and tuber scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* Richard is a serious constraint to the production of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Central Africa, and the food and income security for smallholder farmers. Therefore, to improve the production of cassava it is urgent to determine the appropriate cultural practices that lower ARTS infestation pressure. This study tests the single and combined effects of stem cutting portion and crop variety on ARTS infestation levels<sup>1</sup>. A split-plot design with four cassava varieties (TMS 96/0023, Excel, Miboutou and Douma) as the main plots and three stem cuttings portions of these varieties (lower, middle and upper portions of the mother plant) as sub-plots was used. The results showed that at 12 months after planting (MAP), lower portions of the local variety Douma showed the highest fresh shoots ( $2.95 \pm 0.13$  kg) than the upper portions ( $2.08 \pm 0.09$  kg) of the Excel variety. The portions at lower of the Excel variety were the most infested (118–158.38 and 126.75 ARTS) at 3, 6 and 9 MAP respectively. The yield of local variety Douma was higher ( $20.00$ – $20.11$  t ha<sup>-1</sup>) in plots planted with portions at middle and lower, followed by yields of TMS 96/0023 variety ( $19.00$  t ha<sup>-1</sup>) in plots planted with the lower portions. Overall,

irrespective of the cassava variety, the lower portion  $16.49$  t ha<sup>-1</sup> resulted in higher yield than those the upper portion  $10.81$  t ha<sup>-1</sup>.

**Keywords** *Manihot esculenta* · Scale insect · Cuttings portions · Varieties · Yield

## Introduction

Cassava, *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae), is a widely cultivated staple crop and vital food supply in tropical and subtropical regions where it is intensively grown and one of the major root crops of Africa (Ambang et al. 2007; Karthikeyan et al. 2016). In Cameroon for instance, cassava is a dominant food crop among roots and tubers (Poubom et al. 2005). Besides its high nutritional value, the crop is a source of income for smallholder farmers and their families, and valuable raw material for agro-industries, pharmaceutical and textile (Benesi et al. 2004; Noerwijati et al. 2014). Agronomically, cassava plant endows good adaptability both under water-scarce and in high humidity conditions as well. A bulk of 278 million tons (Mt) of cassava tuber was produced worldwide in 2017. In Cameroon, the annual production is averaged at 5.4 million tons (Mt) in 2017 (FAO 2018). Unfortunately, this low national production compared with that of Nigeria 55 Mt is related to the cultivation of low-yielding varieties and the presence of a wide range of pests and diseases (Nassar and Ortiz 2007). Pests constitute the most serious constraint faced by cassava farmers in particular

P. Z. Ngatsi (✉) · B. Ndongo · D. Kutnjem  
Department of Plant Biology, Plant Pathology Laboratory,  
University of Yaounde 1, PO. Box 812, Yaounde, Cameroon  
e-mail: ngatsipatrice@gmail.com

C. Djieto-Lordon  
Department of Biology and Physiology Animals, University of  
Yaounde 1, Yaounde, Cameroon

pressure of the African root and tuber scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera: Stictococcidae). This scale insect is one of the most important cassava pests in local semi-humid forest agroecosystems (CNRCIP 1989; Ambe et al. 1999) causing up to 31 million tons of losses annually (FAO 2014). This scale insect of the family Stictococcidae is known as endemic to Africa. In Cameroon, the pest is responsible of up to 27% yield losses in cassava root (Ngeve 2003).

*Stictococcus vayssierei* is a polyphagous scale that feeds on the sap of 16 host plant species belonging to 13 families (Tindo et al. 2009). The pest feeds on the root system causing defoliation, leaves wilting, tip dieback, and eventually death of young cassava seedlings (Ngeve 2003; Williams et al. 2010). In case no effective control measure is taken, outbreaks of *S. vayssierei* can lead to as high as 60–100% yield decline in conventional farming (Ngeve 2003; Hanna et al. 2004; Lema et al. 2004; Tata-Hangy et al. 2006). The reported losses are even underestimated because the pest's feeding behaviour facilitates disease transmission to its original host and/or many other crops depending on the transmitted pathogenic agent (Richard 1971; Mutsaers et al. 1981; Tindo et al. 2006). These facts further provide irrefutable evidence of the virulence and the impact of *S. vayssierei* on poverty and world food security and have also motivated searches of control measures.

Synthetic insecticides are commonly used for ARTS management, yet concerns exist regarding their cost-effectiveness and environmental impact (Ben-Dov 1997). Besides, the use of such chemically synthesized substances is linked to health issues to producers and consumers. According to the World Health Organisation (WHO), 25 million farmers are poisoned annually worldwide, of which about 10 to 20 thousand die of pesticide poisoning (Rajiv et al. 2016).

As a means to mitigate the detrimental effects of cassava root scale disease taking account the environmental safety, integrated pest management (IPM) is currently being strongly advocated as an alternative to insecticides. This encompasses a broad range of preventative measures including varietal resistance, cultural control and other practices (Poubom et al. 2005) and direct diseases and pest's control. Previous studies have indicated that season, method of the plantation (flat and ridges), intercropping (Ngeve 2003) and improved germplasms (Ngeve 2003; Ndengo et al. 2016a) reduce the spread of the ARTS. Likewise, the use of cutting's portion on the stem as a control strategy against ARTS deserves attention as the

former is pointed out as a cheaper and environmentally safe tool that could be integrated with other measures notably improved varieties to optimize their individual effects in the framework of IPM. The present work was therefore designed to assess the single and combined effects of stem cutting portion and crop variety on ARTS infestation levels' under field conditions.

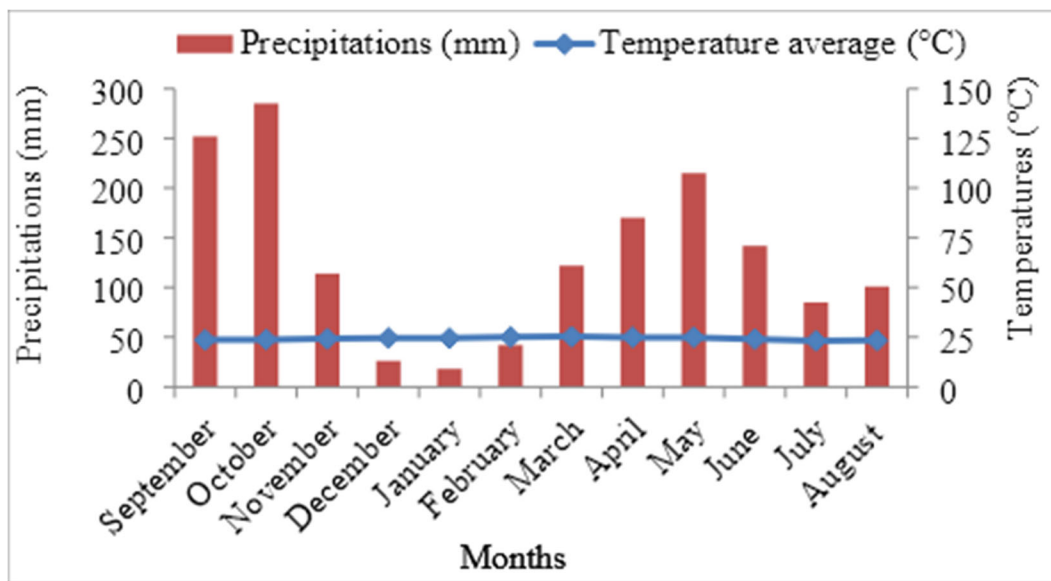
## Materials and methods

### Study site description

This experiment was undertaken in September 2017 in a mid-fallow (5 years old) in the locality of Akonolinga, Loum, (03° 48.136' N and 012° 15.518' E, altitude 663 m), at located in the Centre Region of Cameroon. The fallow vegetation was cut and burnt in places when dry. Crops like groundnut, macabo and cassava were previously grown and the ant *Anoplolepis tenella*, which associated with ARTS, was present in this area. This locality belongs to the agro-ecological zone 5 of Cameroon (humid forest zone with bimodal rainfall). The site is naturally infested with cassava root scale and is characterized by a Congo-Guinean sub-equatorial climate, with two dry seasons alternating with two rainy seasons. The average rainfall is 1633 mm/year distributed in a small rainy season (March-June) and a long rainy season (September-November). The average annual temperature is relatively constant (around 23 to 27 °C). The average relative humidity is above 80% (Moudingo 2007). The soil is ferrallitic and is characterized by outcrops of the indurated horizon in the form of slabs or gravel. The climatic conditions prevailing during the experiment period (2017–2018) are summarized (Fig. 1).

### Plant material

Experiments were done by using cuttings of four different cassava varieties chosen on the basis of their agronomic performance (Table 1). Two (improved) varieties, namely TMS 96/0023 and Excel, donated by the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD) respectively are tested tolerant to Cassava mosaic disease whereas locally-grown varieties preferred by farmers with unknown resistance profiles, Miboutou and Douma were provided by local villagers



**Fig. 1** Precipitation and temperature patterns across the study period 2017–2018. (Source: Meteorology section of Akonolinga)

and are the most locally cultivated. Meanwhile, none of the test varieties have been screened against the ARTS. All cuttings used were not disinfected and no ARTS nymphs or adults were present on the cuttings portions of any variety.

#### Experimental design and culture conditions

The experimental design was a “split-plot” (Sehgal 2012) with four replicates. The varieties constituting the main plots randomly in replication with four variants: V1 (Excel), V2 (TMS 96/0023) V3 (Miboutou) and V4 (Douma). Three stem cuttings portions represented sub-plots randomized within the main plot (lower, middle and upper). Each block with a total of 252 cuttings, consisted of twelve sub-plots was made up of 21 cuttings planted at a spacing of  $1 \times 0.8$  m ( $12,500$  plants  $\text{ha}^{-1}$ ). Eighty-four cuttings each selected at the lower, middle and upper of the four varieties. The sub-

plots measuring 3 m x 5 m were ploughed and ridged using hand hoe, and separated by 1 m paths and blocks were separated by 2 m spaces. They each contain three rows of seven plants. Cassava cuttings about 20 cm long were planted at angular position by pushing the stalk 2/3 of the length into the soil (IITA 2000). Weeding was done at 2, 3, 5 and 8 months after planting (MAP) using a hand hoe.

#### Parameters measurement

##### *Evaluation of plant growth, development and yield*

The stem collar diameter (2–3 cm above the soil surface) was measured using caliper on three randomly selected and labeled plants at 3, 6, 9 and 12 months after planting (MAP). Fresh shoots and tuber weights were measured on two plants randomly selected in each sub-plot at 3, 6, 9 and 12 MAP by uprooting plants. Tuber weights were

**Table 1** Characteristics of cassava varieties used in this study

Varieties names	Root color	Plant maturity	Phytoparasitica profile	Origin	Yield ( $\text{t ha}^{-1}$ )
TMS 96/0023 (Abeng-Lengon)	White	12 months	Resistance to cassava mosaic, tolerance to anthracnose and green mite	IITA-Nkolbison	18–27
Excel	Brown	12 months	Resistance to cassava mosaic, tolerance to anthracnose and green mite	IRAD-Ekona	25–30
Miboutou	White	12 months	Sensitive to cassava mosaic	Local	nd
Douma	Red	12 months	Sensitive to cassava mosaic	Local	nd

IITA: International Institute of Tropical Agriculture; IRAD: Institute of Agricultural Research for Development; nd: not determined

extrapolated at each sampling per ton per hectare as proposed by Kamau et al. (2011).

$$\text{Yeild}(\text{tha}^{-1}) = \text{tuberweight}(\text{kg}/\text{m}^2) \\ \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha} \times 1 \text{ t}/1000 \text{ kg}$$

#### Evaluation of ARTS number

The total number of scales was counted on two randomly sampled plants per sub-plots by uprooting plants at 3 months intervals. Cassava root scale was counted on each plant selected using magnifying glasses 10 X at each assessment date. All life stages (first-instar nymphs L1, second-instar nymphs L2, adults and dead individuals) of the scale were counted on cassava stem, mother cuttings, tuberous roots and feeder roots according to Ambe et al. (1999) and Ndengo et al. (2016a).

#### Statistical analysis of data

Data were subjected to one-way, two-way ANOVA, and Principal Component Analysis (PCA). The hierarchical clustering tree was generated using average ARTS infestation, growth parameters and yield to group the varieties using R software version 3.5.1. The data tested followed a normal law (Shapiro-Wilk test;  $P > 0.05$ ) and were also homogeneous (Bartlett test;  $P > 0.05$ ). Then a multiple comparisons of means were determined on data, and the Tukey test was used to separate them when the analysis of variance was significant.

## Results

### Effect of cuttings portions and Cassava variety on plant growth

#### Fresh shoot weight

The varietal effect was significant at 6, 9 and 12 MAP. The highest biomass (Appendix Table 5) is recorded for the local variety Douma ( $2.61 \pm 0.65$  kg) than Excel variety ( $2.04 \pm 0.54$  kg) at 12 MAP (F-value = 10.85, df = 3,  $P < 0.001$ ). Cuttings portions impacted significantly the shoot fresh matter. The lower portion of stem recorded the higher fresh shoot ( $1.02 \pm 0.45$ ;  $1.88 \pm$

$0.49$ ;  $2.41 \pm 0.33$  and  $2.65 \pm 0.45$  kg) at 3 MAP (F-value = 16.18, df = 2,  $P < 0.001$ ), 6 MAP (F-value = 16.72, df = 2,  $P < 0.001$ ), 9 MAP (F-value = 8.31, df = 2,  $P = 0.0010$ ), and 12 MAP (F-value = 11.15, df = 2,  $P < 0.001$ ) respectively (Appendix Table 6). No significant differences were observed ( $P \geq 0.05$ ) in fresh shoot weight concerning cuttings portion x cassava variety at 3, 6, 9 and 12 MAP (Table 2). For the local variety Douma, fresh shoot weight at 12 MAP was higher in plots planted with cuttings portion at the middle ( $2.99 \pm 0.26$  kg) than the cuttings portion at the upper ( $1.97 \pm 0.17$  kg).

#### Stem diameter

The varietal effect was not significant at 3 MAP. On the other hand, a very highly significant effect is observed at 9 MAP (F-value = 9.29, df = 3,  $P = 0.001$ ) and 12 MAP (F-value = 10.85, df = 3,  $P < 0.001$ ). Local variety Douma recorded the best diameter ( $2.64 \pm 0.32$ ;  $2.69 \pm 0.33$  cm) compared to Excel variety ( $2.69 \pm 0.33$ ;  $2.17 \pm 0.18$  cm) respectively 9 and 12 MAP (Appendix Table 7). With regard to effect of cuttings portions, lower portions recorded the highest stem diameter  $1.55 \pm 0.22$ ;  $1.84 \pm 0.31$ ;  $2.55 \pm 0.36$  cm and  $2.68 \pm 0.32$  cm than the upper portions  $1.15 \pm 0.14$ ;  $1.45 \pm 0.22$ ;  $2.12 \pm 0.35$  and  $2.26 \pm 0.26$  cm respectively at 3 MAP (F-value = 16.18, df = 2,  $P < 0.001$ ), 6 MAP (F-value = 16.72, df = 2,  $P < 0.001$ ), 9 MAP (F-value = 8.18, df = 2,  $P = 0.0010$ ) and 12 MAP (F-value = 11.15, df = 2,  $P < 0.001$ ) (Appendix Table 8). A significant increase was observed in all varieties in a plot planted with cuttings portions at the lower, middle and upper during all periods of measurement parameters (Table 3). No significant effects ( $P \geq 0.05$ ) were observed for interaction cuttings portions x cassava variety at 3, 6, 9 and 12 MAP.

#### ARTS infestation pressure

All life stages of the African root and tuber scale (Fig. 2) were present on cassava plants. The average number of scale insects per plant on each cassava variety as a function of the stem cuttings portions at 3, 6, 9 and 12 MAP was illustrated in Fig. 3. The significant variety effect ( $P < 0.05$ ) was observed during 6, 9 and 12 MAP. At 6 MAP (F-value = 3.72, df = 3,  $P = 0.02$ ), and 12 MAP (F-value = 8.00, df = 3,  $P = 0.0004$ ), the variety TMS 96/0023 ( $116.38 \pm 14.79$  and  $65.67 \pm 9.11$  ARTS)

**Table 2** Effect of cassava cuttings portions and variety on shoot fresh weight (kg)

Varieties	Portions	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Lower	1.64 ± 0.24abc	1.74 ± 0.16abc	2.31 ± 0.18bcd	2.51 ± 0.30abc
	Middle	1.44 ± 0.21abc	1.54 ± 0.26abc	2.09 ± 0.24abcd	2.08 ± 0.41abc
	Upper	1.22 ± 0.11abc	1.32 ± 0.26ab	1.81 ± 0.46ab	1.54 ± 0.42a
TMS 96/0023	Lower	1.49 ± 0.29abc	1.41 ± 0.27ab	2.06 ± 0.09abcd	2.75 ± 0.22bc
	Middle	1.41 ± 0.23abc	1.40 ± 0.34ab	1.91 ± 0.12abc	2.72 ± 0.33bc
	Upper	0.95 ± 0.21a	1.21 ± 0.31a	1.63 ± 0.07a	2.12 ± 0.39abc
Miboutou	Lower	1.87 ± 0.52c	2.26 ± 0.59c	2.68 ± 0.38e	2.48 ± 0.35abc
	Middle	1.79 ± 0.49bc	1.84 ± 0.46abc	2.29 ± 0.28e	2.15 ± 0.21abc
	Upper	1.06 ± 0.18ab	1.67 ± 0.17abc	2.66 ± 0.37bcd	1.99 ± 0.52ab
Douma	Lower	1.81 ± 0.37bc	2.11 ± 0.39bc	2.59 ± 0.39e	2.88 ± 0.79bc
	Middle	1.54 ± 0.19abc	1.97 ± 0.21abc	2.50 ± 0.15 cd	2.99 ± 0.26c
	Upper	1.27 ± 0.39abc	1.86 ± 0.21abc	2.13 ± 0.09abcd	1.97 ± 0.17ab
Pr(> F) V		0.1009 ns	<0.001***	<0.001***	0.0037**
Pr(> F) P		<0.001***	0.0127*	<0.001***	<0.001***
Pr(> F) VxP		0.6834 ns	0.8639 ns	0.993 ns	0.4325 ns

P: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*' 0.05; ns: not significant; VxP: Interaction; V: Varieties; P: Portions; MAP: Months after planting; Means values within columns followed by different letter differed significantly by Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

respectively was recorded lowest average number of cassava root scale than the other varieties. The local variety Miboutou ( $105.33 \pm 13.92$  ARTS) has registered the lowest number of ARTS at 9 MAP (F-value = 6.34,  $df = 3$ ,  $P = 0.003$ ) (Appendix Table 9).

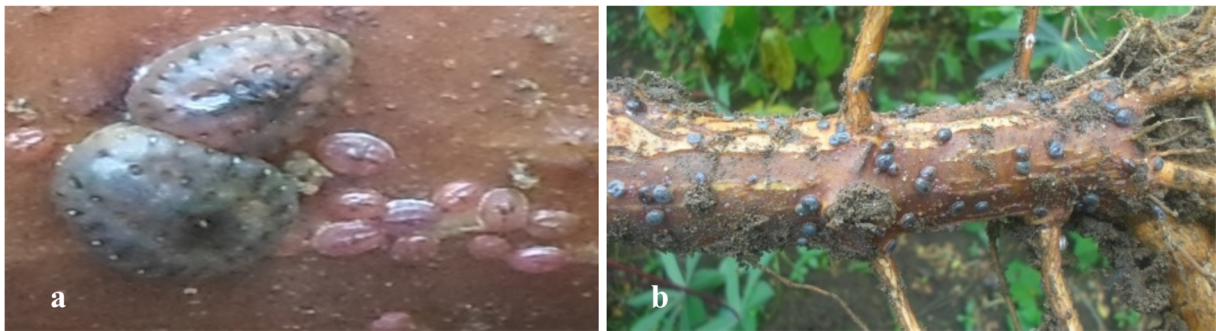
About the effect of the cuttings portions, lower, middle and upper statistically record the same number of cassava root scale at 3, 6 and 12 MAP (Appendix Table 10). At 9 MAP (F-value = 7.05,  $df = 2$ ,  $P = 0.003$ ), the upper portions ( $105.53 \pm 12.98$  ARTS)

**Table 3** Effect of cassava cuttings portions and variety on stem collar diameter (cm)

Varieties	Portions	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Lower	1.55 ± 0.15ab	1.87 ± 0.14bc	2.20 ± 0.23abc	2.28 ± 0.18abc
	Middle	1.46 ± 0.12ab	1.69 ± 0.11abc	2.12 ± 0.19ab	2.15 ± 0.23ab
	Upper	1.17 ± 0.05ab	1.44 ± 0.09ab	1.93 ± 0.12ab	2.08 ± 0.09a
TMS 96/0023	Lower	1.46 ± 0.13ab	1.68 ± 0.15abc	2.46 ± 0.46abc	2.72 ± 0.33bcd
	Middle	1.24 ± 0.07ab	1.45 ± 0.19ab	2.45 ± 0.50abc	2.33 ± 0.27abcd
	Upper	1.13 ± 0.07a	1.30 ± 0.16a	1.88 ± 0.36a	2.11 ± 0.27ab
Miboutou	Lower	1.57 ± 0.23ab	1.85 ± 0.20bc	2.66 ± 0.14bc	2.78 ± 0.19 cd
	Middle	1.43 ± 0.15ab	1.69 ± 0.16abc	2.65 ± 0.25bc	2.65 ± 0.24abcd
	Upper	1.18 ± 0.13ab	1.56 ± 0.11abc	2.29 ± 0.32abc	2.40 ± 0.25abcd
Douma	Lower	1.63 ± 0.37b	1.97 ± 0.31c	2.90 ± 0.11c	2.95 ± 0.13d
	Middle	1.38 ± 0.35ab	1.78 ± 0.25bc	2.63 ± 0.32bc	2.69 ± 0.42abcd
	Upper	1.12 ± 0.25a	1.52 ± 0.27abc	2.40 ± 0.32abc	2.46 ± 0.42abcd
Pr(> F) V		0.9387 ns	0.0055**	0.0001***	<0.001***
Pr(> F) P		<0.001***	<0.001***	0.0010**	0.0001***
Pr(> F) VxP		0.4226 ns	0.9783 ns	0.9251 ns	0.7402 ns

P: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*' 0.05; ns: not significant; VxP: Interaction; V: Varieties; P: Portions; MAP: Months after planting; Means values within columns followed by different letter differed significantly by Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).



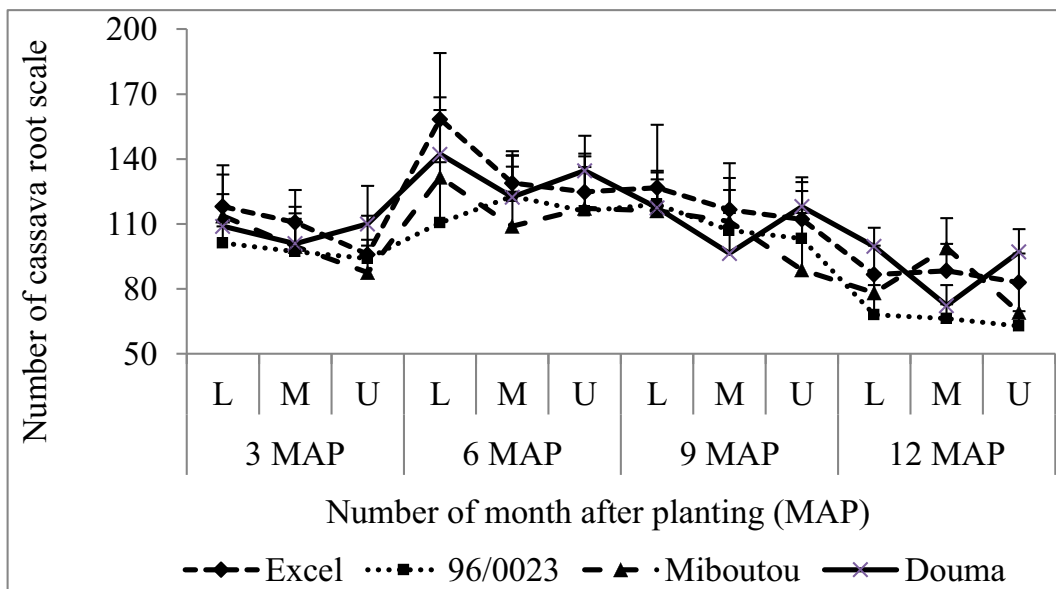


**Fig. 2** African root and tuber scale: **a** Scale insects; **b** Infested cassava cuttings

and the middle portions ( $107.78 \pm 9.81$  ARTS) were registered lowest ARTS than the lower portions ( $119.88 \pm 6.29$  ARTS). For interaction at 6 MAP (F-value = 1.52,  $df = 6$ ,  $P = 0.18$ ), the plots planted with cuttings portions at lower registered the highest number of ARTS for the Excel variety ( $158.38 \pm 10.58$  ARTS) than the cuttings portions at the middle for the local variety Miboutou ( $109 \pm 17.79$  ARTS). At 12 MAP (F-value = 9.26,  $df = 6$ ,  $P < 0.001$ ), the lowest number of cassava root scale was observed on cuttings portions at upper of TMS 96/0023 ( $62.75 \pm 6.34$  ARTS). The higher number of cassava root scales was observed at 6 MAP compared to 3, 9 and 12 MAP, averaging  $127 \pm 22.87$  ARTS to 6 MAP,  $111 \pm 19.43$  ARTS to 9 MAP,  $103 \pm 14.99$  ARTS to 3 MAP and  $81 \pm 10.89$  ARTS to 12 MAP.

#### Effects of cassava cuttings portions and varieties on the Yield

The variety effect is highly significant at 9 MAP (F-value = 7.31,  $df = 3$ ,  $P = 0.0006$ ) and 12 MAP (F-value = 6.85,  $df = 3$ ,  $P = 0.0004$ ) and the highest yield was recorded by the local variety Douma ( $10.59 \pm 2.9$  and  $16.99 \pm 4.42$   $t\ ha^{-1}$ ), respectively (Appendix Table 11). Regarding the effect of cuttings portions at 12 MAP (F-value = 13.39,  $df = 2$ ,  $P < 0.001$ ), lower portions ( $16.49 \pm 4.35$   $t\ ha^{-1}$ ) and middle portions ( $15.72 \pm 4.43$   $t\ ha^{-1}$ ) have the highest yields (Appendix Table 12). The analysis of variance unveiled no significant differences ( $P \geq 0.05$ ) in cuttings portions  $\times$  cassava variety interaction at 6 and 9 MAP. On the other hand significant differences ( $P < 0.01$ ) were observed at 12



**Fig. 3** Effect of cassava cuttings portions and variety interaction on the dispersal of cassava root scales (ARTS) under an open field. L: lower; M: middle; U: upper

MAP (F-value = 3.41, df = 6,  $P = 0.0057$ ) (Table 4). Local variety Douma ( $20.11 \pm 5.31 \text{ t ha}^{-1}$ ) in plots planted with cuttings portions at lower recorded higher yield than the Excel variety ( $10.24 \pm 4.67 \text{ t ha}^{-1}$ ) in plots planted with cuttings portions at upper.

Multivariate analysis of cassava varieties screened

*Principal component analysis*

The two principal components explain 58.64% (PCA1) and 33.14% (PCA2) of variance. Each main PCA explains a significant value of the total variance. The visualized dispersion represents approximately 91.78% (PCA1 and PCA2) of the variation of the studied system (Fig. 4). Excel variety was characterized by a high rate of ARTS infestation. Miboutou and Douma varieties have been close to PCA1 and were characterized by good growth and yield. They were also susceptible to ARTS. The TMS 96/0023 variety was close to PCA2 and local varieties with low susceptible to ARTS.

*Hierarchical cluster analysis*

Cluster analysis (5% dissimilarity) of the four cassava varieties screened for ARTS infestation, growth

parameters and yield were presented (Fig. 5). The clusters revealed three groups consisting of varieties more or less close together concerning their susceptibility to ARTS, growth and tuberous root yield. The first cluster composed of local variety Douma and Miboutou which was closer in terms of improved tuber yield and stand out owing to their susceptibility to ARTS infestation. While, Excel variety (cluster 2) and TMS 96/0023 variety (cluster 3), stander out from other varieties owing to their susceptible to ARTS infestation. Excel variety susceptible to ARTS with low yield and TMS 96/0023 variety was susceptible to ARTS with a yield close to Douma and Miboutou.

**Discussion**

For vegetatively propagated crops, the yield is a direct function of the quality of planting material (Agbarevo 2003). Udealor and Asiegbu (2006) that the shape, vitality genetic potential and the vigor of planting materials may influence the final output of crops. In the case of cassava, extensive literature depicts the impact of the stem portions of cuttings on the vigor and the final yield (Eze and Ugwuoke 2010; Anikwe and Ikenganyia 2018). Assuming that there is a decreased lignin content in cassava stem tissues from the upper to the lower, and

**Table 4** Effect of cassava cuttings portions and variety on Yield ( $\text{t ha}^{-1}$ )

Varieties	Portions	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	Lower	6.25 ± 2.78ab	8.82 ± 2.53abcde	12.46 ± 3.03ab
	Middle	4.43 ± 0.81ab	7.43 ± 0.40ab	11.11 ± 4.40a
	Upper	3.47 ± 0.75a	6.23 ± 0.64a	10.24 ± 4.67a
TMS 96/0023	Lower	8.05 ± 1.07b	12.40 ± 0.75cde	19.00 ± 5.70bc
	Middle	7.00 ± 0.28ab	9.40 ± 2.81abcde	13.33 ± 4.00abc
	Upper	3.38 ± 2.34a	8.22 ± 1.90abcd	11.13 ± 4.51a
Miboutou	Lower	7.47 ± 1.52ab	12.72 ± 2.65de	14.40 ± 3.40abc
	Middle	4.47 ± 1.52ab	10.88 ± 1.26bcde	18.44 ± 8.81bc
	Upper	4.47 ± 0.84ab	8.05 ± 2.13abc	11.00 ± 3.99a
Douma	Lower	8.25 ± 2.79b	13.37 ± 2.66e	20.11 ± 5.31c
	Middle	5.73 ± 2.14ab	11.40 ± 1.18bcde	20.00 ± 3.09c
	Upper	5.32 ± 0.87ab	7.00 ± 1.35ab	10.87 ± 4.96a
Pr(> F) V		0.0796 ns	0.0006***	0.0004***
Pr(> F) P		<0.001***	<0.001***	<0.001***
Pr(> F) VxP		0.4848 ns	0.4459 ns	0.0057**

P: 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \* 0.05; ns: not significant; VxP: Interaction; V: Varieties; P: portions; MAP: Months after planting; Means values within columns followed by different letter differed significantly by Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

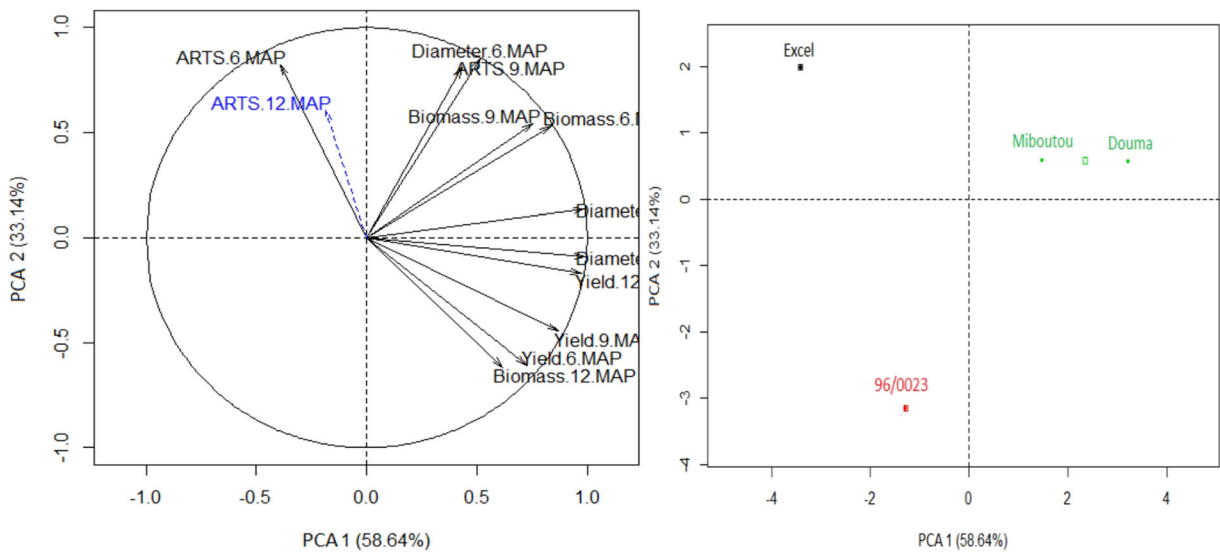


Fig. 4 Principal component analysis plot, integrating the growth parameter, yield and number of ARTS

lignin content affects plant disease resistance (Pedersen et al. 2005), we anticipate that the cuttings portions bearing differing lignin concentration may display differential susceptibility to diseases and pest. Varietal selection is often used in the control of plant pests and diseases. There are many cultivars of different species with resistance to insects (Sharma, 1993). The choice of crop species is based on natural variation (more productive); or classical (production of new varieties) (Acquaah 2007). Herein, we studied the single and combined effects of stem

cutting portion and crop variety on ARTS infestation levels' and the yield.

Data on fresh shoots weights and stem diameter at 3, 6, 9 and 12 MAP showed significant variation with the stem portions of cuttings. The productivity of cuttings portions at lower and middle were statistically similar and higher compared to the fresh weights of cuttings portions at the upper in all tested varieties. The same trend was observed with the stem collar diameter irrespective of the sampling date. Raffaillac (1992) while investigating "rooting of

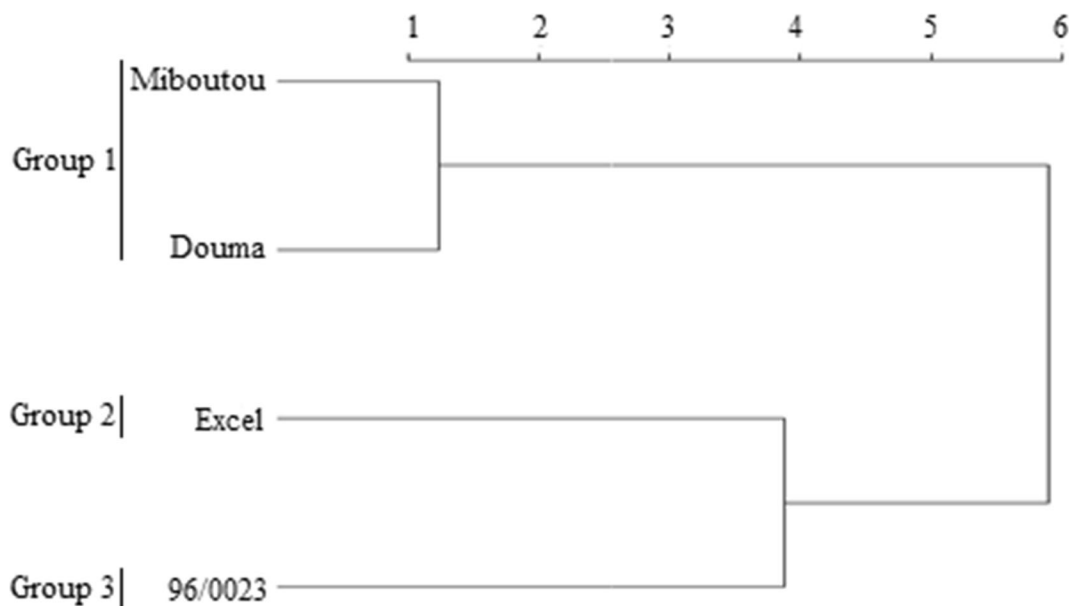


Fig. 5 Dendrogram representing cassava cultivars screened for resistance to ARTS infestation

cassava cuttings” showed that cuttings portions at lower produced significantly higher in fresh weight compared to those from the upper. The authors also identified a decreasing gradient in the potentialities of the lower portions at the distal parts and those closer to the upper portions. On the other hand, Eze and Ugwuoke (2010) showed the superiority of the cuttings portion in the middle over others. Accordingly, a nutritional factor was also raised by Raffaillac (1992), relating the vigor of cassava cuttings portions at lower and middle which may have stored up more the reserve to ensure normal growth of young emerging plantlets. At the molecular level, it has been shown that the cuttings portions at upper bear lesser lignin compared to other plant parts which assure more vigorous seedlings (Huis et al. 2012). Also, the recorded data may be related to the differential damage level caused by the cassava root scale about cassava cuttings portions, which feeds on the sap destined for growth and development of the cassava plant.

No significant variations of the fresh shoot weight at 3 MAP with plant variety were found. These results could be explained by the fact that all the varieties had a good recovery and good growth during the first months after plantations. On the other hand, local varieties Douma and Miboutou displayed a greater shoot fresh weight, unlike the improved varieties Excel and TMS 96/0023 at the same harvest period. At 12 MAP, there were decreases in fresh biomass for the Excel and Miboutou variety. This decrease could be the result of the double stress mediated by dryness and the ARTS incidence, which reduces the fitness of the plants (Calatayud 2011). Overall, the local varieties showed higher production of fresh biomass compared to the improved varieties as a result of their adaptability to the local soil and thus the tolerance towards the cassava root scale (Raffaillac and Segond 2004; Ndengo et al. 2016a; Ndongo et al. 2017). As for the stem diameter of the seedlings of the varieties tested, the variety TMS 96/0023 records the smallest diameter than Douma variety at 6 MAP. Ambang et al. (2007) conclude that local varieties record the largest diameters compared to improved ones. In the previously cited study, the authors concluded that the local cultivars were likely more vigorous than improved cultivars (Pynaert 1951).

The evolution of the number of cassava root scale to cuttings portions x variety interaction showed that they were more infested at 6 MAP. An experiment conducted by Ndengo et al. (2016a), (b) and Ndongo et al. (2017), showing that the infestation of cassava varieties by scale was more severe at 6 MAP, while Lema et al. (2004)

showed an infestation peak at later growth stages (9 MAP and 12 MAP). Our data also provided evidence that the ARTS infested all the plantlets irrespective of the cuttings portions, but with different intensity. Cuttings portions at the lower were most affected, followed by cuttings portions at the middle regardless of the harvest period and variety. According to Tindo et al. (2006) and Williams et al. (2010) plant infestation by either nymphs or adults of *S. vayssierei* is not related to the stem portions of cuttings. The ARTS number was variety dependent. The Excel and Douma varieties were found more infected by the scale at 3 MAP, 6 MAP, 9 MAP and 12 MAP, than TMS 96/0023 and Miboutou varieties. Interestingly, Lema et al. (2004); Ndengo et al. (2016b) have shown that sweet varieties are the most attacked by ARTS, as referred to as bitter varieties.

For the production of tuberous roots, it appears that at 6 MAP and 9 MAP, cuttings portions x variety interaction is not significantly different. Nevertheless, cuttings portions at lower recorded higher yields compared to cuttings from the upper with the lower yields in each variety (Eze and Ugwuoke 2010). This could be explained by the fact that the oldest part of stem favors a good development of roots. On the other hand, cuttings portions at the lower of the same mother stalk ensure a better rooting (Raffaillac 1992). Anikwe and Ikenganyia (2018) reported that mature cuttings taken from the middle of the stem are normally preferable to cuttings from either the plant upper or lower. Overall, the ARTS attacks on cuttings from the upper, middle and lower may be responsible for the low yields obtained during the experiment. The higher number of *S. vayssierei*, in addition to sucking sap from cassava cuttings and tubers, also causes leaf drop and stunting of seedlings. In a study, Ngeve (2003), Lema et al. (2004) and Williams et al. (2010) reported that Cassava varieties recorded low yields in each cuttings portion at 6 MAP. At 12 MAP optimum periods for harvesting cassava varieties (Mukendi et al. 2018), there was a significant difference in variety effect and stem portions of the cuttings. Local varieties have better tuberous root production compared to improved varieties resulting from infestations recorded by this due date. Ndengo et al. (2016a) obtained similar results in the study on the influence of population density of the ARTS on the yield of improved varieties of cassava in the Democratic Republic of Congo. The authors showed that local varieties tolerate ARTS attacks than improved varieties and reveal the importance of local varieties research for the development of cassava subsector.

Principal component analysis (PCA) and cluster based on ARTS infestation, growth parameters and yield has segregated the varieties into three groups. The first was made up of local variety Douma and Miboutou characterized by even in case of severe ARTS infestation. The second group was consistent with Excel variety while the third was TMS 96/0023 identified susceptible to ARTS infestation hence losses of yield recorded.

## Conclusions

This study provided insight into the single and combined effects of stem cutting portion and crop variety on ARTS infestation levels' in the field rainforest in Cameroon. The results show that all portions of cassava cuttings were infested with a low number by cuttings from the upper portion. Similarly, the improved variety of TMS 96/0023 was the most tolerant against ARTS

attacks. Irrespective of genotype, root yields were higher 16.49 t ha<sup>-1</sup> for cuttings at the lower, 15.72 t ha<sup>-1</sup> for cuttings at the middle and 10.81 t ha<sup>-1</sup> for cuttings at the upper, indicating the vigor of cuttings portion from the lower and the middle which are therefore appropriate to optimize the yield of tuberous roots even in case of severe infestation by the scale. Of the cassava varieties screened, local varieties recorded better yields over-improved varieties in the area and study conditions.

**Acknowledgements** The authors are sincerely thankful to the International Institute of Tropical Agriculture and the Institute of Agricultural Research for Development for planting material provision. The authors also wish to thank Dr. Pierre EKE for his valuable comments and suggestions on this manuscript.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors declare that they have no competing interests.

## Appendix

**Table 5** Effect of cassava variety on fresh shoot weight (kg)

Varieties	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	1.26 ± 0.27a	1.53 ± 0.27a	2.07 ± 0.36a	2.04 ± 0.54a
TMS 96/0023	1.12 ± 0.32a	1.34 ± 0.29a	1.87 ± 0.21a	2.52 ± 0.42ab
Miboutou	1.48 ± 0.51a	1.92 ± 0.47b	2.54 ± 0.36b	2.20 ± 0.40ab
Douma	1.54 ± 0.40a	1.98 ± 0.28b	2.41 ± 0.25b	2.61 ± 0.65b
Pr(> F)	0.1009 ns	<0.001***	<0.001***	0.0037**

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 6** Effect of cuttings portions of stem on fresh shoot weight (kg)

Cuttings portions	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Lower	1.02 ± 0.45b	1.88 ± 0.49b	2.41 ± 0.33b	2.65 ± 0.45b
Middle	0.97 ± 0.33b	1.68 ± 0.37ab	2.29 ± 0.38b	2.48 ± 0.48b
Upper	0.76 ± 0.32a	1.52 ± 0.34a	1.97 ± 0.37a	1.90 ± 0.48a
Pr(> F)	<0.001***	0.0127*	<0.001***	<0.001***

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

Phytoparasitica

**Table 7** Effect of cassava variety on stem collar diameter (cm)

Varieties	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	1.39 ± 0.19a	1.67 ± 0.21ab	2.08 ± 0.20a	2.17 ± 0.18a
TMS 96/0023	1.27 ± 0.17a	1.47 ± 0.22a	2.19 ± 0.47ab	2.39 ± 0.37ab
Miboutou	1.39 ± 0.23a	1.70 ± 0.19ab	2.53 ± 0.29bc	2.60 ± 0.27b
Douma	1.37 ± 0.37a	1.75 ± 0.31b	2.64 ± 0.32c	2.69 ± 0.33b
Pr(> F)	0.1009 ns	<0.001***	<0.001***	0.0037**

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 8** Effect of cuttings portions of stem on stem collar diameter (cm)

Cuttings portions	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Lower	1.55 ± 0.22c	1.84 ± 0.31c	2.55 ± 0.36b	2.68 ± 0.32b
Middle	1.37 ± 0.20b	1.65 ± 0.21b	2.41 ± 0.39ab	2.46 ± 0.36ab
Upper	1.15 ± 0.14a	1.45 ± 0.22a	2.12 ± 0.35a	2.26 ± 0.26a
Pr(> F)	<0.001***	0.0127*	<0.001***	<0.001***

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 9** Effect of cassava variety on number of cassava root scale

Varieties	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	108.20 ± 13.61a	137.33 ± 17.92b	118.50 ± 21.16b	86.00 ± 0.74c
TMS 96/0023	97.50 ± 15.02a	116.38 ± 14.79a	109.79 ± 19.5ab	65.67 ± 5.92a
Miboutou	100.25 ± 14.81a	119.36 ± 17.01ab	105.33 ± 21.34a	82.13 ± 14.94b
Douma	106.58 ± 16.53a	133.08 ± 13.56ab	110.63 ± 11.89ab	89.67 ± 14.61c
Pr(>f)	0.31 ns	0.0212*	0.0026**	0.000405***

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 10** Effect of cuttings portions of stem on number of cassava root scale

Cuttings portions	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Lower	110.44 ± 15.24a	135,69 ± 21.84a	119,88 ± 6.30b	83,13 ± 9.08a
Middle	102.13 ± 15.58a	120,75 ± 14.83a	107,78 ± 9.79a	81,47 ± 8.57a
Upper	96.84 ± 14.16a	123,09 ± 12.50a	105,53 ± 12.98a	78,00 ± 9.04a
Pr(>f)	0.098 ns	0.0815 ns	0.00283*	0.679 ns

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 11** Effect of cassava variety on yield (t ha<sup>-1</sup>)

Varieties	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Excel	4.72 ± 1.47a	7.49 ± 1.80a	11.27 ± 3.93a
TMS 96/0023	6.14 ± 2.11a	10.01 ± 2.33ab	14.49 ± 4.76ab
Miboutou	5.47 ± 1.35a	10.55 ± 2.91b	14.61 ± 4.29ab
Douma	6.43 ± 1.91a	10.59 ± 2.90b	16.99 ± 4.42b
Pr(>f)	0.0796 ns	0.0006***	0.0004***

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

**Table 12** Effect of cuttings portions of stem on yield (t ha<sup>-1</sup>)

Cuttings portions	6 MAP	9 MAP	12 MAP
Lower	7.50 ± 2.64b	11.83 ± 3.02c	16.49 ± 4.35b
Middle	5.41 ± 1.03b	9.78 ± 2.08b	15.72 ± 4.43b
Upper	4.16 ± 1.85a	7.38 ± 2.37a	10.81 ± 4.17a
Pr(>f)	<0.001***	<0.001***	<0.001***

Means within the column followed by different letters differed significantly by the Tukey test at ( $P \leq 0.05$ ).

## References

- Acquaah, G. (2007). *Principles of plant genetics and breeding*. Blackwell Publishing Ltd.
- Agbarevo, M. N. (2003). *Practical Guide to crop Production*. Ogoja: Sogar Printers (Nig). Publishers.
- Ambang, Z., Akoa, A., Ndongo, B., Nantia, V., Nyobe, L., & Ongono, Y. S. B. (2007). Tolerance of some cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz) and wild species (*Manihot glaziovii*) to African viral mosaic disease and cassava leaf spot. *Tropicicultura*, 25, 140–145.
- Ambe, J. T., Ntonifor, N. N., Awah, E. T., & Yanine, J. S. (1999). The effect of planting dates on the incidence and population dynamics of the cassava root scale, *Stictococcus vayssierei*, in Cameroon'. *International Journal of Pest Management*, 45, 125–130. <https://doi.org/10.1080/096708799227914>.
- Anikwe, M. A. N., & Ikenganyia, E. E. (2018). *Ecophysiology and Production Principles of Cassava (Manihot species) in Southeastern Nigeria* (pp. 105–121). London: Intechopen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70828>.
- Benesi, I. R. M., Labuschagne, M. T., & Mahungu, N. M. (2004). Genotype x Environment interaction effects on native cassava starch quality and potential for starch use in the commercial sector. *African Journal of Crop Science*, 12, 205–216. <https://doi.org/10.4314/acsj.v12i3.27880>.
- Ben-Dov, Y. (1997). Diagnosis. In: Ben-Dov, Y., Hodgson C. J. (Eds) *Soft scale insects: Their biology, natural enemies and control* (p. 3–4). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Calatayud, P. A. (2011). *Plant-insect interactions. Qualification to Conduct Research (HDR)* (86 P). Orsay: University Paris-Sud.
- CNRCIP. (1989). Annual report for 1989 of the Cameroon National Root Crop Improvement Program (CNRCIP). *Annual Report*. Cameroon: IRAD Njombe.
- Eze, S. C., & Ugwuoke, K. I. (2010). Evaluation of different stem portions of cassava (*Manihot esculentus*) in the management of its establishment and yield. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2, 181–185.
- FAO. (2014). *Cassava pest management guide for use by cooperatives* (pp. 11–15).
- FAO. (2018). *FAOSTAT data base results*. Food and Alimentation Organization (FAO). Rome: Faostat. <http://Faostat.fao.org>.
- Hanna, R., Tindo, M., Wijnans, L., Goergen, G., Tata Hangy, K., Lema, K., Toko, M., Ngeve, J. M., Dixon, A., & Gockowski, J. (2004). The African root and tuber scale problem in Central Africa: the nature of the problem and the search for control options. In *Book of Abstracts of the 9th Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch, 31 October–5 November 2004, Mombasa, Kenya* (57 p).
- Huis, R., Morreel, K., Fliniaux, O., Lucau-Danila, A., Fénart, S., Grec, S., et al. (2012). Natural hypolignification is associated with extensive oligolignol accumulation in flax stems. *Plant Physiology*, 158, 1893–1915. <https://doi.org/10.1104/pp.111.192328>
- International Institute of Tropical Agriculture. (2000). *How to start a cassava field, a guide to IPM practice for extension workers.IITA* (24 p). Nigeria: Ibadan.
- Kamau, J., Melis, R., Laing, M., Shanahan, D. J., P., & Ngugi, C. K. E. (2011). Farmers' participatory selection for early bulking Cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. *Journal of Plant Breeding and crop sciences*, 3, 44–52.
- Karthikeyan, C., Patil, B. L., Borah, B. K., Resmi, T. R., Turco, S., Pooggin, M. M., et al. (2016). Emergence of a latent Indian cassava mosaic virus from cassava which recovered from infection by a non-persistent Sri Lankan cassava mosaic virus. *Viruses*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.3390/v8100264>
- Lema, K. M., Tata-Hangy, K., & Bidiaka, M. (2004). Management of African root and tuber scale using improved cassava genotypes and mineral fertilisers. *African Crop Science Journal*, 12, 217–221. <https://doi.org/10568/96351>.
- Moudingo, E. J. (2007). *Situation of the forests in Cameroon* (24 p.). Cameroon Wild life Society Conservation.
- Mukendi, T. D., Tshimbombo, J. C., Muyayabantu, M. G., Tshiamala, N. T., Kamukenji, N. M. A., Beya, M. S., & Mukendi, K. R. (2018). Evaluation of the optimum age of maturation of the various local and improved varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivated at Ngandajika in the Democratic Republic of Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 121, 12121–12128. <https://doi.org/10.4314/jab.v12i11.3>.
- Mutsaers, H., Mbouémboué, P., & Mouzong, B. (1981). *Traditional food crop growing in the Yaoundé area (Cameroon)* (pp. 87–273). Part I. Synopsis of the system Agro-Ecosystems 6.
- Nassar, N. M. A., & Ortiz, R. (2007). Cassava improvement: challenges and impacts. *Cambridge Journal of Agricultural Science*, 145, 163–171. <https://doi.org/10.1017/S0021859606006575>.
- Ndengo, N. E., Ki-Munseki, A. L., Hanna, R., Mahungu, N. M., & Ngbolua, K. (2016a). Influence of the population density of

- the African root and tuber scale insect (*Stictococcus vayssierei* Richard) on the yields of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) improved in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 16, 247–259.
- Ndengo, N. E., Ki-Munseki, A. L., Hanna, R., Mahungu, N. M., & Ngbolua, K. (2016b). Screening cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) genotypes for resistance to African root and tuber scale (*Stictococcus vayssierei* Richard) in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 16, 247–259.
- Ndongo, B., Ngatsi, Z. P., Nguimbous, L. B., Ambang, Z., Mounpoubeyi, M. N., & Kutnjem, D. (2017). Effect of aqueous extracts of *Thevetia peruviana* and *Mucana Puriens* on cassava root scale (*Stictococcus vayssierei*) in field. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 5, 26–34.
- Ngeve, J. M. (2003). The cassava root mealybug (*Stictococcus vayssierei* Richard) (Homoptera: Stictococcidae): a threat to cassava production and utilization in Cameroon. *International Journal of Pest Management*, 49, 327–333. <https://doi.org/10.1080/09670870310001603900>.
- Noerwijati, K., Nasrullah, T., & Prajitno, D. (2014). Fresh tuber yield stability analysis of fifteen cassava genotypes across five environments in East Java (Indonesia) using GGE biplot. *Energy Procedia*, 47, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.209>.
- Pedersen, J. F., Vogel, K. P., & Funnell, D. L. (2005). Impact of Reduced Lignin on Plant Fitness. *Crop Science*, 45, 812–819. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0155>.
- Pynaert, L. (1951). *The manioc. Technical Collection of the Ministry of Cooperation of the Kingdom of Belgium* (166 p). Bruxelles: 2<sup>e</sup> édition.
- Poubom, C. F. N., Awah, E. T., Tchuanyo, M., & Tengoua, F. (2005). Farmer's perceptions of cassava pests and indigenous control methods in Cameroon. *International Journal of Pest Management*, 51, 157–164. <https://doi.org/10.1080/09670870500131863>.
- Raffaillac, J. P. (1992). Rooting of cuttings of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) during the first weeks of growth of the plant. *Tropical Agronomy*, 46, 273–281.
- Raffaillac, J. P., & Segond, G. (2004). Cassava. In Charrier A., Jacquot, M., Hamon, S., & Nicholas, D. (Eds.) *The improvement of tropical plants* (pp. 429–455). Montpellier: CIRAD.
- Rajiv, K. S., George, H., Upendra, P., & Chandrajeet, K. (2016). Embarking on second green revolution by vermiculture for production of chemical free organic foods, protection of crops and farm soils and elimination of deadly agrochemicals from earth: Meeting the challenges of food security of 21st century by earthworms-sir charles darwin's 'friends of farmers.' *Agricultural Research Updates* (pp. 1–49). New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Richard, C. (1971). Contribution to the morphological and biological study of *Stictococcinae* (Homoptera: Coccoidea). *Annals of the Entomological Society of France*, 7, 571–609. (n.s.).
- Sehgal, D. K. (2012). *Split plot and Strip plot designs* (pp. 377–388). New Delhi: IASRI, Library Avenue.
- Sharma, H. C. (1993). Host-plant resistance to insects in sorghum and its role in integrated pest management. *Crop Protection*, 12, 11–34.
- Tata-Hangy, K., Hanna, R., Toko, M., Lema, K. M., & Solo, M. (2006). Changes in population abundance of the African root and tuber scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Homoptera; Stictococcidae) on cassava in the bas-fleuve district in the Democratic Republic of Congo. In Mahungu N. M., & Manyong V. M. (Eds.) *Advances in Root and Tuber Crops Technologies for Sustainable Food Security, Improved Nutrition, Wealth and Environmental Conservation in Africa. Proceedings of 9th ISTRC-AB Symposium Mombassa, Kenya* (pp. 574–582).
- Tindo, M., Doumtso, A., Goergen, G., & Hanna, R. (2006). Morphological description and illustration of female developmental stages of *Stictococcus vayssierei* (Homoptera: Stictococcidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 26, 126–133. <https://doi.org/10.1079/IJT2006109>.
- Tindo, M., Hanna, R., Goergen, G., Zapfack, L., Tata-Hangy, K., & Attey, A. (2009). Host plants of *Stictococcus vayssierei* Richard (Stictococcidae) in non-crop vegetation in the Congo Basin and implications for developing scale management options. *International Journal of Pest Management*, 55, 339–345. <https://doi.org/10.1080/09670870902934864>.
- Udealor, A., & Asiegbu, J. E. (2006). Effects of cassava genotype and vegetable cowpea populations on the component crop yield and system productivity on cassava/vegetable cowpea intercropping systems. *The Nigerian Agricultural journal*, 37, 74–80. <https://doi.org/10.4314/naj.v37i1.3232>.
- Williams, D. J., Matile-Ferrero, D., & Miller, D. R. (2010). A study of some species of the genus *Stictococcus* Cockerell (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea: Stictococcidae), and a discussion on *Stictococcus vayssierei* Richard a species injurious cassava in Equatorial Africa with a description of a new species from Nigeria. *Zootaxa*, 2527, 1–27.

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.





## RESEARCH PAPER

## OPEN ACCESS

## Effect of extracts from seeds of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum against cassava root scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera: Stictococcidae) in field

Patrice Zemko Ngatsi<sup>\*1</sup>, Bekolo Ndong<sup>1</sup>, Nestor Modeste Yanga Mbiaton<sup>1</sup>, Tize Tize<sup>1</sup>, Sorelle Azafack Nzongang<sup>1</sup>, Daouda Kutnjem<sup>1</sup>, Norbert William Tueguem Kuate<sup>1</sup>, Champlain Lordon Djieto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Biology, Laboratory of Plant Pathology, Faculty of Science, University of Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroon

<sup>2</sup>Department of Animal Biology and Physiology, Laboratory of Zoology, Faculty of Science, University of Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroon

**Key words:** Aqueous extract, Organic extracts, *Thevetia peruviana*, *Stictococcus vayssierei*, *Manihot esculenta*

<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/16.3.536-547>

Article published on March 30, 2020

### Abstract

The African Root and Tuber Scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* R. is a formidable enemy to cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production, responsible for production losses ranging from 60 to 100% in plantations if strong measures are not taken to control its spread. To improve the production of this commodity, a study was carried out to reduce the number of root scale insects, and their effects on cassava production in the field. The present study test the insecticidal activity of aqueous and organic extracts of *Thevetia peruviana* seeds against *Stictococcus vayssierei*. The cassava varieties TMS 92/0057 (improved) and Miboutou (local) as well as five treatments (T<sub>0</sub>= control, T<sub>1</sub>= aqueous extract, T<sub>2</sub>= methanol extract, T<sub>3</sub>= acetone extract and T<sub>4</sub>= BASTION-SUPER chemical insecticide) were used in a split-plot design with four replicates. Growth parameters, number of live and dead root scale insects per plant and yield were evaluated. The results show that the highest number of live root scale insects per plant is observed on Miboutou variety (125 ARTS/P) in control plots than on the 92/0057 variety in plots treated with aqueous extract (84.13 ARTS/P). The lowest yield of fresh tubers is observed in control plots of the Miboutou variety (11.50 t ha<sup>-1</sup>). Highest yields are observed in 92/0057 variety in plots treated with acetone extract (15.20 t ha<sup>-1</sup>) and the Miboutou variety in plots treated with synthetic insecticide (15.05 t ha<sup>-1</sup>). *Thevetia peruviana* seeds, through their repressive effect against cassava root scale, would indicate an insecticide potential.

\* Corresponding Author: Patrice Zemko Ngatsi ✉ [ngatsipatrice@gmail.com](mailto:ngatsipatrice@gmail.com)

## Introduction

Cassava production (*Manihot esculenta* Crantz) is compromised in tropical regions of the world by pressure of disease and pest (Hillocks *et al.*, 2002; Moses *et al.*, 2005; Nassar and Ortiz, 2007; Legg *et al.*, 2015). In Central Africa, as the most harmful pests of cassava, the African root and tuber scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* Richard is high on the list, causing yield losses of cassava ranging from 60 to 100% in plantations and could pose a major threat to production if strong measures are not taken to control its spread or effects (Ngeve, 2003; Hanna *et al.*, 2004; Lema *et al.*, 2004; Tata-Hangy *et al.*, 2006). *S. vayssierei* feeds on the cassava root system and causes leaf drop, wilting, tip dieback and growth retardation (Ngeve, 2003; Williams *et al.*, 2010).

Cassava is used as food to help relieve problems of hunger and carbohydrate deficiency, and therefore its importance in terms of food security in tropical and subtropical zone (IITA, 1990). Total annual world production is estimated at 278 million tons (Mt) in 2017. In Cameroon, cassava is the dominant root and tuber crop with an estimated annual production of 5.4 million tons (Mt) on average in 2017 (FAO, 2018). In Cameroon and the Democratic Republic of Congo, cassava root scale contributes in part to a tuberous root production deficit of nearly 31 million tons (FAO, 2014). This biting-sucking insect is one of the most important arthropod pests of the country's semi-humid forest agrosystems (CNRCIP, 1989; Ambe *et al.*, 1999). To control its damage in the field, several control strategies have been developed, including chemical control, which is very often used by the farmers against crop enemies (Adigoun, 2002). Synthetic insecticides used in pests control are very expensive for subsistence farmers and degrading for the environment (Ben-Dov, 1997; Keita *et al.*, 2000) due to the presence of their residues in groundwater (Ndongo, 1999). According to the World Health Organization (WHO), more than 25 million producers worldwide are poisoned each year, of which about 10 to 20 thousand die of pesticide poisoning (Rajiv *et al.*, 2016). Indeed, plants with pesticide effects have a real advantage in a pest control and are a suitable alternative to the phytosanitary methods proposed so

far. Several plant species has been identified as having insecticidal properties (Benayad, 2008; Regnault-Roger, 2008). Thus, *Thevetia peruviana* has already been the subject of several studies showing the effectiveness of these extracts on insect pests (Ojo and Okafor, 2000; Ambang *et al.*, 2005). This work aims to study the effect of aqueous and organic solvent extracts of *Thevetia peruviana* seeds in controlling damage caused by *Stictococcus vayssierei* in the field.

## Materials and methods

### Study site description

This experiment was undertaken in March 2018 in a fallow farms (4 years old) in the locality of Akonolinga, Loum, (03° 48.136' N and 012° 15.518' E, altitude 663m), at the Centre Region of Cameroon. Crops like groundnut, macabo and cassava are routinely been cultivated in this area. This locality belongs to the agro-ecological zone 5 of Cameroon (humid forest zone with bimodal rainfall). The site is naturally infested with cassava root scale and is characterized by a Congo-Guinean sub-equatorial climate, with two dry seasons alternating with two rainy seasons. The average rainfall is 1633 mm/year distributed in a small rainy season (March-June) and a long rainy season (September-November). The average annual temperature is relatively constant (around 23 to 27°C). Relative and average humidity is above 80%. The soil is ferralitic and is characterized by outcrops of the indurated horizon in the form of slabs or gravel (Moudingo, 2007).

### Plant material

The plant material used was cassava cuttings and almond stones from *Thevetia peruviana*. The cassava cuttings used in the framework of this study are of two varieties. Improved variety, namely TMS 92/0057 donated by the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) is tested tolerant to Cassava mosaic disease whereas local varieties namely Miboutou which sensitive to Cassava mosaic disease based on field observations and locally grown by farmers. The mature stone of *Thevetia peruviana* collected near trees in the cities of Yaoundé and Bafoussam was used.

### Chemical material

The chemical material was a product with a BASTION-SUPER commercial name, granular in appearance and purple in color, and the active ingredient is Oxamyl 5%.

### Methods

#### Experimental design and culture conditions

The experimental was a "split-plot" design (Sehgal, 2003) with four replicates. The Varieties constituting the main plots randomly in a replication with two variants: V1 (improved variety TMS 92/0057) and V2 (local variety Miboutou). Five treatments represented sub-plots randomized the main plot (T0: control, T1: aqueous extract, T2: methanol extract, T3: acetone extract and T4: insecticide BASTION-SUPER). Each block with a total of 160 cuttings, consisted of ten sub-plots was made up of 16 cuttings planted at a spacing of 1 x 0.8m (12,500 plants ha<sup>-1</sup>). The sub-plots measuring approximately 4m x 4m were ploughed and ridged using hand hoe, and separated by 1m paths and blocks were separated by 2m spaces. They each contain four rows of four plants. Cassava cuttings about 20cm long are planted obliquely position by pushing the stalk 2/3 of the length into the soil (IITA, 2000). No fertilizers were applied during the crop growth of cassava plants. Weeding was done at 2, 3, 5 and 8 months after planting (MAP) using hand hoe.

#### Preparation of seeds extracts of *Thevetia peruviana*

The mature fruits of *Thevetia peruviana* were collected at the foot of the trees in the cities of Yaoundé and Bafoussam. The stones of the harvested fruits were dried in the shade in the laboratory and then peeled and the kernels obtained were crushed using a manual "Victoria" mill. The organic extracts were prepared by macerating the powder obtained at a rate of 500g in 2L (concentration: 250g L<sup>-1</sup>) of Acetone and Methanol. After 48 hours of maceration, the products obtained rich in extracted substances, were filtered by filter paper and concentrated in a rotary evaporator until the essential oil was obtained. The extracts obtained were placed in a desiccator to remove the remaining solvent and stored for further use (Gata-Gonçalves *et al.*, 2003). The aqueous

extract of *T. peruviana* was obtained by macerating for 24 hours 1500 g of powder in 15L of water this corresponds to a 10% solution and 30g of soap powder was added as a wetting agent (Stoll, 1994). The resulting product was filtered with a cloth and poured into a sprayer. The chemical and phytochemical composition of *T. peruviana* extracts is well known (Hammuel *et al.*, 2011; Ngho dooh *et al.*, 2014).

#### Spraying of treatments

The synthetic insecticide (BASTION-SUPER) was buried and covered with soil to a depth of about 5cm and within 14cm of the plant collar, at a rate of 30g per plant. The chemical treatment of the plants was carried out only once until the end of the experiment. From the essential oils obtained a volume of 60 mL (1200mL ha<sup>-1</sup>) of extracts (methanol and acetone) was collected and diluted in a sprayer containing 15L of water to which 30g of soap powder was added as a wetting agent (Zakari, *et al.*, 2011). Aqueous, organic extracts and control (water + soap) were applied to the neck of cassava plants. Application of all treatments begins at two months after planting (2 MAP) and sprays of extracts of *T. peruviana* and control have been repeated at 3, 4, 5, 6 and 7 MAP.

#### Parameters measurement

##### Evaluation of plant growth, development and yield

The stem collar diameter (2-3cm above the soil surface) was measured using caliper on three randomly selected and labeled plants at 3, 6, 9 and 12 months after planting (MAP). Fresh shoots and tuber weights were measured and number of tubers per plants was enumerated on two plants randomly selected in each sub-plot at 3, 6, 9 and 12 MAP by uprooting plants. Tuber weights were extrapolated at each sampling per ton per hectare as proposed by Kamau *et al.* (2011).

$Y$  (t ha<sup>-1</sup>) = tuber weight (kg/m<sup>2</sup>) x 10 000 m<sup>2</sup>/ha x 1 t/1000 kg.

Where, Y= yield

##### Evaluation of cassava root scale number

The number of root scale insects was enumerated using hand meter on two randomly sampled plants per sub-plots by uprooting plants at 3 months intervals. Cassava root scale was counted per plants

selected using a magnifying glass 10 at each assessment date. All life stages (larvae 1, larvae 2, adults and dead individuals) of the scale insect have been counted on cassava stem, strains, mother cuttings, tuberous roots and feeder roots (Ambe *et al.*, 1999; Ndengo *et al.*, 2016a). The living and dead individuals was separate in each treatments.

#### Statistical analysis of data

Data were subjected to one-way and two-ways ANOVA, using R software version 3.5.1. The Tukey's multiple comparison based test set at 5% threshold were performed to separate mean values when the analysis of variance was found significant.

## Results

### Effect of *Thevetia peruviana* seed extracts on stem diameter

Data on the stem diameter of cassava plants are recorded in Table 1. There is an increase in the stem diameter of cassava plants in the treatments of the two varieties over time. At 3 MAP, no significant

differences ( $P < 0.05$ ) are recorded between treatments, varieties and variety x treatment interaction. On the other hand, at 6 MAP a very highly significant effect is observed between treatments ( $P < 0.001$ ), varieties ( $P < 0.001$ ) and variety x treatment interaction ( $P < 0.01$ ).

The largest diameter is produced by Miboutou variety in plots treated with synthetic insecticide ( $2.43 \pm 0.12$ cm) and the smallest in plots treated with *Thevetia* aqueous extract ( $1.81 \pm 0.12$ cm) of the same variety. No significant effects were observed between the varieties and the variety x treatment interaction at 9 and 12 MAP. Only the treatment effect is significant ( $P < 0.05$ ). The treated plots gave the largest diameters. In plots treated with synthetic insecticide, 92/0057 variety ( $2.41 \pm 0.19$ ;  $2.56 \pm 0.17$ cm) and Miboutou variety ( $2.57 \pm 0.27$ ;  $2.63 \pm 0.20$ cm) have the largest diameters while the 92/0057 variety ( $2.12 \pm 0.23$ ;  $2.27 \pm 0.22$ cm) and the Miboutou variety ( $1.94 \pm 0.18$ ;  $2.09 \pm 0.25$ cm) in control plots had the smallest diameters at 9 and 12 MAP respectively.

**Table 1.** Effect of treatments and cassava variety on the stem diameter of cassava.

Varieties	Treatments	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
V1	To	1.69 ± 0.13a	2.04 ± 0.10bcd	2.12 ± 0.23ab	2.27 ± 0.22a
	T1	1.45 ± 0.08a	1.90 ± 0.09cd	2.22 ± 0.27ab	2.42 ± 0.34a
	T2	1.51 ± 0.04a	1.99 ± 0.11cd	2.24 ± 0.12ab	2.29 ± 0.13a
	T3	1.49 ± 0.18a	1.97 ± 0.12cd	2.28 ± 0.19ab	2.37 ± 0.26a
	T4	1.57 ± 0.09a	2.04 ± 0.09bcd	2.41 ± 0.19ab	2.56 ± 0.17a
Means (V1)		1.54 ± 0.14a	1.99 ± 0.11b	2.25 ± 2.29a	2.38 ± 0.24a
V2	To	1.56 ± 0.15a	2.01 ± 0.15bcd	1.94 ± 0.18b	2.09 ± 0.25a
	T1	1.45 ± 0.16a	1.81 ± 0.12d	2.08 ± 0.09ab	2.23 ± 0.19a
	T2	1.68 ± 0.06a	2.29 ± 0.19ab	2.43 ± 0.17ab	2.57 ± 0.18a
	T3	1.72 ± 0.11a	2.19 ± 0.06abc	2.25 ± 0.08ab	2.41 ± 0.22a
	T4	1.59 ± 0.16a	2.43 ± 0.12a	2.57 ± 0.27a	2.63 ± 0.20a
Means (V2)		1.60 ± 0.15a	2.15 ± 0.26a	2.27 ± 0.30a	2.40 ± 0.28a
Interaction		ns	**	ns	ns
Treatments		ns	***	**	*
Varieties		ns	***	ns	ns
Cv (%)		8.02	6.00	9.88	9.41

P: 0'\*\*\*' 0.001'\*\*\*' 0.01'\*\*\*' 0.05, ns: not significant. MAP: months after planting, Cv: Coefficient of variation; To: control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION-SUPER; V1: improved variety TMS 92/0057; V2: local variety Miboutou. The values followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test at ( $P < 0.05$ ).

### Effect of *Thevetia peruviana* seed extracts on the fresh shoots weight

Overall, the fresh weight of shoots increases with time in all treatments (Table 2). At 3 MAP, there is a very significant effect ( $P < 0.001$ ) between the treatments

of the two varieties. The highest fresh shoot weight is produced by TMS 92/0057 variety ( $0.98 \pm 0.08$ kg) and Miboutou variety ( $0.92 \pm 0.07$ kg) treated with acetone extract compared to the fresh shoot weight of 92/0057 variety ( $0.75 \pm 0.02$ kg) and the Miboutou

variety ( $0.80 \pm 0.06\text{kg}$ ) treated with aqueous extract. A very highly significant effect ( $P < 0.001$ ) is recorded between varieties, treatments and variety x treatment interaction at 6 MAP. The highest fresh shoot weight is recorded in plots treated with synthetic insecticide ( $1.96 \pm 0.12\text{kg}$ ) followed by plots treated with acetone extract ( $1.91 \pm 0.13\text{kg}$ ) of 92/0057 variety. For Miboutou variety, the highest shoot fresh weight is observed in plots treated with synthetic insecticide ( $2.05 \pm 0.06\text{kg}$ ) followed by plots treated with

acetone extract ( $1.97 \pm 0.13\text{kg}$ ) and plots treated with methanol extract ( $1.97 \pm 0.12\text{kg}$ ). Control plots have the lowest values ( $1.38 \pm 0.05\text{kg}$ ). At 12 MAP, there is a significant effect ( $P < 0.001$ ) between treatments and varieties ( $P < 0.01$ ).

The highest fresh shoot weight is recorded in the Miboutou variety treated with acetone extract ( $2.91 \pm 0.06\text{kg}$ ) and the lowest fresh shoot weight in the control of 92/0057 variety ( $2.06 \pm 0.08\text{kg}$ ).

**Table 2.** Effect of treatments and cassava variety on the fresh shoots weight.

Varieties	Treatments	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
V1	To	$0.82 \pm 0.07\text{abc}$	$1.38 \pm 0.05\text{b}$	$1.54 \pm 0.43\text{c}$	$2.06 \pm 0.08\text{c}$
	T1	$0.75 \pm 0.02\text{c}$	$1.45 \pm 0.14\text{b}$	$2.51 \pm 0.31\text{ab}$	$2.61 \pm 0.15\text{abc}$
	T2	$0.83 \pm 0.06\text{abc}$	$1.47 \pm 0.06\text{b}$	$2.08 \pm 0.42\text{ab}$	$2.51 \pm 0.32\text{abc}$
	T3	$0.98 \pm 0.08\text{a}$	$1.91 \pm 0.13\text{a}$	$2.71 \pm 0.16\text{ab}$	$2.80 \pm 0.31\text{ab}$
	T4	$0.94 \pm 0.05\text{ab}$	$1.96 \pm 0.12\text{a}$	$2.11 \pm 0.10\text{abc}$	$2.29 \pm 0.09\text{abc}$
Means (V1)		$0.86 \pm 0.11\text{a}$	$1.63 \pm 0.27\text{a}$	$2.19 \pm 0.49\text{a}$	$2.45 \pm 0.34\text{a}$
V2	To	$0.82 \pm 0.10\text{abc}$	$1.49 \pm 0.08\text{b}$	$2.15 \pm 0.20\text{abc}$	$2.25 \pm 0.38\text{bc}$
	T1	$0.80 \pm 0.06\text{bc}$	$1.97 \pm 0.12\text{a}$	$2.48 \pm 0.35\text{ab}$	$2.88 \pm 0.17\text{ab}$
	T2	$0.89 \pm 0.05\text{abc}$	$1.97 \pm 0.13\text{a}$	$2.75 \pm 0.21\text{ab}$	$2.84 \pm 0.49\text{ab}$
	T3	$0.92 \pm 0.07\text{abc}$	$2.05 \pm 0.06\text{a}$	$2.87 \pm 0.23\text{a}$	$2.91 \pm 0.06\text{a}$
	T4	$0.91 \pm 0.09\text{abc}$	$2.05 \pm 0.06\text{a}$	$1.98 \pm 0.52\text{bc}$	$2.65 \pm 0.27\text{abc}$
Means (V2)		$0.87 \pm 0.09\text{a}$	$1.77 \pm 0.31\text{b}$	$2.45 \pm 0.45\text{b}$	$2.71 \pm 0.35\text{b}$
Interaction		ns	***	***	ns
Treatments		***	***	**	***
Varieties		ns	***	*	**
Cv (%)		8.25	5.95	13.77	10.21

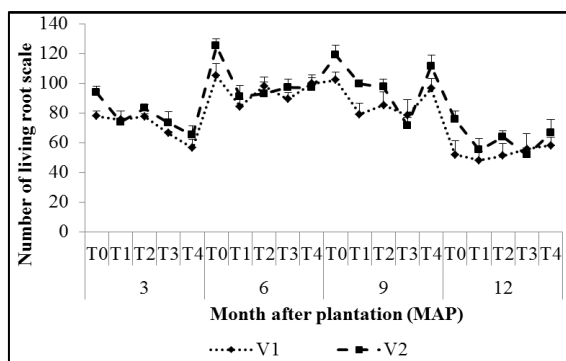
P: 0'\*\*\*' 0.001'\*\*\*' 0.01'\*\*\*' 0.05; ns: not significant; MAP: months after planting; Cv: Coefficient of variation; To: control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION-SUPER; V1: improved variety TMS 92/0057; V2: local variety Miboutou. The values followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test at ( $P < 0.05$ ).

#### *Effect of Thevetia peruviana seed extracts on the number of living root scale insects*

The results on the number of living root scale insects per plant (ARTS/P) show that it changes with the age of the cassava in the different treatments (Fig. 1). It appears that on both varieties of cassava, a high number of root scale insects is observed at 6 and 9 MAP compared to 3 and 12 MAP. At 3 MAP, there is a very significant treatment effect ( $P < 0.001$ ).

The variety effect is highly significant ( $P < 0.01$ ). At this time, the interaction is not significant ( $P < 0.05$ ). At 6 MAP, only the treatment effect is very highly significant ( $P < 0.001$ ). A high average number of root scale insects is observed on Miboutou variety (125

ARTS/P) in control plot than on the 92/0057 variety treated with aqueous extract (84.13 ARTS/P). A very highly significant effect is recorded between varieties ( $P < 0.001$ ), treatments ( $P < 0.001$ ) and variety x treatment interaction ( $P < 0.01$ ) at 9 MAP. It can be seen in the Fig. that the variety 92/0057 in plots treated with acetone extract (71.38 ARTS/P) has less root scale insects Miboutou variety in control plots (118.63 ARTS/P). At 12 MAP, the variety effect ( $P < 0.001$ ), treatment ( $P < 0.01$ ) and variety x treatment interaction ( $P < 0.05$ ) are significant. The Miboutou variety in control plots (75.63 ARTS/P) has the highest average number of root scale insects than the 92/0057 variety in plots treated with methanol extract (51 ARTS/P).



**Fig. 1.** Effect of treatments and cassava variety on the number of live root scale insect over time. T0: control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION-SUPER, V1: TMS 92/0057 variety, V2: Miboutou variety.

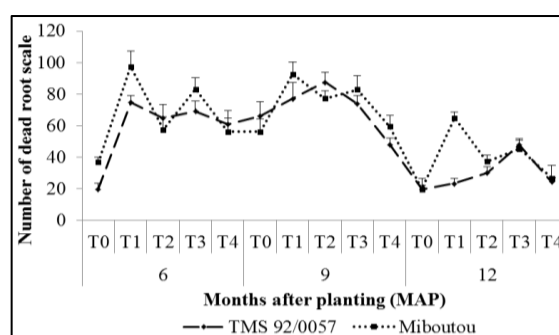
#### Number of dead root scale insect observed in the different treatments

The number of dead root scale insects varies from one treatment to another in both varieties (Fig. 2). A significant effect is observed between treatments ( $P < 0.001$ ), varieties ( $P < 0.01$ ) and variety x treatment interaction ( $P < 0.01$ ). The highest number of dead root scale insects is observed in methanol extract treatment (97.5 ARTS/P) of the Miboutou variety and the lowest in control plots (19.75 and 36.88 ARTS/P) of the 92/0057 and Miboutou variety respectively. At 9 MAP, the treatment effect ( $P < 0.001$ ) and the interaction ( $P < 0.01$ ) are significant. Plots treated with aqueous extract (92.63 ARTS/P) of the Miboutou variety have the highest number of dead root scale insects compared to plots treated with synthetic insecticide (47.88 ARTS/P) of the 92/0057 variety. At 12 MAP, a very highly significant effect ( $P < 0.001$ ) is observed between treatments, varieties and variety x treatment interaction. Miboutou variety treated with aqueous extract contains the highest number of dead root scale insects (64.88 ARTS/P) compared to 92/0057 variety in the control plots (19.63 ARTS/P).

#### Effect of *Thevetia peruviana* seed extracts on the number of tubers

Data on the number of tubers show a significant difference ( $P < 0.05$ ) between varieties at 3 MAP (Table 3). At this time, the treatments and the variety x treatment interaction have no significant effects. At

9 MAP, only the variety effect is significant ( $P < 0.01$ ). The lowest number of tubers is produced by the variety 92/0057 treated with methanol extract ( $3.13 \pm 0.47$ ) and the highest number of tubers in the Miboutou variety in control ( $6.50 \pm 1.08$ ). No significant effects between treatments and varieties were observed at 12 MAP. On the other hand, the interaction of variety x treatment is significant ( $P < 0.05$ ). The highest number of tubers is observed in the Miboutou variety treated with the synthetic insecticide ( $6.34 \pm 0.47$ ). The number of tubers varies increasingly with time in varieties and treatments.



**Fig. 2.** Effect of treatments and cassava variety on the number of dead root scale insect over time. T0: untreated control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION SUPER, V1: TMS 92/0057 variety, V2: Miboutou variety.

#### Effect of *Thevetia peruviana* seed extracts on yield

The yield of fresh tubers varies according to the sampling periods (Table 4). Only the treatment effect is significant at 6 MAP. At 9 MAP, the interaction of variety x treatment is significant ( $P < 0.001$ ), but no significant effects ( $P < 0.05$ ) are observed between varieties and treatments. The highest yield is recorded by variety 92/0057 in treated plots with acetone extract ( $13.98 \text{ t ha}^{-1}$ ) compared to Miboutou variety treated plots with acetone extract ( $7.50 \text{ t ha}^{-1}$ ) followed by 92/0057 variety in control plots ( $9.30 \text{ t ha}^{-1}$ ). At 12 MAP, the treatment effect ( $P < 0.05$ ) and the variety x treatment interaction ( $P < 0.001$ ) are observed. The lowest yield of fresh tubers is observed in control plots of the Miboutou variety ( $11.50 \text{ t ha}^{-1}$ ). The highest yields are observed in the 92/0057 variety treated plots with acetone extract ( $15.20 \text{ t ha}^{-1}$ ) and the Miboutou variety treated plots with synthetic insecticide ( $15.05 \text{ t ha}^{-1}$ ).

**Table 3.** Effect of treatments and cassava variety on the number of tubers per plant.

Varieties	Treatments	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
V1	To	2.50 ± 0.57a	2.87 ± 0.47c	4.75 ± 1.70ab	4.40 ± 0.48b
	T1	2.13 ± 0.85a	4.00 ± 0.41abc	4.50 ± 1.29ab	5.12 ± 0.63ab
	T2	1.88 ± 0.25a	4.50 ± 0.41ab	3.13 ± 0.47b	4.75 ± 0.96ab
	T3	2.13 ± 0.71a	4.63 ± 0.85a	4.87 ± 1.03ab	5.63 ± 0.75ab
	T4	2.50 ± 0.46a	3.00 ± 0.81c	4.63 ± 1.10ab	5.00 ± 0.82ab
Means (V1)		2.23 ± 0.57a	3.80 ± 0.94a	4.38 ± 1.12b	4.98 ± 0.78a
V2	To	1.63 ± 0.25a	4.25 ± 0.29abc	6.50 ± 1.08a	4.63 ± 0.75ab
	T1	1.38 ± 0.75a	4.63 ± 0.75a	5.63 ± 0.75ab	5.34 ± 0.94ab
	T2	2.00 ± 0.12a	3.13 ± 0.48bc	5.37 ± 1.10ab	5.50 ± 0.41ab
	T3	2.25 ± 0.28a	3.75 ± 0.50abc	4.38 ± 0.94ab	5.13 ± 0.85ab
	T4	2.00 ± 0.40a	3.88 ± 0.48abc	6.13 ± 0.75a	6.34 ± 0.47a
Means (V2)		1.85 ± 0.56b	3.93 ± 0.69a	5.60 ± 0.92a	5.40 ± 0.87a
Interaction		ns	***	ns	*
Treatments		ns	*	ns	ns
Varieties		*	ns	**	ns
Cv (%)		27.16	14.91	21.52	14.11

P: 0<sup>\*\*\*\*</sup> 0.001<sup>\*\*\*</sup> 0.01<sup>\*\*</sup> 0.05; ns: not significant; MAP: months after planting; Cv: Coefficient of variation; To: control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION-SUPER; V1: improved variety TMS 92/0057; V2: local variety Miboutou. The values followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test at ( $P < 0.05$ ).

**Table 4.** Effect of treatments and cassava variety on cassava yield.

Varieties	Treatments	6 MAP	9 MAP	12 MAP
V1	To	5.56 ± 0.31a	9.30 ± 1.21c	12.90 ± 1.31bc
	T1	4.89 ± 0.24a	10.55 ± 2.67bc	13.65 ± 3.13ab
	T2	5.06 ± 0.60a	10.00 ± 1.51bc	14.60 ± 2.67ab
	T3	5.42 ± 0.39a	13.98 ± 2.69a	15.20 ± 4.73a
	T4	5.39 ± 0.43a	9.38 ± 2.98bc	14.75 ± 1.94ab
Means (V1)		5.26 ± 0.39a	10.64 ± 2.21a	14.22 ± 2.75 a
V2	To	5.08 ± 0.24a	9.53 ± 1.36bc	11.50 ± 1.40c
	T1	5.09 ± 0.26a	12.58 ± 1.26ab	14.65 ± 2.47ab
	T2	5.55 ± 0.34a	9.84 ± 1.07bc	14.95 ± 2.60a
	T3	5.98 ± 0.31a	7.50 ± 1.53c	14.10 ± 2.13ab
	T4	5.69 ± 0.35a	9.53 ± 1.16bc	15.05 ± 2.20a
Means (V2)		5.48 ± 0.30a	9.79 ± 1.28a	14.05 ± 2.16a
Interaction		ns	***	***
Treatments		*	ns	*
Varieties		ns	ns	ns
Cv (%)		8.23	18.72	7.41

P: 0<sup>\*\*\*\*</sup> 0.001<sup>\*\*\*</sup> 0.01<sup>\*\*</sup> 0.05; ns: not significant; MAP: months after planting; Cv: Coefficient of variation; To: control; T1: aqueous extract; T2: methanol extract; T3: acetone extract; T4: insecticide BASTION-SUPER; V1: improved variety TMS 92/0057; V2: local variety Miboutou. The values followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test at ( $P < 0.05$ ).

## Discussion

Plant extracts used against pests in field and storage crops have shown several properties that allow them to be a part of alternative strategies to the use of synthetic pesticides (Regnault-Roger, 2008). Thus, several plants have already been the subject of work, such as *Thevetia peruviana*, whose phytochemical composition shows that the extracts of this plant are rich in coumarins, saponins, steroids, alkaloids, phenols, tannins, etc. (Hammuel *et al.*, 2011; Ngoh

dooh *et al.*, 2014). Indeed, research has demonstrated the insecticidal and repellent effect of *T. peruviana* extracts (Mollah and Islam, 2007; Akpo *et al.*, 2017; Ndongu *et al.*, 2017). The purpose of this work is to study the efficacy of aqueous and organic extracts of *Thevetia peruviana* compared to a synthetic insecticide against cassava root scale. The results showed that no significant effects were observed between treatments for stem diameter of cassava plants at 3 MAP.

This is explained by the fact that the treatments have no effect on the growth of the plants. These results are in line with the work of Mukendi *et al.* (2014) which showed that treatments with aqueous extracts of *Azadirachta indica*, *Carica papaya* and *Tephrosia vogelii* leaves against *Oothea mutabilis* do not have a significant effect on cowpea growth parameters. Similarly, no significant differences were observed between varieties. The establishment of the root system and the aerial part of the varieties covers their need for mineral elements in the soil and atmospheric carbonaceous matter, which would have contributed to the construction of their identical part. According to Indira *et al.* (2000) and Segnou (2002), the growth and development of the different (improved and local) cassava clones would not differ significantly during the first months. At 6 MAP, a significant difference is observed between varieties, treatments and variety x treatment interaction. The local variety has a larger diameter than the improved variety. These results are in agreement with the work of Ambang *et al.* (2007) which shows that the improved variety has a higher growth rate than the local variety. Differences in treatment at 9 and 12 MAP could also be explained by a high number of root scales in control plots that feed on sap at the roots and stem neck.

For the fresh weight of the shoots, the variety effect is observed. It is higher in the local variety (Miboutou) than in the improved variety (TMS 92/0057) at 3 MAP and 6 MAP. This could be explained by the capacity of the ecological environment to adapt strongly expressed by the local variety and the tolerance to root scale insect infestations in a species of mass selection by farmers. On the other hand, the improved variety requires specific environmental conditions of the experimental stations for the implementation of air coverage. According to Mbailao (2003), the improved variety requires a long time to adapt to its new environment. With regard to the treatment effect, a significant difference in the fresh weight of shoots at 3, 6, 9 and 12 MAP is observed. The fresh weight of shoots in the control is lower than in plots treated with seed extracts, probably due to heavy root scale insect infestation.

It could be assumed that infestation of plants by cassava root scale feeding at the root level would reduce their growth. Prüter and Zebitz (1991) show that field infestation by biting-sucking insect's results in a reduction in leaf area, weight and average growth rate.

The treatment effect is clearly significant on the number of live root scale insects during the four observation periods. The plants in the control plots were the most colonized. At 3 MAP, the lowest number of live root scale insects is recorded in plots treated with synthetic insecticide, followed by plots treated with *Thevetia* extracts.

The effect of the insecticide is very quickly observed at this time. Similarly, *T. peruviana* extracts are believed to play an insecticidal role against cassava root scale. Indeed, Ambang *et al.* (2011) have shown in their work that the leaves, fruits and roots of yellow oleander are considered as potential sources of biological compounds active as insecticides. Mourier (1997) shows the insecticidal effect of the aqueous extract of Neem on the mealybug (*Phenacoccus manihoti*) of cassava. At the end of 6 MAP and 9 MAP, an increase in the number of live root scale insects was observed compared to 12 MAP in all plots. Ndengo *et al.* (2016a) show in the work carried out in the Beni territory (North Kivu, DR Congo), on the influence of population density of African root and tuber scale on the yield of cassava varieties; where no treatment has been carried out that the population density of root scale insect is low at 3 MAP, and increases to 6 MAP to reach a peak before slightly decreasing to 12 MAP. The number of root scale insects varied from one variety to another. Local variety has the highest number of live root scale insects at all sampling periods (3 MAP, 6 MAP and 9 MAP).

Thus, it can be assumed that scale insect populations are oriented towards varieties according to their eating habits; similarly, the improved characteristic of TMS 92/0057 probably gives it the means of tolerance against the root scale. The results obtained by Ngeve, (2003) show that the improved clones were more tolerant to root scale insect than the local



variety. According to Ndengo *et al.* (2016b), improved cassava clones have hosted a high population of root scale insects at 6 MAP as well as 9 MAP. Results on the number of dead root scale insects showed that it was higher on the Miboutou variety than on the improved variety 92/0057 in plots treated with *Thevetia peruviana* seed extracts compared to the control. Indeed, the remarks made on the effect of *Thevetia peruviana* seed extracts would testify to their insecticidal role.

The work of Mollah and Islam (2007) showed the effectiveness of organic extracts of *Thevetia peruviana* against *Callosobruchus maculatus*. Similarly, Theurkar *et al.* (2014) showed that the aqueous extract of the leaves of *Thevetia peruviana* would have a toxic effect on the adults of *Holotrichia serrata*. In addition, it would be important to note that the number of dead root scale insects observed on both varieties could probably also be the result of the defense mechanisms developed by them in the treated plots as well as in the control, hence the difference observed.

According to Fürstenberg *et al.* (2013), it is well established that plant-insect interactions over several hundred million years have led to a process of co-evolution; this evolutionary process has allowed plants to synthesize secondary metabolites that are bioactive towards insects. It could also be assumed that over time, the interaction between the local variety Miboutou and the root scale insects has led to the secretion of allelochemical substances by the plant, in order to defend itself against the latter's attacks.

The average number of tubers varies according to varieties and time. From 3 to 12 MAP, the average number of tubers increased from 2 to 7 in the varieties and in the different treatments. At 3 MAP, the highest number of tubers is observed in the improved variety with  $2.22 \pm 0.66$  tubers compared to the local variety Miboutou with  $1.85 \pm 0.49$  tubers. This would probably result from the early release of improved varieties in tuberous root production and also from a genetically integrated program.

Recurrent selection in institutions consists in transmitting characteristics of agronomic interest from selected breeding stock to new varieties (Bakayoko *et al.*, 2012). The analysis of variance of yield shows that at 9 MAP, there are no significant effects between varieties and treatments only the interaction between variety x treatment is significant. The improved variety in plots treated with acetone extract and the local variety in plot treated with aqueous extract have the highest yields. This could probably be justified by the fact that the extracts by their insecticidal effect reduced the number of root scale insects, which infested cassava plants in these plots, thus allowing the tubers to increase in volume. According to Segnou (2002), the difference in yield of fresh tuberous root is due to the volume of the clone's leaf mass, the interception of sunlight, its photosynthetic activity and its rate of translocation of nutrient reserves.

### Conclusion

In this study, which aimed to study the effect of aqueous and organic extracts of *Thevetia peruviana* seeds against the cassava root scale in the field, it was found that extracts of *Thevetia peruviana* seeds can help reduce damage caused by the cassava root scale on plants and have significantly improved yield compared to the control in the field. The aqueous extract and acetone were the most effective in the field against this pest. The highest yields are observed in TMS 92/0057 treated with acetone extract (T3:  $15.20 \text{ t ha}^{-1}$ ) and Miboutou treated with synthetic insecticide (T4:  $15.05 \text{ t ha}^{-1}$ ). The yield of the improved variety ( $14.02 \text{ t ha}^{-1}$ ) was significantly lower than the yield of the local variety ( $14.22 \text{ t ha}^{-1}$ ). *Thevetia peruviana* seeds, through their extracts, have contributed to improving cassava production by reducing the number of cassava root scale in the field. They can therefore be used as bio-pesticides in sustainable agriculture.

### Acknowledgements

The authors are sincerely thankful to the International Institute of Tropical Agriculture for planting material provision. The authors would also like to thank the Organic Chemistry Laboratory for obtaining the organic solvent extracts.

### Competing interests

The authors declare that they have no competing interest.

### References

**Adigoun FA.** 2002. Impact of cowpea phytosanitary treatments on the environment and the health of populations: the case of Klouékanmé and the lower Ouémé valley (Benin). Professional master's thesis, University of Abomey Calavi, Benin, P 71.

**Akpo A, Chougourou DC, Osse RA, Dossou J, Akinro B, Akogbéto M.** 2017. Study on the efficacy of *Thevetia nerifolia* oil for the control of *Anopheles gambiae* S.L. resistant to Pyrethroids. European Scientific Journal **13**, 231-248.

**Ambang Z, Akoa A, Ndongo B, Nantia V, Nyobe L, Ongono YSB.** 2007. Tolerance of some cassava cultivars (*Manihot esculenta* Crantz) and wild species (*Manihot glaziovii*) to African viral mosaic disease and cassava leaf spot. Tropicicultura **25**, 140-145.

**Ambang Z, Ndongo B, Essono G, Ngoh DJP, Kosma P, Chewachong GM, Asanga A.** 2011. Control of leaf spot disease caused by *Cercospora* sp. on groundnut (*Arachis hypogaea*) using methanolic extracts of yellow oleander (*Thevetia peruviana*) seeds. Australian Journal of Crop Science **5**, 227-232.

**Ambang Z, Ndongo B, Ngoh DJP, Djilé B.** 2005. Effect of extracts of yellow laurel seeds (*Thevetia peruviana* (Pers) K. Schum on stock weevils (*Sitophilus zeamais* Motsch). Biosciences proceedings **11**, 57-83.

**Ambe JT, Ntonifor NN, Awah ET, Yanine JS.** 1999. The effect of planting dates on the incidence and population dynamics of the cassava root scale, *Stictococcus vayssierei*, in Cameroon. International Journal of Pest Management **45**, 125-130.

**Bakayoko S, Kouadio KKH, Soro D, Tschannen A, Nindjin C, Dao D, Girardin OX.** 2012. Fresh tuber yields and dry matter content of seventy new varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in central Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences **14**, 1961-1977.

**Benayad N.** 2008. Essential oils extracted from Moroccan medicinal plants: an effective means of combating pests in stored foodstuffs. University Mohammed V-Agdal, Morocco, P 61.

**Ben-Dov Y,** 1997. Diagnosis In: Ben-Dov Y, Hodgson CJ. 1997. Hodgson (Eds). Soft Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier Science B.V 3-4.

**CNRCIP.** 1989. Annual report for 1989 of the Cameroon National Root Crop Improvement Program (CNRCIP). Annual Report (BP 13, Njombe, Cameroon: IRAD Njombe).

**FAO.** 2014. Cassava pest management guide for use by cooperatives. p 11-15.

**Fürstenberg J, Zagrobelny M, Bak S.** 2013. Plant Defense against Insect Herbivores. International Journal of Molecular Science **14**, 10242-97. <https://doi.org/10.3390/ijms140510242>

**Gata-Gonçalves L, Nogueira JMF, Matos O, Bruno De Sousa R.** 2003. Photoactive Extract from *Thevetia peruviana* with antifungal properties against *Cladosporium cucumerinum*. Journal of photochemistry and photobiology **70**, 51-54.

**Hammuel C, Abdullahi MS, Mankilik M, Anyim BP, Adesina OB, Inekwe UV, Udiba UU, Batari M L.** 2011. The phytochemical and antimicrobial activities of oil from the seed of *Thevetia peruviana* plant. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences **1**, 597-601.

**Hanna R, Tindo M, Wijnans L, Goergen G, Tata Hangy K, Lema K, Toko M, Ngeve JM, Dixon A, Gockowski J.** 2004. The African root and tuber scale problem in Central Africa: the nature of the problem and the search for control options. In: Book of Abstracts of the 9th Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch, 31 October–5 November 2004, Mombasa, Kenya. P 57.

- Hillocks RJ, Thresk JM, Belloti AC.** 2002. Cassava Biology, Production and utilisation. CABI, London. P 480.
- IITA.** 1990. Cassava in Tropical Africa. A Reference Manual. IITA, Ibadan, Nigeria, P 108.
- IITA.** 2000. How to start a cassava field, a guide to IPM practice for extension workers. IITA, Ibadan, Nigeria. P 24.
- Indira J, Ekanayake D, Osiru SO, Marcio, Porto, CM.** 2000, Morphology of cassava. IITA, Ibadan, P 27.
- Kamau J, Melis R, Mark Laing, Derera J, Shanahan P, Ngugi CKE.** 2011. Farmers' participatory selection for early bulking Cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. Journal of Plant Breeding and crop sciences **3**, 44-52.
- Keita SM, Vincent C, Schmit, JP, Ramaswamy S, Belanger A.** 2000. Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Production Research **36**, 355-364.
- Legg JP, Lava Kumar P, Makesh Kumar T, Tripathi L, Ferguson M, Kanju E, Ntawuruhunga P, Cuellar W.** 2015. Cassava virus diseases: biology, epidemiology, and management. In: Loebenstein, Gad, Katis, Nikolaos I. (Eds.), Advances in Virus Research, vol. 91. Academic Press, Burlington, p 85-142.
- Lema KM, Tata-Hangy K, Bidiaka M.** 2004. Management of African root and tuber scale using improved cassava genotypes and mineral fertilisers. African Crop Science Journal, **12**, 217-221.
- Mbailao KL.** 2003. Participatory evaluation of a cassava clone (*Manihot esculenta*) in a farming environment in Tehad. P 3.
- Mollah JU, Islam W.** 2007. Toxicity of *Thevetia peruviana* (Pers) Schum. Extract to Adults of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). Agriculture Rural Development **5**, 105-109.
- Moses E, Asafu-Agyei JN, Ayueboteng F.** 2005. Disease Guide: Identification and Control of Root Rot Diseases of Cassava: Disease Guide. First year report of International Society for Plant Pathology (ISSP) Congress Challenge on the development of appropriate strategies to control cassava diseases in Ghana, p. 9.
- Moudingo EJ.** 2007. Situation of the forests in Cameroon. Cameroon Wild life Society Conservation, P 24.
- Mourrier M.** 1997. Effects of neem (*Azadirachta indica*) kernel water extracts on cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* (Horn, Pseudococcidae). Journal of Applied Entomology 231-236.
- Mukendi TD, Tshimbombo JC, Muyayabantu MG, Tshiamala NT, Kamukenzi NMA, Beya MS, Mukendi KR.** 2018. Evaluation of the optimum age of maturation of the various local and improved varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivated at Ngandajika in the Democratic Republic of Congo. Journal of Applied Biosciences **121**, 12121-12128.
- Nassar NMA, Ortiz R.** 2007. Cassava improvement: challenges and impacts. Cambridge Journal of Agricultural Science **145**, 163-171.
- Ndengo NE, Ki-Munseki AL, Hanna R, Mahungu NM, Ngbolua K.** 2016a. Influence of the population density of the African root and tuber scale insect (*Stictococcus vayssierei* Richard) on the yields of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) improved in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). International Journal of Innovation and Applied Studies **16**, 247-259.
- Ndengo NE, Ki-Munseki AL, Hanna R, Mahungu NM, Ngbolua K.** 2016b. Screening cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes for resistance to African root and tuber scale (*Stictococcus vayssierei* Richard) in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). International Journal of Innovation and Applied Studies **16**, 247-259.

- Ndongo B, Ngatsi ZP, Nguimbous LB, Ambang Z, Mounpoubeyi MN, Kutnjem D.** 2017. Effect of aqueous extracts of *Thevetia peruviana* and *Mucana Puriens* on cassava root scale (*Stictococcus vayssierei*) in field. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* **5**, 26-34.
- Ndongo B.** 1999. Leaching and spatio-temporal distribution of linuron and imidacloprid in sandy soils under potato cultivation (*Solanum tuberosum*) in Portneuf, Quebec. PhD Thesis, University of Laval. P 176.
- Ngeve JM.** 2003. The cassava root mealybug (*Stictococcus vayssierei* Richard) (Homoptera: Stictococcidae): a threat to cassava production and utilization in Cameroon. *International Journal of Pest Management* **49**, 327-333.
- Ngoh Dooh JP, Ambang Z, Ewola AT, Heu A, Kosma P, Yalen EJM, Goghomu RT.** 2015. Screening and the effect of extracts of *Thevetia peruviana* on the development of *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of cassava anthracnose disease. *Journal of Agricultural Research and Development* **4**, 54-65.
- Oji O, Okafor QE.** 2000. Toxicological studies on steam bark, leaf and seed kernel of Yellow Oleander (*Thevetia peruviana*). *Phytother Research* **14**, 133-135.
- Prüter C, Zebitz CPW.** 1991. Effects of *Aphis fabae* and *Uromyces viciae-fabae* on the growth of a susceptible and an aphid resistant cultivar of *Vicia faba*. *Annal of applied Biology* **119**, 215-226.
- Rajiv KS, George H, Upendra P, Chandrajeet K.** 2016. Embarking on second green revolution by vermiculture for production of chemical free organic foods, protection of crops and farm soils and elimination of deadly agrochemicals from earth: Meeting the challenges of food security of 21st century by earthworms-sir charles darwin's 'friends of farmers' In: *Agricultural Research Updates*, Nova Science Publishers, Inc. New York, Editors: Prathamesh Gorawala, Srushti Mandhatri, 1-49.
- Regnault-Roger C.** 2008. Research of new biopesticides of plant origin of insecticidal nature: methodological approach and application to Mediterranean aromatic plants In: *Biopesticides of plant origin*. Tec & Doc Eds. Paris, 25-49.
- Segnou.** 2002. Vegetative development and yield potential in cassava. *Tropicultura* **20**, 161-164.
- Sehgal DK.** 2012. Split plot and Strip plot design. IASRI, Library Avenue, New Delhi. 377-388.
- Stoll G.** 1994. Natural Protection of Plants in Tropical Zone. Cta. Agreco. 95-99.
- Tata-Hangy K, Hanna R, Toko M, Lema KM, Solo M.** 2006. Changes in population abundance of the African root and tuber scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Homoptera; Stictococcidae) on cassava in the bas-fleuve district in the Democratic Republic of Congo. In: Mahungu N.M., Manyong V.M., editors. *Advances in Root and Tuber Crops Technologies for Sustainable Food Security, Improved Nutrition, Wealth and Environmental Conservation in Africa*. Proceedings of 9th ISTRC-AB Symposium Mombassa, Kenya. 574-582.
- Theurkar SV, Patil SB, Ghadage MK, Bihade DN, Gaikwad AN.** 2014. Investigation on effect of *Thevetia peruviana* (Pers) on the mortality of *Holotrichia serrata* (Fab) adults (Coleoptera: Scarabaeidae). *International Research Journal of Pharmacy* **5(3)**, 212-214.
- Williams DJ, Matile-Ferrero D, Miller DR.** 2010. A study of some species of the genus *Stictococcus Cockerell* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea: Stictococcidae), and a discussion on *Stictococcus vayssierei* Richard a species injurious cassava in Equatorial Africa with a description of a new species from Nigeria. *Zootaxa* **2527**, 1-27.
- Zakari AH, Haougui A, Mergeai G, Haubruge T, Adam T, Verheggen FJ.** 2011. Insecticidal effect of *Jatropha curcas* oil on the aphid *Aphis fabae Scopoli* (Homoptera: Aphididae) and the main Insect pests associated with Cowpea (*Vigna unguiculata*) in Niger. *Tropicultura* **29**, 225-229.



# Effect of *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera: Stictococcidea) on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)

Patrice Zemko Ngatsi<sup>1\*</sup>, Bekolo Ndongo<sup>1</sup>, Désiré Anaba Manga<sup>1</sup>, Eric Biyo'a Ndongo<sup>1</sup>, Champlain Djieto-Lordon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Biology, Plant Pathology Laboratory, University of Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroon

<sup>2</sup>Department of Plant Animals, University of Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroon

## ARTICLE INFO

Article No.: 031020048

Type: Research

Accepted: 15/03/2020

Published: 22/06/2020

### \*Corresponding Author

Ngatsi PZ

E-mail: [ngatsipatrice@gmail.com](mailto:ngatsipatrice@gmail.com)

Phone: (237) 675974551

**Keywords:** Scale insect; *Manihot esculenta*; growth; yield

## ABSTRACT

Cassava cultivation faces many constraints including various pathogens and pests. Among the pests of cassava, the African Root and Tuber Scale (ARTS) *Stictococcus vayssierei* (Hemiptera: Stictococcidea) is a sap-sucking insect that colonizes tubers and roots of cassava plants in humid Central Africa. Infestation by this pest affects plant physiology and severely reduces the productivity, causing 60 to 100% yield losses in the field. The objective of this study is to evaluate the harmful effect of *S. vayssierei* on cassava yield in the field. The experiment was carried out using a completely randomized Fisher's blocs design with four replicate on six cassava varieties, four of which were improved and two local. During 12 months with a sampling interval of three months, the number of scale insects per plant, growth parameters, incidence and severity of the most important diseases, as well as yield were evaluated. As result, at 12 months after planting (MAP), the highest fresh shoot weight ( $2.69 \pm 0.43$  kg) as well as of fresh tuber yield ( $23.8 \text{ t ha}^{-1}$ ) were obtained with the local variety Douma; at opposite, the Excel variety produces the lowest fresh shoot weight ( $1.69 \pm 0.15$  kg) and yield ( $14.1 \text{ t.ha}^{-1}$ ). The average number of scale insects per plant (ARTS/P) was greater with the Excel variety (90.12 ARTS/P) and lowest on the 96/0023 variety (58.14 ARTS/P). In addition to ARTS infestation, two biotic constraints, namely cassava mosaic disease (CMD) and cassava anthracnose disease (CAD), appeared in the plots, with varying incidence and severity. Finally, it appeared that *S. vayssierei* through damage to cassava plants leads to a decrease in the productivity of cassava varieties, especially on improved varieties.

## List of Abbreviations:

**ARTS:** African Root and Tuber Scale

**MAP:** months after planting

**CMD:** cassava mosaic disease

**CAD:** cassava anthracnose disease

**ARTS/P:** number of scale insects per plant

## INTRODUCTION

The African Root and Tuber Scale (ARTS), *Stictococcus vayssierei* Richard, is one of the most harmful arthropod pests in cassava agro-systems in semi-humid forest regions in the Congo Basin (CNRCIP, 1989; Hanna et al., 2004). Probably because of its underground habitat, *S. vayssierei* is a cryptic polyphagous agricultural pest first reported in the early 1980 (Nonveiller, 1984; Dejean and Matile-Ferrero, 1996; Ambe et al., 1999; Ngeve, 2003; Tata Hangy et al., 2006). There are 16 plant species belonging to 13 families from which it draws sap from the roots to feed (Tindo et al., 2009).

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a shrub of the family Euphorbiaceae (Westphal, 1985). It is an important source of carbohydrates for more than 800 million humans across the African, American and Asian continents (Liu et al., 2011). Cassava is grown mainly for its starchy tuberous roots (20-40%), which represent an important part of industrial starch and daily food for many human and animal populations worldwide (Jose et al., 2008; Graziosi and Wyckhuys, 2017). However, its cultivation is constraint by the infestation of root scales in Central Africa. In case of severe infestations, heavy starvation of sap can lead to leaf drop, wilting, tip dieback, and eventually death of seedlings (Ngeve, 2003; Williams et al., 2010) reducing both biomass and yield, resulting in losses ranging from 60% to 100% in plantations and posing a

major threat to cassava production in Central Africa (Ngeve, 2003; Hanna et al., 2004; Lema et al., 2004; Tata-Hangy et al., 2006). Yield reduction is often the result of damage caused during the vegetative phase of the plants. It injects toxic saliva into the plant tissue when removing its food resource; this saliva affects plant tissues and can sometimes transmit various pathogens including viruses and fungi in many economically important root and tuber plants (Richard, 1971; Mutsaers et al., 1981; Tindo et al., 2006). In addition, large sap collections can increase the plant's susceptibility to disease. Therefore, the objective of this work was to evaluate the harmful effect of *S. vayssierei* on cassava yield in the field.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant material

The cassava cuttings used in the study belong to six varieties (Table 1). Four improved (TMS 96/0023 and TMS 92/0057) and (8034 and Excel) obtained from the International Institute of Tropical Agriculture and Institute of Agricultural Research for Development of Nkolbisson collections respectively and known as tolerant to cassava mosaic and two local varieties named Douma and Miboutou susceptible to cassava mosaic based on field observations and locally grown by the farmers.

**Table 1. Characteristics of cassava varieties used in this study**

Varieties	Root Color	Maturity (months)	Behaviour against diseases and pests	Yield (t ha <sup>-1</sup> )	Origin
TMS 96/0023	White	12	Resistance to : cassava mosaic, Anthracnose tolerance to green mite	18-27	IITA-Nkolbison
Excel	Brown	12	Resistance to : cassava mosaic, Anthracnose tolerance to green mite	25-30	IRAD-Ekona
TMS 92/0057	Red	12	Resistance to : cassava mosaic, Anthracnose tolerance to green mite	21-30	IITA-Nkolbison
8034	White	12	Resistance to : cassava mosaic, Anthracnose tolerance to green mite	18-30	IRAD-Ekona
Miboutou	White	12	Sensitive to mosaic	nd	Local
Douma	Red	12	Sensitive to mosaic	nd	Local

IITA: International Institute of Tropical Agriculture; IRAD: Institute of Agricultural Research for Development; nd: not determined

### Experimental design and cultural practices

The trial was conducted in a 3 year old fallow land naturally infested by the scale insect in the locality of Akonolinga (N 03°48.136' and E 012°15.518', altitude 671 m) in the Central region of Cameroon from March 2018. The fallow vegetation was cut and burnt in places when dry. This locality belongs to the agro-ecological zone V known as the bimodal rainfall zone with rainfall ranging from 1500 to 2000 mm per year. The cuttings (about 30 cm) of the six varieties of cassava were planted obliquely by pushing 2/3 into the soil using a completely randomized Fisher block design with four repetitions. Each block consisted of

six sub-plots measuring 3 m x 4 m each, 1 m apart. The sub-plots have 15 cuttings at 1 m x 0.8 m spacing (12,500 plants ha<sup>-1</sup>) (IITA, 2000). Weeding was carried out at 2, 3, 5 and 9 months after planting (MAP). No chemical pesticides or fertilizers were applied during the growth of the cassava plants.

### Parameters measured

#### Evaluation of agronomic parameters

Agronomic parameters were assessed at 3, 6, 9 and 12 months after planting (MAP). Stem diameter was measured using a caliper on three labelled plants.

Fresh shoot weight (aerial biomass of stems, leaves) and tuber weight were measured on three randomly uprooting plants and weighed using a 200 and 250 precision balance with double graduation trademark

Pesola. Tuber weights were extrapolated in tons per hectare to estimate the fresh tuber yield of the six cassava varieties using the formula of Kamau et al. (2011).

$$\text{Yield (t ha}^{-1}\text{)} = \text{tuber weight (kg/m}^2\text{)} \times 10\,000 \text{ m}^2\text{/ha} \times 1 \text{ t/1000 kg.}$$

### Evaluation of ARTS density

Cassava root scales were counted on three plants randomly sampled in the subplots by uprooting plants. All life stages (first-instar nymphs L1, second-instar nymphs L2, adults, dead individuals) of the scale were

counted on cassava stem, mother cuttings, tuberous and feeder roots of cassava at 3, 6, 9 and 12 MAP according to Ambe et al., 1999 and Ndengo et al., 2016a. Subsequently, the level of infestation was determined (Table 2) by visual estimation with a ranking on a scale index (Tertuliano, 1993).

**Table 2. Scale insect infestation index**

Index	Number of scale insects per plant	Description
1	1-25	Very low infestation
2	26-50	Low infestation
3	51-75	Average infestation
4	76-100	Heavy infestation
5	>100	Very heavy infestation

### Diagnosis, evaluation of the incidence and severity of diseases identified in the field

By removing nutrients, ARTS injects toxic saliva into the plant tissue, which can weaken the plant's defense system and promote the development of diseases. The visual diagnosis method through observations, precise comparisons of symptoms and their evolution in time and space (Renard and Foucart, 2008) has made it possible to follow the evolution of diseases in the field. Epidemiological parameters, i.e. disease incidence and severity, were assessed on plants in the field.

### Evaluation of the incidence of identified diseases

Disease incidence was estimated from the frequencies of occurrence on plants in the experimental units and was calculated by the formula proposed by Tchoumakov and Zaharova (1990):

$$I (\%) = (n / N) \times 100$$

I: incidence of disease; n: number of diseased plants; N: total number of plants

### Evaluation of the severity of diseases

Disease severity was assessed on cassava plants in the experimental units according to the Rwegasira and Rey (2012) visual rating scale of 1-5 where 1=0; 2=1-5%; 3=5-30%; 4=30-60% and 5=60-100%. Thus the severity during development was given by the formula of Tchoumakov & Zaharova (1990) which is expressed as follows:

$$S (\%) = \sum (a.b)/N$$

S (%): severity of the disease;  $\sum(a.b)$ : sum of the multiplication of the number of diseased plants (a) by the corresponding degree of infection (b) given as a percentage; N: total number of diseased plants.

### Statistical analyses

The data collected for the various parameters studied were subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA) using R software version 3.5.1. The multiple comparison tests of Tukey means at the 5% threshold followed the ANOVA when significant differences ( $p < 0.05$ ) were detected. The data are represented as means  $\pm$  standard deviation of a minimum of three replicates ( $n = 3$ ).

## RESULTS

### Agronomic parameters

Data for agronomic parameters measured at 3, 6, 9 and 12 MAP show that there is no significant difference ( $P > 0.05$ ) between varieties in mean stem diameter (

Table 3). On the other hand, fresh shoot weight and number of tubers per plant are highly significant ( $P < 0.001$ ) between varieties. The local variety Douma  $2.69 \pm 0.43$  kg produces the highest fresh shoot weight than the improved variety Excel  $1.69 \pm 0.15$  kg. The highest number of tubers  $6.08 \pm 0.43$  tubers is produced by the local variety Douma. A significant effect ( $P < 0.05$ ) was recorded between varieties with regard to yield. The highest yield was observed with the local variety Douma ( $23.8 \text{ t ha}^{-1}$ ) followed by the improved variety 96/0023 ( $21.8 \text{ t ha}^{-1}$ ). The Excel variety has the lowest yield ( $14.1 \text{ t ha}^{-1}$ ).

**Table 3. Agronomic growth and yield parameters of cassava varieties grown under the influence of *Stictococcus vayssierrei***

Varieties	Stem diameter average (cm)	Fresh shoot average (kg)	Number of tubers average	Yield (t ha <sup>-1</sup> )
92/0057	2.45±0.36a	2.01±0.11bc	4.67±0.52b	18.7±4.5ab
96/0023	2.39±0.29a	2.19±0.38abc	4.50±0.55b	21.8±5.9ab
Excel	2.09±0.22a	1.69±0.15c	4.17±0.98b	14.1±2.8b
8034	2.38±0.35a	2.46±0.25ab	5.17±0.75ab	17.7±5.7ab
Douma	2.55±0.17a	2.69±0.43a	6.08±0.49a	23.8±2.9a
Miboutou	2.29±0.24a	2.30±0.30ab	5.00±0.63ab	20.5±3.7ab
Pr(>F)	0.138ns	<0.001***	0.0006***	0.0139*

P: 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05; ns: not significant. Means followed by the same letter in the columns are not significantly different in the Tukey test ( $P < 0.05$ ).

#### Variation in the number of scale insects on the cassava varieties tested.

The number of root scales (ARTS) on cassava varieties as a function of time is recorded in Table 4. It can be seen that varieties 96/0023, 92/0057 and 8034 have an average number of scale insects between 50 and 75. On the other hand, the local's varieties Miboutou, Douma and Excel have an average number

of scale insects between 75 and 100. A very highly significant difference ( $P < 0.001$ ) is observed at 3, 6, 9 and 12 MAP. Overall, the improved variety Excel (90.12 ARTS/P) has the highest average number of scale insects, followed by the local variety Douma (83.27 ARTS/P). The improved varieties 92/0057 (65.54 ARTS/P) and 96/0023 (58.14 ARTS/P) have the lowest average number of scale insects.

**Table 4. Number of root scale insect on six cassava varieties**

Varieties	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	Means±SD
92/0057	52.67±8.82cd	92.00±7.94bc	70.92±5.92cd	46.58±3.42c	65.54±2.34d
96/0023	47.50±3.49d	66.79±3.47e	68.13±4.28d	50.13±5.17c	58.14±1.93e
Excel	78.21±8.28a	113.67±7.63a	102.83±4.14a	65.75±4.58ab	90.12±3.84a
8034	66.17±7.19ab	82.25±9.42cd	74.39±6.70cd	59.56±4.70b	70.59±1.88cd
Douma	72.83±6.21ab	104.54±9.38ab	87.21±4.76b	68.49±2.91a	83.27±3.03b
Miboutou	62.33±6.46bc	73.71±7.36de	78.75±5.18bc	70.63±5.57a	71.36±3.96c
Pr(>F)	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***

P: 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05; ns: not significant. Means followed by the same letter in the columns are not significantly different in the Tukey test ( $P < 0.05$ ).

#### Diseases observed during the experiment

Throughout the experiment, two diseases were recorded with varying incidence and severity following root scale infestation. These include cassava mosaic disease (CMD) observed only on local varieties and cassava anthracnose disease (CAD) causal agent (*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis*) observed on the six cassava varieties tested.

#### Incidence and severity of cassava anthracnose

Observations of the evolution of cassava anthracnose during the experiment on a site naturally infested with ARTS allowed measuring the incidence and severity of the disease (Fig. 1).

The variation of these two parameters as a function of time shows that they differ from one variety to another with very highly significant differences ( $P < 0.001$ ). The incidence of anthracnose increases up to 6 MAP and no longer varies up to 12 MAP. At 3 MAP, the lowest incidence of 35.24% is observed on variety 96/0023 than on variety 92/0057 (68.56%). As regards severity at this period, the variety Miboutou recorded the highest value (9.14%). At 6 and 12 MAP, all cassava plants are attacked by the disease with an incidence of 100%. However, the severity during these periods varies from one variety to another. At 6 MAP, the Excel variety had the lowest severity (11.14%). At 9 and 12 MAP, variety 96/0023 recorded the lowest severity (19.28 and 29.38% respectively) than variety Miboutou (49.87 and 62.37% respectively).



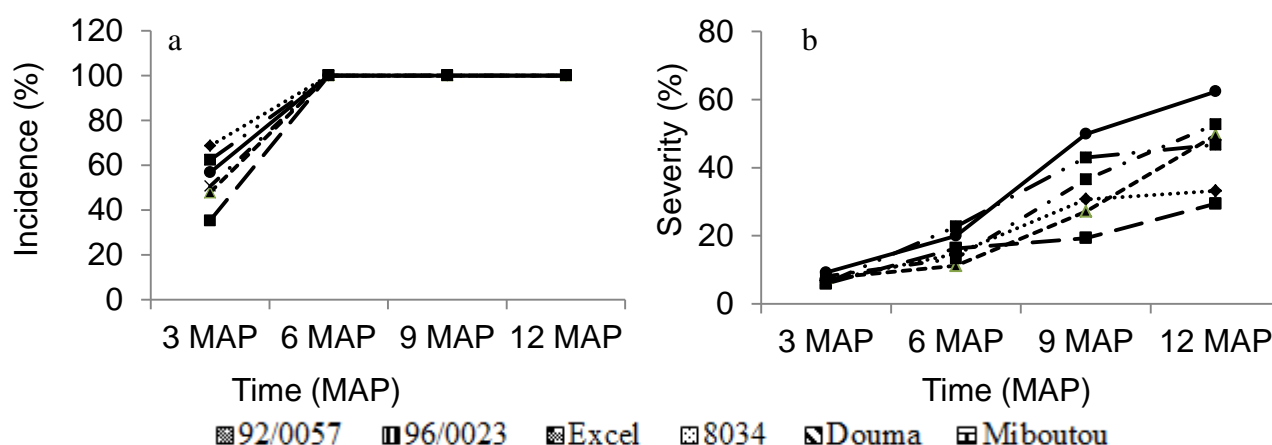


Fig. 1. Evolution of anthracnose as a function of time; a: Incidence; b: Severity.

**Incidence and severity of cassava mosaic**

The disease in the field was observed on two varieties, namely the Douma variety and the Miboutou variety (Table 5). The evolution of the incidence shows that it no longer varies from 6 MAP onwards. At 3 MAP, the

Douma variety recorded an incidence of 36.65% against 41.87% for the Miboutou variety. The severity is higher in the Miboutou variety (32.93%, 67.44%, 77.45% and 83.68%) than the Douma variety (25.54%, 63.63%, 71.13% and 74.82%) at 3, 6, 9 and 12 MAP respectively.

**Table 5. Evolution of incidence and severity of cassava mosaic disease as a function of time**

Variétés	Incidence (%)				Severity (%)			
	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP	3 MAP	6 MAP	9 MAP	12 MAP
92/0057	0 b	0 b	0 b	0 b	0 c	0 c	0 b	0 c
96/0023	0 b	0 b	0 b	0 b	0 c	0 c	0 b	0 c
Excel	0 b	0 b	0 b	0 b	0 c	0 c	0 b	0 c
8034	0 b	0 b	0 b	0 b	0 c	0 c	0 b	0 c
Douma	36.65 a	100 a	100 a	100 a	25.54 b	63.63 b	71.13 a	74.82 b
Miboutou	41.87 a	100 a	100 a	100 a	32.93 a	67.44 a	77.45 a	83.68 a
Pr(>F)	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***

P: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05; ns: not significant. Means followed by the same letter in the columns are not significantly different in the Tukey test ( $P < 0.05$ ).

**DISCUSSION**

The cassava root scale is a biting-sucking insect that feeds on the resources available in cassava roots, causing loss of vigour and weakening of the plant (Johnson, 2009). Damage caused during its feeding is not limited to specific tissues near feeding sites, but affects the entire plant causing yield losses ranging from 60 to 100% in the field (Lema et al., 2004; Tata-Hangy et al., 2006).

Results show that cassava varieties were infested differently by scale insects with variation in growth. The highest average shoot fresh weight was produced by the local variety Douma ( $2.69 \pm 0.43$  kg) compared to the improved Excel variety which produced the lowest shoot fresh weight ( $1.69 \pm 0.15$  kg). It could be hypothesized that infestation of the plants by scale insects feeding on the roots would reduce their growth. Prüter and Zebitz (1991) show that field infestation by sucking biting insect's results in a reduction in leaf area, weight and average growth rate. The reduction in growth parameters is probably caused by the removal of carbohydrates. There are two other factors that are discussed as other possible

causes of this reduction. One is a change in the well-source ratio in favour of sucking biting insects (Mallot and Davy, 1978), and the other is the excretion, with the saliva of sucking biting insects, of toxic or phytohormone-like compounds (Miles, 1987). In addition, damage caused by the scale insect at the root can impair the uptake of energy-dependent minerals and lead to a reduction in nutrient supply, thus indirectly affecting plant growth (Hawkins et al., 1986; Prüter and Zebitz 1991).

The average tuber number and yield are better for the local variety Douma  $6.08 \pm 0.49$  tubers and  $23.8 \text{ t ha}^{-1}$  respectively. In general, the improved varieties showed a low yield compared to the local varieties regardless of the damage observed. In addition, the yield of these varieties was not close to the yields expected from the experimental stations. This could be justified by the presence of scale insects that feed at the roots of the plants. Ndengo et al. (2016a) obtained similar results in the study on the influence of the population density of ARTS on the yield of cassava varieties in the Democratic Republic of Congo. These authors showed that local varieties were more tolerant to root scale attacks than improved varieties, resulting

in higher yields. According to Schulthess et al. (1991), high densities of biting sap-sucking insects generally show adverse effects on crop yields.

The number of root scale insects on cassava varieties varies with time. This number is high at 6 and 9 MAP compared to 3 and 12 MAP. Indeed, Ndengo et al. (2016a,b) showed in their work that a high number of ARTS is observed at 6 MAP. On the other hand Lema et al. (2004) show that a peak of ARTS infestation on the different cassava genotypes is observed at 9 and 12 MAP. The improved variety Excel and the local variety Douma recorded the highest average number of scale insects than the improved variety 96/0023. This could be explained by the fact that the screened varieties do not have the same genetic heritage and therefore do not develop the same defense mechanisms influencing the root scale fixing behaviour.

All varieties were infested with varying incidence and a ranking according to the level of infestation in ARTS was established. Screening did not reveal any cassava varieties that were fully resistant to *S. vayssierei*. Infested varieties (TMS 96/0023 and TMS 92/0057), moderately infested varieties (Miboutou and 8034) and heavily infested varieties (Excel and Douma) were found. Le Rü et al. (1991); Tertuliano (1993) showed that not all cassava varieties sifted in the field against the cassava mealybug (*Phenacoccus manihoti*) are fully resistant, but earlier partially resistant.

By removing its nutritive resource, ARTS injects into the plant tissues toxic saliva that can weaken the plant's defense system, hence the observation of certain diseases with variable incidence and severity. During the experiment, two of the most important diseases (Cassava Mosaic Disease and Cassava Anthracnose Disease) were observed at the site. The importance of CMD attack is related to the susceptibility of the local variety. According to the results of Fokunang et al. (2000), in field trials, the severity of Anthracnose and cassava mosaic disease depends on the susceptibility or resistance of the host plant. The incidence and severity of Cassava Anthracnose Disease on all screened cassava varieties ranged from 3 to 9 MAP. Maho (2017) shows in his work that improved and local varieties of cassava were severely attacked by Anthracnose.

## CONCLUSION

The damage caused by *S. vayssierei* is observable on the growth and yield of the cassava varieties used. In addition to feeding on the underground parts of the cassava plants, it causes loss of vigour, hence the low yields obtained. The improved Excel variety is the least productive and relatively more infested (90.12 ARTS/P). In addition to root scale infestation, two diseases were observed in the plots, with varying incidence and severity. These are cassava anthracnose observed on all varieties and cassava mosaic observed only on local varieties.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are sincerely thankful to the International Institute of Tropical Agriculture and Institute of Agricultural Research for Development for planting material provision.

## COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interest.

## REFERENCES

- Ambe JT, Ntonifor NN, Awah ET, Yanine JS (1999). The effect of planting dates on the incidence and population dynamics of the cassava root scale, *Stictococcus vayssierei*, in Cameroon', International Journal of Pest Management. 45: 125-130.
- CNRCIP. (1989). Annual report for 1989 of the CAMEROON NATIONAL ROOT CROP IMPROVEMENT PROGRAM (CNRCIP). Annual Report (BP 13, Njombe, Cameroon: IRAD Njombe).
- Dejean A and Matile-Ferrero D (1996). How a ground-dwelling forest ant species favors the proliferation of an endemic scale insect (Hymenoptera: Formicidae; Homoptera: Stictococcidae). Sociobiology. 28: 183-195 Biology 56: 481-501.
- Fokunang C.N, Dixan AGO and Akem CN (2000). Field reaction of cassava genotypes to anthracnose, bacterial blight, cassava mosaic disease and their effects on yield. Africa Crop Science Journal, 8 (2): 179-186.
- Graziosi I and Wyckhuys KAG (2017). Integrated management of arthropod pests of cassava: the case of Southeast Asia. In Hershey C (ed.), Achieving Sustainable Cultivation of Cassava, vol II. Cambridge: Burleigh Dodds, pp. 1–26.
- Hanna R, Tindo M, Wijnans L, Goergen G, Tata Hangy K, Lema K, Toko M, Ngeve JM, Dixon A, Gockowski J (2004). The African root and tuber scale problem in Central Africa: the nature of the problem and the search for control options. In: Book of Abstracts of the 9th Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch, 31 October–5 November 2004, Mombasa, Kenya. 57 p.
- Hawkins CDB, Whitecross MI and Aston MJ (1986). Interactions between aphid infestation and plant growth and uptake of nitrogen and phosphorous by three leguminous host plants. Canadian Journal of Botany 64, 2362-2367.
- International Institute of Tropical Agriculture, (2000). How to start a cassava field, a guide to IPM practice for extension workers. IITA, Ibadan, Nigeria. 24 p.
- Johnson PJ 2009. Mealybugs on orchids. American Orchid Society, Available online at <https://www.aos.org/Default.aspx?id=511>

- Jose A, Makeskumar T and Edison S (2008). Host Range of Sri Lankan Cassava Mosaic Virus. *Journal of Root Crops*, 2008, Vol. 34 No, 1, PP, 21-25, (34 1): 21-25.
- Kamau J, Melis R, Mark-Laing, Derera J, Shanahan P, Ngugi CKE (2011). Farmers 'participatory selection for early Bulking Cassava genotypes in semi-arid Eastern Kenya. *Journal of Plant Breeding and crop sciences*. 3: 44-52.
- Le Rü B, Tertuliano M, et Calatayud PA (1991). Les différentes catégories de résistance des plantes-hôtes de la cochenille du manioc *Phenacoccus manihoti* (Hom. Pseudococcidae): Perspectives d'études. Résumé du 4ème Atelier du Réseau CORAF Manioc : Biocénose des principaux ravageurs du manioc et lutte biologique. IITA Bénin- Cotonou, 4-9 mars 1991. (Sous presse).
- Lema KM, Tata-Hangy K, Bidiaka M (2004). Management of African root and tuber scale using improved cassava genotypes and mineral fertilisers African Crop Science Journal. 12: 217-221.
- Liu J, Zheng Q, Ma Q, Gadidasu KK. and Zhang P (2011). Cassava genetic transformation and its application in breeding. *Journal of Integrative Plant Biology*. 53 (7): 552–569.
- Maho YEJ (2017). Epidémiologie de l'antracnose sur quelques variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et caractérisation de *collectotrichum gloeosporioides* agent causal de la maladie au Cameroun. Thèse Ph.D. Université de Yaoundé I. 162 p.
- Mallot PG, and Davy AJ (1978). Analysis of effects of the bird cherry-oat aphid on the growth of barley. Unrestricted infestation. *New Phytologist* 80: 209-218.
- Miles PW (1987). Feeding process of Aphidoidea in relation to effects on their food plants. In *Aphids: their biology, natural enemies, and control*, pp. 321-339. Eds A. K. Minks and P. Harrewijn. Amsterdam : Elsevier Science Publishers B.V.
- Mutsaers H, Mbouémboué P, Mouzong B (1981). Traditional food crop growing in the Yaoundé area (Cameroun). Part I. Synopsis of the system Agro-Ecosystems. 6: 87-273.
- Ndengo NE, Ki-Munsek, AL, Hanna R, Mahungu NM, Ngbolua K (2016a). Influence of the population density of the African root and tuber scale insect (*Stictococcus vayssierei* Richard) on the yields of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) improved in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 16: 247-259.
- Ndengo NE, Ki-Munsek, AL, Hanna R, Mahungu NM, Ngbolua K (2016b). Screening cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) genotypes for resistance to African root and tuber scale (*Stictococcus vayssierei* Richard) in different Agro-ecological zones of Beni (North Kivu, DR Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 16: 247-259.
- Ngeve JM (2003). The cassava root mealybug (*Stictococcus vayssierei* Richard) (Homoptera: Stictococcidae): a threat to cassava production and utilization in Cameroon, *International Journal of Pest Management* 49: 327-333.
- Nonveiller G (1984). Catalogue des insectes du Cameroun d'intérêt agricole. Beograd: Institut pour la Protection des Plantes, Mémoires XV.
- Prüter C and Zebitz CPW (1991). Effects of *Aphis fabae* and *Urumyces viciae-fabae* on the growth of a susceptible and an aphid resistant cultivar of *Vicia faba*. *Ann. appl. Biol.*, 119: 215-226.
- Rwegasira GM. and Rey CME (2012). Response of selected cassava varieties to incidence and severity of cassava brown streak disease in Tanzania. *Journal of Agricultural Science*, 4 (7): 237-245.
- Renard F et Foucart G (2008). Les maladies foliaires de la fin de végétation en culture de maïs. CIPF-Centre pilote en culture de maïs. Laboratoire d'Ecophysiologie et d'Amélioration Végétale. UCL-Louvain-la-Neuve. 6 p.
- Richard C (1971). Contribution à l'étude morphologique et biologique des Stictococcinae [Hom. Coccoidea]. *Annales de la Société Entomologique de France* 7: 571–609.
- Schulthess F, Baumgartner JU Delucchi V and Gutierrez AP (1991). The influence of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti* Mat.-Ferr. (Hom., Pseudococcidae) on yield formation of cassava, *Manihot esculenta* Crantz. *Journal of Applied Entomology* 111: 155-165.
- Tata-Hangy K, Hanna R, Toko M, Lema KM, Solo M (2006). Changes in population abundance of the African root and tuber scale *Stictococcus vayssierei* Richard (Homoptera; Stictococcidae) on cassava in the bas-fleuve district in the Democratic Republic of Congo. In: Mahungu N.M., Manyong V.M., editors. *Advances in Root and Tuber Crops Technologies for Sustainable Food Security, Improved Nutrition, Wealth and Environmental Conservation in Africa*. Proceedings of 9th ISTRC-AB Symposium Mombassa, Kenya. 574-582.
- Tchumakov EE et Zaharova I.I (1990). Influence et statistique du développement des maladies. In : *dommages causées par les maladies aux cultures agricoles*. Edition Agroprome, Moscou, pp 5-60.
- Tertuliano M, (1993). Résistance du manioc à la cochenille farineuse *Phenacoccus manihoti* (Homoptera : Pseudococcidae) : rôles de quelques composés chimiques foliaires. Thèse de doctorat. Université de Rennes 1. 85 p.
- Tindo M, Hanna R, Goergen G, Zapfack L, Tata-Hangy K, Attey A (2009). Host plants of *Stictococcus vayssierei* Richard (Stictococcidae) in non-crop vegetation in the Congo Basin and implications for developing scale management options, *International Journal of Pest Management*, 55 (4): 339-345.
- Tindo M, Doumtsop A, Goergen G and Hanna R (2006). Morphological description and illustration of female developmental stages of *Stictococcus vayssierei* (Homoptera: Stictococcidae). *International Journal of Tropical Insect Science*. 26 (2): 126-133.

Westphal E (1985). Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun. Ed PUDOC, Wageningen-Netherlands. pp. 119-163

Williams DJ, Matile-Ferrero D and Miller DR (2010). A study of some species of the genus *Stictococcus* Cockerell (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea:

Stictococcidae), and a discussion on *Stictococcus vayssierei* Richard a species injurious cassava in Equatorial Africa with a description of a new species from Nigeria. Zootaxa. 2527: 1-27.

**Cite this Article:** Ngatsi PZ; Ndongo B; Manga DA; Ndongo EB; Djieto-Lordon C (2020). Effect of *Stictococcus vayssierei* Richard (Hemiptera: Stictococcidea) on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Greener Journal of Agricultural Sciences* 10(2): 95-102.