

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, HEALTH  
& ENVIRONMENTAL SCIENCES*

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES**

*DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY*

**Evaluation de l'efficacité de *Beauveria bassiana*, des  
extraits des graines de *Thevetia peruviana* et  
d'*Azadirachta indica* contre *Hypothenemus hampei***

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

Option : **Biotechnologies Végétales**

Par :

**MANGA ESSOUMA François Raoul**

Matricule : 06Q951

*Master ès Sciences en Biotechnologies Végétales*

*Master Professionnel en Agroforesterie*

*Master Professionnel en Propriété Intellectuelle*

Sous la direction de :

**AMBANG Zachée**

*Professeur*



**Année académique 2022**

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 OF RESEARCH AND TRAINING IN GRADUATE STUDIES IN LIFE, HEALTH &  
ENVIRONMENTAL SCIENCES*

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES**

*DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY*

**Evaluation de l'efficacité de *Beauveria bassiana*, des  
extraits des graines de *Thevetia peruviana* et  
d'*Azadirachta indica* contre *Hypothenemus hampei***

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

Option : **Biotechnologies Végétales**

Par :

**MANGA ESSOUMA François Raoul**

Matricule : 06Q951

*Master ès Sciences en Biotechnologies Végétales*

*Master Professionnel en Agroforesterie*

*Master Professionnel en Propriété Intellectuelle*

Sous la direction de :

**AMBANG Zachée**

*Professeur*

**Année académique 2022**

REPUBLIQUE DU CAMEROUN  
Paix-Travail-Patrie  
.....  
UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
.....  
FACULTE DES SCIENCES  
.....  
CENTRE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES  
DE LA VIE, SANTE ET ENVIRONNEMENT  
.....  
B.P. 3851, Messa, Yaoundé  
Tel/Fax : 242 23 74 29  
E-mail : cbtuy1@gmail.com



REPUBLIC OF CAMEROON  
Peace-Work-Fatherland  
.....  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
.....  
FACULTY OF SCIENCE  
.....  
CENTRE FOR RESEARCH AND TRAINING  
IN GRADUATE STUDIES IN LIFE, HEALTH  
& ENVIRONMENTAL, SCIENCES  
.....  
P.O Box. 3851, Messa, Yaoundé  
Tel/Fax : 242 23 74 29  
E-mail : cbtuy1@gmail.com

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES  
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY  
.....

ATTESTATION DE CORRECTION  
.....

Noms et prénoms du candidat : MANGA ESSOUMA François Raoul

Matricule : 06Q951

Thème : « Evaluation de l'efficacité de *Beauveria bassiana*, des extraits de *Thevetia peruviana* et *Azadirachta indica* contre *Hypothenemus hampei* ».

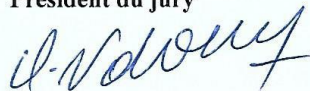
Date de soutenance publique : Jeudi 07 avril 2022

Nous membres du jury, après avoir lu le document de thèse de Doctorat/Ph.D qui nous a été présenté par le candidat, attestons qu'il a effectué toutes les corrections, conformément aux observations et recommandations formulées lors de la soutenance de ladite thèse.


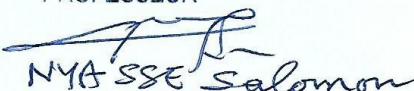
En foi de quoi, la présente attestation de correction lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit. /-

Fait à Yaoundé, le 13 MAI 2022

Président du jury

  
Omokole Ndoumou Denis  
Professeur

Membres du jury

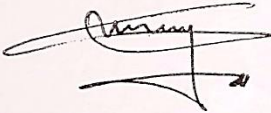
  
Bell Joseph Martin  
PROFESSEUR  
  
NYA SSE Salomon

## DECLARATION SUR L'HONNEUR

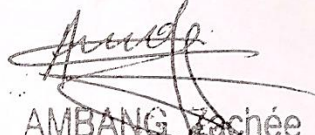
Par la présente, moi Monsieur **MANGA ESSOUMA François Raoul**, matricule **06Q951**, atteste sur l'honneur que cette thèse rendue, est le fruit de ma réflexion personnelle et a été rédigée de manière autonome. Elle a été dirigée par Monsieur **AMBANG Zachée**, Professeur et enseignant à la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I.

Je certifie que toute formulation, idée, recherche, raisonnement, analyse ou autre création empruntée à un tiers est correctement et consciencieusement mentionnée comme telle, de manière claire et transparente, de sorte que la source en soit immédiatement reconnaissable, dans le respect des droits d'auteur et des techniques de citations. Je prends note que le plagiat est considéré comme une faute grave au sein de l'Université et certifie que cette thèse est authentique et n'a jamais fait l'objet d'un travail de thèse antérieure.

Nom et signature de l'auteur :

MANGA ESSOUMA François R.  



Visa du Directeur de thèse :

  
AMBANG Zachée  
Professeur

Lieu et date :

Yaoundé, 26/11/2021

## 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
<b>LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS</b>		<b>LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF</b>

**ANNÉE ACADEMIQUE 2021/2022**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION 22 septembre 2021**

### ADMINISTRATION

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

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

**VICE-DOYEN / DSSE** : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

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

**Chef Division Administrative et Financière** : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal,  
*Maître de Conférences*

**Chef Division des Affaires Académiques, de la Sclarité et de la Recherche DAASR** :  
AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

### 1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (37)

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DAIGA 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	Chef de Département
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	ATOGHOU Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUÉ Marceline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
17	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
18	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
19	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
20	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
21	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
22	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
23	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
24	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
25	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
25	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
26	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
27	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste

28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	KOTUE TAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
30	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
31	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
32	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
33	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
33	FOUPOUPOUOGNIGNI Yacouba	Assistant	En poste
34	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Assistant	En poste
35	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
36	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
37	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste
<b>2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (52)</b>			
1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>Vice Doyen/FMSB/UII</i>
7	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
9	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
10	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
11	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
12	NOLA Moïse	Professeur	En poste
13	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
14	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
15	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	<i>En poste</i>
16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
19	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
21	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
22	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
23	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
24	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
25	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
26	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
27	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
28	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
29	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
30	KANDEDA KAVAYE Antoine	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	METCHI DONFACK MIREILLE FLAURE EPSE GHOUMO	Chargé de Cours	En poste

34	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
35	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
36	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
37	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
38	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
39	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
40	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
41	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
42	YEDE	Chargé de Cours	En poste
43	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
44	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
45	FEUGANG YOUMSSI François	Assistant	En poste
46	FOKAM Alvine Christelle Epse KEGNE	Assistante	En poste
47	GONWOUO NONO Legrand	Assistant	En poste
48	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
49	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
50	MAPON NSANGOU Indou	Assistant	En poste
51	NWANE Philippe Bienvenu	Assistant	En poste
52	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste
<b>3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)</b>			
1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MBOLO Marie	Professeur	En poste
5	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
6	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
7	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
8	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
10	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	CT/ MINESUP
12	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	CE / MINRESI
13	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
14	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	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	Chargé de Cours	En poste
18	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
19	GONMADGE CHRISTELLE	Chargée de Cours	En poste
20	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
21	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
22	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
23	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
24	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
25	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargé de Cours	En poste
26	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
27	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Assistant	En poste

28	KABELONG BANAHO Louis-Paul-Roger	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	Assistant	En poste
<b>4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (32)</b>			
1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	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	<i>CT MINRESI</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UDs</i>
10	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
1	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
12	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
13	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
20	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
21	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
22	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
23	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
24	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
25	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
26	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
27	NEBAH née NDO SIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINPROFF
28	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
29	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
30	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
31	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
32	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste
<b>5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (40)</b>			
1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/FSE/UYI
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvére Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste



5	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP/ Chef de Département</i>
6	WANDJI Jean	Professeur	En poste
7	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DPSAA
8	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
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	KENMOGNE 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	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	C.E/ MINESUP
20	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	C.S/ MINESUP
21	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
22	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
23	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
24	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
25	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
26	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
27	ZONDEGOUNBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste
28	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
29	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
30	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
31	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
32	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
33	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
34	MUNVERA MFIFEN Aristide	Assistant	En poste
35	NONO NONO Éric Carly	Assistant	En poste
36	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Assistante	En poste
37	TCHAMGOUE Joseph	Assistant	En poste
38	TSAFFACK Maurice	Assistant	En poste
39	TSAMO TONTSA Armelle	Assistante	En poste
40	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste
<b>6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)</b>			
1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i>
3	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
4	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
5	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
6	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
7	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
8	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
10	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste

11	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
12	OLE OLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	Directeur adjoint Enset. Ebolowa
13	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
14	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
15	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
16	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
17	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
18	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
19	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
20	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	En poste
21	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
22	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste
<b>7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (35)</b>			
1	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	Chef de Département
2	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>Inspecteur MINESUP</i>
3	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
4	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
7	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef service des programmes &amp; Diplômes/FS/Uyi</i>
8	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
9	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste
10	BOGSO ANTOINE MARIE	Chargé de Cours	En poste
11	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
12	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
15	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
16	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
19	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
20	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
21	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
22	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
23	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
24	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargé de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
26	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
27	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
28	LOUMNGAM KAMGA Victor	Assistant	En poste
29	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
30	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
31	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
32	OGADOA AMASSAYOGA	Assistant	En poste

33	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
34	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste
<b>8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (21)</b>			
1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste
4	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
7	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
8	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
9	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
10	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
11	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
12	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
14	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
15	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
16	MEYIN A EBONG Solange	Assistante	En poste
17	MONI NDEDI Esther Del Florence	Assistante	En poste
18	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
19	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
20	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Assistante	En poste
21	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste
<b>9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (44)</b>			
1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	DJUIDJE KENMOE Epse. ALOYEM	Professeur	En poste
3	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. UN</i>
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
6	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
9	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
12	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen FS Univ/Bda
13	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
17	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste

22	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
23	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
25	SAIDOU	Maître de Conférences	Chef de centre/IRGM/MINRESI
26	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>
30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
32	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
33	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
34	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
35	MELI'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
36	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
37	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmelima
38	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
39	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
40	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Assistante	En poste
41	LAMARA Maurice	Assistant	En poste
42	OTTOU ABE Martin Thierry	Assistant	En poste
43	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
44	WANDJI NYAMSI William	Assistant	En poste
<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)</b>			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
3	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NGOS III Simon	Professeur	En poste
6	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
7	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
8	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
9	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
10	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
11	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
12	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
13	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
14	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
15	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
16	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
17	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	<i>Chef service Maintenance &amp; du Matériel/UYII</i>
18	TCHAKOUNTE J. épouse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste

21	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. /MINTP</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	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
28	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
29	LAMILEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MAMDEM TAMTO LIONELLE ESTELLE	Chargé de Cours	En poste
31	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de Cours	En poste
32	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
33	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
34	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	<i>CD/Uma</i>
35	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
36	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
37	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
38	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
39	TCHAPCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
40	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
41	TEMGA Jean Pierre	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	8 (01)	14 (10)	13 (05)	05 (02)	<b>40 (18)</b>
BPA	15 (01)	8 (06)	19 (06)	10 (03)	<b>52 (16)</b>
BPV	07 (01)	9 (01)	10 (08)	07 (01)	<b>33 (11)</b>
CI	10 (01)	09 (02)	10 (02)	03 (0)	<b>32 (5)</b>
CO	6 (0)	21 (05)	05 (02)	08 (02)	<b>40 (9)</b>
IN	2 (0)	1 (0)	12 (01)	07 (00)	<b>22 (1)</b>
MAT	2 (0)	7 (0)	15 (01)	09 (02)	<b>33 (7)</b>
MIB	3 (0)	5 (03)	06 (01)	06 (02)	<b>20 (6)</b>
PHY	15 (0)	14 (02)	09 (03)	08 (03)	<b>46 (8)</b>
ST	7 (1)	15 (01)	19 (06)	02 (0)	<b>43 (8)</b>
<b>Total</b>	<b>75 (5)</b>	<b>103 (30)</b>	<b>118 (35)</b>	<b>65 (15)</b>	<b>361 (89)</b>

Soit un total de **361 (89)** dont :

- Professeurs **75 (5)**
- Maîtres de Conférences **103 (30)**
- Chargés de Cours **118 (35)**
- Assistants **65 (15)**

( ) = Nombre de Femmes **89**

# **DEDICACE**

À

Mes feus parents

NGONO Marie Jeanne et BIVINA ESSOUMA Jean Paul

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le concours d'un certain nombre de personnes de bonne volonté. L'occasion est plus qu'opportune de signifier une profonde gratitude à tous ceux-là qui ont contribué de quelque manière que ce soit au bon déroulement de ce travail. Qu'il me soit permis d'adresser plus particulièrement des remerciements à :

- Pr. YOUMBI Emmanuel, Chef du Département de Biologie et Physiologie Végétales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé 1 (UY1), pour l'organisation pédagogique, son engagement pour la pérennité de l'esprit scientifique au sein du Département ;
- Pr. AMBANG Zachée, Directeur de cette thèse, pour avoir accepté de superviser ce travail, pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique, ses encouragements et ses conseils. Merci beaucoup Professeur pour mon adoption auprès de vous depuis le cycle de Master ;
- Pr. MALA Armand William, Maître de Conférences, pour les multiples conseils et accompagnement depuis le cycle de Master. Merci pour la relecture profonde de ce document. Un très grand merci aussi pour m'avoir motivé et accompagné pour l'obtention de la bourse de l'International Foundation for Science (IFS) ;
- tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'UY1, pour la formation qu'ils m'ont apportée depuis mon entrée à l'université, et leur dévouement à faire des étudiants en BOV, de véritables scientifiques et chercheurs ;
- l'International Foundation for Science (IFS) et le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), pour les financements octroyés qui ont grandement permis la réalisation de ce travail. Merci infiniment pour ce que vous faites pour la science et la recherche dans le monde ;
- Dr. WOIN Noé, Directeur de Recherche et Directeur Général de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), pour son assistance multiforme envers les jeunes chercheurs ;
- Dr. NGOME AJEBESONE Francis Emmanuel, Directeur de Recherche, Directeur Général Adjoint et Directeur de la Recherche Scientifique à l'IRAD, pour son assistance multiforme ;
- Dr. BEGOUDE BOYOGUENO Aimé Didier, Directeur de Recherche et Chef de la Division de Biodiversité et Environnement à l'IRAD, pour tout le suivi, soutien et encouragement dans ma carrière de chercheur à l'IRAD et la réalisation de cette thèse. Grâce à vous, j'ai pu m'épanouir professionnellement au sein de l'IRAD et concilier travail et étude académique ;
- Dr. NDO Eunice Golda Danièle Epse MFOU, Maître de Recherche et Chef de Centre de Recherche Agricole de l'IRAD de Mbalmayo, pour les conseils, l'intégration et l'obtention du financement auprès du DP-Agroforesterie/CIRAD ;
- Dr. TATA Precillia IJANG Epse NGOME, Maître de Recherche à l'IRAD, pour ses encouragements et conseils pendant la réalisation de cette thèse ;
- Dr. EHABE Eugène, Directeur de Recherche et Chef de Division des Politiques et de la Programmation à l'IRAD, pour ses conseils ;
- Dr. EFOMBAGN Bruno, Directeur de Recherche et Chef de la Cellule de Conservation des Ressources Génétiques à l'IRAD, pour son soutien dans la réalisation des travaux et la gestion du financement IFS ;
- à mes collègues de l'IRAD, M. VOULA Valteri Audrey, M. MESSI AMBASSA Lin Marcellin, Mme LOMBEKO OBE Victorine Epse MANGAMBA, M. NSOUNGA

AMOUGOU Romuald Fidèle, pour leurs encouragements et conseils dans la réalisation de ce travail et dans mon service ;

- tout le personnel chercheur et non-chercheur de l'IRAD pour tout leur soutien multiforme, pour mon épanouissement professionnel et même académique ;

- Dr. HARMAND Jean Michel, Maître de Recherche et Responsable du DP-Agroforesterie au CIRAD/ICRAF, pour l'octroi du financement au DP-Agroforesterie du CIRAD et le suivi des activités de recherche ;

- Madame MEJANE EKANE Carole, Assistant de laboratoire à l'Institut International pour la recherche dans l'Agriculture Tropicale (IITA) et étudiante en cycle de Doctorat à l'UY1. Merci pour tout ton soutien multiforme qui a permis la réalisation de ce travail même pendant les périodes difficiles ;

- Dr. MVONDO NGANTI Dorothée, pour la relecture et son immense participation dans la réalisation et l'aboutissement de cette thèse. Reçois ici tous mes remerciements ;

- Dr. KONE NSANGO Abdou, Chargé de Cours (CC) à l'université de Dschang, et Dr. HEU Alain, CC à l'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) d'Ebolowa, pour leur grande participation pour le travail de terrain et la relecture du document ;

- Dr. NGOH DOOH Jules P., Chargé de Cours à l'université de Maroua, pour la relecture du manuscrit ;

- Mademoiselle ASSENA Laure Huguette, stagiaire encadrée dans ce travail pour l'obtention de son master. Merci pour ton assiduité et soutien dans ce travail ;

- tous mes camarades du Laboratoire de Phytopathologie du DBPV de l'Université de Yaoundé 1 et tous mes camarades de promotion du cycle doctorat, la vie au quotidien n'était pas toujours facile mais une pensée vous est adressée ;

- mes feus parents NGONO Marie Jeanne Epse ESSOUMA et BIVINA ESSOUMA Jean Paul, pour leurs sacrifices et éducation pour que je sois un homme stable et un modèle dans la société. Merci infiniment pour votre soutien inestimable ;

- mon épouse, Mme EMVOUTOU KATYA Francine E., Chef de la Cellule des Affaires Juridiques et du Contentieux à l'IRAD, pour le soutien moral, le réconfort, les sacrifices consentis et la confiance qu'elle a su me donner. Chère, délicate et tendre bien aimée, reçois ici ma plus grande reconnaissance et mes sincères excuses pour les multiples absences ;

- mes enfants, merci d'avoir fait de moi un père heureux ;

- mes oncles MBOULI Albert Bienvenu, BIVINA BIVINA Zéphirin, ESSOMBA BIVINA Baltazar, OWONA MBOULI, MENDOUGA Roger, ma tante MEMONG Jeanne Epse MONOVENG pour leurs conseils et leur soutien inconditionnel pour ma stabilité sociale ;

- M. YINDE Pierre de Doumé, M. MOUAFFO Jean de Bamendjou, Mme KAMGUE Rebecca, M. KOUONGUN et M. MOKAM Christian de Melong, pour leur hospitalité, leur disponibilité et la mise à notre disposition de leurs cafésières ;

- tous les producteurs de café de Doumé/Abong-Mbang, Melong et Bamendjou pour l'hospitalité, la collaboration et la disponibilité ;

- tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à la réalisation de ce travail et dont les noms ne sont pas cités ici, recevez mes remerciements les plus sincères.



## TABLE DES MATIERES

LISTE PROTOCOLAIRE .....	i
DEDICACE .....	x
REMERCIEMENTS .....	xi
TABLE DES MATIERES .....	xiii
LISTE DES FIGURES .....	xvi
LISTE DES TABLEAUX.....	xviii
LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS.....	xix
LISTE DES ANNEXES .....	xxi
RESUME .....	xxii
ABSTRACT.....	xxiv
INTRODUCTION .....	1
1. Contexte, justification et problématique .....	1
2. Questions, hypothèses et objectifs de l'étude .....	5
3. Intérêts de l'étude.....	6
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE.....	8
I.1. Présentation du Caféier, <i>Coffea</i> sp.....	8
I.1.1. Origine et distribution du caféier dans le monde.....	8
I.1.2. Distribution du café au Cameroun .....	9
I.1.3. Biologie du caféier.....	10
I.1.4. Importance du café .....	14
I.1.5. Contraintes phytosanitaires du caféier.....	15
I.2. Scolyte ou foreur des baies de café ( <i>Hypothenemus</i> spp.).....	16
I.2.1. Biologie du scolyte .....	16
I.2.2. Dégâts causés par le scolyte .....	18
I.2.3. Lutte contre le scolyte.....	19
I.3. <i>Beauveria bassiana</i> Vuillemin (Deuteromycotina : Hyphomycètes) .....	21
I.4. Plantes pesticides (PP).....	24
I.4.1. Neem, <i>Azadirachta indica</i> A. Juss.....	25
I.4.2. Laurier jaune ( <i>Thevetia peruviana</i> ) .....	28
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES.....	32
II.1. MATERIEL.....	32
II.1.1. Présentation et description des sites d'étude .....	32
II.1.2. Matériel biologique utilisé.....	34
II.1.3. Matériel synthétique utilisé .....	34
II.1.4. Autre matériel utilisé .....	34
II.2. METHODES .....	35
II.2.1. Diagnostic sanitaire des caféières et des stratégies de régulation .....	35
II.2.1.1. Echantillonnage des producteurs.....	36
II.2.1.2. Enquête auprès des producteurs .....	36
II.2.1.3. Observations dans les caféières.....	37
II.2.2. Efficacité <i>in vitro</i> de <i>Beauveria bassiana</i> , de <i>Thevetia peruviana</i> et d' <i>Azadirachta indica</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	38
II.2.2.1. Chasse et élevage au laboratoire des scolytes .....	38
II.2.2.2. Isolement et caractérisation des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> .....	40
II.2.2.3. Efficacité de <i>Beauveria bassiana</i> sur les adultes non sexés d' <i>Hypothenemus hampei</i> .....	42
II.2.2.4. Virulence de <i>Beauveria bassiana</i> par infection directe des baies .....	43

II.2.2.5. Efficacité <i>in vitro</i> de <i>Thevetia peruviana</i> et d' <i>Azadirachta indica</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	44
II.2.3. Evaluation de la compatibilité de <i>Thevetia peruviana</i> , <i>Azadirachta indica</i> , du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe avec <i>Beauveria bassiana</i> .....	45
II.2.3.1. Dispositif expérimental .....	46
II.2.3.2. Préparation des concentrations des extraits des plantes et des pesticides chimiques .....	46
II.2.3.3. Effet de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sur la germination de <i>Beauveria bassiana</i> .....	47
II.2.3.4. Effet de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sur la croissance de <i>Beauveria bassiana</i> .....	47
II.2.3.5. Effet de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sur la sporulation de <i>Beauveria bassiana</i> .....	47
II.2.3.6. Evaluation de la compatibilité de <i>T. peruviana</i> et d' <i>A. indica</i> avec <i>B. bassiana</i> .....	48
II.2.4. Efficacité <i>in situ</i> de <i>Beauveria bassiana</i> , de <i>Thevetia peruviana</i> et d' <i>Azadirachta indica</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	48
II.2.4.1. Présentation des champs d'expérimentation .....	48
II.2.4.2. Dispositif expérimental .....	49
II.2.4.3. Caractéristiques des produits utilisés .....	51
II.2.4.4. Collecte des données agronomiques et météorologiques .....	51
II.2.4.5. Evaluation du rendement .....	51
II.2.5. Analyses statistiques des données .....	52
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION .....	55
III.1. RESULTATS .....	55
III.1.1. Pressions phytosanitaires sur les caféiers et stratégies de régulation .....	55
III.1.1.1. Caractéristiques des caféières .....	55
III.1.1.2. Etat des lieux des pressions phytosanitaires dans les caféières .....	57
III.1.1.3. Stratégies de lutte phytosanitaire et d'amélioration des rendements .....	61
III.1.1.4. Typologie des stratégies de lutte phytosanitaire et d'amélioration des rendements .....	71
III.1.2. Effets <i>in vitro</i> de <i>Beauveria bassiana</i> , de <i>Thevetia peruviana</i> et d' <i>Azadirachta indica</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	74
III.1.2.1. Résultats sur la chasse et l'élevage d' <i>Hypothenemus hampei</i> .....	74
III.1.2.2. Caractéristiques des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> .....	74
III.1.2.3. Effets de <i>Beauveria bassiana</i> par infection directe des adultes d' <i>Hypothenemus hampei</i> .....	76
III.1.2.4. Virulence de <i>Beauveria bassiana</i> contre <i>Hypothenemus hampei</i> après infection des baies ..	83
III.1.2.5. Toxicité et anti-appétence d' <i>Azadirachta indica</i> et <i>Thevetia peruviana</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	85
III.1.3. Compatibilité de <i>Beauveria bassiana</i> avec <i>Thevetia peruviana</i> , <i>Azadirachta indica</i> , le Chlorpyriphos-éthyl et le Chlorothalonil + Diméthomorphe .....	94
III.1.3.1. Effets de <i>Thevetia peruviana</i> , d' <i>Azadirachta indica</i> , du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la germination de <i>Beauveria bassiana</i> .....	94
III.1.3.2. Effets de <i>Thevetia peruviana</i> , <i>Azadirachta indica</i> , du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la croissance radiale de <i>Beauveria bassiana</i> .....	96
III.1.3.3. Effets de <i>Thevetia peruviana</i> , <i>Azadirachta indica</i> , du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la sporulation de <i>Beauveria bassiana</i> .....	99
III.1.3.4. Relation entre les traitements et l'inhibition du développement de <i>Beauveria bassiana</i> .....	100
III.1.4. Effets <i>in situ</i> de <i>Beauveria bassiana</i> , de <i>Thevetia peruviana</i> et d' <i>Azadirachta indica</i> sur <i>Hypothenemus hampei</i> .....	103
III.1.4.1. Effets des traitements sur <i>H. hampei</i> en fonction des concentrations .....	103
III.1.4.2. Efficacité des traitements sur <i>H. hampei</i> en fonction du temps d'observation .....	104
III.1.4.3. Evaluation du rendement du caféier dans les blocs expérimentaux .....	107
III.1.4.4. Efficacité en champ des traitements contre <i>H. hampei</i> selon les conditions climatiques .....	108

III.2. DISCUSSION .....	112
<i>Objectif spécifique 1</i> .....	112
<i>Objectif spécifique 2</i> .....	116
<i>Objectif spécifique 3</i> .....	120
<i>Objectif spécifique 4</i> .....	122
CONCLUSION GENERALE.....	127
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES .....	129
BIBLIOGRAPHIE.....	131
ANNEXES .....	151

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Distribution et zones de production du café dans le monde. ....	9
Fig. 2. Zones de production caféière au Cameroun. ....	10
Fig. 3. Espèces et variétés de café rencontrées dans le monde. ....	11
Fig. 4. Plants adultes de caféier et différences entre les deux grandes espèces commerciales. ....	12
Fig. 5. Fleurs de différentes espèces de caféiers. ....	13
Fig. 6. Fruits des caféiers. ....	14
Fig. 7. Economie du café. ....	15
Fig. 8. Scolyte de baies de caféier ( <i>Hypothenemus hampei</i> ). ....	17
Fig. 9. Dynamique des populations du scolyte. ....	18
Fig. 10. Mode d'attaque des baies de café par le scolyte. ....	19
Fig. 11. Dégâts causés par le scolyte dans les baies de café. ....	19
Fig. 12. Modèle de piège BROCAP installé dans une caféière. ....	21
Fig. 13. Processus d'infection par <i>B. bassiana</i> . ....	23
Fig. 14. Modèle adapté illustrant les différences entre les pesticides synthétiques et botaniques. ....	25
Fig. 15. Présentation du Neem. ....	26
Fig. 16. <i>Thevetia peruviana</i> . ....	29
Fig. 17. Carte des sites d'étude. ....	33
Fig. 18. Carte des sites d'étude. ....	34
Fig. 19. Entretiens avec les acteurs des zones de production de café. ....	37
Fig. 20. Récolte des baies pour l'évaluation de la prévalence du scolyte et autres attaques. ....	37
Fig. 21. Piège artisanal pour la chasse des scolytes. ....	38
Fig. 22. Elevage des scolytes dans les bocaux au laboratoire. ....	39
Fig. 23. Attirance de <i>Beauveria bassiana</i> grâce aux larves adultes de <i>Rhynchophorus</i> sp. ....	40
Fig. 24. Dispositif expérimental de la parcelle caféière et des blocs expérimentaux. ....	50
Fig. 25. Perception de la qualité de la production des caféières à la dernière récolte. ....	56
Fig. 26. Impacts des maladies et ravageurs observés dans les caféières. ....	58
Fig. 27. Période d'apparition du scolyte dans les caféières. ....	60
Fig. 28. Période de forte attaque des baies par le scolyte. ....	60
Fig. 29. Taux d'attaque des baies par le scolyte aux dires des enquêtés. ....	61
Fig. 30. Âge moyen des producteurs enquêtés par localité. ....	62
Fig. 31. Pratiques d'entretien appliquées dans les caféières. ....	63
Fig. 32. Nombre de réalisation du défrichage et de la taille par an. ....	64
Fig. 33. Nombre de réalisation des pratiques ou d'application des intrants à l'année. ....	64
Fig. 34. Période d'application des pesticides, des engrais et des herbicides. ....	65
Fig. 35. Types d'intrants ou pesticides préférés pour l'avenir. ....	69
Fig. 36. Caractérisation des stratégies de régulation phytosanitaire avec l'analyse en correspondances matricielles. ....	73
Fig. 37. Isolats purs et spores de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	75
Fig. 38. Infection de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	76
Fig. 39. Mortalité cumulée corrigée des scolytes selon le temps et les traitements. ....	77
Fig. 40. Mortalité observée corrigée des scolytes selon le temps et les traitements. ....	78
Fig. 41. Régression linéaire de la mortalité cumulée corrigée d' <i>Hypothenemus hampei</i> et des concentrations de <i>Beauveria bassiana</i> après 4 jours d'incubation. ....	79
Fig. 42. Sporulation cumulée corrigée selon les concentrations de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	81
Fig. 43. Sporulation observée corrigée des scolytes selon le temps d'observation. ....	82

Fig. 44. Sporulation cumulée corrigée selon les concentrations de <i>Beauveria bassiana</i> et du temps d'observation.....	83
Fig. 45. Mortalité cumulée d' <i>Hypothenemus hampei</i> et taux de sporulation de <i>Beauveria bassiana</i> . .	84
Fig. 46. Taux de mortalité cumulée corrigée d' <i>Hypothenemus hampei</i> et d'attaque des baies de café <i>in vitro</i> selon les traitements. ....	86
Fig. 47. Taux de mortalité cumulée corrigée <i>in vitro</i> d' <i>Hypothenemus hampei</i> selon le temps après traitement. ....	87
Fig. 48. Taux d'attaque des baies <i>in vitro</i> par <i>H. hampei</i> selon le temps d'observation après traitement. ....	88
Fig. 49. Taux de mortalité et d'attaque des baies <i>in vitro</i> d' <i>Hypothenemus hampei</i> après traitement des baies. ....	89
Fig. 50. Régression linéaire de la mortalité cumulée corrigée d' <i>H. hampei</i> selon les traitements. ....	92
Fig. 51. Efficacité des traitements selon les modes d'application des traitements. ....	94
Fig. 52. Taux de germination et d'inhibition de la germination de <i>Beauveria bassiana</i> par les traitements.....	95
Fig. 53. Inhibition de la croissance de Bb-IRAD.Nkoe par l'extrait aqueux d' <i>Azadirachta indica</i> au 21 <sup>ème</sup> jour.....	96
Fig. 54. Inhibition de la croissance de Bb-IRAD.Nkoe par l'extrait aqueux de <i>Thevetia peruviana</i> au 21 <sup>ème</sup> jour.....	97
Fig. 55. Effet du Chlorothalonil + Diméthomorphe et du Chlorpyrifos-éthyl sur la croissance de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	98
Fig. 56. Production de conidies et inhibition de la sporulation de <i>Beauveria bassiana</i> par les traitements. ....	100
Fig. 57. Efficacité en champ des traitements à 0-1 m de hauteur du caféier.....	103
Fig. 58. Efficacité en champ des traitements à 1-2 m du caféier. ....	104
Fig. 59. Efficacité en champ des traitements à 0-1 m du caféier. ....	105
Fig. 59. Efficacité en champ des traitements contre <i>H. hampei</i> à 1-2 m du caféier.....	106
Fig. 61. Rendement et taux d'amélioration en baies sèches non décortiquées selon les sites d'étude et les traitements. ....	107
Fig. 62. Rendement en baies sèches non décortiquées selon les sites d'étude, les années d'expérimentation et les traitements. ....	108
Fig. 63. Données météorologiques selon les années, mois et sites d'expérimentation. ....	109
Fig. 64. Analyse Factorielle Discriminante entre les traitements, les sites, les années d'étude, les conditions météorologiques, les taux d'attaque de baies par <i>H. hampei</i> et l'antracnose. ....	110
Fig. 65. Caractérisation des taux d'attaque des baies par le scolyte en champs. ....	111

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Principales caractéristiques des zones d'études. ....	33
Tableau II : Caractéristiques des champs expérimentaux utilisés par zone d'étude. ....	49
Tableau III : Caractéristiques, doses et modes d'application des intrants utilisés. ....	51
Tableau IV : Âge des caféières des enquêtés. ....	55
Tableau V : Causes des rendements en baies évoqués par les producteurs. ....	57
Tableau VI : Maladies et ravageurs rencontrés dans les caféières par les producteurs. ....	59
Tableau VII : Taux de baies perforées par le scolyte après la récolte sanitaire. ....	61
Tableau VIII : Caractéristiques des producteurs de café enquêtés. ....	62
Tableau IX : Intrants appliqués dans les caféières par les producteurs. ....	67
Tableau X : Paramètres influençant le choix des pesticides à utiliser. ....	70
Tableau XI : Paramètres influençant le choix des pesticides à utiliser. ....	71
Tableau XII : Nombre moyen d' <i>Hypothenemus hampei</i> obtenu après 43 jours d'élevage. ....	74
Tableau XIII : Production, germination des spores et croissance mycélienne après 21 jours. ....	75
Tableau XIV : Pourcentage de mortalité cumulée corrigée des scolytes en fonction des concentrations des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	76
Tableau XV : Régression linéaire des probits de la mortalité cumulée corrigée en fonction du logarithme décimal du temps jusqu'au quatrième jour d'observation. ....	80
Tableau XVI. Mortalité cumulée d' <i>Hypothenemus hampei</i> et taux de sporulation de <i>Beauveria bassiana</i> à la concentration de $3 \times 10^8$ spores/ml. ....	84
Tableau XVII : Mortalité cumulée corrigée et attaques des baies d' <i>Hypothenemus hampei in vitro</i> 12 jours après application des traitements. ....	90
Tableau XVIII : Régression linéaire des valeurs angulaires (arcsin) des pourcentages de la mortalité cumulée corrigée d' <i>Hypothenemus hampei</i> en fonction des logarithmes décimaux du temps d'observation. ....	93
Tableau XIX : Croissance radiale et taux d'inhibition des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> en fonction des traitements après 21 jours d'incubation. ....	98
Tableau XX : Classification ascendante hiérarchique des traitements en fonction de leur inhibition des paramètres de croissance des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	101

## LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ACM : Analyse des Correspondances Multiples  
ACP : Analyse en Composantes Principales  
AFD : Analyse Factorielle Discriminante  
ANOVA : Analysis of Variance  
Bb-IRAD.Fbt : Isolat de *Beauveria bassiana* issu de la localité de Foubot  
Bb-IRAD.Nkoe : Isolat de *Beauveria bassiana* issu de la localité de Nkoémvone  
CCC : Conseil du café-cacao  
CCI : Centre du Commerce International  
CDDR : Centre de Documentation pour le Développement Rural  
CEDEAO : Communauté Économique des États de l’Afrique de l’Ouest  
CEEAC : Communauté Économique des États de l’Afrique Centrale  
CEP : Champignon Entomopathogène  
CICC : Conseil Interprofessionnel du Cacao et du Café  
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement  
CL : Concentration Létale  
CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement  
DSCE : Document de Stratégie pour la Croissance et l’Emploi  
EAAI : Extrait Aqueux d’*Azadirachta indica*  
EATP : Extrait aqueux de *Thevetia peruviana*  
EHAI : Extrait d’Huile d’*Azadirachta indica*  
EPP : Extrait de Plante Pesticide  
FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations  
FODECC : Fonds de Développement des Filières Cacao et Café  
GIMP : Gestion Intégrée des Maladies et Pestes des Plantes ou Integrated Pest Management (IPM) en anglais  
IB : Indice Biologique  
IFS : International Foundation for Science  
IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement  
LMR : Limites Maximales de Résidus  
MINADER : Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural  
MINEPAT : Ministère de l’Economie, de la Planification et de l’Aménagement du Territoire  
ODD : Objectifs de Développement Durable  
OIC : Organisation Internationale du Café  
OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
ONCC-NCCB : Office National du Cacao et du Café  
PALAF2C : Projet d’Appui à la Lutte Antifongique dans les Filières Cacao/Café  
PDA : Potatoes Dextrose Agar  
PIB : Produit Intérieur Brut du pays  
PRDFCC : Plans de Relance et de Développement des filières Cacao/Café  
Pr ou P-value : Probabilité relative ou valeur Probable

PURRPCC : Programme d'Urgence pour la Réduction des Résidus des Pesticides dans les Cacao et Café Camerounais

SFN : Solutions Fondées sur la Nature

SND20-30 : Stratégie Nationale de Développement du Cameroun à l'horizon 2020-2030

TL : Temps Létal



## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Publications scientifiques. ....	151
Annexe 2 : Financements mobilisés pour la réalisation de cette étude. ....	152
Annexe 3 : Etudiants formés dans le cadre de cette étude. ....	153
Annexe 4 : Trame d'enquête. ....	153
Annexe 5 : Stades phénologiques des caféiers observés dans les blocs expérimentaux. ....	155
Annexe 6 : Isolement et caractérisation des isolats de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	155
Annexe 7 : Pièges à phéromones et boîte de collection des coléoptères du laboratoire d'entomologie de l'IRAD. ....	156
Annexe 8 : Mise en place des essais d'élevage et test de substrat de nutrition. ....	156
Annexe 9 : Préparation du matériel et tests insecticides. ....	157
Annexe 10 : Préparation des plaques et étiquetage des blocs expérimentaux et des arbres. ....	157
Annexe 11 : Préparation et application en champ des traitements. ....	158
Annexe 12 : Fiche de collecte des données des tests en champ. ....	158
Annexe 13 : Dispositif d'évaluation en champ du taux d'attaque des baies par le scolyte. ....	159
Annexe 14 : Evaluation du rendement des baies de café. ....	160
Annexe 15 : Visite de la plus grande coopérative de café (COOPAFERLOS) de Melong. ....	160
Annexe 16 : Synthèse du nombre moyen de salariés et d'application des pratiques de gestion des parasites et de la fertilité. ....	161
Annexe 17 : Classification Ascendante Hiérarchique des traitements selon leur impact sur le développement de <i>Beauveria bassiana</i> . ....	161
Annexe 18 : Procédé d'extraction à chaud d'huile de Neem ( <i>Azadirachta indica</i> ). ....	162
Annexe 19 : Méthodes de traitement de la cerise de café après sa récolte. ....	163
Annexe 20 : Méthodes de classification des cafés. ....	163
Annexe 21 : Chaîne de valeurs du café : de l'arbre à la tasse. ....	164
Annexe 22 : Méthodes de piégeage du scolyte en champ. ....	165

## RESUME

La production de café continue de décroître considérablement malgré plusieurs plans de relance du gouvernement et la place qu'elle occupe dans les exportations du Cameroun. Les contraintes phytosanitaires et leurs stratégies de gestion sont parmi les causes majeures de cette régression de la production. Face à cela, cette étude s'est fixée comme objectif d'apprécier l'effet du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*, des extraits aqueux des graines de *Thevetia peruviana* (EATP), des extraits aqueux (EAAI) et d'huile (EHAI) des graines d'*Azadirachta indica* contre *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae).

Des enquêtes et des observations ont été effectuées respectivement auprès de soixante-trois producteurs et de leurs caféières, dans les sites de Doumé, Bamendjou et Melong. Par la suite, des essais en laboratoire ont été réalisés en élevant des populations de scolytes récoltées dans les baies infestées en champ et en isolant *B. bassiana* (deux isolats) sur des échantillons de sol issus des parcs à bois de l'IRAD Nkoémvone (Bb-IRAD.Nkoe sur café Robusta) et Foubot (Bb-IRAD.Fbt sur café Arabica). Les tests d'efficacité ont été réalisés sur des scolytes adultes non sexés, en utilisant cinq concentrations de *B. bassiana* ( $3 \times 10^2$  (C<sub>1</sub>),  $3 \times 10^4$  (C<sub>2</sub>),  $3 \times 10^6$  (C<sub>3</sub>),  $3 \times 10^8$  (C<sub>4</sub>),  $3 \times 10^{10}$  (C<sub>5</sub>) spores/ml) et quatre doses (12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>), et 100 (C<sub>4</sub>) mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'huile) d'extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica*. Les mêmes extraits et doses des plantes ont été utilisés pour les tests de compatibilité avec *B. bassiana*. Les effets des substances naturelles ont été comparés aux témoins de référence dont l'insecticide chimique à base de Chlorpyrifos-éthyl et le fongicide chimique à base de Chlorothalonil + Diméthomorphe. Enfin en champ, dans un dispositif en blocs complets randomisés, l'efficacité des meilleures doses au laboratoire des différents traitements a été évaluée contre *H. hampei* à 0-1 m et 1-2 m de hauteur des caféiers, durant les années 2019 et 2020.

Les résultats des enquêtes et des observations dans les caféières ont montré que les insectes étaient les contraintes phytosanitaires les plus redoutables à Melong et Doumé. A Bamendjou, *Colletotrichum kahawae* (agent responsable de l'anthracnose) était l'attaque la plus redoutable dans 100 % des caféières. Le défrichage et la taille des caféiers étaient appliqués par 100 % des producteurs enquêtés. Cependant, l'application des insecticides, fongicides et herbicides dépendait de l'incidence, de la sévérité et de la période d'apparition ou de manifestation des pestes. Ainsi, l'application des fongicides était plus intense à Bamendjou (80 % des producteurs), tandis qu'à Melong et Doumé, c'était respectivement

l'application des herbicides (90 % des producteurs) et l'application des insecticides (80 % des producteurs).

Les deux isolats de *B. bassiana* (Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe) étaient différents tant par leurs paramètres de développement que par leur virulence. Ils se sont avérés très virulents aux fortes concentrations en causant la mortalité de 50 à 90 % de scolytes, qu'ils soient appliqués directement sur les scolytes ou sur les baies. Les EHAI et EATP ont été plus efficaces que les EAAI contre *H. hampei*. Des taux moyens de mortalité de 78,7 à 100 % de scolytes ont été enregistrés avec EHAI alors qu'avec les EATP, des mortalités allant de 0 % (C<sub>2</sub>) à 94,9 % de scolytes (C<sub>4</sub>) ont été enregistrées. Ces effets ont été meilleurs après le traitement direct des scolytes que celui des baies.

L'évaluation de la compatibilité a montré que les fortes concentrations des EATP, EHAI, EAAI et le Chlorpyrifos-éthyl ont été incompatibles en inhibant (50 à 90 %) tous les paramètres de développement (croissance mycélienne, production et germination des spores) des deux isolats de *B. bassiana*. L'eau distillée stérile et le Chlorothalonil + Diméthomorphe ont été compatibles avec tous les paramètres de croissance des deux isolats.

Les tests en champs ont montré que les isolats de *B. bassiana*, l'EHAI et le Chlorpyrifos-éthyl ont significativement mieux protégé les baies à toutes les hauteurs des caféiers que les EAAI et EATP. Les taux d'attaque des baies ont baissé de 30 à 40 % après application des traitements. Entre les deux années d'expérimentation, une réduction de 1 à 2 % des taux d'attaques des baies a été enregistrée. Toutefois, les conditions environnementales ont augmenté la virulence des pestes et réduit l'efficacité des traitements appliqués. Les rendements en baies sèches ont été meilleurs à Doumé avec 60 % d'augmentation du rendement observé avec Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe et le Chlorpyrifos-éthyl, qu'à Melong où l'augmentation du rendement variait entre 33,3 % (Chlorpyrifos-éthyl), 34,8 % (Bb-IRAD.Nkoe) et 43 % (Bb-IRAD.Fbt). A Bamendjou, les taux d'amélioration des rendements en baies sèches ont été d'environ 70 % avec les extraits des plantes.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il serait nécessaire que *B. bassiana*, *T. peruviana* et *A. indica*, soient intégrés dans les programmes de lutte contre *H. hampei*. Il serait aussi primordial qu'une loi sur l'agriculture biologique ou durable soit mise en place pour valoriser et inciter la production, le développement et l'utilisation de ces substances naturelles.

**Mots clés :** *Coffea* sp ; *Hypothenemus hampei* ; *Beauveria bassiana* ; extraits végétaux ; lutte durable.

## ABSTRACT

Coffee production continues to decline considerably despite several government programmes stimulus packages and its importance in Cameroon's exports. Phytosanitary constraints and their management strategies are among the major causes of this production reduction. In view of this, this study aimed to assess the effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*, aqueous extracts of *Thevetia peruviana* seeds (AETP), aqueous extracts (AEAI) and oil extracts (OEAI) of *Azadirachta indica* seeds against *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae).

Surveys and observations were carried out with sixty-three farmers and their coffee farms in Doumé, Bamendjou and Melong respectively. Subsequently, laboratory tests were carried out by rearing populations of bark beetles collected from infested berries in the field and by isolating *B. bassiana* (two isolates) from soil samples from the IRAD Nkoémvone (Bb-IRAD.Nkoe on Robusta coffee) and Foubot (Bb-IRAD.Fbt on Arabica coffee) timber yards. Efficacy tests were carried out on unsexed adult bark beetles, using five concentrations of *B. bassiana* ( $3 \times 10^2$  (C<sub>1</sub>),  $3 \times 10^4$  (C<sub>2</sub>),  $3 \times 10^6$  (C<sub>3</sub>),  $3 \times 10^8$  (C<sub>4</sub>),  $3 \times 10^{10}$  (C<sub>5</sub>) spores/ml) and four doses (12.5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>), and 100 (C<sub>4</sub>) mg/ml for the aqueous extracts and in µl/ml for the oil) of extracts of *T. peruviana* and *A. indica* seeds. The same extracts and doses of the plants were used for the compatibility tests with *B. bassiana*. The effects of the natural substances were compared to the reference controls, including the chemical insecticide Chlorpyrifos-ethyl and the chemical fungicide Chlorothalonil + Dimethomorph. Finally, in the field, in a randomised complete block design, the efficacy of the best laboratory doses of the different treatments (*B. bassiana*, AETP, AEAJ and OEAI) was evaluated against *H. hampei* at 0-1 m and 1-2 m height of the coffee trees, during the years 2019 and 2020.

The results of the surveys and observations in the coffee farms showed that insects were the most formidable phytosanitary constraints in Melong and Doumé. In Bamendjou, *Colletotrichum kahawae* (the causal agent of anthracnose) was the most formidable attack in 100% of coffee farms. Clearing and pruning of coffee trees was applied by 100% of the farmers surveyed. However, the application of insecticides, fungicides and herbicides depended on the incidence, severity and timing of the pests. Thus, fungicide application was more intense in Bamendjou (80% of growers), while in Melong and Doumé it was herbicide application (90% of growers) and insecticide application (80% of growers) respectively.

The two *B. bassiana* isolates (Bb-IRAD.Fbt and Bb-IRAD.Nkoe) differed in both their developmental parameters and virulence. They proved to be very virulent at high

concentrations causing 50-90% mortality of bark beetles, whether applied directly to the beetles or to the berries. OEAI and AETP were more effective than AEAI against *H. hampei*. Average mortality rates of 78.7-100% bark beetles were recorded with OEAI, whereas with AETP, mortality ranging from 0% (C<sub>2</sub>) to 94.9% bark beetles (C<sub>4</sub>) was recorded. These effects were better after direct treatment of bark beetles than after treatment of berries.

Compatibility assessment showed that high concentrations of AETP, OEAI, AEAI and Chlorpyrifos-ethyl were incompatible by inhibiting (50-90%) all developmental parameters (mycelial growth, spore production and germination) of both *B. bassiana* isolates. Sterile distilled water and Chlorothalonil + Dimethomorph were compatible with all growth parameters of both isolates.

Field tests showed that *B. bassiana* isolates, OEAI and Chlorpyrifos-ethyl were significantly more protective of berries at all coffee plant heights than AEAI and AETP. Berry attack rates were reduced by 30-40% after application of the treatments. Between the two years of experimentation, a 1-2% reduction in berry attack rates was recorded. However, environmental conditions increased the virulence of the pests and reduced the effectiveness of the treatments applied. Dry berry yields were better in Doumé with a 60% increase in yield observed with Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe and Chlorpyrifos-ethyl, than in Melong where the yield increase varied between 33.3% (Chlorpyrifos-ethyl), 34.8% (Bb-IRAD.Nkoe) and 43% (Bb-IRAD.Fbt). In Bamendjou, the improvement rates in dry berry yields were about 70% with the plant extracts.

The results of this study showed that it would be necessary for *B. bassiana*, *T. peruviana* and *A. indica* to be integrated into *H. hampei* control programmes. It would also be essential that a law on organic or sustainable agriculture be put in place to promote and encourage the production, development and use of these natural substances.

Keywords: *Coffea* sp; *Hypothenemus hampei*; *Beauveria bassiana*; plant extracts; sustainable control.

## INTRODUCTION

### 1. Contexte, justification et problématique

Dans sa politique agricole, le Cameroun s'est donné pour objectif d'assurer son autosuffisance alimentaire et de conquérir les marchés externes, à travers une agriculture moderne dite de « seconde génération » (Anonyme 1, 2009a ; 2009b ; 2020a). Cette agriculture moderne, fait référence au passage à une agriculture industrielle, mécanisée commerciale, utilisant des intrants chimiques dans les filières à fort potentiel de croissance et d'exportation (Bayiha *et al.*, 2019 ; 2020). Ces filières sont entre autres le coton, le palmier à huile, le cacao, le café, le sucre, le caoutchouc, le riz, le maïs, la banane-plantain (Anonyme 1, 2020a ; 2020b).

Le caféier (*Coffea* sp.) est un produit agricole cultivé dans plus de 85 pays tropicaux situés dans les zones d'Amérique latine, d'Asie et d'Afrique. C'est l'un des produits primaires les plus commercialisés (surclassé seulement par le pétrole et ses dérivés) et le produit agricole tropical le plus exporté dans le monde. En 2015, l'industrie globale du café a généré approximativement 200 milliards de dollars et dans le monde plus de 120 millions de personnes dépendent d'activités liées au café (Anonyme 2, 2018 ; Anonyme 3, 2018). Ce produit alimentaire contient de la caféine qui est un alcaloïde ayant des propriétés stimulantes (Contentin et Delaveau, 2010). Des recherches ont montré que plus une personne en bonne santé consomme du café (9 tasses/jour), plus les risques de diabète de type II, crise cardiaque et AVC diminuent (Van Dam et Hu, 2005). Toutefois, il peut aussi causer de l'insomnie, des maux de tête et des reflux gastriques acides. Au Cameroun, les deux grandes espèces commerciales de café (*Coffea arabica* (Arabica) et *Coffea canephora* (Robusta)) sont produites (Manga *et al.*, 2013) sur environ 70 000 hectares (60 000 ha pour Robusta et 10 000 ha pour Arabica) répartis dans quatre (II, III, IV et V) des cinq zones agroécologiques que compte le pays (Anonyme 4, 2008 ; Anonyme 5, 2018).

Produite par près de 400 000 ménages (soit 2,9 millions de personnes), le café reste l'un des principaux produits d'exportation. Sa culture participe à l'amélioration des revenus des producteurs et au produit intérieur brut du pays (PIB), malgré une forte chute des prix (environ 500 Fcfa/kg aujourd'hui) (Anonyme 6, 2016 ; Anonyme 3, 2017 ; Anonyme 5, 2018). Après la libéralisation et la déréglementation commerciales du secteur agricole en 1991, pour son amélioration, l'Etat a activé des Plans de Relance et de Développement des filières Cacao/Café (PRDFCC) horizons 2010-2015 et 2015-2020 ; il a donc mis en place depuis 2006, le Fonds de Développement des Filières Cacao et Café (FODECC). La vision prospective du plan de

relance à l'horizon 2015-2020, était de produire 125 000 tonnes et 35 000 tonnes respectivement pour les cafés Robusta et Arabica (Etoa Abena, 2006 ; Anonyme 1, 2014). Par ailleurs, le Conseil Interprofessionnel du Cacao et du Café (CICC) a lancé le programme « New Generation » qui depuis 2012, prend en charge 200 nouveaux jeunes chaque année. Ce programme a pour but de développer durablement les productions cacaoyère et caféière (Anonyme 7, 2016).

Malgré ces actions du gouvernement et une progression significative de la demande du café, le secteur n'a pas connu une amélioration. Il continue d'enregistrer un abandon des producteurs, un remplacement des caféiers par des cultures vivrières (estimées plus rentables) (Anonyme 32, 2021). Ceci concourt à une forte diminution de la production qui est passée de 130 000 tonnes en 1990 à environ 12 157 tonnes en 2020-2021 (soit 11 745 tonnes de Robusta et 412 tonnes d'Arabica) (Anonyme 8, 2022a). Comparée aux 23 239 tonnes de production de 2019-2020, cette réduction correspond à 50,7 % en valeur absolue de la production. Elle fait donc passer le Cameroun de 2<sup>e</sup> producteur mondial de café à la 25<sup>e</sup> place mondiale et comme 6<sup>e</sup> producteur d'Afrique aujourd'hui (Anonyme 29, 2019 ; Anonyme 33, 2021). Cette faible production a aussi fait chuter la part du café dans les recettes d'exportation de marchandises, passant ainsi de 19 à 1,6 % de 1980 à 2016 (Anonyme 5, 2018).

Cette baisse de la production est liée à d'importantes difficultés dont la baisse des prix du café, le manque de rigueur des opérateurs, les insuffisances dans la valorisation et la promotion du café camerounais, la faible consommation locale, l'accès à la terre, à l'eau et aux financements (Anonyme 1, 2009b). En plus de cela, il faut ajouter la prédominance des exploitations familiales de petite taille (agriculture extensive) (Mala *et al.*, 2020), les mauvaises pratiques agricoles, le vieillissement des vergers et des producteurs (Anonyme 29, 2019), l'abandon des plantations, l'accès inadéquat aux intrants, le coût accru de la main-d'œuvre des plantations, la fermeture des frontières liée à la pandémie de COVID-19 (Anonyme 31, 2021) et des fortes pressions phytosanitaires dont les principales sont l'anthracnose (*Colletotrichum kahawae*) et le scolyte (*Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae)). Ces deux pestes attaquent directement les baies en provoquant des pertes de revenus et de rendements comprises entre 20 et 80 % de la production (Muller *et al.*, 2004 ; Vega *et al.*, 2015 ; Mouen *et al.*, 2008 ; Kacko, 2021). Par ailleurs, les PRDFCC n'auraient pas atteint leurs objectifs d'amélioration de la production et du secteur.

Concernant le scolyte des baies de café, originaire d'Afrique (Perez-Lachaud *et al.*, 2002), cet insecte est la plus importante peste du café dans le monde (Infante *et al.*, 2013 ; Vega

*et al.*, 2015). En creusant des galeries dans les cerises (surtout les femelles adultes pour pondre leurs œufs) (Vega *et al.*, 2014), cet insecte dégrade la qualité des baies atteignant des taux d'attaque de baies de 10 à 100 % au Cameroun (Mahob *et al.*, 2006 ; Amang à Mbang *et al.*, 2012) et des pertes mondiales annuelles estimées à plus de 500 millions de dollars US (Vega *et al.*, 2015). En raison de son mode de vie endophyte dans les baies à tous ses stades de développement (Cochereau et Potiaroa, 1994 ; Dufour, 2013), la majorité des tentatives de lutte contre cet insecte ont présenté des effets intéressants, mais restent limitées. Parmi ces tentatives, il y a eu la lutte chimique avec l'utilisation du Chlorpyrifos-éthyl et de l'endosulfan (Damon, 2000 ; Anonyme 9, 2008 ; Aristizabal *et al.*, 2012) ; la lutte culturale avec la récolte sanitaire (Dufour et Frérot, 2008) ; la lutte biologique avec les extraits de plantes pesticides (Mawussi, 2008 ; Vijayalakshmi *et al.*, 2014 ; Nguema Ndoutoumou *et al.*, 2015 ; Celestino *et al.*, 2016 ; Samy, 2018) ; et l'utilisation des parasitoïdes, des nématodes et des entomopathogènes comme *B. bassiana* (Rodriguez *et al.*, 2017 ; Wraight *et al.* 2018 ; Medeiros *et al.*, 2019 ; Escobar-Ramírez *et al.*, 2019 ; Serrato-Diaz *et al.*, 2020). Cependant, la lutte chimique reste la principale solution voire la seule aujourd'hui utilisée. Or, les risques encourus en santé humaine et pour l'environnement, et la forte rémanence des matières actives des pesticides chimiques, sont aujourd'hui à l'origine de leur interdiction et retrait en agriculture, et une montée de l'agriculture biologique ou durable (Anonyme 10, 2011 ; Ludmilla *et al.*, 2017).

En effet, les Objectifs de Développement Durable (ODD) 2, 3, 12 et 15, demandent de façon sommaire d'éradiquer la famine, de préserver la santé humaine et environnementale tout en promouvant l'agriculture et l'exploitation durables des ressources naturelles (Anonyme 11, 2015). Pour répondre à ces objectifs, les systèmes alimentaires et agricoles d'aujourd'hui ont réussi à fournir des aliments sur les marchés mondiaux, tout en dégradant les terres, l'eau, la biodiversité et la santé humaine. Ainsi, plus de 30 milliards de dollars américains de pesticides sont volontairement déversés dans la nature chaque année dans le monde pour la protection des cultures (Anonyme 9, 2008). Par ailleurs, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que 200 000 personnes sont tuées chaque année, dans le monde, en conséquence directe de l'empoisonnement par des pesticides (Anonyme 12, 2009 ; Belmain *et al.*, 2013). De plus, les études de ces dernières décennies ont montré que l'utilisation des intrants chimiques et particulièrement des pesticides chimiques est l'une des plus grandes causes de la dégradation de la nature (Regnault-Roger, 2007 ; Anonyme 10, 2011 ; Patil *et al.*, 2014 ; Lengai *et al.*, 2020 ; Anonyme 13, 2021).



Face à ces conséquences phytosanitaires, sanitaires et environnementales, il est requis un modèle d'agriculture réduisant les intrants chimiques, optimisant la valorisation des services écosystémiques (solutions fondées sur la nature) et stimulant les interactions entre les différentes espèces. Ainsi, l'Union Européenne a fixé des Limites Maximales de Résidus (LMR) de certains pesticides agricoles dans certaines denrées alimentaires, aussi, le Cameroun a lancé en 2008 le Programme d'Urgence pour la Réduction des Résidus des Pesticides dans les Cacao et Café Camerounais (PURRPCC) (Anonyme 30, 2008). Par ailleurs, le contrôle biologique des pestes des cultures, avec l'utilisation des pesticides et agents biologiques (plantes pesticides, champignons entomopathogènes, parasitoïdes, bactéries, prédateurs) répond à ce besoin de changement de cap (Wahab, 2006 ; Lengai *et al.*, 2020). Les extraits de plantes pesticides (EPP) comme *Azadirachta indica* A. Juss. (Neem ou margousier) et *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. (Laurier jaune), et les champignons entomopathogènes (CEP) comme *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., sont deux cadeaux de la nature dans la gestion intégrée des contraintes phytosanitaires et des alternatives efficaces aux pesticides chimiques. Ils ne mettent pas en danger les agro-systèmes, mais assurent plutôt la sécurité contre les ennemis naturels et plantes protégées (Thungrabeab et Tongma 2007 ; Raguraman et Kannan, 2014 ; Lacey *et al.*, 2015 ; Lengai *et al.*, 2020).

Dans la pratique, plusieurs auteurs ont prouvé l'efficacité d'*A. indica* et de *T. peruviana* contre *Radopholus similis* (Kosma *et al.*, 2011a), *Colletotrichum gloeosporioides* (Ngho Dooh *et al.*, 2014a), *Cercospora* sp. (Ambang *et al.* 2011), *Phytophthora megakarya* et *Sahbergella singularis* (Ambang *et al.*, 2010 ; Ngho Dooh *et al.*, 2014b ; Mboussi *et al.*, 2016a, 2016b, 2018), contre *Lasiodiplodia theobromae* et *Fusarium* sp (Mvondo Nganti *et al.*, 2019a). De même, il a été prouvé que *B. bassiana* cause une maladie appelée « muscardine blanche », une fois qu'il est en contact avec environ 200 à 700 espèces d'insectes hôtes dans le monde (Li, 1988 ; Inglis *et al.* 2001 ; Van Lenteren *et al.* 2018 ; Paiva-Guimarães *et al.*, 2019) et même plusieurs champignons phytopathogènes comme *Colletotrichum* (Sanivada et Challa 2014 ; Serrato-Diaz *et al.*, 2020). De ce fait, son efficacité a été prouvée contre *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Anonyme 14, 2000 ; Okolle *et al.*, 2007 ; Akello *et al.*, 2008 ; Membang *et al.*, 2020), contre *Sahbergella singularis* (Haglund) (Mahot *et al.*, 2019) et contre *H. hampei* (Ferrari) (Li *et al.*, 2010 ; Vera *et al.*, 2011 ; Amang à Mbang *et al.*, 2012 ; Aristizabal *et al.*, 2016). En outre, la demande est grandissante aujourd'hui en café de meilleure qualité ayant moins ou presque pas de résidus chimiques, et surtout à une protection et conservation de la biodiversité et de l'environnement (Bourguet et Guillemaud, 2016).

Ayant reconnu les limites d'une approche consistant à lutter contre un ravageur avec une seule technique en agronomie (Bellon *et al.*, 2007 ; Le Pichon *et al.*, 2008), il a été mis sur pied une méthode de lutte intégrée avec les agents biologiques. Celle-ci passe indispensablement par l'utilisation des agents natifs ou locaux (Gutiérrez et Maldonado, 2010), la connaissance de la compatibilité de ces agents avec une gamme d'autres pesticides (chimiques et biologiques) qui ont le potentiel d'affecter les divers stades de développement des CEP dans les environnements agricoles (De Oliveira *et al.*, 2004 ; Dara, 2019 ; Celestino *et al.*, 2020).

## 2. Questions, hypothèses et objectifs de l'étude

Sur la base de ce qui précède, cette étude a été initiée pour répondre à ces différentes questions de recherche :

- quel est le diagnostic de l'état sanitaire des vergers caféiers camerounais et les stratégies de régulation ?
- est-ce que la rhizosphère de ces vergers héberge *B. bassiana* ?
- quel est l'effet *in vitro* et *in situ* de *B. bassiana*, d'*A. indica* et de *T. peruviana* contre *H. hampei* ?
- quelle est la compatibilité *in vitro* entre *B. bassiana*, les extraits d'*A. indica* et de *T. peruviana* ?

Provisoirement, des réponses ou des tentatives de réponse aux questions que nous nous sommes posés ont été émises sous forme d'hypothèses suivantes :

- les vergers caféiers camerounais sont toujours sujets à de fortes pressions phytosanitaires, et les pesticides chimiques sont la seule solution utilisée, mais avec des limites ;
- la rhizosphère des vergers caféiers camerounais héberge *B. bassiana* et ses souches locales sont virulentes *in vitro* contre *H. hampei* ;
- ces souches de *B. bassiana* sont compatibles avec les extraits d'*A. indica* et *T. peruviana* ;
- en champ, *B. bassiana*, *T. peruviana* et *A. indica* réduisent les attaques des baies causées par *H. hampei*.

Au terme de ces hypothèses de travail, l'objectif général du présent travail est d'évaluer l'efficacité de *B. bassiana*, des extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica* contre *H. hampei*.

De manière spécifique, il est question de :

- faire un diagnostic sanitaire des caféières ;
- évaluer *in vitro* l'efficacité des isolats de *B. bassiana*, des extraits aqueux des graines de *T. peruviana*, des extraits aqueux et l'huile des graines d'*A. indica* contre *H. hampei* ;
- évaluer *in vitro* les effets synergiques entre *B. bassiana* et les extraits de graines de *T. peruviana* et *A. indica* ;
- tester en milieu naturel/caféière l'efficacité des isolats de *B. bassiana*, des extraits de graines de *T. peruviana* et *A. indica* contre *H. hampei* du caféier.

### 3. Intérêts de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la protection phytosanitaire et de la biotechnologie. Elle revêt une importance tant dans la prévention et la lutte contre les ennemis des végétaux et des produits végétaux, que l'utilisation des produits phytosanitaires sans danger pour la santé humaine, animale et pour l'environnement (Anonyme 1, 2003a ; 2003b). Ces intérêts s'observent sur plusieurs plans : socio-économique, scientifique et technologique, et environnementale.

Sur le plan socio-économique, ces travaux participent à l'amélioration des rendements des vergers caféiers. Si l'adoption des résultats est effective, cela améliore les revenus d'environ 400 000 ménages producteurs de café à travers une hausse de la production, une diminution des dépenses liées à l'utilisation des intrants chimiques.

Au niveau scientifique et technologique, les résultats de cette étude apportent des connaissances en plus concernant le contrôle biologique du scolyte du café particulièrement sur : l'efficacité au laboratoire et en champ de *B. bassiana* et son écologie ou existence dans la rhizosphère des vergers caféiers camerounais ; l'efficacité au laboratoire et en champ des extraits de graines de *T. peruviana* et *A. indica* contre le scolyte ; la compatibilité entre ces produits naturels dans la lutte contre le scolyte ; des méthodes de valorisation des sols des caféières et de ces plantes pesticides ; trois à quatre potentiels produits/technologies (après stabilisation des formulations) de lutte contre les ennemis du caféier.

Sur le plan environnemental, les études menées ainsi que les technologies promues respectent les ODD et l'équilibre environnemental. Elles ont permis de réduire le scolyte dans les vergers caféiers.. Cette étude a aussi permis de promouvoir les solutions fondées sur la nature (SFN) en valorisant et vulgarisant le laurier jaune et le neem, deux plantes qui poussent localement ; ceci pourrait permettre de les valoriser davantage dans des systèmes de production

agricole comme ceux agroforestiers ou de valoriser les terres marginales. Au final, les technologies proposées vont permettre de préserver les ressources naturelles d'une potentielle pollution chimique, de substituer en partie les pesticides chimiques, d'éviter le développement des résistances et de la rémanence des matières actives des pesticides chimiques, de produire un café de qualité exempt de résidus de pesticides chimiques et de promouvoir les agents de lutte et l'agriculture biologiques.

## CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTÉRATURE

La compréhension et l'appropriation effectives des contours et concepts de cette étude, ont été possibles grâce à une revue systématique des documents liés à l'objet de l'étude. De cette revue systématique, il était primordial de faire ressortir les informations concernant : l'étymologie de certains concepts de l'étude à travers la présentation du caféier ; du ravageur combattu dont le scolyte des baies, *H. hampei* ; des technologies valorisées dont le champignon entomopathogène *B. bassiana*, des plantes pesticides, *T. peruviana* et *A. indica* ; et du concept de compatibilité entre les produits de lutte contre les agents pathogènes des cultures.

### I.1. Présentation du Caféier, *Coffea* sp

#### I.1.1. Origine et distribution du caféier dans le monde

Découvert approximativement entre le VII<sup>e</sup> et VIII<sup>e</sup> siècle par le Khalid, légendaire berger éthiopien qui avait remarqué que son troupeau de chèvres sautillait énergiquement après avoir mangé des baies rouge vif. Peut-être cette histoire est un mythe, mais les historiens montrent que le caféier Arabica prend son origine vers le Sud-Ouest de la vallée du Rift africain (Sud-Ouest de l'Éthiopie, plateau de Boma au Soudan et mont Marsabit au Kenya) (Anonyme 5, 2018). *Coffea arabica* L. est par conséquent originaire d'Afrique, plus précisément des hauts plateaux du Sud-Ouest de l'Éthiopie (Labouisse et Adolphe, 2012). Il fut cultivé pour la première fois au Yémen, au début du 15<sup>e</sup> siècle (Anonyme 18, 2007) (Fig. 1).

*Coffea canephora* a une histoire beaucoup plus récente puisqu'il fut découvert au 19<sup>e</sup> siècle en Afrique de l'Ouest et dans le bassin du Congo où il fut mis progressivement en culture (Anonyme 18, 2007). Ces deux espèces furent réintroduites dans d'autres pays propices à sa culture incluant l'Afrique équatoriale (Pinard, 2007). De nos jours, les grandes zones de culture se situent principalement en Amérique latine (82%), en Afrique (9%) et le reste en Asie et en Océanie (Bertrand, 2002 ; Bertrand *et al.*, 2002 ; 2012) (Fig. 1).

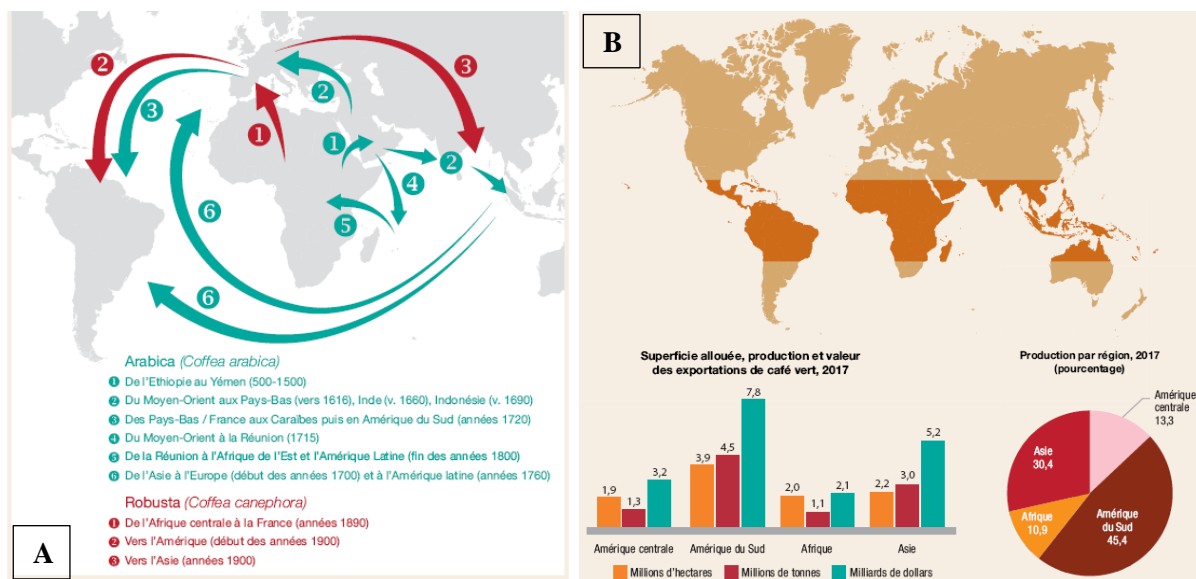


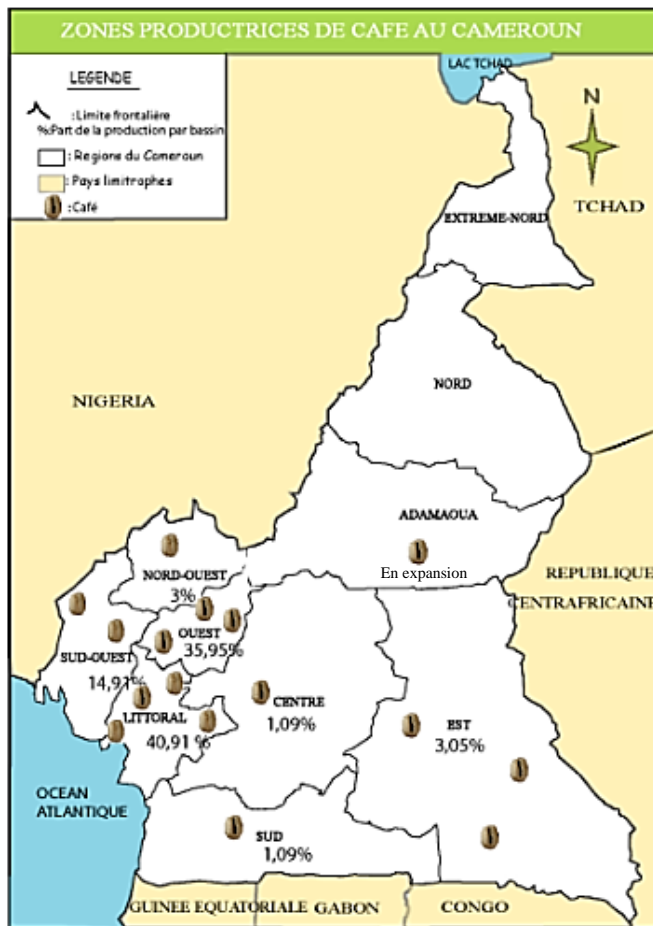
Fig. 1. Distribution et zones de production du café dans le monde.

A. Historique de la distribution des graines de café dans le monde (Pendergrast, 2010) ; B. Ceinture du café dans le monde (Anonyme 5, 2018).

### I.1.2. Distribution du café au Cameroun

L’introduction du café au Cameroun remonte vers les années 1884. La culture du café s’accélère véritablement au Cameroun dès 1929 avec l’arrivée d’un Français M. René Coste Ingénieur Agronome à la tête de la station Agricole de Dschang. Le café est cultivé dans 8 des 10 régions du Cameroun (Anonyme 3, 2017). Deux espèces de café y sont produites dont le Robusta et l’Arabica. La production de Robusta est caractérisée par une forte concentration géographique dans le « bassin du Moungo » qui représente 75 % de production nationale, le second bassin de production est situé dans la région de l’Est. L’Arabica est produit dans les hauts plateaux de l’Ouest et Nord- Ouest (Anonyme 6, 2016) (Fig. 2).

Les régions du Littoral et de l’Ouest, produisent la grande partie du café avec respectivement 41 % et 36 %. Le Sud-Ouest produit environ 15 %, le Centre, l’Est et le Sud produisent ensemble 5 % tandis que le Nord-Ouest produit 3 % à peu près ; à ces régions, il faut ajouter une expansion de la culture dans la région de l’Adamaoua depuis quelques années. Ces productions sont réalisées sur environ plus de 70 000 hectares arables soit plus 60 000 ha pour le robusta et 10 000 ha pour l’arabica (Anonyme 5, 2018) (Fig. 2).



(Carte adaptée Anonyme 6, 2016)

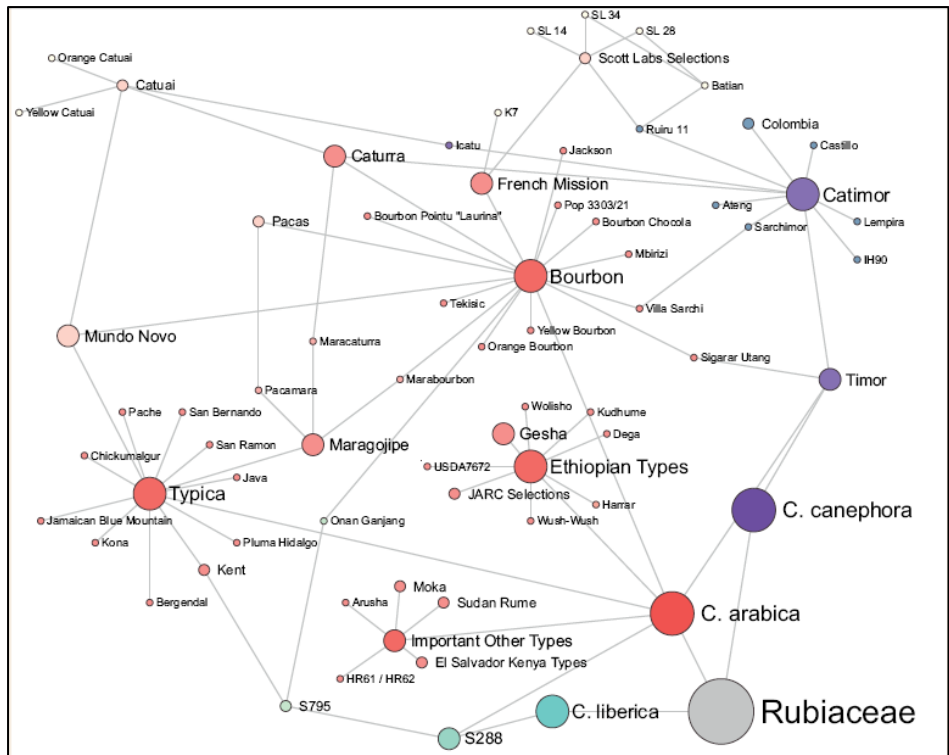
Fig. 2. Zones de production caféière au Cameroun.

### I.1.3. Biologie du caféier

#### I.1.3.1. Classification taxonomique du caféier

Du point de vue taxonomique, les caféiers appartiennent à la grande famille des *Rubiaceés* qui comprend environ 650 genres et 13 000 espèces (Rova *et al.*, 2002) et à la sous-tribu des *Cofféinées* (Chevalier, 1947) (Fig. 3). Les espèces appartenant au genre *Coffea* sont toutes diploïdes ( $2n = 2x = 22$ ) (Louarn, 1992) à l'exception de *C. arabica* qui est amphidiploïde ( $2n = 4x = 44$ ) (Grassias et Kammacher, 1975 ; Louarn, 1972). Ce dernier serait issu de l'hybridation entre *C. canephora* (parent mâle) et *C. eugenioides* Moore (parent femelle) ou des écotypes proches (Lashermes *et al.*, 1999).

Sur plus de 103 espèces du genre *Coffea* (Rubiaceae), seulement deux sont commercialisées : *C. arabica* L. and *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (Jaramillo *et al.*, 2009). Les deux principales variétés d'Arabica sont *Java* et *Jamaïque* (identique à la variété *Blue Mountain*). Par ailleurs, le CIRAD évoque d'autres cultivars dont *Foumbot*, *Babadjou*, *Santa*, *Dschang*, *Kouti*, *Bourbon*, etc. (Anonyme 33, 2021).



(Anonyme 5, 2018)

Fig. 3. Espèces et variétés de café rencontrées dans le monde.

### I.1.3.2. Description botanique du caféier

Le caféier est une plante tropicale qui pousse entre les latitudes de 25° Nord et 25° Sud et dont la culture commerciale nécessite des conditions environnementales très spécifiques. Le café est une plante ombrophile et les systèmes agroforestiers ont d'abord été adoptés, par la majorité des petits producteurs de café à travers le monde, pour fournir l'ombrage nécessaire à un bon équilibre entre productivité et durabilité, sans un recours systématique à l'irrigation ou aux engrais (Mouen Bedimo *et al.*, 2012). La température, les précipitations, l'ensoleillement, le vent et le sol sont très importants mais les conditions nécessaires changent selon les variétés cultivées (Charrier *et al.*, 1997), l'alternance des périodes sèches et des périodes de pluie est importante pour la croissance des arbres, le bourgeonnement et la floraison.

C'est à Antoine de Jussieu, botaniste de l'Académie royale, que l'on doit la première description occidentale du café, qui date de 1715 (Guyot *et al.*, 2003). Ses dessins et commentaires rapportent correctement l'opposition des feuilles le long des rameaux secondaires de la plante et les glomérules floraux à chaque entre-nœud, constitués de fleurs blanches éphémères à 5 pétales soudés et au parfum marqué, auxquelles succèdent les fruits, baies vertes, puis rouges en fin de maturation, formées de 2 grains accolés par leur surface plane et enveloppés d'une pulpe acidulée peu épaisse : on parle ainsi de cerise de café (De Jussieu, 1830 ; Coste, 1955) (Fig. 4A et 4B).



Même s'il est possible de rencontrer des pieds de caféier ne possédant qu'un tronc, la tige du Robusta est souvent ramifiée en plusieurs tiges. Cette espèce pousse plus rapidement et s'avère plus résistante aux maladies d'où son nom « *Robusta* », ceci comparée à l'Arabica (Fig. 4C). Par contre, l'espèce Arabica est caractérisée par une forte fragilité face aux maladies, et par un arbre à tronc unique d'où partent des branches symétriques dirigées vers le haut et des branches basses orientées vers le bas (Fig. 4D) (Anonyme 5, 2016).

*Coffea canephora* (largement connu comme le café Robusta) est natif des forêts humides ou des forêts des basses terres de la rivièrre du bassin du Congo, une zone avec une altitude comprise entre 0 à 1 200 mètres au-dessus du niveau de la mer et une température moyenne de 24-26 °C. Le café Arabica, vu comme la plus haute qualité de café, est natif des hautes terres du Sud-Est de l'Ethiopie où il grandi naturellement comme un arbre du sous-bois dans les forêts à des altitudes comprise entre 1 600-2 800 m au-dessus du niveau de la mer et une température moyenne de 18-21 °C ; au-dessus ou en-dessous de cette altitude, la qualité et le rendement du café Arabica est grandement réduit (Jaramillo *et al.*, 2009).

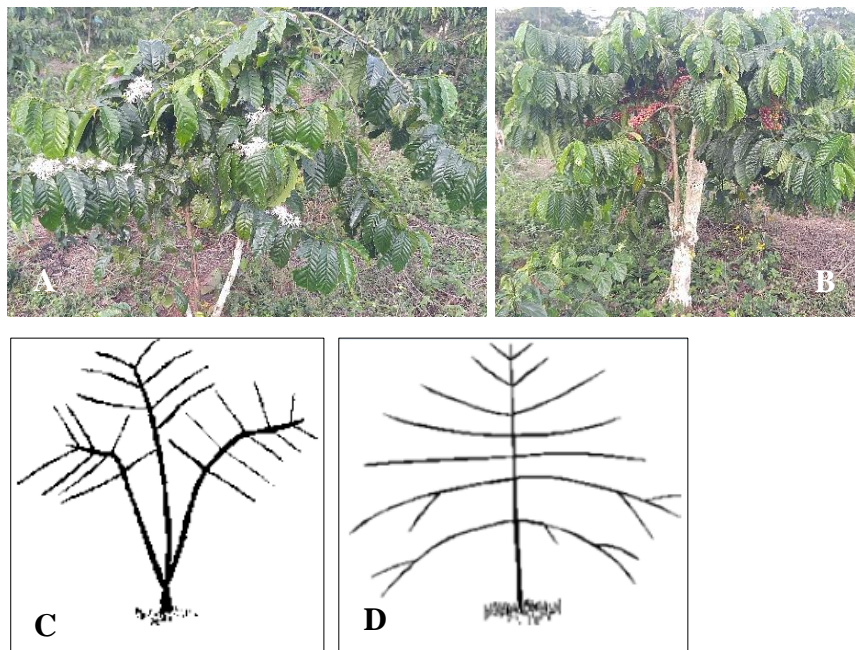


Fig. 4. Plants adultes de caféier et différences entre les deux grandes espèces commerciales. A. pied de caféier portant des fleurs ; B. pied de caféier portant des baies mures ; C. structure d'un pied de l'espèce Robusta (*Coffea canephora*) ; D. structure d'un pied de l'espèce Arabica (*Coffea arabica*) (Anonyme 5, 2018).

Les caféiers ont une architecture suivant le modèle de Roux c'est-à-dire que le tronc est monopodial, orthotrope et régulièrement ramifié de deux rameaux plagiotropes opposés sur chaque nœud du tronc (Hallé et Oldeman, 1970). Les fleurs sont tubuleuses et de couleur

blanche, voire légèrement rosée dans certains cas lorsqu'elles se fanent. Leur taille et le nombre de lobes (de 5 à 8) varient aussi entre espèces (Coste, 1955) (Fig. 5).



Fig. 5. Fleurs de différentes espèces de caféiers.

A. *Coffea pseudozangabariae* ; B. *C. canephora* ; C. *C. arabica* (Adler *et al.*, 2014).

Le fruit du caféier, appelé aussi drupe ou cerise, est un faux fruit. Le fruit est composé d'un exocarpe (ou épicarpe) changeant de couleur à maturité, d'un mésocarpe charnu et de deux graines accolées par leur face plane à invagination « cofféenne » et entourées d'un tégument fibreux appelé parche (Chevalier, 1947 ; Leroy, 1980). Une grande variété de forme, de taille et de couleur (vert, jaune, orange, rouge, violet, noir, blanc) est répertoriée chez les différentes espèces. Le fruit charnu du caféier, où se développe le scolyte, est une drupe d'environ 1,5 cm de long à maturité, de forme ovale elliptique, fixée à sa branche fructifère par un court pédicelle ; selon l'espèce de caféier, elle demande 6 à 9 mois après la floraison pour atteindre sa maturité : de couleur verte, elle grossit et passe par la couleur jaune puis orange avant de devenir rouge (Cochereau et Potiaroa, 1994) (Fig. 6).

S'il n'est pas récolté, ce fruit noircit en se desséchant sur l'arbre ou tombe à terre. L'apex du fruit présente un disque central entouré des vestiges des lobes du calice au centre duquel une petite dépression, plus ou moins prononcée selon les variétés de caféier, correspond à l'emplacement du style ; c'est l'endroit privilégié de pénétration de l'insecte dans le fruit, que ce dernier soit vert, orange ou rouge. La drupe est constituée d'un épiderme fin et translucide protégeant une pulpe molle de couleur jaunâtre riche en mucilages et légèrement sucrée. A l'intérieur de cette pulpe, les graines du caféier, au nombre de deux en général (parfois une seule graine arrondie), sont enveloppées d'un fin endocarpe dur et fibreux appelé parche (Cochereau et Potiaroa, 1994).

A la surface de la graine, une très fine peau argentée protège un endosperme verdâtre et corné plié en des circonvolutions caractéristiques et un petit embryon rectiligne situé du côté du pédicelle du fruit. Après le dépulpage du fruit, le séchage des graines en parche et le

déparçage de ces dernières, on obtient le café vert marchand soumis à l'expertise et prêt à être torréfié (Cochereau et Potiaroa, 1994).



Fig. 6. Fruits des caféiers.

A. Coupe d'une cerise de café (Bytof *et al.*, 2000) ; B. Diversité de forme et de couleur du péricarpe (S. Adler, 2014) : B1. *Coffea kapakata* ; B2. *C. arabica* ; B3. *C. pocsii* ; B4. *C. canephora*.

#### I.1.4. Importance du café

Le café contient de la caféine qui est un alcaloïde ayant des propriétés stimulantes (Contentin et Delaveau, 2010). Plus on consomme le café, plus les risques de diabète de type II diminuent (9 tasses/jour) (Van Dam et Hu, 2005). Cela semble être vrai tant pour le café normal que pour le café décaféiné et le thé (Huxley *et al.*, 2009). Le café inhibe le facteur de transcription NF- $\kappa$ B dont l'activation constante pourrait contribuer à la perte de sensibilité à l'insuline (caractéristique du diabète de type II) (Yi-Fang *et al.*, 2011). Une corrélation entre consommation (4 tasses/jours) de café et diminution du risque de goutte chez les hommes a aussi été suggérée, le café serait bénéfique également contre la maladie d'Alzheimer (Farah et Donangelo, 2006). Dans le monde, il est produit exclusivement au Sud mais se consomme essentiellement au Nord. Les pays industrialisés consomment environ 70 % du café produit dans le monde.

Le café figure toujours dans les statistiques du commerce mondial comme l'un des produits agricoles échangés le plus important (Anonyme 3, 2017). Dans le monde, environ 200 millions de personnes profitent au niveau de la production et de l'industrie du café (Anonyme 3, 2018) (Fig. 7A). Au Cameroun, 104 usines de transformation s'occupent de quelques sacs de café produits localement, offrant ainsi des emplois tant au niveau de la production, de la commercialisation que de la transformation (Fig. 7B). Par ailleurs, le café figure dans la politique agricole, parmi les filières à fort potentiel de croissance et d'exportation dont le pays a décidé de développer pour assurer son autosuffisance alimentaire et conquérir les marchés des sous régions de l'Afrique (Bayiha *et al.*, 2019 ; 2020 ; Anonyme 1, 2020a ; 2020b).

Actuellement dans le monde, l'offre ne correspond pas à la demande projetée. Cela pose des défis mais crée aussi des opportunités à exploiter par les producteurs africains : développement de cafés différenciés et à haute valeur ajoutée (cafés biologiques, cafés de spécialité, cafés certifiés, café de terroir), la torréfaction et la création des marques (Anonyme 5, 2018). Toutefois, le café figure toujours parmi les produits agricoles de base importants de l'économie mondiale (Anonyme 19, 2008 ; Anonyme 5, 2018).

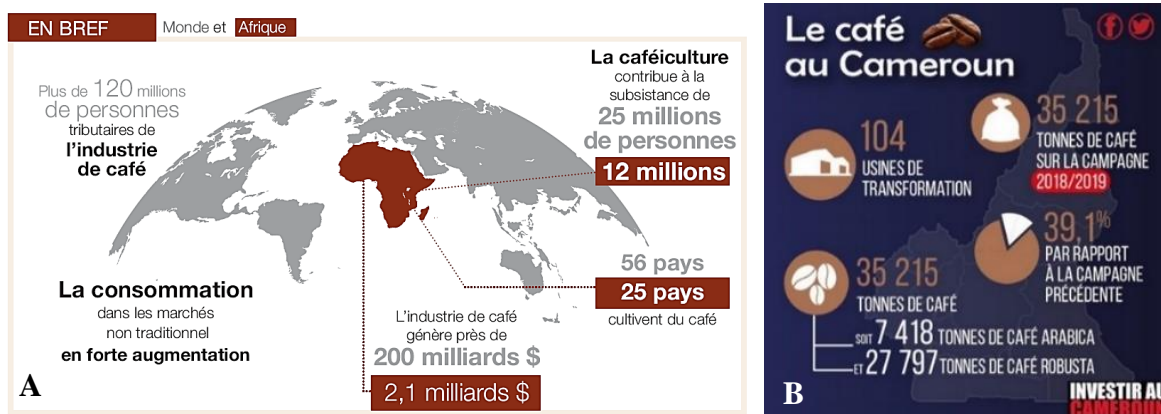


Fig. 7. Economie du café.

A. Statistiques du café dans le monde (Anonyme 3, 2018) ; B. Etat du secteur au Cameroun (Anonyme 20, 2020).

Au Cameroun, le cacao reste important vu qu'il figure dans la stratégie nationale (SND20-30), parmi les filières agricoles à fort potentiel de croissance. Par ailleurs, en 2017, les cafés torréfiés au Cameroun ont remporté cinq prix sur neuf aux Awards des cafés torréfiés à l'origine, organisés par l'Agence de valorisation des produits agricoles en France (Anonyme 8, 2018). Il est à rappeler que la grande partie du café camerounais (90 % du Robusta et 68 % d'Arabica) est torréfiée par les torréfacteurs camerounais (dont 29 recensés au cours de la campagne caféière 2020-2021 (Anonyme 8, 2022b).

### I.1.5. Contraintes phytosanitaires du caféier

La production caféière dans le monde est sujette aux attaques très destructrices des bio-agresseurs, allant des dégâts aux maladies. Pour cette raison, leur incidence est considérée comme étant une menace aux revenus des agriculteurs. Parmi ceux-ci, on a :

- les maladies bactériennes comme les brûlures bactériennes causées par *Pseudomonas syringae*, les brûlures foliaires causées par *Xylella fastidiosa* ;
- les maladies fongiques et la rouille orangée causées par le champignon *Hemileia vastatrix* Berk, la cercosporiose causée par *Cercospora cafeicola* ; l'anthracnose des baies causée par (*Colletotrichum kahawae* Waller et Bridge). Les pertes causées par ce

champignon sont estimées à 80% de la production. On a aussi le pourridié causé par *Armillaria mellea*, la maladie américaine des feuilles de café causée par *Mycena citricolor*, les tâches foliaires algales causées par *Cephaleuros virescences*, et le dieback ;

- les maladies virales telles que les tâches annulaires du café causées par *Coffee ringspot virus* ;
- concernant les insectes ravageurs, on a : la mineuse blanche de la feuille du caféier causée par *Leucoptera coffeella* Guérin-Mèneville, la punaise du café causée par *Antestiopsis orbitalis*, la mouche mineuse qui a pour agent causal *Melanagromisa coffeae*, les thrips du café *Diarthopthrips coffeae*, le scolyte noire du café (*Xylosandrus compactus*), le scolyte brun du café (*Xylosandrus morigenus*) et le scolyte de baies de café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari), qui est le ravageur le plus dommageable économiquement rencontré en caféiculture dans le monde (Anonyme 22, 2006).

## **I.2. Scolyte ou foreur des baies de café (*Hypothenemus spp.*)**

### **I.2.1. Biologie du scolyte**

Le scolyte de baies de café a été décrit en Autriche par le conte Johann Angelo Ferrari comme *Cryphalus hampei* à partir des graines de café importées de France d'origine inconnue, et nommé d'après le Dr. Clemens Hampe qui a fourni des échantillons (Ferrari, 1867). L'espèce a été changée plus tard à *Stephanoderes* Eichhoffs (1871) avec description du genre. Swaine (1909) a traité *Stephanoderes* comme synonyme d'*Hypotenemus*, bien que l'espèce *hampei* n'ait pas été spécifiquement répertoriée, et le genre *Stephanoderes* a continué à être largement utilisé par d'autres. Hagedorn (1910) décrit ce qui est maintenant un synonyme de *H. hampei*, *Stephanoderes coffeae*, expliquant que ce n'était pas la même espèce que *H. hampei*, basée sur une différence morphologique (Fig. 8).

Le scolyte des baies de caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Curculionidae : Scolytinae) est un coléoptère d'origine africaine (Vega *et al.*, 2009 ; Gauthier, 2010). Ce semivore s'alimente et s'adapte à l'ensemble des conditions agro-climatiques favorables à la culture du caféier. Il s'adapte également au rythme de sa fructification plus ou moins étalée au cours de l'année.

Le vol est une forme autonome de dispersion de l'espèce, mais les vents violents ainsi que les activités humaines liées à la culture, la récolte et les traitements post-récoltes, peuvent être responsables de sa dispersion sur de petites et moyennes distances. Par ailleurs, le

commerce international et le tourisme pourraient être à l'origine de sa dispersion sur des distances beaucoup plus grandes (Dufour, 2013). Son aire de dispersion s'est étendue à la presque totalité des pays producteurs de café dans le monde. On le rencontre plus précisément en : Asie, Afrique, Océanie, Amérique centrale et en Amérique du Sud. Le Népal et la Papouasie–Nouvelle-Guinée seraient les seuls pays indemnes de ce ravageur (Burbano *et al.*, 2011).



Fig. 8. Scolyte de baies de caféier (*Hypothenemus hampei*).

A. observation longitudinale d'un individu récolté par l'auteur ; B. Vue longitudinale et dorsale de femelle (à gauche et au centre) et du mâle (à droite) d'*H. hampei* (Vega *et al.*, 2015).

Le cycle biologique du scolyte des baies, se compose de quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte. Tous les stades se déroulent à l'intérieur des fruits du caféier, à l'exception d'une période de vol de la femelle à la recherche d'une nouvelle baie. Ainsi, la dynamique des populations du scolyte peut être caractérisée par différentes phases : la survie à l'intérieur des baies résiduelles sèches ; l'installation dans les jeunes baies vertes ; et enfin la multiplication à l'intérieur des cerises avec la ponte des œufs par les femelles (Fig. 9).

L'adulte (femelle) dépose ses œufs à l'intérieur du grain de café, et après l'incubation, les larves s'en nourrissent. La progéniture totale peut atteindre 200 individus dans un seul fruit et lorsqu'aucun moyen de contrôle n'est utilisé, les populations peuvent atteindre onze millions d'individus dans un hectare, prenant en compte les œufs, larves, pupes et adultes (Infante *et al.*, 2013). Le taux de fécondité du scolyte du café est plus élevé dans les baies qui sont trop mûres que dans les baies non mûres (Mathieu *et al.* 1999).

La durée du cycle varie en fonction de la température et de son cycle de vie (naturel ou artificiel), 21 jours à 27 °C, 63 jours à 19,2 °C et 27,5 jours à 24,6 °C (Bergamin, 1943 ; Vega *et al.*, 2015). Bien que le scolyte préfère les baies du café, il est capable d'infester d'autres fruits, de s'y réfugier en l'absence de cerises de café, voire de s'y reproduire. Les fruits des légumineuses associées au caféier sont ainsi parfois infestés par le scolyte (Damon, 2000).

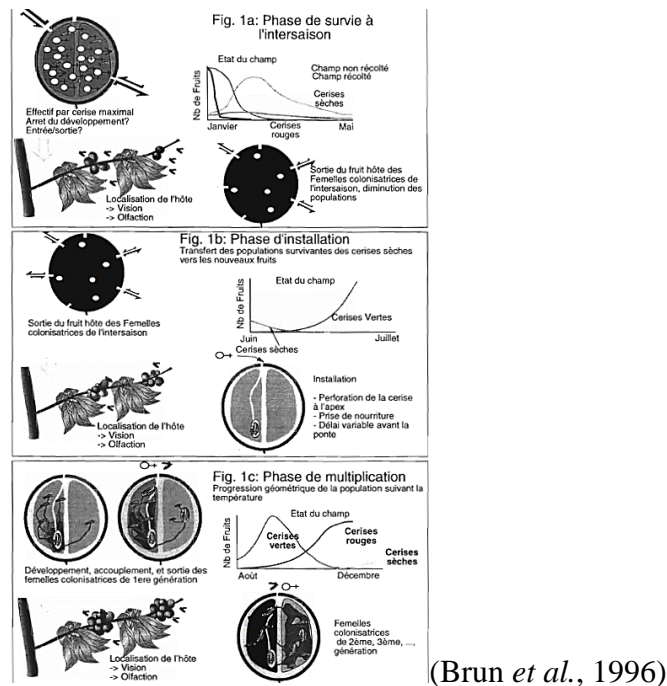


Fig. 9. Dynamique des populations du scolyte.

### 1.2.2. Dégâts causés par le scolyte

Le scolyte cause des dégâts sur toutes les phases de la fructification du caféier. Selon son mode d'attaque, le scolyte se pose d'abord sur la baie et commence à creuser son chemin en mangeant la cuticule, ensuite, le scolyte mange la peau extérieure, mais n'a pas encore atteint le grain de café. Ensuite, il commence à manger le grain de café et c'est à cette étape qu'il cause des dommages significatifs au grain de café. Enfin, il commence (femelle) le processus de ponte des œufs (Bustillo *et al.*, 1998 ; Woodill *et al.*, 2021) (Fig. 10).

Les dommages économiques causés par le scolyte de baies de café sont la chute prématurée des fruits infestés avec pour conséquences une faible valeur commerciale, la dégradation de la qualité et la perte de la bonne saveur du café (Duque et Baker, 2003) (Fig. 11). Au Cameroun, les pertes de production peuvent atteindre 30 à 45 % (Mahob, 2006) ou à 10% dans un échantillon de 100 cerises de café récolté (Mbondji, 1988). Des variations de taux d'attaque s'observent d'une zone à une autre et aussi d'une année à l'autre en fonction de certains facteurs. En particulier, une bonne récolte sanitaire réduirait la population résiduelle, et une grande sécheresse qui suit la fin de récolte entraînerait la dessiccation des baies noires. Ce taux d'attaque est de 17 % au début du mois de mai et 40 % au début du mois de juin à Nkongsamba et à Doumé, elle est respectivement de 14 % et 34 % en fin juin et juillet (Mbondji, 1988).

D'après Cochereau et Potiaroa (1994), une touque ou sac de cerises-flotteur pèse 1 kg de moins qu'une touque de cerises tout-venant. Mais toutes les cerises qui flottent ne sont pas forcément scolytées. Ils ont observé parmi les cerises qui flottent 75 % de cerises scolytées (88,5 g/100 cerises scolytées) et 25 % de cerises non scolytées (89,1 g/100 cerises non scolytées). L'étude des cerises scolytées du flotteur (3 cerises sur 4) a montré que parmi ces cerises 4 cas peuvent se présenter : (1) des cerises avec 2 grains pleins scolytés ; (2) des cerises avec un grain plein scolyté ; (3) des cerises avec un grain avorté ; (4) des cerises avec un grain spongieux non scolyté.

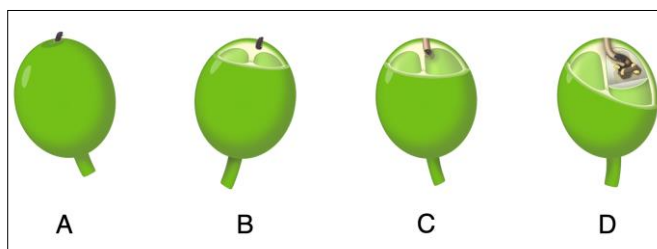


Fig. 10. Mode d'attaque des baies de café par le scolyte.

A. positionnement du scolyte sur la baie de café ; B. pénétration par perforation de la peau extérieure ; C. consommation du grain de café ; D. ponte des œufs (Bustillo *et al.*, 1998 ; Woodill *et al.*, 2021).

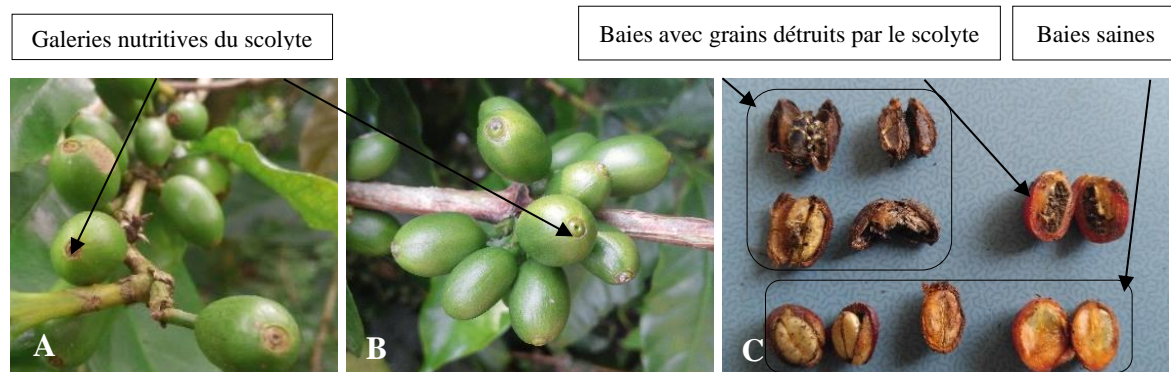


Fig. 11. Dégâts causés par le scolyte dans les baies de café.

A et B. galeries nutritives creusées par le scolyte sur la partie inférieure des baies ; C. dommages causés dans la baie par les adultes et les larves. (Source : auteur)

### I.2.3. Lutte contre le scolyte

Dans des régions où la caféiculture est fortement implantée, l'éradication d'*H. hampei* est quasiment impossible (Decazy et Castro, 1990) ; en Asie comme en Amérique, toutes les tentatives de grande envergure ont échoué (Hernandez-Paz, 1983). La lutte contre le scolyte a pendant longtemps eu recours aux applications d'insecticides, mais également à la récolte sanitaire souvent utilisée par les petits producteurs (Damon, 2000 ; Bustillo, 2002).



Le contrôle chimique a été limité car presque tout le cycle de vie du scolyte a lieu à l'intérieur de la cerise de café. Cela lui permet de développer des mécanismes de résistance aux pesticides. Pour cette raison, les insecticides appliqués pour le contrôle de ce ravageur prouvent rarement leur efficacité. Pour tout insecticide efficace, il doit être appliqué avant que l'insecte adulte n'entre dans la graine de café (Mugo, 2006).

Autrefois la méthode utilisée par les producteurs pour contrôler les ravageurs était la lutte culturale consistant à ramasser les cerises d'intercampagne restées sur les rameaux ou tombées par terre et à les détruire en est l'une des principales. Cependant, l'augmentation des problèmes liés à ceux-ci, les a poussés vers les méthodes chimiques (Masanza *et al.*, 2003). Au Cameroun, la réglementation phytosanitaire a agréé certaines formulations insecticides classiques telles que le carbofuran ou les produits à base de Chlorpyrifos (Amang à Mbang *et al.*, 2012). Cependant, l'apparition de la résistance d'*H. hampei* aux pyréthrinoïdes de synthèse a nécessité la diffusion de nouveaux programmes de traitement comprenant l'endosulfan et des insecticides de type organo-phosphorés (Mawussi *et al.*, 2009).

Les pratiques culturales comme la taille des caféiers, les désherbages réguliers et la culture d'une même variété permettant d'avoir une maturation groupée sont des mesures appropriées pour réduire le risque d'attaques (Decazy et Castro, 1990). L'écorçage des grumes abattues permet d'éviter que des scolytes s'installent sous l'écorce pour y pondre. Les adultes sont en effet attirés par les odeurs des arbres en particulier ceux malades ou en déficience physiologique en cas de sécheresse. Ce phénomène permet de les attirer vers des pièges odorants reproduisant le spectre d'odeurs d'arbres malades (Dufour *et al.*, 2001) (Fig. 12).

Cette technique permet de capturer les femelles colonisatrices de scolytes au cours de leurs vols de migration qui débutent avec les premières pluies (Dufour et Frérot, 2008). Les pièges sont mis en place pendant le mois de Mars et enlevés à la fin du mois de Juin ; ils sont visités tous les 15 jours. Au Cameroun, dans le but de lutter contre ce ravageur, un piège BROCAP (Fig. 12) a été testé dans les conditions de culture du café Robusta de la région de l'Ouest. Les résultats de cette étude ont donné une moyenne de 63,5 % de réduction significative du taux d'infestation des plantations villageoises (Mahob *et al.*, 2006). La couleur rouge est la couleur attractive pour le scolyte. Il faut au minimum 18 pièges/hectare, placés à intervalles de 24 mètres et situés à 1,20 mètre du sol (Anonyme 15, 2003).



(Dufour, 2013 ; Johnson *et al.*, 2020)

Fig. 12. Modèle de piège BROCAP installé dans une caféière.

Plus récemment, les recherches sur la lutte biologique ont abouti, d'une part, à l'usage d'hyménoptères parasitoïdes, élevés de manière artisanale depuis le Mexique jusqu'aux pays andins (Barrera *et al.*, 2008) et dont l'efficacité est actuellement contestée (Baker, 1999), et, d'autre part, à l'application de spores du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill. par aspersion, commercialisées sous différentes marques en circulation sur le marché colombien notamment (Baker, 1999 ; Benavides *et al.*, 2012). Au Cameroun, Pascalet (1939) a recommandé l'introduction d'*Heterospilus coffeicola*, *Prorops nasuta* et *Beauveria bassiana* dans les plantations où ces parasites ne sont pas présents. Ces ennemis naturels réduisent la population du scolyte, mais ne les éradiquent pas. Au Gabon, une étude a montré que les extraits non dilués de *Jatropha curcas* L. tuent 100 % des scolytes de *H. hampei* au même titre que l'insecticide organophosphoré composé d'Endosulfan comme matière active. Les extraits non dilués de *Tabernanthe iboga* Bail., exercent une action répulsive sur le scolyte et les cerises sont protégées jusqu'à 66,67 % (Nguema Ndoutoumou *et al.*, 2015).

### **I.3. *Beauveria bassiana* Vuillemin (Deuteromycotina : Hyphomycètes)**

*Beauveria sp.* a été décrit par Beauverie Jean en 1911, mais c'est le scientifique Italien Agostino Bassi qui révèle pour la première fois l'existence du genre *bassiana* en étudiant durant plus de 30 ans, la maladie de la muscardine blanche sur les vers à soie (*Bombyx mori* L.) (Bassi, 1836). L'espèce *B. bassiana* a été établie par Vuillemin en 1912 et classée dans l'ordre des Hyphomycètes. De Kouassi (2001) rapporte que la classification la plus complète de *B. bassiana* est celle de Mugnai *et al.* (1989). Grâce aux études morphologiques, aux tests biochimiques et enzymatiques, on distingue *B. alba*, *B. amorpha*, *B. borongniartii*, *B. velata*, *B. caledonica*, *B. vermiconia* et *B. bassiana* (Vuillemin) (De Kouassi, 2001).

*B. bassiana* produit des colonies cotonneuses blanches à croissance lente qui virent ensuite au jaune (Humber, 1997 ; 2005). Les conidies de *B. bassiana* sont soutenues par de longs filaments en zigzag qui sont des hyphes transparents de diamètre variant entre 2,5 et 25 µm. Elles sont produites sur des épis courts donnant un aspect épineux aux cellules conidiogènes. En condition aérobie, le champignon produit des conidiospores. Ses conidies sont de forme globuleuse ou subglobuleuse, hyaline, de taille comprise entre 1,5 et 3,5 µm de diamètre. Cependant, le champignon a la capacité de se développer en milieu anaérobie où il produit des blastospores de forme ovale dont les dimensions sont de 2 à 3 µm de diamètre et 7 µm de long (Hussein *et al*, 2010).

*B. bassiana* est présent dans le sol, sur les insectes et les plantes (Sanchez-Pena *et al.*, 2011 ; Meyling et Eilenberg, 2007). Le sol est le milieu conventionnel d'isolement des champignons entomopathogènes. Il reste l'habitat et le refuge par excellence, capable de protéger *B. bassiana* contre les radiations ultraviolettes et autres facteurs abiotiques et biotiques. C'est une espèce préférentielle des sols humides (tropical et subtropical) caractérisés par l'humidité supérieure à 60 %, la température avoisinant  $25 \pm 2$  °C et un pH égal à 6 (Meyling et Eilenberg, 2007). Des études récentes ont montré que *B. bassiana* a la capacité de s'engager dans des interactions avec plusieurs plantes (Fig. 13B). Il fait partie du spectre des champignons endophytes capables de coloniser un grand nombre d'espèces végétales telles que le café (*Coffea arabica* L.), la patate (*Solanum tuberosum* L.), le maïs (*Zea mays* L.), le coton (*Gossypium hirsutum* L.), etc. (Gonzalez *et al*, 2016). Les isolats de *B. bassiana* colonisent aussi plusieurs arthropodes et arachnides (Gonzalez *et al.*, 2016) (Fig. 13C).

Son cycle infectieux est généralement le même pour tous les champignons entomopathogènes. Le processus de pénétration est l'étape la plus importante de la pathogénèse (Ferron *et al.*, 1993) (Fig. 13A). L'avantage majeur consiste en sa capacité à pénétrer la cuticule des insectes piqueurs-suceurs alors que pour les autres microorganismes, l'infection implique d'autres mécanismes tels que l'ingestion et la blessure. Le processus infectieux se déroule en différentes étapes : (i) la reconnaissance et l'adhésion de la propagule fongique au tégument (épicuticule) de l'hôte ; (ii) la pénétration à travers la cuticule par des mécanismes enzymatiques dégradants (protéases, chitinases, chitobiases et N-acétylglucosaminidases exocellulaires) et physiques (pression osmotique des apex des hyphes infectants très élevée); (iii) l'émission de toxines (cyclodepsipeptides type destruxines) et contournement ou débordement des défenses cellulaires (formation de granulomes) et humorales (dépôts de mélanine); (iv) la prolifération (septicémie fongique) et mort de l'hôte;

(v) le développement saprophytique et; (vi) la sporulation en surface du cadavre (Vidal *et al.*, 1997) (Fig. 13A).

Pendant les phases de pénétration et d'émission des toxines, *B. bassiana* produit divers métabolites secondaires comme la beauvéricine, bassianolide, bassianine, tenelline et cyclosporine A qui sont les métabolites clés de ce champignon. Les investigations sur la beauvéricine ont démontré que ce métabolite a des propriétés insecticide, antibiotique, cytotoxique et ionophorique (Chetan *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2021).

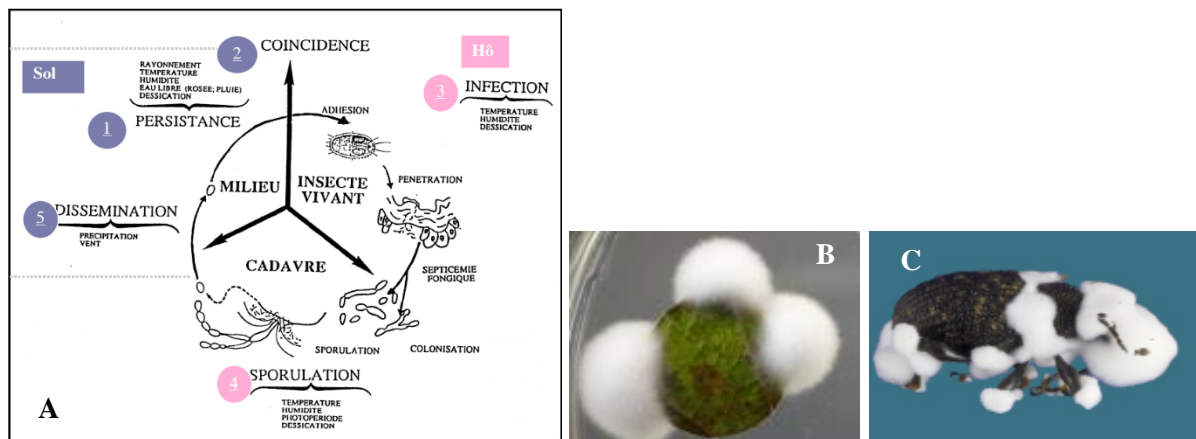


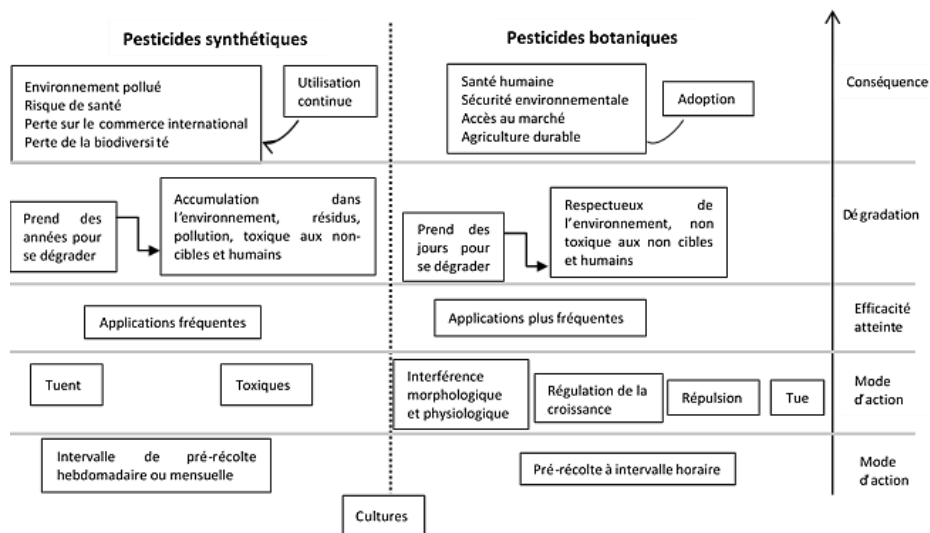
Fig. 13. Processus d'infection par *B. bassiana*. A. cycle infectieux (Vidal *et al.*, 1997) ; B. feuille enrobée de *B. bassiana* ; C. insecte enrobé de *B. bassiana* (Rondot et Reineke, 2013).

Ce champignon comme d'autres agents naturels de lutte biologique, est influencé par la présence des agents chimiques et biologiques de lutte contre les agents pathogènes. Sachant que le contrôle biologique classique par l'introduction des ennemis exotiques ou natives est l'approche la plus utilisée en agriculture dans le contrôle des agents pathogènes, au dépend de la conservation et valorisation du contrôle biologique naturel (agents de contrôle biologique existant dans l'agroécosystème) (Vega *et al.*, 2015 ; Aristizabal *et al.*, 2016). Cependant, le succès de l'utilisation des biopesticides dans les programmes de gestion intégrée des maladies et pestes des cultures, requière probablement une compatibilité avec d'autres ennemis naturels de ces maladies et pestes des plantes. Jusqu'à ce jour très peu de travaux ont étudié la viabilité de *B. bassiana* en association avec d'autres intrants chimiques ou biologiques (Mohan *et al.*, 2007 ; Ribeiro *et al.*, 2012). Quelques études de compatibilité ont été effectuées avec les extraits de poudre de feuilles de tabac (*Nicotiana tabacum*) (Ribeiro *et al.*, 2012), les formulations commerciales ou dérivés à base de neem (*Azadirachta indica*) et des produits chimiques (Depieri *et al.*, 2005 ; Mohan *et al.*, 2007 ; Ribeiro *et al.*, 2012).

#### **I.4. Plantes pesticides (PP)**

Les plantes pesticides jouent un rôle important dans la lutte biologique contre les agents pathogènes des plantes. Les substances naturelles que contiennent ces plantes, sont utilisées comme produits de biocontrôle (Anonyme 10, 2011) et sont différentes des pesticides chimiques sur plusieurs plans (Lengai *et al.*, 2020) (Fig. 14). L'utilisation des plantes pesticides est également une méthode de lutte antiparasitaire, abordable et viable économiquement (Amoabeng *et al.*, 2014 ; Mkenda *et al.*, 2015). Le règlement européen no 834/2007 du 28 juin 2007 relatif à la production biologique acceptent ces substances en tant que produits phytopharmaceutiques ; ce qui est le cas de l'Azadirachtine extraite d'*Azadirachta indica* (neem ou margousier) avec la mention « insecticide ». Cependant, dans l'agriculture conventionnelle, ces substances ne sont pas acceptées en tant que pesticides, car le mélange issu du broyage des graines rend difficile à remplir les critères exigés par la directive 91/414/CE et imposés par le code rural pour la substance active et l'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) (Anonyme 13, 2009).

Face aux contraintes phytosanitaires, sanitaires et environnementales, il est requis un modèle d'agriculture réduisant les intrants chimiques, optimisant la biodiversité et stimulant les interactions entre les différentes espèces. Le contrôle biologique avec l'utilisation des pesticides et agents biologiques (plantes pesticides, champignons entomopathogènes, parasitoïdes, bactéries, prédateurs) répond à ce besoin (Wahab, 2006 ; Lengai *et al.*, 2020). Les extraits de plantes pesticides (EPP) comme *Azadirachta indica* A. Juss. (Neem ou margousier) et *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. (Laurier jaune), sont des cadeaux de la nature dans la gestion intégrée des contraintes phytosanitaires et des alternatives efficaces aux pesticides chimiques.



(Lengai *et al.*, 2020)

Fig. 14. Modèle adapté illustrant les différences entre les pesticides synthétiques et botaniques.

### I.4.1. Neem, *Azadirachta indica* A. Juss

#### I.4.1.1. Biologie du neem

Arbre de la famille des Méliacées et originaire d'Inde et d'Asie du Sud Est, le neem ou le margousier (*Azadirachta indica* A. Juss) ou Ganye ou Marrango (noms vernaculaires du Cameroun) (Faye, 2010) est un arbre pouvant atteindre 20 m de hauteur et 2,5 m de circonférence (Fig. 15A). Il peut vivre de 200 à 300 ans. On le retrouve dans les zones arides et semi-arides des tropiques en Asie et il a été introduit en Afrique, Australie ainsi qu'en Amérique du Sud et Centrale, aux Antilles et au Mexique. Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, la plante est introduite dans plusieurs pays en voie de développement, et particulièrement en Afrique tropicale. Il a fait l'objet d'intenses campagnes de plantation au cours des dernières années (Bélanger et Mousabyimana, 2005 ; Faye, 2010), particulièrement au Cameroun où on le trouve à l'Extrême-Nord aussi bien en campagne qu'en ville.

Cet arbre est une plante incroyable qui a été déclarée comme "Arbre du 21<sup>e</sup> siècle" par les Nations Unies (Anonyme 11, 2012). Il appartient au Règne : *Plantae* ; Sous-règne : *Tracheobionta* ; Division : *Magnoliophyta* ; Classe : *Magnoliopsida* ; Sous-classe : *Rosidae* ; Ordre : *Rutales* ; Sous-ordre : *Rutinae* ; Famille : *Meliaceae* ; Sous-famille : *Melioideae* ; Tribu : *Miliea* ; Genre : *Azadirachta* ; Espèce : *A. indica* A. Juss. (Schmutterer, 1995 ; Puri, 1999).

Les arbres peuvent commencer la floraison et la fructification à l'âge de 4-5 ans, mais les quantités économiques des semences (jusqu'à 50 kg de fruits soit 30 kg de graines) ne sont produites qu'après 10-12 ans. Les fleurs (blanches et parfumées) sont disposées axillairement,

avec des panicules normalement en plus ou moins retombants, ayant jusqu'à 25 centimètres de longueur. Les inflorescences, qui se ramifient, portent de 150 à 250 fleurs. Le fruit a une surface lisse, une olive drupe qui varie de la forme ovale allongée à une forme arrondie. Quand il est mûr, la peau du fruit (épicarpe) est mince et la pulpe douce-amère (mésocarpe) est d'un blanc jaunâtre, jaune verdâtre à jaune et est très fibreuse. L'exocarpe est mince. Le mésocarpe est pulpeux et l'endocarpe cartilagineux. Il contient deux ou trois, graines (amandes) allongées ayant un tégument brun. Certains arbres isolés ne portent pas de fruits, ce qui suggère la présence d'auto-incompatibilité. Les fruits mûrissent à environ 12 semaines à compter de l'anthèse (période où la fleur est fonctionnelle). Les graines ovoïdes ou sphériques ont un sommet pointu (Fig. 15B). Elles sont allongées ayant un tégument brun. Ses fruits et les graines sont la source de l'huile de neem (Bationo *et al.*, 2004).



Fig. 15. Présentation du Neem.  
A. arbre ; B. fruits frais (Mouffok, 2007).

#### **I.4.1.2. Composition chimique et propriétés du neem**

Baptisé arbre aux merveilles, le neem est utilisé depuis plusieurs décennies en Inde et en Afrique pour ses propriétés médicinales et ses effets létaux sur les insectes parasites (Schmutterer, 1995). Les extraits de neem ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques à travers le monde, au terme desquelles il leur a été conféré plusieurs propriétés (Faye, 2010).

Plus de 168 composés répartis en un groupe de 7 substances proches dont l'azadirachtine (matière active principale), se trouvent dans les extraits de graines de neem. Il s'agit des terpénoïdes. L'azadirachtine A est le principal composé à propriétés insecticides (400 espèces d'arthropodes nuisibles) du neem, néanmoins, il n'est pas responsable à lui seul des effets remarquables du neem. Dans ces extraits de graines, on y retrouve de l'huile qui peut être extraite à part par des procédés à froid ou à chaud. Comparé à l'azadirachtine, la toxicité de l'huile est faible. Cette huile est composée de : acide oléique, acide stéarique, acide

palmitique, acide linoléique et l'acide myristique. Les composés actifs comme la nimbine, la nimbidine et la nimbosterol y sont présents dans cette huile. L'azadirachtine contamine rarement les eaux car il est fortement absorbé par le sol et rapidement dégradée. De même, ce composé est photolytique donc très sensible aux U.V et au pH. Par ailleurs, l'huile est fortement photolabile (demi-vie de 20h après un épandage à la surface d'un feuillage) (Schenk, 2001 ; Gauvin *et al.*, 2003).

Le screening phytochimique des extraits aqueux révèle la présence de nombreux composés chimiques appartenant à des familles différentes telles que les huiles essentielles, les stérols, les coumarines, les phénols, les sucres, les tannins, les alcaloïdes et les saponines avec une importante richesse en stérols et en sucres. Les alcaloïdes, les anthraquinones, les saponines, les coumarines et les huiles ont quant à eux été présents mais, en faible quantité. Les profils chromatographiques ont révélé la présence de près de 30 composés chimiques. Les composés ultra minoritaires se sont montrés moins nombreux tandis qu'on a dénombré environ cinq avec l'extrait aqueux (Faye, 2010 ; Mboussi *et al.*, 2016a).

C'est en 1928 et 1929 que deux chercheurs indiens (Chopra et Husain) ont prouvé pour la première fois, la capacité du neem à repousser les insectes (Chopra *et al.*, 1952). Ils ont utilisé 0,001 % d'une suspension aqueuse de graines de neem pour repousser du sol des criquets pèlerins (Schmutterer, 1995). L'azadirachtine qui est l'un des principaux composés semble agir sur 90 % de ravageurs (400 espèces d'arthropodes nuisibles). Il influence sur la croissance et le développement de l'insecte (croissance larvaire, mue), et comme facteur antinutritif. Des études récentes ont montré que l'huile de ses graines causait une forte mortalité de *H. hampei* et assurait la protection des baies de café (Depieri et Martinez, 2010 ; Celestiono *et al.*, 2016).

Au moins 12 modes d'action des extraits de neem ont été recensés. Ainsi, ces extraits peuvent agir comme : répulsif ; anti-appétant ou phago-dissuasif ; régulateur de croissance pouvant affecter la ponte chez les femelles ainsi que la mue et la croissance des larves chez certains arthropodes ; ovicide ; larvicide ; affaiblit les insectes et inhibe leur résistance. La fiabilité des résultats de nombreux travaux montrant les propriétés insecticides du neem a conduit les pays comme les Etats-Unis et le Canada à homologuer l'azadirachtine, matière active du neem comme insecticide (Bélanger et Musabyimana, 2005).

D'autres composés (environ 24) sont présents dans les feuilles, le bois ou l'huile de neem. Ces composés auraient aussi un pouvoir insecticide principalement de type hormonal ou



antinutritif. Cette large gamme de produits réduit les risques de résistance ou d'accoutumance de la part des insectes (Bélanger et Musabyimana, 2005).

Les bactéries *Staphylococcus* et *Escherichia coli* sont inhibées par l'huile de neem. Les extraits de neem se sont révélés efficaces contre certains champignons qui infectent le corps humain et contre les maladies fongiques des végétaux. La plante renferme un grand nombre de molécules actives de la famille des triterpénoïdes possédant des propriétés antimicrobiennes. Même le développement de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer est inhibé par les extraits des graines de neem qui a donc un effet fongicide (Pohe et Angeroh, 2013 ; Mboussi, 2016). *Lasiodiplodia theobromae* est inhibé *in vitro* par les extraits de neem (Adeniyi et Abiodun, 2015 ; Mvondo Nganti *et al.*, 2019a).

La majorité des parties de la plante a des propriétés médicinales et est utilisée pour la préparation de nombreux produits médicaux. En médecine allopathique, homéopathique et dans la médecine traditionnelle d'Inde, les extraits de neem sont utilisés pour un grand nombre de pathologies, soins dermatologiques, respiratoires, digestifs. Elle a également des propriétés antiseptiques (Schmutterer, 1995). Le tourteau de neem est largement utilisé pour fertiliser les cultures de rente, et intégré dans le sol, il protège les racines des plantes des nématodes et des fourmis blanches, probablement en raison de ses limonoïdes résiduels. La plante peut aussi servir de brise vents en raison de sa faible ramification, mais son utilisation dans la stabilisation des talus est justifiée grâce à ses racines profondes (Faye, 2010).

Ainsi, l'arbre est exploité comme arbre d'ornement, de protection contre le soleil (à travers son ombre), mais aussi pour la reforestation et la stabilisation des sols, et pour la production de bois d'œuvre (tronc de l'arbre) et de combustible solide (Faye, 2010).

#### **I.4.2. Laurier jaune (*Thevetia peruviana*)**

##### **I.4.2.1. Biologie du laurier jaune**

Originaire de l'Amérique tropicale (Pérou), le laurier jaune, de nom scientifique *Thevetia Peruviana* (Pers.) K. Schum., est un arbuste ornemental qui pousse dans d'autres régions du monde comme l'ouest de l'Asie, le sud de l'Europe, l'Inde et l'Afrique tropicale. Ce nom provient d'André Thévet, un moine français l'ayant décrit lors de ses voyages en Amérique (Guyane et Brésil). Son nom de « bois à lait » provient de l'aspect de son abondante sève toxique. De la famille des Apocynacées, il peut atteindre une taille de 1,5 m en bac à 8 m de hauteur en pleine terre (Fig. 16A). Son feuillage est persistant et les feuilles sont linéaires, sessiles, longues de 8 à 15 cm, étroites, lancéolées, pointues avec une nervure centrale. Leur

grande corolle jaune or en forme d'entonnoir est composée de 5 pétales qui se chevauchent l'un l'autre. Elles sont isolées, ou groupées à l'extrémité des rameaux. Ces fleurs sont hermaphrodites, spiralées et évasées. Elles ont une couleur jaune, assez grandes, odorantes, en cymes subterminales, et elles apparaissent annuellement. Les fleurs laissent place à de gros fruits (4 cm), triangulaires, à noyau (Joly, 2010) (Fig. 16B).

Ces fruits sont des drupes globuleuses et tétraédriques. Ils sont de couleur vert quand ils sont immatures, mais deviennent vert sombre à maturité. Les graines contenues dans les fruits sont de couleur marron et contiennent un noyau ligneux très dur et de couleur généralement jaunâtre, parfois brunâtre, noirâtre ou rougeâtre. Le péricarpe ligneux est composé de deux carpelles (séparés par une cloison ligneuse ailée) contenant chacune deux graines aplaties, ovoïdes logés dans les alvéoles. Sa culture peut se faire en bac et en le tenant à l'écart du froid. En terre, il faut un sol fertile acide, neutre ou alcalin et bien drainé, dans une atmosphère humide et chaude. La plante peut se multiplier par bouturage ou par semis et sa croissance est rapide (Kengne, 1984 ; Joly, 2010) (Fig. 16C).



Fig. 16. *Thevetia peruviana*.

A. plante entière ; B. branche avec feuilles et fleurs ; C. noyau sec du fruit. (A et C : Mboussi, 2016).

#### I.4.2.2. Composition chimique et propriétés de *Thevetia peruviana*

La plante contient un latex blanc irritant qui sort dès qu'on blesse la plante et qui est un irritant. Toutes les parties de cette plante contiennent ce latex et sont considérées comme toxiques. Les principales principes actifs ou toxines sont : les thévétosides, les gentiobiosyl-thévétosides, la digitoxigénine (la thévétine A, la thévétine B), l'uzarigénine, la cannogénine et les thévétiosides comme la périvoside. Ce latex contient aussi des saponosides qui peuvent favoriser l'absorption digestive des hétérosides cardiotoniques (Joly, 2010). Ses graines sont aussi riches en huile soit 35,5 à 41 et même 57 %. Cette huile serait incolore non siccative, de saveur agréable et riche en protéine (35 %) (Ibiyemi *et al.*, 2002). Elle peut s'obtenir soit par

le sulfure de carbone, soit par expression, soit par soxhlet, soit par macération dans les solvants organiques, ou par pressage des graines.

Le screening phytochimique des extraits aqueux révèle la présence de nombreux composés chimiques appartenant à des familles différentes tels que les huiles essentielles, les stérols, les coumarines, les phénols, les sucres, les tannins, les alcaloïdes et les saponines. Cependant, les extraits aqueux de *T. peruviana* se sont montrés plus riches en stérols et en sucres. Les alcaloïdes, les anthraquinones, les saponines, les coumarines et les huiles ont quant à eux été présents mais, en faible quantité. Les profils chromatographiques ont révélé la présence de près de 30 composés chimiques. Les composés ultra minoritaires se sont montrés plus nombreux alors qu'un seul composé majoritaire a été obtenu avec les extraits aqueux (Mboussi *et al.*, 2016a).

A cause de son ombrage et du parfum odoriférant de ses fleurs, le laurier jaune est communément utilisé comme plante ornementale. On l'emploie également comme plante médicinale, rodenticide, bactéricide, fongicide et insecticide (Aubry *et al.*, 2011).

Les noyaux broyés et mis à tremper dans de l'eau froide constitueraient un bon insecticide en additionnant à cette solution une quantité de savon égale au poids des noyaux utilisés ; le dosage efficace est d'autant plus important que le squelette des insectes à détruire est dur (Berhaut, 1971). Ses composés ont montré des propriétés insecticides et anti-appétant sur *H. hampei* (Isman, 2006 ; Mawussi, 2008 ; Vijayalakshmi *et al.*, 2014 ; Green *et al.*, 2015 ; Samy, 2018), sur la mouche domestique (Reed *et al.*, 1982) ou sur les mirides (Mboussi *et al.*, 2018). Par ailleurs, Chougourou *et al.* (2012) ont montré que les graines de *T. peruviana* étaient très riches en huile qui a un effet insecticide contre *Musca domestica*.

L'effet fongicide des extraits des graines de *T. peruviana* a été démontrée contre *Rhizoctonia solani* et *Cladosporium cucumerinum* (Kurucheve, 1997 ; Gata-Gonçalves *et al.*, 2003). Ces mêmes propriétés ont également été démontrées *in vitro* et en champ avec succès sur quelques souches de *Phytophthora megakarya* (Ambang *et al.*, 2010 ; Mboussi *et al.*, 2016a, 2016b).

La plante a beaucoup été utilisée comme médicament traditionnel en Asie (voies orale et cutanée) avec de nombreux cas d'intoxications. Les graines, les feuilles, les fruits et les racines sont couramment utilisés en médecine traditionnelle comme purgatif contre l'hydropisie et le rhumatisme et comme émétique. 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 pour la gale, la lèpre et le psoriasis (Berhaut, 1971). En médecine moderne, cette plante est utilisée comme cardiotonique pour le traitement des défaillances cardiaques (Petelot, 1953). Par ailleurs, Tewtrakul *et al.* (2002) ont isolé des feuilles de *T. peruviana* des flavones et des flavonoïdes gluconiques qui auraient des propriétés inhibitrices contre la transcriptase et l'intégrase du virus du sida. Il a aussi été rapporté que la plante était utilisée à des fins suicidaires dans certains pays (Inde, Sri Lanka) (Joly, 2010).

## CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

### II.1. MATERIEL

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

Au niveau du territoire, l'étude a été réalisée dans les localités de Foumbot (Fig. 17B1), Nkoémvone (Fig. 17B3), Melong (Fig. 17B4), Bamendjou (Fig. 17B1) et Doumé (Fig. 17B2) où les producteurs enquêtés et les parcelles d'expérimentation ont été choisies. Le choix s'est porté sur ces localités car elles comptent parmi les grands bassins de production du café Arabica (Bamendjou) et Robusta (Melong et Doumé) au Cameroun, sont accessibles par des routes nationales et sont situées dans trois zones agroécologiques différentes (Tableau I). Au niveau de l'exploitation agricole, les producteurs ont été enquêtés pour évaluer les pressions parasitaires et les stratégies de lutte mises en place contre ces ennemis.

A l'échelle des caféières, les échantillons de scolyte, de baies et de sol ont été récoltés dans les parcs à bois de caféier des stations de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de la localité de Nkoémvone (Robusta), située dans la région du Sud, département de la Mvila (2°90' de latitude Nord à 12°2' de longitude Est ; 500 à 1 000 m d'altitude ; 25 °C de température moyenne annuelle) (Fig. 17B3) et de la localité de Foumbot (Arabica), située dans la région de l'Ouest, département du Noun (Latitude 05°29'034" et Longitude 010°33'33.0" ; altitude de 1 240 m à 2 740 m ; température moyenne annuelle de 19 °C) (Fig. 17B1) (Anonyme 4, 2008, 2019 ; Voula *et al.*, 2018). Ces parcs à bois sont peu traités avec les pesticides (au contraire des champs des paysans). C'est à cette même échelle qu'ont été réalisés les tests d'efficacité en champs plus particulièrement dans les localités de Doumé, Bamendjou et Melong.

Dans le Laboratoire Central de Phytopathologie (LCP) et le Laboratoire Central d'Entomologie (LCE) du Centre de Recherche Agricole de Mbalmayo (CRAM) de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), situés à Yaoundé au Cameroun, ont été effectués l'élevage des insectes, l'isolement du champignon et les tests d'efficacité sur le scolyte et de compatibilité entre les extraits des plantes et *B. bassiana*.

Tableau I : Principales caractéristiques des zones d'études.

Caractéristiques	Sites d'étude		
	Doumé	Bamendjou	Melong
Région	Est	Ouest	Littoral
Département	Haut-Nyong	Hauts-Plateaux	Moungo
Village de la parcelle	Afia	Balatsit	Lelem/Black Water
Altitude (m)	641-944	1595-2000	790-900
Latitude	4°1'24'' Nord	5°23'23'' Nord	5°07'22'' Nord
Longitude	13°10'34'' Est	10°19'54'' Est	9°57'08'' Est
Température annuelle (°C)	23,6	17-20	22,5
Pluviométrie annuelle (mm)	778,4	1500-1800	1364-2000
Zone agroécologique	V	III	IV

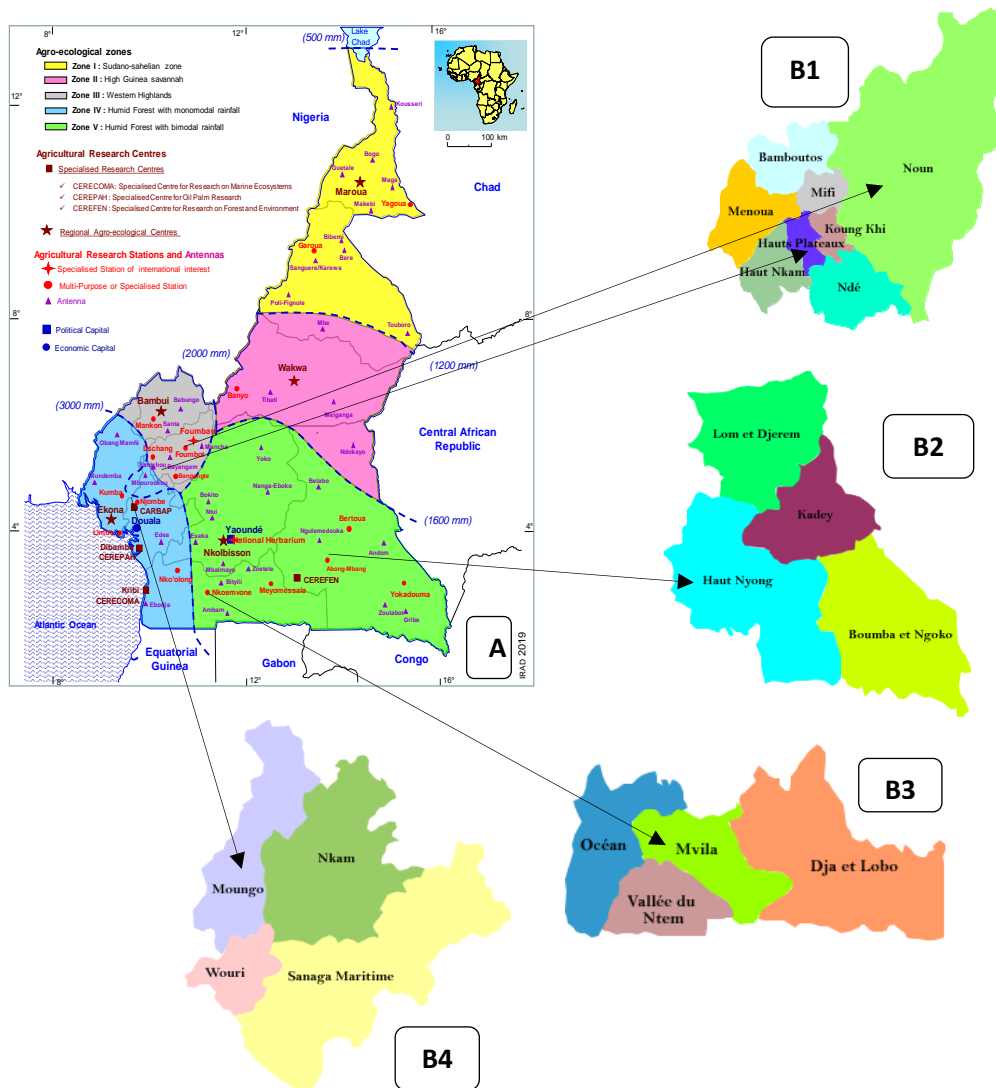


Fig. 17. Carte des sites d'étude.

A : Pays (Anonyme 4, 2019) ; B1. Région de l'Ouest ; B2. Région de l'Est ; B3. Région du Sud ; B4. Région du Littoral.

### II.1.2. Matériel biologique utilisé

Le matériel biologique utilisé dans cette étude était constitué des scolytes adultes (*H. hampei*) récoltés en champ et multipliés au laboratoire (Fig. 18E), des baies de café fraîches (Fig. 18E), de deux souches du champignon *B. bassiana* (Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe) isolées du sol prélevé dans les caféières, des graines de *T. peruviana* (Fig. 18C) et d'*A. indica* ainsi que de l'huile de cette dernière (Fig. 18A et B), des larves saines de dernier stade de *Rhynchophorus* sp, des graines de maïs et d'arachides, et des pieds de caféiers en champ.

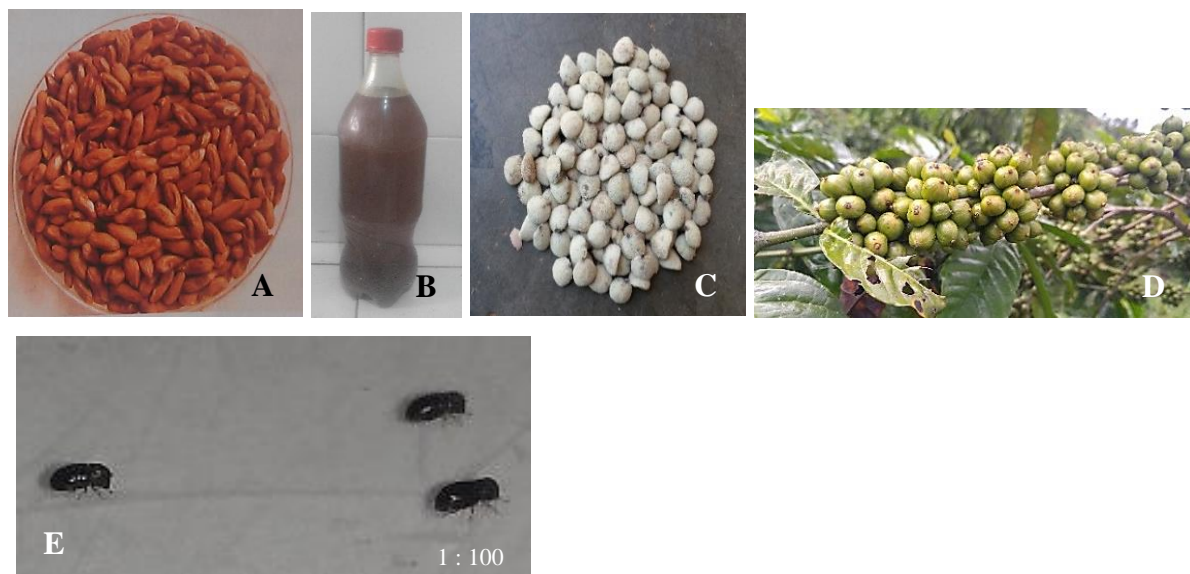


Fig. 18. Carte des sites d'étude.

A : amandes de neem (Mboussi, 2016) ; B. huile de neem ; C. amandes de laurier jaune (Mboussi, 2016) ; D. baies non mures de café ; E. scolytes retirés des bocalux.

### II.1.3. Matériel synthétique utilisé

Le matériel synthétique utilisé était constitué d'un insecticide chimique dont le nom commercial est le Pyriforce composé du Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l, du fongicide chimique appelé Sphinx composé de Chlorothalonil 400 g/kg + Diméthomorphe 80 kg, du Potatoes Dextrose Agar (PDA) comme milieu de culture du champignon, de l'eau de javel, de l'alcool et du tween 80.

### II.1.4. Autre matériel utilisé

Le reste de matériel était constitué : des trames d'enquêtes et fiches de collecte des données pendant les enquêtes ; des enveloppes et sac plastique pour la collecte des échantillons ; d'un appareil photo numérique et d'un GPS ; de l'eau distillée stérile, du coton, des papiers buvards, des boîtes de Petri de 90 mm de diamètre, des seaux de 20 l, des gobelets en plastique de 10 cl de volume, de la mousseline et des élastiques, d'une hotte à flux laminaire,

de l'étuve, de l'autoclave, du papier aluminium, du film alimentaire, du coton, du papier essuie-tout, de la verrerie dont des erlenmeyers et béchers, d'un microscope avec caméra, d'un agitateur magnétique, des tubes Eppendorf, des micropipettes, des seringues, des tubes à essai, d'un hématimètre ou cellule de Malassez, d'une balance de précision, d'un réfrigérateur, d'une hanse de platine, d'un emporte-pièces, des gants en latex, d'un cache-nez, d'un registre et d'une règle graduée pour les travaux au laboratoire ; des bottes, des lunettes et cache-nez, des gants en caoutchouc, d'une machette, d'une ficelle, d'un pulvérisateur de 16 l, du savon en poudre, de l'huile raffinée et d'une grille de collecte des données pour les tests en champ.

## **II.2. METHODES**

L'étude a été réalisée en trois phases entre les années 2017 et 2020 :

- la première phase dans laquelle ont été effectuées la revue documentaire, la recherche des financements, les enquêtes auprès des producteurs de café, les observations dans les caféières, le choix des parcelles expérimentales, le prélèvement des échantillons de sol, la chasse des scolytes, la récolte des graines de neem et du laurier jaune ;
- la deuxième phase a été marquée par l'élevage du scolyte au laboratoire, l'isolement et l'identification des souches de champignons entomopathogènes au laboratoire, l'obtention des différents extraits et concentrations des traitements évalués, et les tests d'efficacité au laboratoire sur le scolyte et les tests de compatibilité des extraits avec *B. bassiana* ;
- la troisième phase pendant laquelle ont été délimités et étiquetés les parcelles et blocs expérimentaux, l'application des différents traitements à base de *B. bassiana* et des extraits des plantes pesticides, l'évaluation de l'efficacité des produits, des rendements, l'analyse des données, l'interprétation des résultats et la rédaction du mémoire.

### **II.2.1. Diagnostic sanitaire des caféières et des stratégies de régulation**

Dans cette étude, les contraintes phytosanitaires et les différentes stratégies de régulation de ces contraintes et d'amélioration des rendements ont été évaluées à travers des enquêtes et des observations en champs. Après l'obtention du visa auprès des autorités compétentes, les enquêtés ont été sensibiliser sur les objectifs et le bienfondé de nos enquêtes comme le stipule les alinéas 1 et 2 de l'article 9 de la loi 2020 régissant l'activité statistique au Cameroun (Anonyme 1, 2020c). Ces méthodes sont fiables pour faire un état des lieux, comme l'a montré Avelino *et al.* (2018) en évaluant les maladies et pestes dans les vergers caféiers.



Cette évaluation s'est faite après acquisition des informations sur les caféières et les producteurs.

#### **II.2.1.1. Echantillonnage des producteurs**

L'unité expérimentale a été de soixante-trois planteurs enquêtés, repartis en vingt-et-deux planteurs à Bamendjou, vingt-et-un planteurs à Melong et vingt planteurs à Doumé. Le choix des planteurs s'est fait selon la méthode d'échantillonnage non probabiliste ou non aléatoire qui se fait de façon raisonnée. Un planteur renvoie à une personne physique possédant une exploitation agricole constituée des richesses en main d'œuvre humaine et ressources matérielles. Ainsi, les planteurs ayant au moins une caféière à charge ont été choisis comme unité de base d'échantillonnage après une rencontre avec les responsables de la Délégation du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) et des coopératives de café de chaque localité. De ces rencontres, les listes des producteurs et localités précises de l'étude ont été circonscrites.

L'âge moyen de tous les producteurs enquêtés était de 53,05 ans. L'échantillon total des producteurs enquêtés était composé de 92,1 % d'hommes et 7,9 % de femmes. Spécifiquement, cent pour cent (100 %) des producteurs de Doumé et de Bamendjou étaient des hommes alors que 23,8 % des femmes contre 76,2 % d'hommes constituaient l'échantillon de Melong.

#### **II.2.1.2. Enquête auprès des producteurs**

L'objectif de cette enquête était, d'une part, d'évaluer les pressions phytosanitaires que subissent les vergers caféiers, les stratégies mises en place par les producteurs pour y faire face, et d'autre part, de fixer le ravageur à réguler, la méthode de régulation (chimique, culturale ou biologique) et les produits à tester dans cette étude.

Des entretiens de type compréhensif semi-directif ont été réalisés à l'aide d'un questionnaire préétabli et ouvert (Fig. 19). Ce questionnaire comportait des questions semi-structurées qui ont permis de recueillir des informations et de faire une typologie des producteurs selon les critères suivants : les parasites et ravageurs que subissent ces caféières ; la période d'apparition, de forte attaque et le taux d'attaque approximatif des baies par le scolyte ; les stratégies principales de lutte contre les parasites et particulièrement le scolyte ; les stratégies et techniques de régulation de ces parasites ; la perception concernant l'utilisation

des pesticides chimiques et biologiques dans la production de café et les projets d'avenir dans la caféiculture.

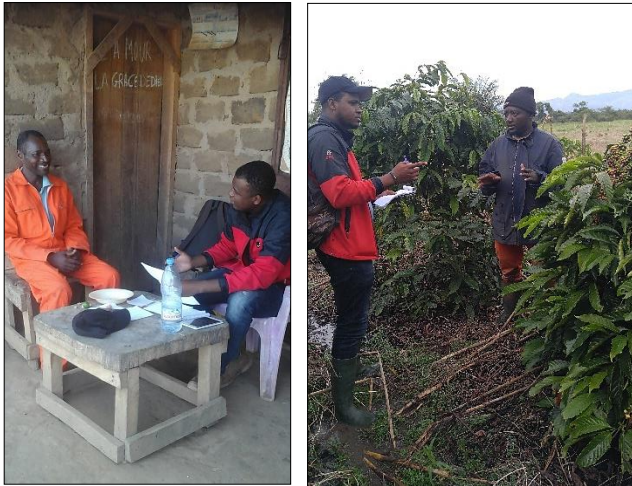


Fig. 19. Entretiens avec les acteurs des zones de production de café.

### II.2.1.3. Observations dans les caféières

La phase d'observation des caféières a été réalisée après la phase des enquêtes. Les observations participatives dans les champs ont permis de confronter les dires des producteurs, de choisir le meilleur champ expérimental et d'évaluer la sévérité des différentes pestes et maladies énumérées par les producteurs pendant l'enquête. Ainsi, dans la parcelle du producteur, cinquante baies de café ont été récoltées sur chaque pied de café en se déplaçant dans le champ selon un schéma en forme de lettre « M ». Hors du champ, les baies présentant des attaques d'anthracnose ou du scolyte ont été dénombrées. Les taux d'attaque des baies par ces deux maladies ont ensuite été calculés en fonction du nombre total de baies récoltées et du nombre de baies présentant l'affection (Fig. 20).



Fig. 20. Récolte des baies pour l'évaluation de la prévalence du scolyte et autres attaques. A. Récolte aléatoire des baies à 0-1 m de hauteur ; B. Récolte des baies à 1-2 m de hauteur.

## II.2.2. Efficacité *in vitro* de *Beauveria bassiana*, de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica* sur *Hypothenemus hampei*

### II.2.2.1. Chasse et élevage au laboratoire des scolytes

Les insectes adultes d'*H. hampei* utilisés dans ce travail provenaient de l'élevage au laboratoire. Cependant, la population d'insectes de départ a été obtenue, en champ par la récolte des baies infestées de scolytes, d'une part, et d'autre part, grâce à l'installation d'un réseau de pièges artisanaux adaptés du modèle BROCAP (Dufour et Frérot, 2008). Les pièges ont été fabriqués à partir d'une bouteille d'eau minérale vide qui a été découpée, la partie supérieure a été retournée et emboîtée dans la partie inférieure de la bouteille. Ensuite, un petit flacon d'environ 4 ml de volume contenant une solution d'éthanol et de méthanol (proportion 1:1), a été accroché à l'intérieur (Fig. 21A). Pour la chasse des scolytes, 36 pièges par hectare ont été installés sur les caféiers à l'aide d'un fil de fer (Fig. 21B1 et B2). Les insectes ont été collectés chaque semaine et identifiés à la loupe sur la base des caractères d'identification définis par Vega *et al.* (2015). Cette identification était appuyée par l'observation des boîtes de collection du conservatoire entomologique du laboratoire central d'entomologie du centre de recherche agricole de l'IRAD de Mbalmayo.



Fig. 21. Piège artisanal pour la chasse des scolytes.

A. flacon contenant les phéromones ; B1 et B2. pièges fabriqués et accrochés sur le caféier.

Pour l'élevage des scolytes, environ 5 kg de baies fraîches et saines (semi-mûres et mûres) ont été récoltées et réparties dans 4 seaux d'une capacité de 20 litres et recouverts de mousseline (Fig. 22). Une population d'environ 300 scolytes vivants a été retirée de ces seaux et déposée dans des bocaux ( $22,5 \times 14,5 \times 5,5$  cm de volume) à raison de 30 scolytes par bocal avec 30 cerises saines. Entre 21 à 30 jours (correspondant au cycle de vie complet du scolyte dans les conditions artificielles) à une température de  $25 \pm 2$  °C, les nouvelles générations de

scolytes ont été produites (Dufour et Frérot, 2008 ; Vega *et al.*, 2015). Des baies fraîches et saines étaient ajoutées chaque semaine.

Le comportement ou mœurs des insectes varient en fonction de leur âge, origine, sexe et état physiologique et on les pense capables de modifier leur comportement suite à un apprentissage. C'est la raison pour laquelle ces bio-essais ont été conduits sur des insectes issus de l'élevage de l'étude dont les mœurs, l'origine, l'âge et l'état physiologique étaient connus (Anonyme 23, 2014).

Certains auteurs ont relevé que le scolyte peut infester d'autres cultures en l'absence de baies de caféier (Damon, 2000 ; Vega *et al.*, 2015). Par conséquent, des tests d'aliment de substitution pouvant permettre la production et le maintien de la population des scolytes en l'absence des baies, ont été effectués. Pour cela, les graines à moitié sèches d'arachide et de maïs ont été utilisées comme source de nourriture en comparaison aux baies de café. Ensuite, 100 g de chaque aliment ont été mis dans 5 bocaux (22,5 × 14,5 × 5,5 cm de volume) et 15 insectes dont 5 mâles et 10 femelles ont été déposés dans chaque bocal. Ces bocaux ont été disposés de manière aléatoire dans l'insectarium à 25 ± 2 °C, pour une photopériode de 12 :12 (Obscurité : Lumière) et les insectes ont été dénombrés dans chaque substrat en fonction du sexe après 43 jours.

A partir du nombre d'insectes mâles ou femelles obtenus, le taux de reproduction de même que le sexe-ratio, comparés entre les différents substrats, ont été calculés à partir des formules suivantes :

$$Tr = \frac{PF}{PD} \qquad Sr = \frac{NM}{NF}$$

Où : Tr = taux de reproduction ; PF = population finale obtenue ; PD = population introduite au départ ; Sr = sexe-ratio ; NM = nombre de mâles obtenus ; NF = nombre de femelles obtenues.



Fig. 22. Elevage des scolytes dans les bocaux au laboratoire.

### II.2.2.2. Isolement et caractérisation des isolats de *Beauveria bassiana*

Le choix de cet agent biologique est justifié par plusieurs travaux antérieurs ayant montré son potentiel insecticide (Vega *et al.*, 2015), et par le fait que les insectes ont été les pressions parasitaires les plus redoutables, relevées après les enquêtes et les observations dans les caféières. Toutefois, *B. bassiana* a été comparé aux extraits de plantes pesticides en termes d'efficacité et de compatibilité des deux types d'agents biologiques de protection contre les ravageurs.

#### II.2.2.2.1. Isolement de *Beauveria bassiana*

Les souches de *B. bassiana* utilisées dans cette étude ont été isolées des échantillons composites de sol et grâce au milieu PDA (Meyling et Eilenberg, 2007). Ainsi, les larves saines de dernier stade de *Rhynchophorus* spp. ont été utilisées pour appâter le champignon. Elles ont été déposées sur les échantillons de sol contenus dans des boîtes de Petri (Fig. 23). Ces boîtes ont été scellées et incubées à température ambiante. Quatre jours après, les colonies développées autour de ces larves ont été identifiées sur la base des critères macromorphologiques et des repiquages successifs ont été effectués sur milieu PDA jusqu'à l'obtention des isolats purs (De Kouassi, 2001 ; Humber, 2005).

La caractérisation des isolats s'est faite à travers l'observation microscopique au grossissement  $\times 40$  des cultures pures de 21 jours, l'évaluation de la production, de la germination des spores, de la croissance mycélienne, de la virulence et de la pathogénicité des isolats (Hussein *et al.*, 2010).



Fig. 23. Attirance de *Beauveria bassiana* grâce aux larves adultes de *Rhynchophorus* sp.

#### II.2.2.2.2. Evaluation de la production, de la germination des spores et de la croissance radiale

L'évaluation de la production et de la germination des spores ainsi que celle de la croissance radiale ont permis de caractériser les souches après les observations macroscopique

et microscopique. Ces trois facteurs sont essentiels car, *B. bassiana* étant un organisme vivant, il est important de connaître la viabilité et la vitalité de ses spores avant leur utilisation. Les méthodes décrites par Mboussi *et al.* (2016a) et Messi *et al.* (2018) ont été utilisées.

Pour évaluer la production des spores, une solution de spores de 10 ml a été préparée en raclant les boîtes de Petri contenant les cultures pures de *B. bassiana* âgées de vingt-et-un jour. Ensuite, cette suspension a été mélangée à de l'eau distillée stérile et 1 % de tween 80. Le mélange a été homogénéisé pendant deux minutes grâce à un agitateur magnétique. Ensuite, un millilitre (1 ml) de la suspension obtenue a été prélevé et déposé sur la cellule de Malassez pour le comptage des conidies au microscope ; ceci a été répétée cinq fois.

Quant à la germination des conidies, 10 ml de solution de spores a été préparée et calibrée à l'aide de la cellule de Malassez à la concentration de  $1 \times 10^5$  spores/ml. Par la suite, trois gouttes de chaque solution ont été déposées individuellement à trois endroits différents dans des boîtes de Pétri contenant du milieu PDA ; chaque goutte a été étalée avec une spatule et recouverte d'une lamelle. Seize heures (16 h) après incubation, ces lamelles ont été observées au microscope pour le dénombrement des spores germées ou non. Toute spore dont le tube germinatif était allongé a été considérée comme ayant germé et viable. Le taux de germination des spores a été calculé grâce à la formule suivante de Razafindratiana (2006) :

$$TG (\%) = \frac{A}{A + B} \times 100$$

Où : TG = taux de germination des spores ; A = nombre de spores germées ; B = nombre de spores non germées.

Pour évaluer la croissance radiale, un disque de mycélium (0,6 cm de diamètre), de culture pure de 21 jours de chaque isolat, a été prélevé puis déposé au centre des boîtes de Petri de 90 mm contenant du milieu PDA préparé au préalable. Les boîtes ont été incubées dans les conditions d'humidité élevée et selon la méthode des droites perpendiculaires chaque diamètre ou droite a été quotidiennement mesurée pendant 21 jours. La moyenne des deux mesures perpendiculaires, soustraite du diamètre de l'explant de départ (6 mm), représentait la mesure de la croissance radiale du champignon. Elle a été obtenue en utilisant la formule suivante de Mamza *et al.* (2008) :

$$CR = \frac{d1 + d2}{2} - d0$$

Où : CR= Croissance Radiale ; d<sub>1</sub>= premier diamètre de croissance (cm) ; d<sub>2</sub>= deuxième diamètre de croissance (cm) ; d<sub>0</sub>= diamètre de l'explant déposé (cm).

### II.2.2.3. Pathogénicité et virulence des isolats

La pathogénicité se traduit ici par la faculté des isolats à faire apparaître la muscardine blanche sur les scolytes et la virulence est leur capacité à tuer les insectes. L'évaluation de ces caractères a permis de confirmer l'effet et l'agent pathogènes, et de fixer la concentration minimale pour l'évaluation de l'efficacité. Comme précédemment, des solutions-mères de 10 ml ont été préparées et les concentrations de  $2 \times 10^2$  et  $3 \times 10^2$  spores/ml ont été calibrées. Cette gamme de concentrations a été choisie sur la base des travaux de Membang en 2013 qui avait montré que *B. bassiana* était efficace à la dose de  $3,2 \times 10^2$  spores/ml contre *Cosmopolites sordidus* G. Une quarantaine de scolytes adultes non sexés a été désinfectée à l'hypochlorite (2 %), rincée 3 fois dans de l'eau distillée stérile et trempée dans les solutions de spores de chaque isolat. La méthode d'inoculation directe par trempage des insectes pendant 10 secondes a été utilisée (Butt et Goettel, 2000). Les insectes inoculés ont été incubés dans des gobelets en latex (10 cl) tapissés de coton recouvert d'un papier buvard imbibé d'eau distillée stérile et sur lequel ont été déposées des baies matures de café et 5 insectes. Le nombre de scolytes morts présentant ou pas un signe de sporulation a été évaluée pendant 10 jours.

### II.2.2.3. Efficacité de *Beauveria bassiana* sur les adultes non sexés d'*Hypothenemus hampei*

#### II.2.2.3.1. Virulence de *Beauveria bassiana* par infection directe des scolytes

Des solutions de spores de 10 ml ont été préparées et cinq concentrations de chaque isolat de *B. bassiana* ont été calibrées selon la formule de Gata-Gonçalves (2003)  $C_i V_i = C_f V_f$ . Des lots d'insectes adultes, non sexés, de la première génération ont été préparés et trempés dans les différents traitements. Chaque boîte préparée comme précédemment contenait dix insectes traités et dix baies matures non traitées. Les boîtes ont été placées dans la chambre d'incubation et l'inspection des boîtes a été faite quotidiennement pendant 10 jours (Benavides, 2012). Les insectes morts avec ou sans signe de sporulation ont été dénombrés. Les taux de mortalité observée ou brute et de mortalité cumulée corrigée ont été calculés selon les formules suivantes (Abbott, 1925) :

$$Mo (\%) = \frac{Ni}{Nit} \times 100 \quad ; \quad Mc (\%) = \frac{Mot - Mt}{100 - Mt} \times 100$$

Où : Mo = mortalité observée ; Ni = nombre d'insectes morts ; Nit = nombre total d'insectes traités ; Mc= taux de mortalité corrigée ; Mot= taux de mortalité dans les boîtes traitées ; Mt = taux de mortalité dans les boîtes témoins (mortalité naturelle).

Au total, cinq traitements ont été utilisés : les deux isolats de *B. bassiana* à cinq concentrations dont C<sub>1</sub> (3 × 10<sup>2</sup> spores/ml), C<sub>2</sub> (3 × 10<sup>4</sup> spores/ml), C<sub>3</sub> (3 × 10<sup>6</sup> spores/ml), C<sub>4</sub> (3 × 10<sup>8</sup> spores/ml) et C<sub>5</sub> (3 × 10<sup>10</sup> spores/ml) ; l'eau distillée stérile comme témoin négatif et ; le Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l ; EC) à la dose recommandée de 1 l/ha ou 4,6 µl/ml qui était le témoin positif (C<sub>0+</sub>). Chaque traitement a été répété cinq fois et chaque répétition correspondait à un gobelet dans lequel les scolytes ont été incubés. L'expérimentation totale a été répétée deux fois.

#### **II.2.2.3.2. Pathogénicité de *Beauveria bassiana* après infection directe d'*Hypothenemus hampei***

Les insectes morts avec signe de sporulation ont été dénombrés. Pour la confirmation de la cause effective de leur mort, les insectes ne présentant pas de signe de sporulation ont été désinfectés et incubés dans des boîtes de Petri de 90 mm tapissées de coton hydrophile recouvert de papier buvard humidifié d'eau distillée stérile. Ces insectes ont été observés pendant sept jours et ceux présentant des signes de sporulation ont été dénombrés. Le taux de sporulation a été calculé par rapport au nombre d'insectes morts présentant directement la signature de sporulation, selon la formule suivante proposée par Lopes *et al.* (2011) :

$$Sp (\%) = \frac{NCc}{NCnc + NCc} \times 100$$

Où : Sp = taux de sporulation ; NCc = nombre de cadavres colonisés par l'inoculum ; NCnc = nombre de cadavres non colonisés par l'inoculum.

#### **II.2.2.4. Virulence de *Beauveria bassiana* par infection directe des baies**

La virulence de *B. bassiana* sur *H. hampei* par infection des baies a permis d'appréhender la capacité à infester indirectement les scolytes. Les insectes ont été apprêtés et mis dans les boîtes avec des baies de café trempées dans une solution de 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml, seule concentration utilisée pour ce test. Le nombre de scolytes morts dans chaque boîte a été dénombré quotidiennement et les taux de mortalité ont été calculés comme lors de l'évaluation de la virulence par infection des insectes.



### **II.2.2.5. Efficacité *in vitro* de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica* sur *Hypothenemus hampei***

L'évaluation de l'efficacité des extraits des plantes pesticides s'est faite en plusieurs étapes dont la désinfection des scolytes au laboratoire, ensuite, la préparation des extraits et leurs concentrations, suivi des tests de toxicité et/ou d'anti-appétence.

#### **II.2.2.5.1. Préparation des différents extraits et doses de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica***

##### **II.2.2.5.1.1. Obtention des graines et de l'huile**

Les graines sèches issues des fruits mûrs de neem (*A. indica*) ont été achetées auprès des populations de la région de l'Extrême-Nord (Maroua) Cameroun. Quant au laurier jaune (*T. peruviana*), les graines mûres ont été récoltées dans la localité de Yaoundé et ses environs, située dans la région du Centre Cameroun. Ensuite, ces fruits ont été débarrassés manuellement de leur coque. Les graines des deux plantes pesticides ont été séchées à la température ambiante pendant trois semaines puis nettoyées et broyées finement à l'aide d'une broyeuse manuelle. Les poudres ainsi obtenues et conservées dans les flacons en verre opaque, ont permis la préparation des extraits aqueux. Achetée, l'huile de neem a été traditionnellement extraite à chaud par les femmes de la localité de Dana dans l'arrondissement de Kaélé, département de Mayo-Kani, région de l'Extrême-Nord Cameroun.

##### **II.2.2.5.1.2. Préparation des extraits et de leurs doses**

La préparation des extraits aqueux s'est faite selon la méthode de Stoll (1999) et le choix des doses s'est fait sur la preuve de leur efficacité évaluée par Mboussi *et al.* (2016a ; 2018) sur *Phytophthora megakarya* et *Sahbergella singularis*, Mvondo Nganti *et al.* (2019b) sur *Lasiodiplodia theobromae* et *Fusarium* sp. Pour cette préparation, d'une part, une masse de 500 g des poudres de graines de chaque plante a été mélangée dans 1 litre d'eau distillée stérile et d'autre part, une solution mère d'huile de neem de 500 µl/ml d'eau a été préalablement préparée en mélangeant 1 ml d'extrait d'huile pure avec 0,3 ml d'eau distillée stérile et 0,7 ml de tween 80. Les mélanges des extraits aqueux ont été homogénéisés et laissés au repos pendant 24 h à la température ambiante, puis filtrés avant les tests. A partir de ces solutions mères, quatre doses de chaque extrait ont été élaborées en utilisant la formule  $C_i V_i = C_f V_f$  (Gata-Gonçalves, 2001) soit 12,5 ; 25 ; 50 et 100 mg/ml pour les extraits aqueux et les mêmes concentrations en µl/ml pour l'extrait d'huile.

Le témoin positif, un insecticide chimique composé de Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l, a été préparé à la dose recommandée de 1 l/ha (50 ml pour un pulvérisateur de 16 litres) soit 4,6 µl dissouts dans 1 ml d'eau distillée stérile.

#### **II.2.2.5.2. Test de toxicité et d'anti-appétence par traitement direct des scolytes**

Les tests de toxicité et d'anti-appétence ont été réalisés sur environ 450 scolytes adultes non sexés à raison de 120 insectes pour chaque type d'extrait. Dans des boîtes de 10 cl de volume tapissées de coton et d'un papier absorbant, 10 insectes préalablement nettoyés (avec une solution de 1 % d'hypochlorite de sodium et de l'eau distillée stérile) et trempés pendant 15 secondes dans l'une des concentrations des extraits (Butt et Goettel, 2000), ont été placés au fond de la boîte avec 10 baies de café. Chaque traitement a été répété trois fois. Les observations ont été effectuées pendant 12 jours, laps de temps suffisant pour permettre aux extraits d'agir avant qu'ils ne perdent leur efficacité. Vingt-quatre heures après le début de l'expérimentation, les scolytes morts (récupérés et piqués avec l'épingle) et les baies perforées ont été dénombrés quotidiennement dans chaque traitement. L'expérimentation a été répétée deux fois.

La mortalité observée dans les différents traitements ( $M_o$ ) a été exprimée selon la formule d'Abbott (1925) en mortalité corrigée ( $M_c$ ) en tenant compte de la mortalité naturelle observée chez les individus ayant reçu le traitement témoin ( $M_t$ ). De même, le taux d'attaque ou de perforation des baies par *H. hampei* a été calculé grâce au rapport entre le nombre de baies perforées ( $N_{ba}$ ) et le nombre de baies total ( $N_{bt}$ ) introduit au début de l'expérimentation.

$$M_c = \frac{M_o - M_t}{100 - M_t} \times 100 \quad T_a = \frac{N_{ba}}{N_{bt}} \times 100$$

#### **II.2.2.5.3. Test de toxicité et d'anti-appétence par traitement direct des baies**

Pour ce test, le même nombre d'insectes a été utilisé comme lors de la précédente expérience. Pour ce cas, les baies ont directement été traitées par trempage dans les différentes concentrations des extraits et placées avec les scolytes non traités dans des gobelets en plastique. Le nombre d'insectes morts et baies perforées a été comptée quotidiennement.

### **II.2.3. Evaluation de la compatibilité de *Thevetia peruviana*, *Azadirachta indica*, du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe avec *Beauveria bassiana***

La compatibilité est un facteur important qui détermine l'efficacité de la lutte contre *H. hampei* en champ avec l'utilisation de *B. bassiana* (un agent biologique existant naturellement) et/ou les extraits des plantes. Une évaluation des effets de ces extraits des plantes a été faite sur

la capacité productive, germinative des spores et de la croissance radiale des isolats de *B. bassiana* obtenus dans cette étude.

### **II.2.3.1. Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental adopté était un dispositif complètement randomisé avec : deux souches de *B. bassiana* (Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt) ; deux extraits aqueux (extrait aqueux des graines d'*A. indica* et de *T. peruviana*) ; un extrait d'huile des graines d'*A. indica* appliqués à chaque souche ; quatre concentrations dont C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'huile. Chaque traitement de l'essai a été répété cinq (05) fois. Un fongicide chimique à base de Chlorothalonil 400 g/kg + Diméthomorphe 80 kg et l'insecticide chimique à base de Chlorpyrifos-éthyl 600 g/l ont respectivement été utilisés comme témoins positifs (C<sub>0+</sub>) aux doses recommandées par les fabricants. Le témoin négatif (C<sub>0-</sub>) était constitué simplement de milieu de culture PDA.

### **II.2.3.2. Préparation des concentrations des extraits des plantes et des pesticides chimiques**

Les doses des extraits des plantes ont été préparées comme lors des tests d'efficacité de ces extraits sur le scolyte. Ainsi, 2,5 ; 5 ; 10 et 20 ml pour les extraits aqueux et en µl pour l'extrait d'huile ont été prélevés dans la solution mère et additionnés respectivement à 97,5 ; 95 ; 90 et 80 ml de milieu de culture PDA pour obtenir un volume final de 100 ml. Les volumes finaux des doses de ces extraits ont été coulés dans des boîtes de Pétri de 90 mm, à raison de 20 ml chacune et comparés aux témoins négatif et positif. Pour le témoin négatif, 20 ml de milieu PDA ont été directement coulé dans chaque boîte de Pétri et rien n'a été ajouté.

Comme lors de la préparation de l'insecticide chimique lors des tests sur les insectes, la préparation du milieu enrichi au fongicide chimique, a respecté la dose recommandée par le fabricant, soit environ 3,33 g/l. Pour ce faire, une solution mère de 50 mg/ml du fongicide chimique a été préalablement préparée en mélangeant 500 mg de Chlorothalonil 400 g/kg + Diméthomorphe 80 kg avec de l'eau distillée stérile, pour un volume final de 10 ml. Un volume de 7 ml a été prélevé de la solution mère et mélangé à 93 ml de milieu PDA pour un volume final de 100 ml. Ce volume final a été coulé dans cinq boîtes de Pétri servant de répétitions, à raison de 20 ml par boîte.

### **II.2.3.3. Effet de *Thevetia peruviana* et *Azadirachta indica* sur la germination de *Beauveria bassiana***

La préparation des solutions de spores a été faite comme lors de la caractérisation des isolats de *B. bassiana*. La concentration des suspensions des deux isolats a ensuite été ajustée à  $1 \times 10^6$  conidies/ml à l'aide de la cellule de Malassez et les boîtes de Petri ont été préparées comme précédemment pour le comptage des spores germées ou non à raison d'environ 200 spores par lamelle. Pour chaque concentration testée ( $C_{0+1}$ ,  $C_{0+2}$ ,  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_4$ ) et pour chaque souche (Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt), cinq boîtes de Pétri ont été préparées et incubées sous obscurité et à température ambiante pendant 16 h. La germination des spores a été évaluée à travers le calcul du pourcentage de germination des spores et du taux d'inhibition de cette germination (De Oliveira *et al.*, 2004 ; Messi *et al.*, 2018).

### **II.2.3.4. Effet de *Thevetia peruviana* et *Azadirachta indica* sur la croissance de *Beauveria bassiana***

Comme lors de la caractérisation de la croissance radiale des isolats de *B. bassiana*, un disque mycélien de 6 mm de diamètre a été prélevé (dans des cultures pures de 21 jours de Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt) et déposé au centre de chaque boîte de Pétri contenant les milieux enrichis aux différents extraits et pesticides chimiques. Un témoin négatif non supplémenté en extrait et en pesticides chimiques a également été élaboré. Chaque traitement a été répété 5 fois. Les boîtes de Pétri ont été incubées à température ambiante sous une photopériode de 12/12 pour toutes les souches, pendant 21 jours. La croissance radiale de chaque colonie a été évaluée comme précédemment.

### **II.2.3.5. Effet de *Thevetia peruviana* et *Azadirachta indica* sur la sporulation de *Beauveria bassiana***

Les boîtes de Petri utilisées lors de l'évaluation des effets des extraits des plantes et pesticides chimiques sur nos isolats de *B. bassiana* ont été utilisées pour l'évaluation des effets de ces traitements sur la production des spores de ces isolats. Ainsi, une quantité de 10 ml de suspension de spores de chaque isolat et de chaque concentration des différents traitements, a été préparée comme lors de la caractérisation des isolats. Afin de quantifier le nombre de conidies produites par le champignon, cinq échantillons de 1 ml de la suspension ont été successivement prélevés dans chaque boîte et déposés sur la cellule de Malassez. Les conidies ont été comptées sous un microscope optique et le nombre moyen de conidies par observation a été enregistré.

### II.2.3.6. Evaluation de la compatibilité de *T. peruviana* et d'*A. indica* avec *B. bassiana*

*B. bassiana* étant un agent de lutte biologique contre les insectes, il est important de montrer s'il y'a une compatibilité entre les extraits utilisés et les isolats de *B. bassiana*. Les pourcentages d'inhibition ou de réduction de la croissance mycélienne, de la germination et production des spores ont été calculés (De Oliveira *et al.*, 2004) pour tous les différents traitements en fonction du témoin absolu en utilisant la formule suivante d'Opara et Wokocha (2008) :

$$PI \text{ ou } TR (\%) = \frac{Vt - Vx}{Vt} \times 100$$

Où : PI ou = pourcentage d'inhibition ou taux de réduction ; Vt = valeur du diamètre de croissance, taux de germination ou nombre de conidies produites estimée sur milieu témoin ; Vx= valeur du diamètre de croissance, taux de germination ou nombre de conidies produites estimée en présence de l'extrait ou du fongicide à tester.

Après ces calculs, l'effet inhibiteur des produits testés a été classifié premièrement grâce à la classification ascendante hiérarchique (CAH) ; cela a permis de regrouper entre eux les traitements de même effet. Deuxièmement, les différents groupes ont été catégorisés sur la base d'une liste de niveau d'inhibition proposée par Hassan (1989), où :

- très toxique = > 80 % d'inhibition ;
- toxique = 10-79 % d'inhibition ;
- faiblement toxique ou compatible = < 10 % d'inhibition.

### II.2.4. Efficacité *in situ* de *Beauveria bassiana*, de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica* sur *Hypothenemus hampei*

#### II.2.4.1. Présentation des champs d'expérimentation

Les tests en champ ont été effectués dans les grands bassins de production caféière du Cameroun, principalement dans les localités de Melong, Bamendjou et Doumé (Tableau II). L'expérimentation a été effectuée dans les parcelles paysannes âgées entre 28 et 40 ans pour la majorité des pieds de caféiers. Ces parcelles ont été sélectionnées en fonction des critères prédéfinis tels que la présence d'au moins mille arbres productifs soit 1 ha de superficie, l'accessibilité et l'état général d'entretien des parcelles.

Tableau II : Caractéristiques des champs expérimentaux utilisés par zone d'étude.

Caractéristiques des caféières	Sites d'étude		
	Doumé	Bamendjou	Melong
Âge	60	32	28
Superficie (ha)	2,5	8	2
Arbres associés/ha	Safoutier (03), Avocatier (04)	Kolatier (02), Papayer (04)	Safoutier (01), Avocatier (01)
Cultures associées/ha	Maïs, plantain	Bananier, macabo	Plantain, Palmier à huile, Bananier, Plantain
Espèce de caféier plantée	Robusta	Arabica	Robusta
Pratiques antécédentes	Régénération, défrichage	Elagage, défrichage	Elagage, défrichage

#### II.2.4.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé était celui en blocs complets randomisés, comportant 2 parcelles de 7 blocs élémentaires chacune (Dagnelie, 2000). Chaque traitement a été répété deux fois dans chaque champ à raison d'un bloc élémentaire par parcelle et pendant deux années consécutives. A l'aide d'un décamètre, des ficelles et des piquets, le bloc expérimental correspondant à chaque traitement a été délimité. Choisi au milieu de la parcelle élémentaire pour éviter les effets de bordure, et entouré de la ficelle, il a été représenté par vingt arbres. Dix arbres situés au centre du bloc, ont été étiquetés pour le suivi et la collecte des données. Chacun des arbres a été marqué à l'aide d'une plaquette colorée, portant le code du traitement, le numéro du bloc expérimental et le numéro de l'arbre. Une couleur a été attribuée à chaque traitement. Ces arbres pouvaient porter suffisamment de baies pour permettre les comptages de celles-ci à maturité et lors de l'évaluation de l'efficacité des rendements (Fig. 24). Le défrichage a été effectué après six semaines et l'élagage une fois entre les deux années d'expérimentation.

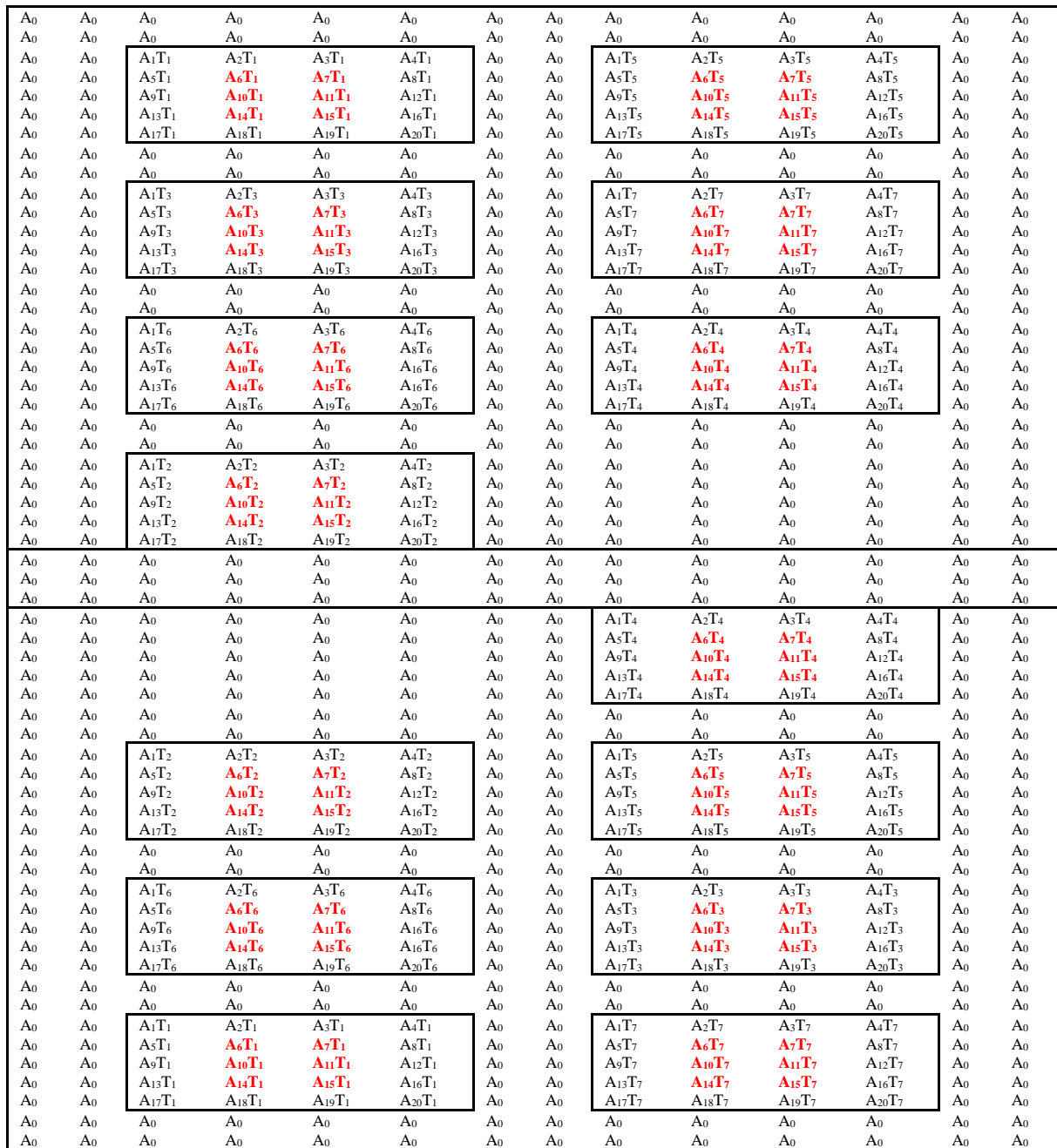


Fig. 24. Dispositif expérimental de la parcelle caféière et des blocs expérimentaux.

A<sub>0</sub>. Arbre de caféier non inclus dans les blocs expérimentaux ; A<sub>1</sub>...A<sub>20</sub>. Arbre de caféier numéroté de 1 à 20 et inclus dans les blocs expérimentaux ; T<sub>1</sub>. Traitement à *Beauveria bassiana* IRAD Foubot ; T<sub>2</sub>. Traitement à *Beauveria bassiana* IRAD Nkoémvone ; T<sub>3</sub>. Traitement à l'extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; T<sub>4</sub>. Traitement à l'extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; T<sub>5</sub>. Traitement à l'extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; T<sub>6</sub>. Traitement au Chlorpyrifos-éthyl ; T<sub>7</sub>. Traitement contrôle sans aucune application.

### II.2.4.3. Caractéristiques des produits utilisés

Ces produits étaient composés des intrants biologiques dont les spores des isolats de *B. bassiana* et les extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica*, et du pesticide chimique à base de Chlorpyriphos-éthyl (Tableau III).

Tableau III : Caractéristiques, doses et modes d'application des intrants utilisés.

Produits appliqués		Formulation et dose	Fréquence d'application
Intrant biologique	Bb-IRAD.Fbt	Spores dans de l'eau distillée stérile ( $3 \times 10^{10}$ spores/ml), de l'huile de palme 100 % raffinée (0,067 l/litre d'eau) et du lait concentré sucré (0,067 l/litre d'eau)	1 fois toutes les 3 semaines
	Bb-IRAD.Nkoe		
	EAAI	Poudre des graines (250 g/l d'eau) et savon en poudre (0,67 g/l d'eau)	
	EATP		
	EHAI		
Intrant chimique ou témoin positif	Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l	4,6 $\mu$ l/ml d'eau	
Contrôle négatif	-----	-----	-----

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Foumbot ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica*; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique.

### II.2.4.4. Collecte des données agronomiques et météorologiques

Les effets des traitements dans chaque parcelle ont été évalués à deux hauteurs dont 0-1 m et 1-2 m. Les taux de baies attaquées par le scolyte et l'antracnose (car aucun fongicide n'a été appliqué pour inhiber l'effet des champignons) ont été relevés tri-hebdomadairement, sur des fiches de collecte de données. En somme, dans ces fiches, on retrouvait le nombre de baies perforées par le scolyte et/ou abimées par l'antracnose après récolte aléatoire de 30 baies à chaque hauteur du caféier et comptage de celles-ci. Les données météorologiques dont la vitesse du vent, la pluviométrie, l'humidité et les températures, ont été obtenues auprès de la station météorologique de Dschang et sur la plateforme climatologique sur internet (Anonyme 24, 2020).

### II.2.4.5. Evaluation du rendement

Pour évaluer le rendement, séparément par bloc/traitement, les baies de café ont été récoltées avec leurs coques. Ensuite, elles ont été séchées et pesées avec leurs coques à l'état sec. Les poids obtenus ont permis de calculer le rendement annuel brut à partir du poids brut



des baies séchées avec leurs coques, multiplié par la densité des plants en utilisant la formule suivante (Kosma, 2011) :

$$Rb = \frac{Pb \times Dha}{Dbloc}$$

Avec : Rb : Rendement annuel brut ; Pb : Poids brut des baies ; Dha : Densité des plants à l'hectare ; Dbloc : Densité des plants dans bloc.

Enfin, les taux d'augmentation ou d'amélioration de rendement ont été calculés pour comparer l'effet des traitements par rapport à celui du contrôle absolu grâce à la formule suivante (Kosma, 2011) :

$$TAR (\%) = \frac{Rtt - Rtn}{Rtt} \times 100$$

Où : TAR = taux d'augmentation ou d'amélioration du rendement ; Rtt = rendement obtenu avec le traitement testé ; Rtn = rendement obtenu avec le traitement négatif.

## **II.2.5. Analyses statistiques des données**

Le tableur de Microsoft Excel a permis de réaliser les bases des données et le logiciel XLSTAT 2014 a permis de réaliser les analyses statistiques de ces données. Ces analyses statistiques ont été effectuées afin de déterminer les effets : sites ou zones agroécologiques entre les variables des enquêtes, des pesticides biologiques et des pesticides chimiques, d'une part, sur *H. hampei* et *B. bassiana* en laboratoire, et d'autre part, sur *H. hampei* en champ.

### **II.2.5.2.1. Analyse des données d'enquêtes**

Les données d'enquêtes ont subi dans un premier temps, un échantillonnage et un test de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera (Shapiro et Wilk, 1965). Les différentes valeurs qui ne suivaient pas une distribution normale ont subi un redressement. Les données échantillonnées et redressées ont subi une analyse descriptive (pour les variables qualitatives) et un modèle de régression linéaire générale avec l'analyse de variance (ANOVA) à un, deux ou trois facteurs, suivi du test de comparaison multiple des moyennes par paires de Fisher au risque de 5 % ( $\alpha$ ) (pour les variables quantitatives).

Les liens d'interdépendances pouvant exister entre les différentes variables d'enquête (comme l'effet site sur les différentes variables) ont été évalués à travers une caractérisation des variables d'une part, et d'autre part, à travers un test de corrélation/association Chi<sup>2</sup> et un test exact de Fisher au seuil de significativité de 5 %. L'élaboration d'un tableau de contingence

a permis de représenter les effets de ces tests ainsi que les fréquences/proportions ou effectifs. Ces fréquences et valeurs moyennes obtenues après les analyses, ont été présentées avec leur écart-type ou lettre de regroupement de significativité (a, b, c, etc.) ou la significativité (< ou >) par case du tableau de contingence. Enfin, une analyse en composantes matricielles a été effectuée pour construire une typologie des stratégies de régulation des parasites à partir des différentes enquêtes.

### II.2.5.2.2. Analyse des données expérimentales

Les données des tests expérimentaux au laboratoire et en champ ont aussi subi dans un premier temps, un échantillonnage et un test de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera (Shapiro et Wilk, 1965). Les différentes valeurs qui ne suivaient pas une distribution normale ont subi une transformation racine carrée (croissance radiale, nombre de spores germées ou produites) ou une transformation angulaire ArcSin (taux de mortalité, d'inhibition et d'attaque des baies), selon les formules suivantes (Fisher et Yates, 1963 ; Jayarama, 1999) :

$$X' = \sqrt{x + 0,5} \quad ; \quad \theta = \sin^{-1} \sqrt{(x/n)} \quad ; \quad Y = \log (X)$$

Où : X' ou  $\theta$  ou Y = valeur moyenne transformée ;  $\sin^{-1}$  = arcsin ou sinus inverse ; x = valeur moyenne à transformer ; n = nombre total d'observations (100 pour le pourcentage total).

Les données échantillonnées et transformées ont subi une analyse descriptive univariée, bivariée, un modèle de régression linéaire générale avec l'analyse de variance (ANOVA) à un, deux ou trois facteurs, suivi du test de comparaison multiple des moyennes par paires de Fisher et de comparaison des moyennes à un témoin de Dunnett (bilatéral) au risque de 5 % ( $\alpha$ ). Ensuite, les valeurs moyennes obtenues après les analyses ont été présentées avec leur écart-type ou lettre de regroupement de significativité (a, b, c, etc.) ou la significativité (< ou >) par case du tableau de contingence.

Pour évaluer l'effet dose-mortalité permettant de déterminer les concentrations et temps létaux provoquant cinquante (CL<sub>50</sub> et TL<sub>50</sub>) et quatre-vingt-et-dix (CL<sub>90</sub> et TL<sub>90</sub>) pour cent de mortalité, les valeurs moyennes des taux de mortalité ou d'inhibition ont plutôt été transformées en probits, les concentrations et le temps d'observation ont été transformés en logarithme décimal (Finney, 1971). Les probits correspondants à chaque valeur ont été déduits soit de la table de transformation des pourcentages de mortalité en probits, soit calculés sur le tableur Microsoft Excel à l'aide de la fonction « *LOI.NORMALE.STANDARD.INVERSE.N.* ». Cette fonction est l'inverse de la distribution cumulée selon une loi normale standard avec une

probabilité de 0,9088. De ces transformations, ont été générées des droites de régression « probit-logarithmes » de type :  $y = ax + b$  ( $y =$  probit du taux de mortalité ;  $x =$  logarithme de la concentration ou du temps ;  $a =$  pente de la droite de régression). A partir de ces équations de régression, les concentrations et temps létaux ont été déterminés par la méthode du maximum de vraisemblance, ou méthode des probits de travail (Finney, 1952 ; Lazar, 1968).

Les analyses multi-variées avec corrélation croisée comme le test d'indépendance de  $\chi^2$  permettant d'évaluer/caractériser l'indépendance entre les taux d'attaques des baies et les variables traitement, localité et année d'expérience. D'autres analyses multivariées comme les analyses en composantes principales (ACP) ou les analyses factorielles discriminantes (AFD) ont permis d'évaluer la relation entre les différentes variables. Par ailleurs, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été effectuée par le biais de la méthode d'agrégation de Ward, à la proximité de dissimilarité (distance euclidienne) et d'une troncature par nombre de classes (3 classes fixées) et non automatique. Cette troncature s'est basée sur l'entropie pour classer les différents traitements en fonction du statut compatible ou incompatible. Un dendrogramme montrant les groupes ou classes homogènes ou hétérogènes a été généré.

A la fin de chaque analyse, toutes les interprétations et conclusions ont été tirées à l'échelle transformée, mais les résultats présentés ont été reconverties aux unités originelles selon les formules (Daumas, 1982 ; Jayarama, 1999) :

$$z' = (x)^2 - 0,5 \quad m' = (\sin q)^2 \quad ; \quad q' = \text{Anti log}_{10}(x)$$

Où :  $m'$  ou  $q'$  ou  $z'$  = valeur retransformée en unité originelle ;  $q =$  valeur transformée ;  $x =$   $\log_{10}$  de concentration (spores/ml) ou du temps (jour) correspondant au probit 5 ;  $q'$  = valeur retransformée en unité originelle.

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

### III.1. RESULTATS

#### III.1.1. Pressions phytosanitaires sur les caféiers et stratégies de régulation

##### III.1.1.1. Caractéristiques des caféières

###### III.1.1.1.1. Âge et superficie des caféières des enquêtés

Les producteurs enquêtés possédaient des caféières âgées entre 2 et 80 ans. Quel que soit le type de caféière, celles avec un âge significativement important ont été observées à Bamendjou. Dans ce site, l'âge moyen des premières caféières était de 41,8 ans pour un âge maximum de 80 ans, alors que la caféière secondaire était âgée de 17,8 ans. Cependant, significativement, les plus jeunes caféières étaient observées à Melong et Doumé quel que soit le type de caféière (Tableau IV).

La taille des caféières des enquêtés était comprise entre 0,5 et 10 hectares. La superficie de la première caféière n'était pas significativement différente entre les différents sites de l'étude. La superficie de la caféière secondaire était comprise entre 0,5 et 7 hectares. Celle-ci était significativement plus élevée à Melong (2,14 ha) malgré un écart-type élevé (Tableau IV).

Tableau IV : Âge des caféières des enquêtés.

Type de caféière	Localité			Moyenne générale	Niveau de significativité <i>Pr</i>
	Doumé	Bamendjou	Melong		
Première (Année)	27,9±15,3 <sup>b</sup>	41,8±23,5 <sup>a</sup>	23,3±15,3 <sup>b</sup>	31,2±19,9	0,005
	Min. 2	Min. 2,5	Min. 2		
	Max. 60	Max. 80	Max. 65		
Secondaire (Année)	11±5,8 <sup>ab</sup>	17,8±6,8 <sup>a</sup>	10,9±5,6 <sup>b</sup>	12,8±6,5	0,096
	Min. 5	Min. 6	Min. 4		
	Max. 19	Max. 25	Max. 19		
Superficie première caféière (ha)	2,9±2 <sup>a</sup>	2,5±1,8 <sup>a</sup>	3,1±2,2 <sup>a</sup>	2,8±2	0,59
	Min. 1	Min. 0,5	Min. 1		
	Max. 10	Max. 8	Max. 10		
Superficie caféière secondaire (ha)	1,1±0,6 <sup>b</sup>	1,8±0,4 <sup>ab</sup>	2,1±1,9 <sup>a</sup>	1,8±1,4	0,40
	Min. 0,5	Min. 1	Min. 1		
	Max. 2	Max. 2	Max. 7		

Les moyennes ayant une même lettre dans une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher (LSD). *Pr* est le niveau de significativité.

###### III.1.1.1.2. Perceptions de la performance des caféières par les enquêtés

L'évaluation de la performance des caféières a montré que, 93,65 % de l'échantillon trouvait que leurs rendements étaient faibles, 4,76 % les trouvait moyens et 1,59 % trouvait

qu'ils étaient meilleurs. L'appréciation de la qualité des rendements n'était pas liée à la localité car la P-value est de 0,413 et supérieure au seuil de significativité alpha ( $\alpha= 0,05$ ) selon le test d'indépendance de Chi<sup>2</sup> (Fig. 25).

À Melong, les rendements étaient faibles pour 90,48 % des producteurs et moyens pour 9,52 %. Cette appréciation était la même à Doumé avec 95 % des producteurs qui trouvaient les rendements faibles et 5 % qui les trouvaient moyens. Les meilleurs rendements ont été relevés à Bamendjou pour 4,55 % des producteurs contre 95,46 % qui les trouvaient faibles (Fig. 25).

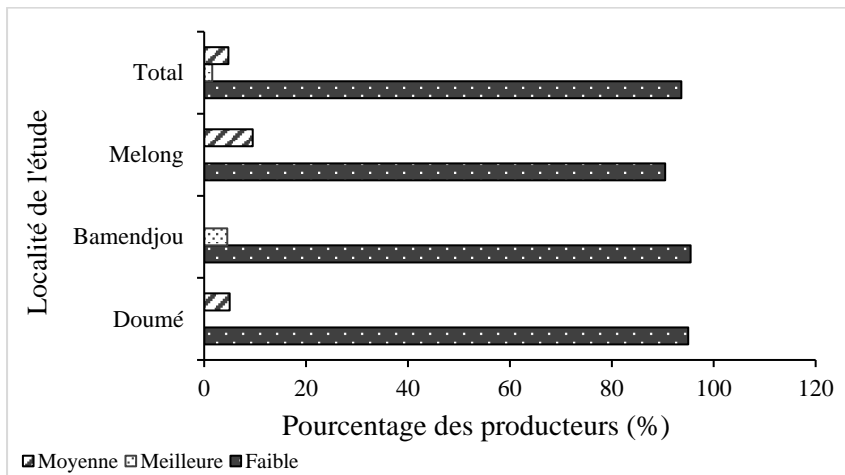


Fig. 25. Perception de la qualité de la production des caféières à la dernière récolte.

L'une des raisons importantes expliquant la mauvaise qualité de la production en baies de café était le manque d'entretien des caféières pour 41,27 % de l'échantillon total enquêté. Ce constat était significativement important à Doumé pour 75 % des producteurs enquêtés (test exact de Fisher au seuil de signification de 5 %). Ce constat était suivi par la forte pression des maladies et ravageurs, particulièrement à Bamendjou pour 50 % des producteurs. Le manque de pesticides et de moyens pour entretenir la caféière étaient aussi relevés dans toutes les localités, mais le pourcentage (38,10 % des producteurs) était significativement plus important (test exact de Fisher au seuil de 5 %) à Melong. Le manque d'engrais pour fertiliser le sol a aussi été relevé dans toutes les localités avec une forte significativité (19,05 % des producteurs) à Melong (Tableau V).

Tableau V : Causes des rendements en baies évoqués par les producteurs.

Causes de la qualité et quantité de production en baies de café récoltée	Localité			Moyenne générale	Test d'indépendance (Chi <sup>2</sup> ) P-value
	Doumé	Bamendjou	Melong		
Abandon du champ	0,0(<)	4,6(>)	0,0(<)	1,59	
Champ bien entretenu	0,0(<)	4,6(>)	0,0(<)	1,59	
Feux de brousse	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59	
Forte pression des maladies et ravageurs	0,0(<)	50,0(>)	0,0(<)	17,46	
Manque d'engrais pour fertiliser	5,0(<)	9,1(<)	19,1(>)	11,11	
Manque d'entretien	75,0(>)	13,64(<)	38,10(<)	41,27	
Manque de pesticides et de moyens pour entretenir le champ	5,0(<)	4,6(<)	38,1(>)	15,87	< 0,0001
Manque de terre pour augmenter	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59	
Maturité du champ	0,0(<)	0,0(<)	4,8(>)	1,59	
Régénération des caféiers	5,0(>)	4,55(>)	0,0(<)	3,17	
Superficie très petite	0,0(<)	4,6(>)	0,0(<)	1,59	
Traitement tardif	0,0(<)	4,6(>)	0,0(<)	1,59	

Les valeurs affichées avec le symbole < ou > en gras sont significatives selon le test exact de Fisher et il y a dépendance lorsque la P-value < 0,05 le seuil de signification, selon le test d'indépendance Chi<sup>2</sup>.

### III.1.1.2. Etat des lieux des pressions phytosanitaires dans les caféières

#### III.1.1.2.1. Ravageurs et maladies rencontrés dans les caféières

Selon leur niveau de connaissances sur les maladies et ravageurs, les producteurs ont relevé la présence d'une diversité de ravageurs et de maladies visibles dans leurs caféières (Fig. 26). *Hypothenemus hampei* (Fig. 26C1 et C2), *Coccus viridis* (Fig. 26D2 et D3) et *Zonocerus variegatus* (Fig. 26E) sont les ravageurs observés dans les caféières. Parmi les ravageurs relevés par les enquêtes, en général, les insectes étaient plus représentatifs dans les caféières, suivi des chenilles et des scolytes respectivement chez 57,14 ; 52,38 ; et 33,33 % de l'échantillon total. Les capsides/mirides, les criquets et les rongeurs étaient des ravageurs présents seulement dans les caféières de Melong. Dans le même site, les chenilles étaient

significativement présentes dans les caféières de 76,2 % des producteurs et seul ce type de ravageur était dépendant de la localité (P-value= 0,012 ;  $\alpha= 0,05$  ; test de Chi<sup>2</sup>) (Tableau VI).

L'observation des caféières a révélé la présence de l'antracnose (*Colletotrichum kahawae*) (Fig. 26A), de « Die back » (*Hemileia vastatrix*) (Fig. 26B1), de maladie de flétrissement (*Fusarium xylarioides*) (Fig. 26B2) et des symptômes du champignon *Verticillium lecanii* (Fig. 26D1). Les maladies relevées par les enquêtes étaient l'antracnose, le die-back, la rouille et le gui d'Afrique. Seulement l'antracnose et la rouille étaient des maladies significativement liées à la localité (P-value < 0,0001 au seuil de 0,05 selon le test de Chi<sup>2</sup>) à des taux respectifs de 69,84 et 25,40 % de l'échantillon total. L'antracnose était significativement présente (test exact de Fisher au seuil de signification de 5 %) dans les caféières de 100 % des producteurs de Bamendjou avec une absence de rouille et du die-back. Les caféières de Doumé présentaient les trois grandes maladies fongiques du caféier dont l'antracnose, le die-back et la rouille respectivement chez 75, 40 (taux significativement supérieur) et 10 % (taux significativement inférieur) des producteurs. Dans les caféières de Melong, la rouille était significativement présente dans les caféières de 66,7 % des producteurs, suivie de l'antracnose chez 33,3 % des producteurs et du die-back chez 14,3 % des producteurs (test exact de Fisher au seuil de signification de 5 %) (Tableau VI).



Fig. 26. Impacts des maladies et ravageurs observés dans les caféières.

A. Baies atteintes d'antracnose (*Colletotrichum kahawae*) ; B1 et B2. Plant desséché et atteint soit de « Die back » (*Hemileia vastatrix*) soit de maladie de flétrissement (*Fusarium xylarioides*) ; C. Baies perforées par le scolyte (*Hypothenemus hampei*) ; D. Baies et feuilles attaquées par les cochenilles (*Coccus viridis*) et le champignon *Verticillium lecanii* ; E. Feuilles rongées par le criquet puant (*Zonocerus variegatus*).

Tableau VI : Maladies et ravageurs rencontrés dans les caféières par les producteurs.

Noms des maladies et ravageurs cités	Localité (%)			Moyenne générale (%)	Test d'indépendance (Chi <sup>2</sup> ) <i>P-value</i>	
	Doumé	Bamendjou	Melong			
Ravageurs	Chenille	30,0(<)	50,0(<)	76,2(>)	52,38	0,012
	Insecte	55,0(<)	50,0(<)	66,7(>)	57,14	0,529
	Scolyte	40,0(>)	40,9(>)	19,0(<)	33,33	0,235
	Fourmi	5,0(>)	4,5(<)	4,8(=)	4,76	0,998
	Criquet	0,0(<)	0,0(<)	4,8(>)	1,59	0,362
	Foreur de tige et/ou de branche	10,0(>)	0,0(<)	9,5(>)	6,35	0,317
	Capside ou miride	0,0(<)	0,0(<)	4,8(>)	1,59	0,362
	Rongeur	0,0(<)	0,0(<)	4,8(>)	1,59	0,362
Maladies	Anthracnose	75,0(>)	100(>)	33,3(<)	69,84	< 0,0001
	Die-back	40,0(>)	0,0(<)	14,3(<)	17,46	0,003
	Rouille	10,0(<)	0,0(<)	66,7(>)	25,40	< 0,0001
	Gui d'Afrique	0,0(<)	4,5(>)	0,0(<)	1,59	0,388

Les valeurs affichées avec le symbole < ou > en gras sont significatives selon le test exact de Fisher et il y a dépendance lorsque la P-value < 0,05 le seuil de signification, selon le test d'indépendance Chi<sup>2</sup>.

### III.1.1.2.2. Connaissance du scolyte et de ses dégâts sur les baies de café

#### III.1.1.2.2.1. Incidence du scolyte selon les perceptions des enquêtés

La majorité des producteurs enquêtés connaissaient le scolyte et ses dégâts sur les baies étaient visibles. Selon leurs propos, il apparaît dans les caféières vers le mois de Mars pour 61,90 % des producteurs de Melong, et vers le mois d'Avril pour 59,09 % et 52,63 % des producteurs à Bamendjou et à Doumé respectivement. Le scolyte apparaît vers le mois de Mai pour 31,82 et 15,79 % des producteurs respectivement à Bamendjou et à Doumé. Pour le même mois, aucune apparition n'a été relevée à Melong. Pour 26,32 et 4,76 % des producteurs, son apparition continue vers le mois de juin respectivement à Doumé et à Melong. La période de Mai à Juillet était la période d'apparition du scolyte dans les caféières qui avaient eu une nouaison tardive des baies (Fig. 27).



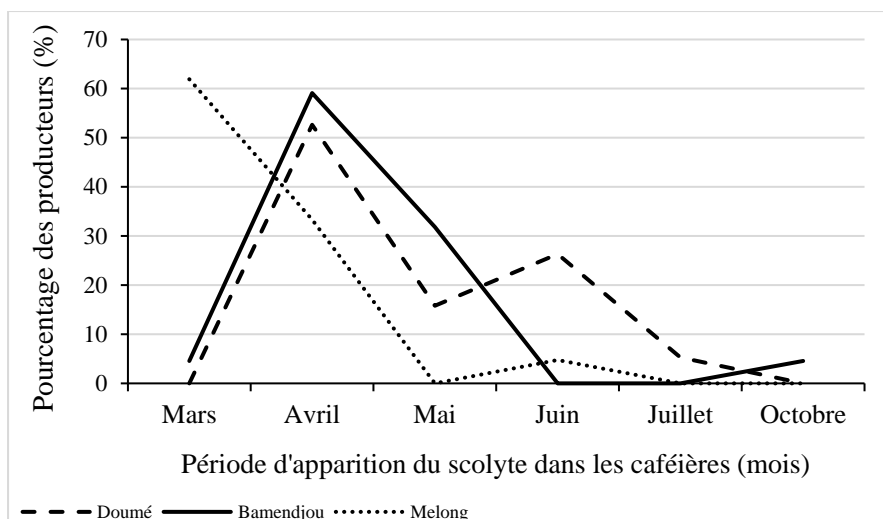


Fig. 27. Période d'apparition du scolyte dans les caféières.  
P-value < 0,0001 ;  $\alpha = 0,05$  ; Test d'indépendance  $\chi^2$ .

La période de forte attaque du scolyte n'était pas identique à celle de l'apparition de celui-ci. De même, cette période n'était pas identique dans toutes les localités. A Melong, le mois de Mai était la période de forte attaque pour 52,38 % des producteurs. A Bamendjou, le mois de Juin enregistrait la plus forte attaque pour 54,55 % des producteurs. A Doumé, la plus forte attaque des baies est signalée à la période de Juillet pour 52,63 % des producteurs. La période de fortes attaques du scolyte était comprise entre mi-Mai et mi-Juillet dans toutes localités (Fig. 28).

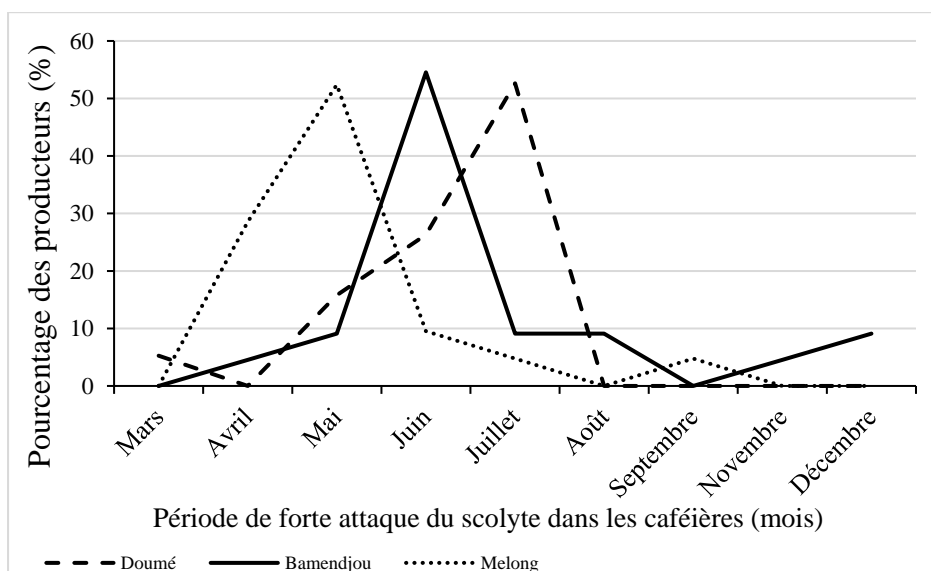


Fig. 28. Période de forte attaque des baies par le scolyte.  
P-value < 0,0001 ;  $\alpha = 0,05$  ; Test d'indépendance  $\chi^2$ .

Le taux d'attaque des baies par le scolyte n'était pas significativement différent entre les localités (Pr=0,155 ; test de Fisher au seuil de signification de 5 %). Toutefois aux dires des

enquêtés, il était supérieur à 50 % dans toutes les localités. Les taux moyens maximum étaient de l'ordre de 90 à 95 %. Le taux minimum moyen le plus faible était de 15 %, taux relevé à Doumé (Fig. 29).

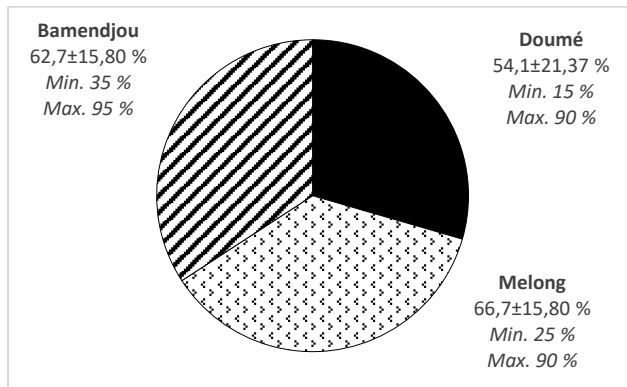


Fig. 29. Taux d'attaque des baies par le scolyte aux dires des enquêtés.

Pr= 0,155 < F= 1,923 ;  $\alpha$ = 0,05 ; LSD= 12,814 ; Test de comparaison des moyennes de Fisher.

### III.1.1.2.2. Incidence du scolyte après la récolte sanitaire des baies dans les caféières

L'évaluation de l'incidence d'*H. hampei* dans les bassins de production a montré que le pourcentage moyen de baies perforées était significativement différent entre les localités ( $Pr= 0,003 < \alpha= 0,005$  ; test de Fisher). Ce taux a été significativement plus élevé dans les caféières de Doumé (66,4 % des baies perforées) et Melong (65,6 % des baies perforées) (Tableau VII).

Tableau VII : Taux de baies perforées par le scolyte après la récolte sanitaire.

Paramètres d'évaluation	Localité			Moyenne générale	Test de significativité	
	Doumé	Bamendjou	Melong		Pr	LSD
Pourcentage (%)	65,6 ± 11,9 <sup>a</sup>	29,6 ± 16 <sup>b</sup>	66,4 ± 16,3 <sup>a</sup>	53,9 ± 22,5	0,003	20,445
Nombre (n= 50)	32,8 ± 5,9 <sup>a</sup>	14,8 ± 8 <sup>b</sup>	33,2 ± 22,5 <sup>a</sup>	26,9 ± 11,2		10,223

Pr est le niveau de significativité ; LSD est la plus petite différence significative. Les moyennes ayant une même lettre dans une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.1.3. Stratégies de lutte phytosanitaire et d'amélioration des rendements

#### III.1.1.3.1. Caractéristiques des producteurs mettant en place les stratégies de régulation

L'âge moyen de tous les producteurs enquêtés était de 53,05 ans. Cet âge était significativement différent entre les localités de l'étude et les producteurs de Bamendjou avaient un âge moyen (64,19 ans) significativement plus élevé ( $Pr < 0,0001$  ;  $\alpha= 0,05$  ; Test de significativité de Fisher) que dans les autres sites (Fig. 30).

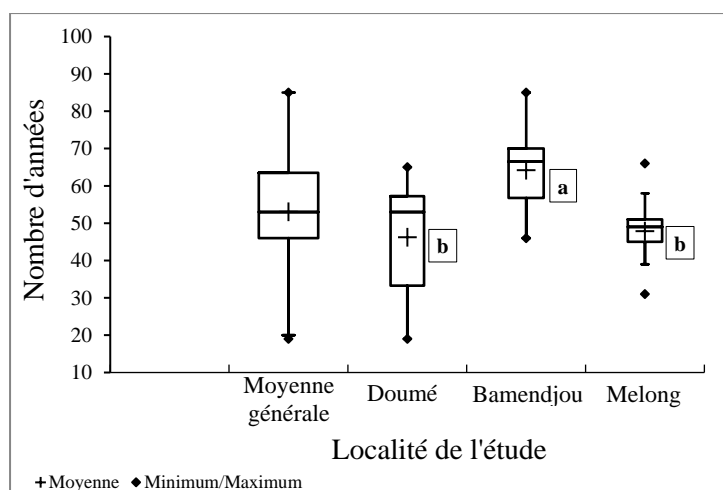


Fig. 30. Âge moyen des producteurs enquêtés par localité.

Pr (niveau de significativité) < 0,0001 ;  $\alpha = 0,05$  ;  $F = 15,632$  ; LSD (plus petite différence significative) = 7,17. Test de significativité de Fisher.

L'échantillon total des producteurs enquêtés était composé de 92,1 % d'hommes et 7,9 % de femmes. Spécifiquement, cent pour cent (100 %) des producteurs de Doumé et de Bamendjou étaient des hommes alors que 23,8 % des femmes contre 76,2 % d'hommes constituaient l'échantillon de Melong. Aucune différence significative n'a été observée entre les proportions des producteurs (comprises entre 36 et 55 %) des niveaux d'éducation primaire et secondaire des différentes localités de l'étude. A Doumé, seuls les niveaux primaire (45 % des producteurs) et secondaire (55 % des producteurs) ont été observés. A Bamendjou les producteurs étaient distribués dans tous les niveaux d'instruction ; c'est aussi la seule zone où les producteurs avec un niveau supérieur (4,5 % des producteurs) ont été observés. Melong avait la plus grande proportion (14,3 %) des producteurs sans niveau d'éducation formelle (Tableau VIII).

Tableau VIII : Caractéristiques des producteurs de café enquêtés.

Paramètres de caractérisation		Localité (% des producteurs)			Moyenne générale	Test d'indépendance ( $\chi^2$ )
		Doumé	Bamendjou	Melong		P-value
Sexe	Féminin	0,0(<)	0,0(<)	23,8(>)	7,9	0,004
	Masculin	100,0(>)	100,0(>)	76,2(<)	92,1	
Niveau d'instruction formelle	Aucun	0,0(<)	9,1(>)	14,3(>)	7,9	0,479
	Primaire	45,0(<)	50,0(>)	42,9(<)	46,0	
	Secondaire	55,0(>)	36,4(<)	42,9(<)	44,4	
	Supérieur	0,0(<)	4,5(>)	0,0(<)	1,6	

Les valeurs affichées avec le symbole < ou > en gras sont significatives selon le test exact de Fisher et il y a dépendance lorsque la P-value < 0,05 le seuil de signification, selon le test d'indépendance  $\chi^2$ .

### III.1.1.3.2. Pratiques appliquées dans la régulation, des mauvaises herbes, des maladies et des ravageurs

Le défrichage de la caféière et la taille structurale/sanitaire des caféiers étaient effectués par 100 % des producteurs dans chaque localité. L'application des insecticides se faisait par 100, 80, 59,1 % des producteurs respectivement à Melong, Doumé et Bamendjou. Les fongicides étaient appliqués à Bamendjou par une proportion de producteurs (86,36 %) significativement importante par rapport aux autres localités comme Doumé (5 % des producteurs). Les engrais étaient largement appliqués à Melong et Bamendjou respectivement par 85,71 et 54,55 % des producteurs. L'application des herbicides se faisait dans toutes les localités par plus de la moitié des producteurs, mais ce pourcentage était significativement inférieur (59,1 % des producteurs) à Bamendjou (test exact de Fisher au seuil signification de 0,05) (Fig. 31).

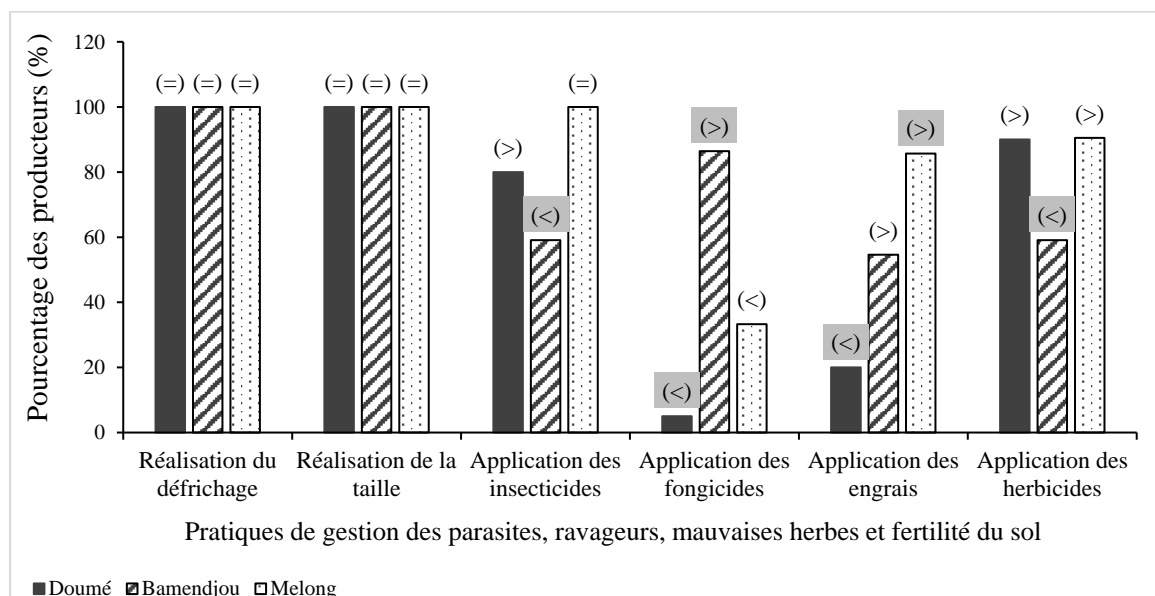


Fig. 31. Pratiques d'entretien appliquées dans les caféières.

Les valeurs affichées avec le symbole  $\leq$  ou  $\geq$  en gras sont significatives selon le test exact de Fisher au seuil signification de 0,05.

### III.1.1.3.3. Organisation de la mise en place des pratiques

#### III.1.1.3.3.1. Nombre d'application des pratiques

Le nombre moyen de fois que le défrichage était réalisé a été significativement faible (1,8 fois en moyenne) à Doumé ( $P_r = 0,030 <$  au seuil signification  $\alpha = 0,05$ ). Le nombre maximum était de 4 défrichages par an et il a été observé à Bamendjou et Melong. Aucune différence significative n'a été observée entre le nombre moyen d'application de la taille dans

les trois localités ( $P= 0,154 <$  au seuil signification  $\alpha= 0,05$ ). Le nombre maximal était de 2 dans toutes les localités (Fig. 32).

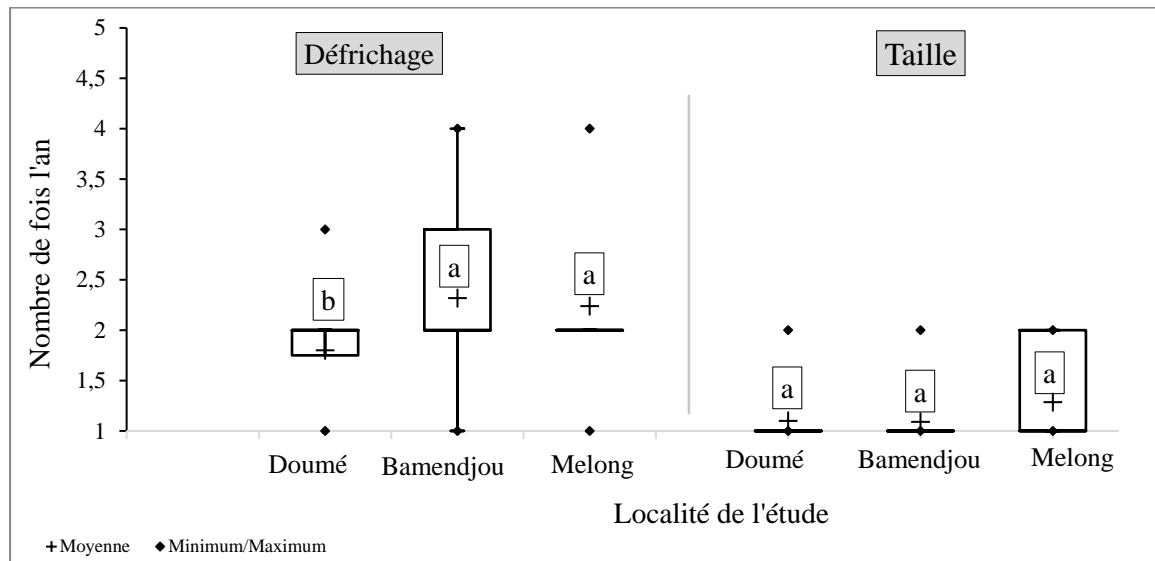


Fig. 32. Nombre de réalisation du défrichage et de la taille par an. Les moyennes ayant une même lettre pour le même type de variable ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

Le nombre de traitements avec les insecticides est significativement supérieur à Bamendjou (2,05 fois) et Melong (1,67 fois) avec le maximum (5 fois) à Bamendjou. L'application des fongicides était significativement importante (1,23 fois) à Bamendjou comparée à Melong (0,57 fois) et Doumé (0,05 fois). L'application des engrais était significativement importante à Melong (1,33 fois) et Bamendjou (0,73 fois), mais significativement faible à Doumé (0,20 fois). Le nombre d'application des herbicides était significativement supérieur à Melong (1,48 fois) comparé aux autres localités (Fig. 33).

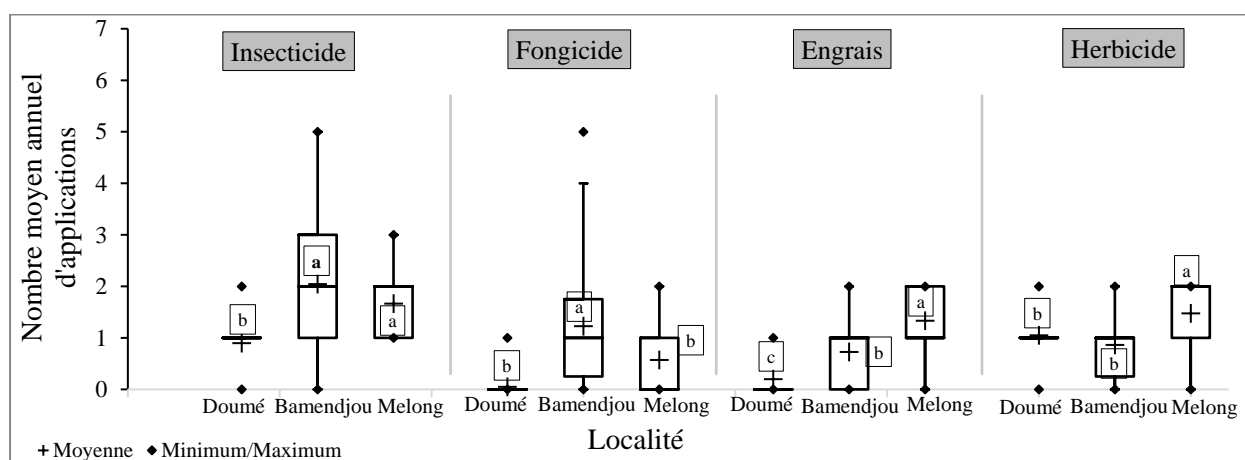


Fig. 33. Nombre de réalisation des pratiques ou d'application des intrants à l'année. Les moyennes ayant une même lettre pour le même type de variable ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.1.3.3.2. Période de mise en place des stratégies de régulation des parasites

L'application des pesticides, engrais et herbicides était importante entre les mois de Mars et Juin. Pour le cas des insecticides, le début d'application se faisait vers Janvier à Melong. Dans toutes les localités, l'application se faisait par la majorité des producteurs vers les périodes de Mars à Mai. Le pourcentage le plus important (52,63 % des producteurs) a été observé pendant le mois d'Avril à Bamendjou. L'application des fongicides débutait au mois d'Avril à Bamendjou et Melong pour 23,08 % des producteurs avec des pics vers Mai, Juin et Septembre respectivement pour 43,75 % des producteurs à Bamendjou, 44,44 % à Melong et 100 % à Doumé. L'application des herbicides se faisait par la majorité des producteurs vers le mois de Juin avec un pourcentage important (53,85 % des producteurs) à Bamendjou. Une application importante des herbicides a été aussi observée vers les mois d'Août, Septembre et Octobre respectivement à Doumé (11,11 % des producteurs), Bamendjou (7,69 % des producteurs) et Melong (6,25 % des producteurs) (Fig. 34).

L'application des engrais se faisait dans toutes les localités vers le mois d'Avril. Toutefois, un deuxième pic a été observé vers le mois de Juin avec un pourcentage important de producteurs (33,33 %) à Bamendjou ; c'est aussi pour ce même intrant qu'un troisième pic a été observé, correspondant à 16,67 % des producteurs qui appliquaient les engrais si le besoin se faisait ressentir (Fig. 34).

Selon le test d'indépendance  $\chi^2$  au seuil de signification de 5 %, les périodes d'application des insecticides, fongicides et engrais étaient liées aux localités contrairement à la période d'application des herbicides (Fig. 34).

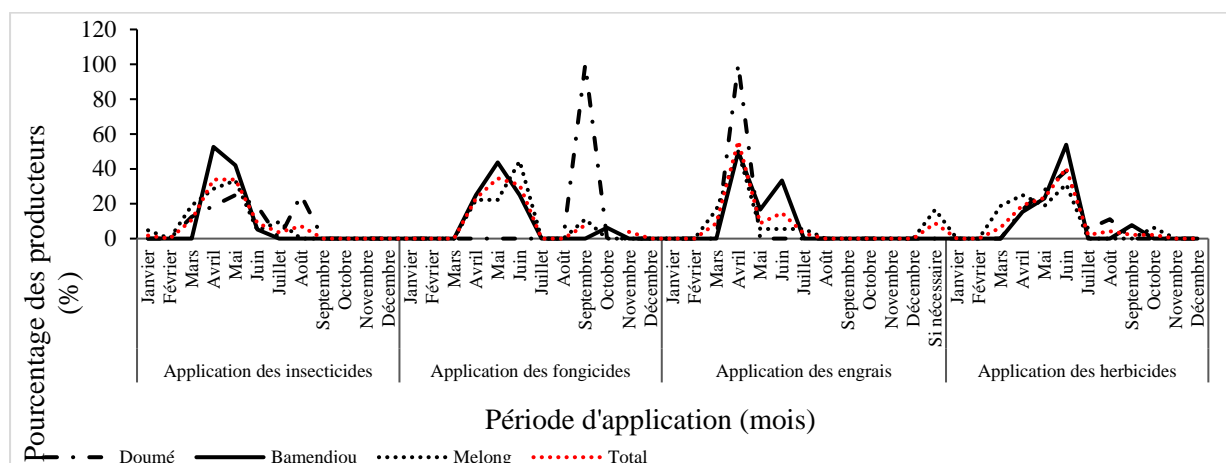


Fig. 34. Période d'application des pesticides, des engrais et des herbicides.

P-value = 0,011, 0,003, 0,001 et 0,129 respectivement pour l'application des insecticides, des fongicides, des engrais et des herbicides selon le test d'indépendance  $\chi^2$  au niveau de significativité  $\alpha = 0,05$ .

### III.1.1.3.3.3. Produits appliqués contre les pestes et ravageurs dans les caféières

La totalité des produits utilisés contre les pestes, les mauvaises herbes et l'infertilité du sol, étaient des produits de synthèse. Les noms commerciaux de dix insecticides, quatre fongicides, six engrais et huit herbicides ont été bien déterminés par les producteurs. Les insecticides possédaient la gamme la plus large (Tableau IX).

Parmi les dix insecticides utilisés contre les ravageurs, le Chlorpyrifos-éthyl 400 ou 600 g/l était le plus utilisé dans toutes les localités et plus particulièrement à Melong par 76,2 % des producteurs, suivi du Chlorpyrifos-éthyl 480 g/l qui était utilisé à Doumé et Melong respectivement par 25 et 9,5 % des producteurs. L'abamectine 18 g/l (5% des producteurs), Cyperméthrine 12 ou 50 ou 360 g/l (5 % des producteurs) et Lambda-cyhalothrine 15 g/l + Acétamipride 10 g/l (10 % des producteurs) étaient des insecticides spécifiquement utilisés mais pas de manière significative à Doumé. Le thiamethoxam 250 g/kg et le Chlorpyrifos-éthyl 200 g/l + cyperméthrine 20 g/l étaient utilisés spécifiquement à Bamendjou mais pas de manière significative, pendant que le Cyperméthrine 12 ou 50 ou 200 g/l, Emamectine-benzoate 50 g/kg et l'imidaclopride 20g/l + Lambda-Cyhalothrine 20g/l étaient spécifiques mais pas significatifs à la localité de Melong (Tableau IX).

La lutte contre les parasites se faisait grâce au cymoxanil 120 g/kg + oxychlorure de cuivre 700 g/kg seulement à Melong par 9,5 % des producteurs ; le sulfate de cuivre pentahydraté 98,50 % utilisé significativement par 45 et 28,6 % des producteurs (test exact de Fisher au seuil de signification de 5 %) respectivement à Bamendjou et à Melong ; l'oxyde de cuivre (Hydrox) à Melong (4,8 % des producteurs) ; et l'hydroxyde de cuivre à Doumé et Melong (100 % des producteurs), et Bamendjou (40,9 % des producteurs). Les fongicides à base d'hydroxyde de cuivre et de sulfate de cuivre pentahydraté 98,50 % sont les plus utilisés respectivement par 79,4 et 25,4 % de l'échantillon total et celui à base d'hydroxyde de cuivre est le plus utilisé dans toutes les localités (Tableau IX).

La nutrition minérale des caféiers se faisait grâce à l'urée et le 20-10-10 (NPK) qui étaient les seuls engrais utilisés dans au moins deux des trois localités de l'étude. Il y avait une forte utilisation des engrais à Melong dont cinq sur les six déterminés par les producteurs, avec un pourcentage significativement supérieur pour le 20-10-10 (57,1 % des producteurs) et ceux à base de NPK + SO<sub>3</sub> (19 % des producteurs). Toutefois, l'urée n'a pas été mentionnée à Melong. Les producteurs (20 %) de Doumé n'appliquaient que l'urée comme fertilisant (Tableau IX).

La lutte contre les mauvaises herbes se faisait fortement par les produits à base de glyphosate dans les trois localités. Les pourcentages les plus élevés et significatifs sont observés à Doumé avec 55 % des producteurs qui utilisent le glyphosate, 35 % utilise le glyphosate ammonium et 30 % utilise le glyphosate s/f glyphosate acide (test exact de Fisher au seuil de signification de 5%). Melong avait le plus grand nombre (cinq sur les huit déterminés) de types d'herbicides.

Les insecticides appliqués spécifiquement contre le scolyte étaient quasiment les mêmes appliqués contre les insectes dans les caféières. Toutefois, l'absence de produit à base cyperméthrine 12 ou 50 ou 360 g/l est à relever (Tableau IX).

En somme, les insecticides à base de Chlorpyriphos-éthyl étaient les plus utilisés par 63,5 % des producteurs. Parmi ces insecticides, neuf étaient homologués sur la liste du MINADER de 2019 (sauf celui à base de Chlorpyriphos-éthyl 480 g/l) dont trois spécifiquement aux caféiers (Chlorpyriphos-éthyl 200 g/l + Cyperméthrine 20 g/l ; Imidaclopride 20 g/l + Lambda-Cyhalothrine 20 g/l ; Chlorpyriphos-éthyl 400 ou 600 g/l). Chez les fongicides, tous les produits étaient composés des dérivés du cuivre et homologués sur la liste de 2019. Les herbicides utilisés par 80 % des producteurs étaient composés de glyphosate.

Tableau IX : Intrants appliqués dans les caféières par les producteurs.

Types d'intrants	Non commercial (Matière active)	Localité (% des producteurs)			Général	<i>Test d'indépendance (Chi<sup>2</sup>)</i>
		Doumé	Bamendjou	Melong		P-value
Insecticide	Actara 25 WG (Thiamethoxam 250 g/kg)	0,0(<=)	4,5(>)	0,0(<=)	1,6	0,388
	Bomec (Abamectine 18 g/l)	5,0(>)	0,0(<=)	0,0(<=)	1,6	0,335
	Cigogne (Cyperméthrine 12 ou 50 ou 360 g/l)	5,0(>)	0,0(<=)	0,0(<=)	1,6	0,335
	Cypercal (Cyperméthrine 12 ou 50 ou 200 g/l)	0,0(<=)	0,0(<=)	4,8(>)	1,6	0,362
	Dursban 4 E (Chlorpyriphos-éthyl 480 g/l)	25,0(>)	0,0(<=)	9,5(<)	11,1	0,035
	Emacot 50 WG (Emamectine-benzoate 50 g/kg)	0,0(<=)	0,0(<=)	4,8(>)	1,6	0,362
	Epervier 220 EC (Chlorpyriphos-éthyl 200 g/l + Cyperméthrine 20 g/l)	0,0(<=)	13,6(>)	0,0(<=)	4,8	0,053
	Indéterminé	15,0(>)	9,1(<)	9,5(<)	11,1	0,798
	Pacha (Lambda- Cyhalothrine 15 g/l + Acétamipride 10 g/l)	10,0(>)	0,0(<=)	0,0(<=)	3,2	0,109
	Parastar (Imidaclopride 20 g/l + Lambda-Cyhalothrine 20 g/l)	0,0(<=)	0,0(<=)	4,8(>)	1,6	0,362



	Pyriforce (Chlorpyriphos-éthyl 400 ou 600 g/l)	30,0(≤)	36,4(<)	76,2(>)	47,6	0,005
Fongicide	Fongipro (Cymoxanil 120 g/kg + Oxychlorure de cuivre 700 g/kg)	0,0(≤)	0,0(≤)	9,5(>)	3,2	0,127
	Golden blue (Sulfate de Cuivre Pentahydraté 98,50 %)	0,0(≤)	45,5(>)	28,6(>)	25,4	0,003
	Hydrox (Oxyde de cuivre)	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Indéterminé	5,0(<)	9,1(>)	9,5(>)	7,9	0,840
	Kalao (Hydroxyde de cuivre)	100(>)	40,9(≤)	100(>)	79,4	< 0,0001
	20-10-10 (N-P-K)	0,0(≤)	18,2(<)	57,1(>)	25,4	< 0,0001
Engrais	Engrais foliaire	0,0(≤)	0,0(≤)	9,5(>)	3,2	0,127
	Inconnu	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Samsam	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Urée (CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ou CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O)	20,0(>)	31,8(>)	0,0(≤)	17,5	0,022
	Warmi sulfate	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Yara mila (19 produits commerciaux composés de NPK + SO <sub>3</sub> )	0,0(≤)	4,5(<)	19,0(>)	7,9	0,060
	Herbicide	Casse-tout (Glyphosate)	0,0(≤)	9,1(>)	0,0(≤)	3,2
Décaplant (2,4 –D Sel d’Amide)		10,0(>)	0,0(≤)	0,0(≤)	3,2	0,109
Glycol 41% (Glyphosate s/f sel d’isopropylamine)		0,0(≤)	0,0(≤)	14,3(>)	4,8	0,043
Glyphader (Glyphosate s/f glyphosate acide)		30,0(>)	13,6(<)	19,0(<)	20,6	0,415
Glypho-herbe (Glyphosate)		0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
Herbextra (2,4 –D Sel d’Amide)		0,0(≤)	13,6(>)	4,8(<)	6,3	0,182
Indéterminé		0,0(≤)	4,5(<)	28,6(>)	11,1	0,007
Plantop ultra (Glyphosate ammonium)		35,0(>)	0,0(≤)	0,0(≤)	11,1	0,000
Roundup (Glyphosate)		55,0(>)	22,7(<)	19,0(<)	31,7	0,025
Insecticide appliqué sur scolyte		Actara	0,0(≤)	4,5(>)	0,0(≤)	1,6
	Bomec	10,0(>)	0,0(≤)	0,0(≤)	3,2	0,109
	Cypercal	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Dursban 4 E	15,0(>)	0,0(≤)	4,8(<)	6,3	0,129
	Emacot	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Epervier	0,0(≤)	13,6(>)	0,0(≤)	4,8	0,053
	Indéterminé	25,0(>)	4,5(≤)	19,0(>)	15,9	0,172
	Pacha	10,0(>)	0,0(≤)	0,0(≤)	3,2	0,109
	Parastar	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,6	0,362
	Pyriforce	35,0(<)	36,4(<)	76,2(>)	49,2	0,010

Les valeurs affichées avec le symbole ≤ ou ≥ en gras sont significatives selon le test exact de Fisher et il y a dépendance lorsque la P-value < 0,05 le seuil de signification, selon le test d’indépendance Chi<sup>2</sup>.

#### III.1.1.3.3.4. Justification et préférence des types de pesticides

Le type d’intrant préféré n’était lié à aucune localité (P-value = 0,308 > au seuil de signification  $\alpha$  de 0,05 selon le test d’indépendance Chi<sup>2</sup>). Cependant, les produits biologiques comme les coctions des plantes, étaient préférés par plus de la moitié des producteurs dans

toutes les localités ; c'est le cas à Bamendjou pour 59,09 % des producteurs et à Melong pour 52,38 % des producteurs (Fig. 35). Les producteurs maîtrisent les pratiques ancestrales de lutte ou de fertilisation biologique, mais n'y font plus recours. Par exemple à Bamendjou, un planteur révèle l'utilisation par ses grands-parents, de la fumure à base d'*Imperata* sp., de tige de bananier et d'ordures ménagères décomposées. Ils soulignent aussi l'utilisation de nématicide à base de cendre de feu de bois.

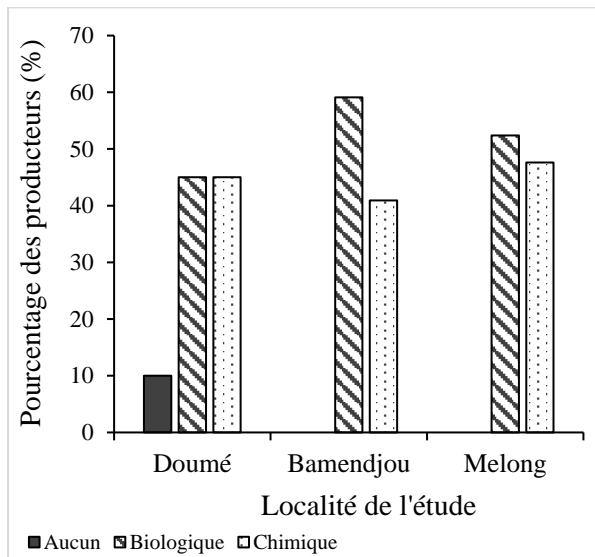


Fig. 35. Types d'intrants ou pesticides préférés pour l'avenir.

P-value = 0,308 selon le test d'indépendance  $\chi^2$  au niveau de signification  $\alpha = 0,05$ .

L'analyse de l'échantillon total a montré que les ambitions d'assurer la compétitivité de leur café sur le marché, la non toxicité et la préservation de la santé humaine, la production du café biologique, la protection de l'environnement et la protection du sol étaient des motifs fortement corrélés à la préférence des pesticides biologiques ( $p\text{-value} < 0,0001 < \alpha = 0,005$  ; test de corrélation Phi de Pearson). Par ailleurs, la disponibilité sur le marché, l'efficacité et l'obtention des bons rendements, le manque de pesticides biologiques sur le marché et la persistance des chutes des baies étaient les raisons qui justifiaient fortement la préférence des pesticides chimiques dans la lutte contre les pestes ( $p\text{-value} < 0,0001 < \alpha = 0,005$  ; test de corrélation Phi de Pearson) (Tableau X).

Tableau X : Paramètres influençant le choix des pesticides à utiliser.

Raisons justifiant le choix du type de pesticide	Type de pesticide (P-value)	
	Biologique	Chimique
Assurer la compétitivité de notre café sur le marché	< 0,0001	0,459
Disponible sur le marché	1,000	< 0,0001
Efficace et obtention bon rendement	1,000	< 0,0001
Manque des pesticides biologiques sur le marché	0,909	< 0,0001
Non toxique et préserve la santé humaine	< 0,0001	1,000
Persistance des chutes des baies	0,541	< 0,0001
Production du café biologique	< 0,0001	0,980
Protection de l'environnement	< 0,0001	0,990
Protection du sol	< 0,0001	0,711

Les variables dont la p-value est inférieur au seuil critique de 0,05 sont corrélés selon le test de corrélation Phi de Pearson

L'observation de l'échantillon total a montré que les raisons expliquant le choix d'utilisation de tel ou tel type de pesticide n'étaient pas liées à la localité. La non toxicité et la préservation de la santé humaine, la disponibilité des types de pesticides sur le marché, l'efficacité et l'apport de bon rendement, la protection de l'environnement et la production de café biologique étaient les premières raisons les plus évoquées pouvant expliquer le choix ou l'utilisation des pesticides chimiques ou biologiques à l'avenir, respectivement à des taux de 26,38 ; 23,81 ; 14,29 ; 11,11 et 9,52 % de l'échantillon total (Tableau XI).

A Doumé, l'efficacité, l'apport du bon rendement, et la non toxicité/préservation de la santé humaine étaient les premières raisons les plus importantes respectivement pour 30 % et 20 % des producteurs. A Bamendjou, la non toxicité, la préservation de la santé humaine (40,9 % des producteurs), et la disponibilité sur le marché (27,3 % des producteurs) étaient les raisons les plus importantes justifiant le choix des pesticides biologiques ou chimiques. A Melong, la disponibilité sur le marché (28,6 % des producteurs), la non toxicité et préservation de la santé humaine (19 %), la production de café biologique (19 %) et le manque de pesticides biologiques sur le marché (14,3 % des producteurs) étaient les premières raisons évoquées (Tableau XI).

L'efficacité, l'apport de bon rendement (15 % des producteurs) et la protection de l'environnement (10 % des producteurs) étaient les deuxièmes raisons majoritairement évoquées à Doumé. A Bamendjou, la protection du sol était significativement la deuxième raison majoritaire justifiant le choix des pesticides chimiques ou biologiques. A Melong, l'efficacité et l'apport de bon rendement était la deuxième majoritaire évoquée chez 9,5 % des producteurs (Tableau XI).

Tableau XI : Paramètres influençant le choix des pesticides à utiliser.

Priorité	Raisons d'utilisation des types de pesticides	Localité (% des producteurs)			Général	Test d'indépendance (Chi <sup>2</sup> )
		Doumé	Bamendjou	Melong		P-value
Première raison	Assurer la compétitivité de notre café sur le marché <sup>(C)</sup>	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59	0,060
	Disponible sur le marché <sup>(C)</sup>	15(<)	27,3(>)	28,6(>)	23,81	
	Efficace et obtention bon rendement <sup>(C)</sup>	30,0(>)	9,1(<)	4,8(<)	14,29	
	Manque des pesticides biologiques sur le marché <sup>(C)</sup>	0,0(≤)	0,0(≤)	14,3(>)	4,76	
	Non toxique et préserve la santé humaine <sup>(B)</sup>	20,0(<)	40,9(>)	19,0(<)	26,98	
	Persistance des chutes des baies <sup>(C)</sup>	0,0(≤)	4,5(>)	0,0(≤)	1,59	
	Production du café biologique <sup>(B)</sup>	10,0(>)	0,0(<)	19,0(>)	9,52	
	Protection de l'environnement <sup>(B)</sup>	10,0(<)	13,6(>)	9,5(<)	11,11	
	Protection du sol <sup>(B)</sup>	0,0(≤)	4,5(>)	4,8(>)	3,18	
Deuxième raison	Disponible sur le marché <sup>(C)</sup>	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59	0,266
	Efficace et obtention de bon rendement <sup>(C)</sup>	15,0(>)	4,5(<)	9,5(=)	9,52	
	Habitude d'utilisation <sup>(C)</sup>	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59	
	Manque des pesticides biologiques sur le marché <sup>(C)</sup>	0,0(≤)	0,0(≤)	4,8(>)	1,59	
	Non toxique et préserve la santé humaine <sup>(B)</sup>	0,0(≤)	4,5(>)	4,8(>)	3,18	
	Protection de l'environnement <sup>(B)</sup>	10(>)	4,5(<)	4,8(<)	6,35	
	Protection du sol <sup>(B)</sup>	0,0(≤)	18,2(>)	0,0(<)	6,35	
Utilisation facile <sup>(C)</sup>	5,0(>)	0,0(<)	0,0(<)	1,59		

Les valeurs affichées avec le symbole ≤ ou ≥ en gras sont significatives selon le test exact de Fisher et il y a dépendance lorsque la P-value < 0,05 le seuil signification, selon le test d'indépendance Chi<sup>2</sup>. Les symboles <sup>(C)</sup> et <sup>(B)</sup> indiquent respectivement les produits chimique et biologique.

#### III.1.1.4. Typologie des stratégies de lutte phytosanitaire et d'amélioration des rendements

L'analyse des correspondances multiples (ACM) montre que les stratégies de régulation des parasites se distinguent en fonction des variables choisies. L'inertie de 50,49 % a été obtenue avec les axes F1 et F2 ayant permis de construire la carte factorielle des modalités ci-dessous (Fig. 36). Cette carte factorielle montre que l'application d'engrais, d'insecticides, d'herbicides et du défrichage 3 à 4 fois/an est faite sur des caféières (quelle que soit leur superficie) âgées de 2 à 10 ans, subissant les attaques d'insectes, de chenilles, de criquets, de rouille, de foreur de tige/branche et de miride. Ces caféières appartiennent à des producteurs âgés entre 30 et 49 ans, situés à majorité dans la localité de Melong, qui préfèrent les pesticides biologiques, possèdent plus d'une caféière, cultivent le café, le cacao, l'ananas et le palmier à huile comme cultures secondaires.

D'un autre côté, l'application des fongicides, du défrichage 1 à 2 fois/an, de la taille une fois/an est faite sur des caféières de 5 à 10 ha, âgées de 51 à 80 ans, attaquées par le scolyte, le gui d'Afrique. Ces caféières sont exploitées par des producteurs âgés de 14 à 29 ans, situés à majorité dans la localité de Bamendjou, cultivant soit aucune autre culture (mis à part le café), soit les arbres fruitiers, soit le vivrier et ne préférant aucun type de pesticide.

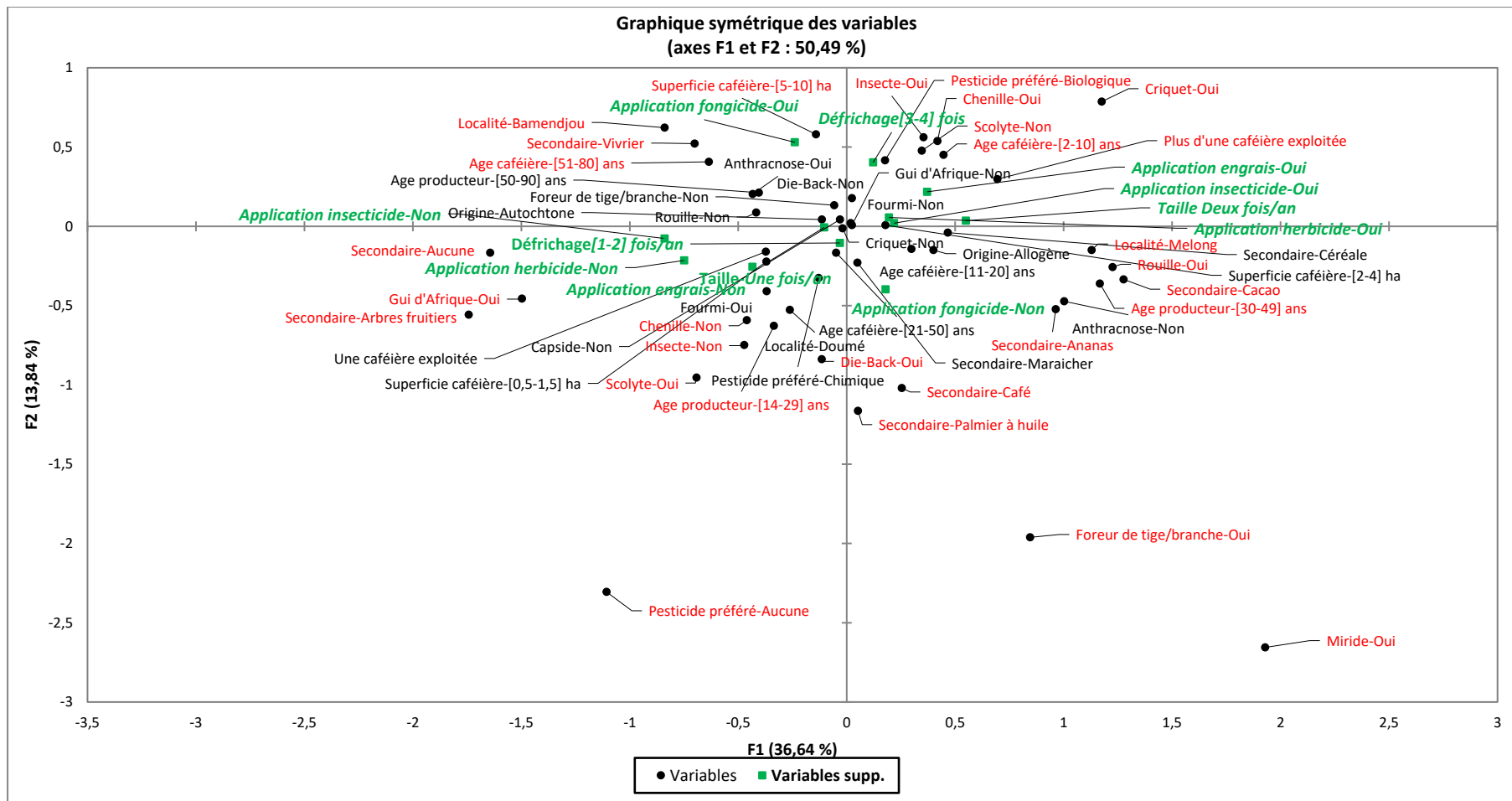


Fig. 36. Caractérisation des stratégies de régulation phytosanitaire avec l'analyse en correspondances matricielles.

Variables/modalités rouge = variables avec valeurs de contribution supérieures au poids relatif ; variables/modalités de couleur noir = variables ayant des valeurs de contribution inférieures à leur poids relatif ; variables/modalités de couleur vert = variables supplémentaires à caractériser par les autres variables.

### III.1.2. Effets *in vitro* de *Beauveria bassiana*, de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica* sur *Hypothenemus hampei*

#### III.1.2.1. Résultats sur la chasse et l'élevage d'*Hypothenemus hampei*

La chasse des scolytes à travers la cueillette des baies infestées de ceux-ci, a permis d'obtenir la population d'insectes la plus importante soit environ  $60 \pm 15,3$  insectes en moyenne par baie, comparée à la population d'insectes capturés dans les pièges qui était relativement faible soit  $4 \pm 0,2$  insectes en moyenne par piège tous les deux jours.

L'élevage des scolytes au laboratoire a montré que le nombre moyen d'insectes produits ( $162,4 \pm 16,9$  insectes en moyenne) est significativement supérieur avec les baies de caféier qu'avec les graines d'arachide ( $4,6 \pm 1,1$  scolytes en moyenne) et le maïs ( $2,8 \pm 0,8$  scolytes en moyenne) ( $Pr < 0,0001 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher). Le taux de reproduction du scolyte est 11 fois supérieur avec les baies de caféier qu'avec les autres substrats où on observe une perte d'insectes introduits au départ. Le taux de reproduction des scolytes avec le café est meilleur tant pour la reproduction des femelles (144 en moyenne) que celle des mâles (18,4 en moyenne) soit un sexe-ratio de 0,13 comparé à l'arachide (sexe-ratio = 0,39) et le maïs (sexe-ratio = 0,64) (Tableau XII).

Tableau XII : Nombre moyen d'*Hypothenemus hampei* obtenu après 43 jours d'élevage.

Paramètres d'évaluation de la reproduction		Substrat		
		Baies de café	Grains d'arachide	Grains de maïs
Nombre total de scolytes	Début	15	15	15
	Fin	$162,4 \pm 16,9^b$	$4,6 \pm 1,1^a$	$2,8 \pm 0,8^a$
	Taux de reproduction	$10,8 \pm 1,1^b$	$0,3 \pm 0,1^a$	$0,2 \pm 0,1^a$
Femelle	Début	10	10	10
	Fin	$144 \pm 11,9^b$	$4,6 \pm 1,1^a$	$2,8 \pm 0,8^a$
	Taux de reproduction	$14,4 \pm 1,2^b$	$0,5 \pm 0,1^a$	$0,3 \pm 0,1^a$
Mâle	Début	5	5	5
	Fin	$18,4 \pm 5,1^b$	$1,8 \cdot 10^{-15} \pm 0,0^a$	$1,8 \cdot 10^{-15} \pm 0,0^a$
	Taux de reproduction	$3,7 \pm 1,0^b$	$0,0 \pm 0,0^a$	$0,0 \pm 0,0^a$
Sexe-ratio à la fin		0,13	0,39	0,64

Les valeurs d'une même ligne portant des lettres différentes sont significativement différentes à  $p < 0,05$  selon le test de Fisher

#### III.1.2.2. Caractéristiques des isolats de *Beauveria bassiana*

Les échantillons de rhizosphère collectés dans les caféières contenaient bel et bien *B. bassiana*. Les isolats obtenus présentaient un mycélium cotonneux de couleur blanchâtre au départ qui devenait jaunâtre avec le temps. L'observation microscopique des spores a montré qu'elles sont sphériques et hyalines, caractères spécifiques des spores de *B. bassiana* (Fig. 37).

Le nombre de spores produites était significativement identique entre les deux isolats. Il a atteint un total moyen de  $8,5 \cdot 10^5$  spores/ml après 24 h d'incubation ( $Pr = 0,074 > \alpha = 0,05$  ; test de Fisher). L'évaluation de la germination des spores a montré qu'il y avait une différence significative entre les différents isolats ( $Pr = 0,007 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher). Elle était significativement supérieure chez Bb-IRAD.Nkoe (60,3 % de spores germées) que chez Bb-IRAD.Fbt (56,3 %). Toutefois, une grande variation du taux de germination a été observée entre les répétitions de Bb-IRAD.Fbt (écart-type = 1,2). La croissance mycélienne était significativement différente entre les deux isolats ( $Pr < 0,0001 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher) et significativement plus élevée (2,09 cm) pour Bb-IRAD.Nkoe (Tableau XIII). L'isolat de Nkoémvone a présenté un caractère volatile avec des sauts dans la boîte de Pétri (Fig. 37).



Fig. 37. Isolats purs et spores de *Beauveria bassiana*.

Les tests de pathogénicité et de virulence ont permis de confirmer l'appartenance des isolats au genre *Beauveria* sp. et leur efficacité/virulence contre la population de scolytes élevés. Après 7 jours d'incubation, la concentration  $2 \times 10^2$  spores/ml a causé 28,7 % et 30,3 % de mortalité d'*H. hampei* respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe, tandis que la concentration  $3 \times 10^2$  spores/ml a causé des mortalités de 38,7 et 42,5 % respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe (Tableau XIII). Tous les scolytes morts étaient couverts de mycélium de *B. bassiana* (Fig. 38).

Tableau XIII : Production, germination des spores et croissance mycélienne après 21 jours.

Paramètres de caractérisation	Isolats de <i>Beauveria bassiana</i>		
	Foumbot	Nkoémvone	Moyenne générale
Production moyenne de spores ( $1 \times 10^5$ conidies/ml)	$8,1 \pm 0,5^a$	$9,0 \pm 0,5^a$	$8,5 \pm 0,7$
Taux moyen de germination des spores (%)	$56,3 \pm 1,2^a$	$60,3 \pm 0,6^b$	$58,3 \pm 2,4$
Croissance mycélienne moyenne (cm)	$1,95 \pm 1,2^a$	$2,09 \pm 1,1^b$	$2,0 \pm 1,2$
Taux de mortalité (%)	$2 \times 10^2$ spores/ml	28,7	30,3
	$3 \times 10^2$ spores/ml	38,7	42,5
			40,6

Les valeurs d'une même ligne portant des lettres différentes sont significativement différentes à  $p < 0,05$  selon le test de Fisher.





Fig. 38. Infection de *Beauveria bassiana*.

A. galeries nutritives sur les baies enrobées de *B. bassiana* ; B. scolytes enrobés de *B. bassiana*.

### III.1.2.3. Effets de *Beauveria bassiana* par infection directe des adultes d'*Hypothenemus hampei*

**III.1.2.3.1. Virulence de *Beauveria bassiana* en fonction des concentrations** Les spores de Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe ont provoqué une mortalité des scolytes après une mise en contact direct entre les deux organismes vivants. Les résultats du test de virulence ont montré que ces isolats ont eu un effet insecticide hautement significatif et lié à la concentration ( $Pr < 0,0001 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher). Le Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l) ( $C_{0+}$ ) a eu une efficacité quasi-totale (97,6 % d'insectes morts en moyenne après dix jours d'observation) pendant qu'avec de l'eau distillée stérile ( $C_0$ ) aucune mortalité n'a été observée. Le taux moyen de mortalité cumulée corrigée était compris entre 35,5 % ( $C_1$ ) et 87,8 % ( $C_5$ ) pour Bb-IRAD.Fbt. Pour Bb-IRAD.Nkoe, la mortalité était comprise entre 41 % ( $C_1$ ) et 90,7 % ( $C_5$ ) après dix jours d'observation (Tableau XIV).

Tableau XIV : Pourcentage de mortalité cumulée corrigée des scolytes en fonction des concentrations des isolats de *Beauveria bassiana*.

Traitements appliqués	Mortalité cumulée corrigée pour chaque isolat de <i>Beauveria bassiana</i> (%)	
	Bb-IRAD.Fbt	Bb-IRAD.Nkoe
$C_0$ . (Eau distillée stérile + tween 80)	$0 \pm 0^a$	$0 \pm 0^a$
$C_{0+}$ (Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l)	$97,6 \pm 21^g$	$97,6 \pm 21^g$
$C_1$ ( $3 \times 10^2$ spores/ml)	$35,5 \pm 13,3^b$	$41 \pm 10,1^b$
$C_2$ ( $3 \times 10^4$ spores/ml)	$43,1 \pm 12,01^c$	$48,4 \pm 10,1^c$
$C_3$ ( $3 \times 10^6$ spores/ml)	$54,5 \pm 15^d$	$70,6 \pm 15,8^d$
$C_4$ ( $3 \times 10^8$ spores/ml)	$77,5 \pm 20,4^e$	$83 \pm 16,4^e$
$C_5$ ( $3 \times 10^{10}$ spores/ml)	$87,8 \pm 21,0^f$	$90,7 \pm 17,8^f$
	$R^2 = 0,978$	$R^2 = 0,980$
Analyse de variance	$F = 182,597$	$F = 201,094$
	$Pr < 0,0001$	$Pr < 0,0001$

abc : Les valeurs portant des lettres différentes dans une même colonne sont significativement différentes au seuil critique de  $\alpha = 0,05$  selon le test de Fisher

### III.1.2.3.2. Virulence de *Beauveria bassiana* en fonction du temps d'observation

En général, on constate que le pourcentage moyen de mortalité cumulée corrigée croissait avec les concentrations de *B. bassiana* et en fonction du temps. En effet, Bb-IRAD.Nkoe a été plus efficace que Bb-IRAD.Fbt. Plus de cinquante pour cent de mortalité a été observé avec la plus forte concentration (C<sub>5</sub>) chez les deux isolats au 3<sup>e</sup> jour, au 4<sup>e</sup> jour avec C<sub>4</sub>, au 5<sup>e</sup> jour avec C<sub>3</sub>, au 6<sup>e</sup> jour avec C<sub>2</sub> et au 7<sup>e</sup> jour avec C<sub>1</sub>. Avec Bb-IRAD.Fbt, la C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> n'ont pas provoqué une mortalité de 100 % après 10 jours d'observation. De même, la C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> n'ont pas provoqué une mortalité de 90 % après 10 jours d'observation. Avec Bb-IRAD.Nkoe, seules la C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> n'ont pas provoqué une mortalité de 100 % après 10 jours, toutefois la C<sub>2</sub> a provoqué plus de 90 % de mortalité d'*H. hampei* (Fig. 39).

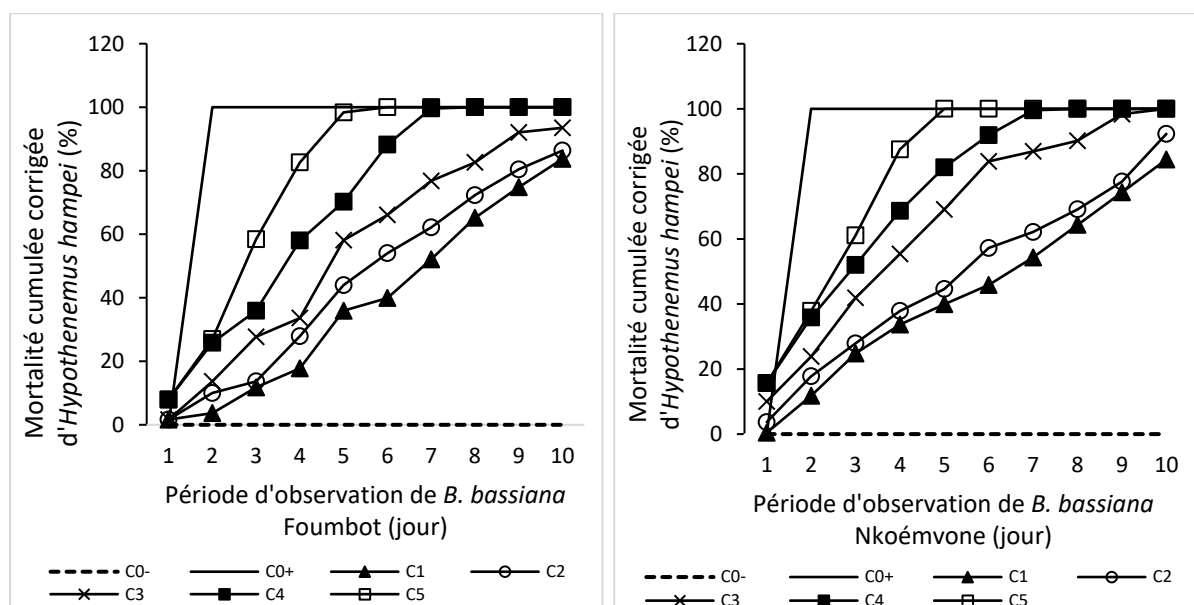


Fig. 39. Mortalité cumulée corrigée des scolytes selon le temps et les traitements.

C<sub>0+</sub>= Chlorpyrifos-éthyl 600 g/l ; C<sub>0-</sub>= eau distillée stérile + tween 80 ; C<sub>1</sub>= 3 × 10<sup>2</sup> spores/ml ; C<sub>2</sub>= 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml ; C<sub>3</sub>= 3 × 10<sup>6</sup> spores/ml ; C<sub>4</sub>= 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml ; C<sub>5</sub>= 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml.

La plus forte mortalité journalière observée a été de 100 % avec le Chlorpyrifos-éthyl 600 g/l au deuxième jour d'observation alors qu'elle a été de 29 % au troisième jour à la C<sub>5</sub> de Bb-IRAD.Fbt. L'effet insecticide de *B. bassiana* a été important (50 % de mortalité causé) entre le deuxième et le sixième jour avec Bb-IRAD.Fbt et entre le deuxième et le cinquième jour avec Bb-IRAD.Nkoe. Pendant ces mêmes périodes, des mortalités journalières comprises entre 7 et 25 % ont été observées chez toutes les concentrations des deux isolats. Au dixième jour, des mortalités de 4 % pour Bb-IRAD.Fbt et 10 % pour Bb-IRAD.Nkoe ont autant été relevées avec les plus faibles concentrations (C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>) (Fig. 40).

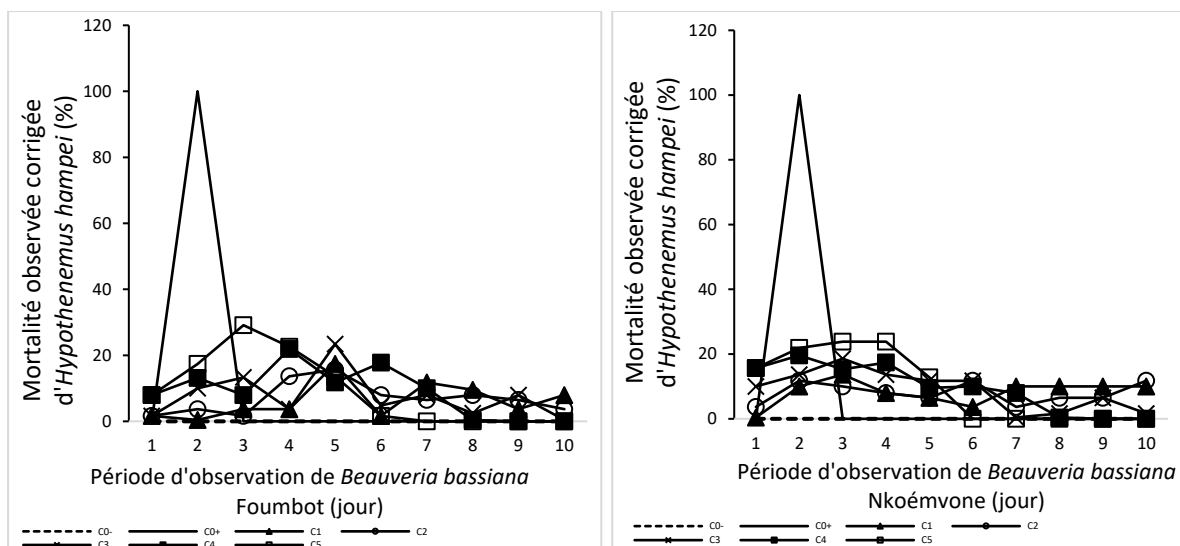


Fig. 40. Mortalité observée corrigée des scolytes selon le temps et les traitements.

C<sub>0</sub>= Chlorpyrifos-éthyl 600 g/l) ; C<sub>0</sub>= eau distillée stérile + tween 80 ; C<sub>1</sub> = 3 × 10<sup>2</sup> spores/ml ; C<sub>2</sub> = 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml ; C<sub>3</sub> = 3 × 10<sup>6</sup> spores/ml ; C<sub>4</sub> = 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml ; C<sub>5</sub> = 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml.

### III.1.2.3.3. Détermination des concentrations létales causant 50 (CL<sub>50</sub>) et 90 (CL<sub>90</sub>) % de mortalité d'*Hypothenemus hampei*

Les mortalités cumulées corrigées du quatrième jour ont été utilisées pour rester dans les intervalles des concentrations appliquées. Une liaison positive forte (R<sup>2</sup> = 0,94 et 0,95) a été observée entre les probits des mortalités et les logarithmes des concentrations appliquées (Fig. 41). Le logarithme inverse (antilog) de l'équation de régression linéaire révèle que les concentrations létales (CL<sub>50</sub>) provoquant 50 % de mortalité d'*H. hampei* ont été 1,51.10<sup>7</sup> et 2,63.10<sup>4</sup> spores/ml respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe. Les concentrations létales (CL<sub>90</sub>) provoquant 90 % de mortalité des scolytes ont été 7,18 × 10<sup>12</sup> et 8,49 × 10<sup>11</sup> spores/ml respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe. Ces résultats ont montré qu'il faut environ 574 fois moins de spores/ml de Bb-IRAD.Nkoe pour tuer 50 % de scolytes et environ 8 fois moins de spores pour tuer 90 % de scolytes par rapport à Bb-IRAD.Fbt (Fig. 41).

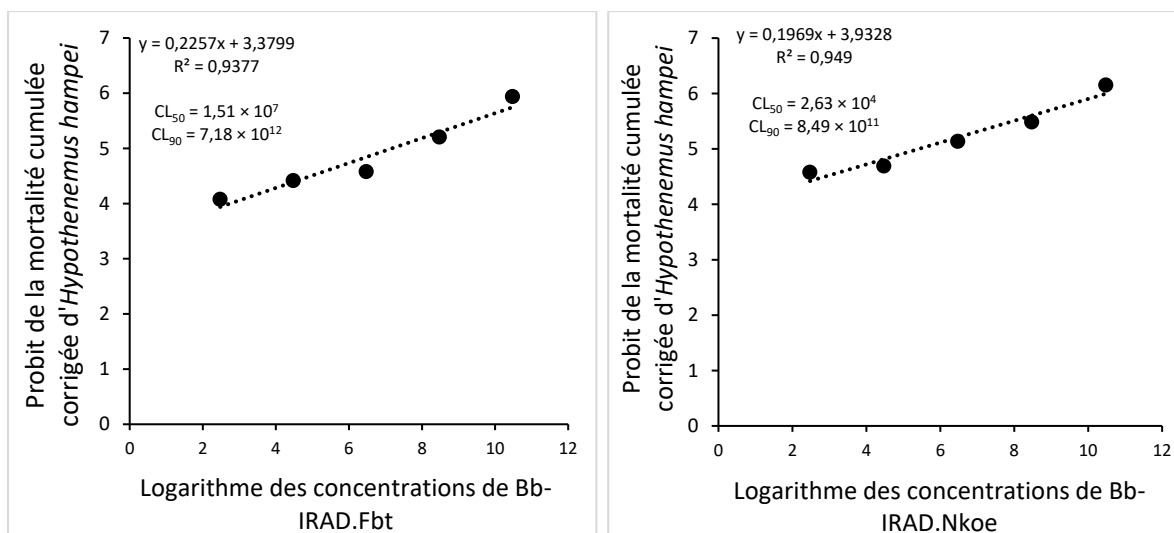


Fig. 41. Régression linéaire de la mortalité cumulée corrigée d'*Hypothenemus hampei* et des concentrations de *Beauveria bassiana* après 4 jours d'incubation.

Equation de régression probits-logarithmes de type  $y = ax + b$  où  $y$  = probit du pourcentage de la mortalité cumulée corrigée d'*H. hampei* ;  $x$  = logarithme de la dose de *B. bassiana* ;  $a$  = pente de la droite ;  $R^2$  = le coefficient de détermination.

#### III.1.2.3.4. Détermination des temps létaux d'atteinte de 50 (TL<sub>50</sub>) et 90 (TL<sub>90</sub>) % de mortalité d'*Hypothenemus hampei*

Les droites de régression obtenues révèlent des corrélations positives et fortes ( $0 < R < 1$ ) entre ces deux variables. Elles varient dans le même sens et toutes les pentes sont positives et supérieures à deux (2). En observant Bb-IRAD.Fbt, on voit que le TL<sub>50</sub> diminue avec l'augmentation de la concentration soit de 11,98 jours pour la concentration  $3 \times 10^2$  spores/ml à 2,52 jours pour la concentration  $3 \times 10^{10}$  spores/ml. Des observations similaires sont faites en observant le TL<sub>90</sub>, où 90 % de mortalité ont été obtenu avec  $3 \times 10^2$  et  $3 \times 10^{10}$  spores/ml, respectivement après 50,3 jours et 5,5 jours. Les temps létaux de Bb-IRAD.Nkoe étaient plus faibles. Il a été noté une différence de 7,3 jours (TL<sub>50</sub>) entre les deux isolats pour la concentration  $3 \times 10^2$  spores/ml et 2,6 jours de différence entre les concentrations  $3 \times 10^2$  et  $3 \times 10^{10}$  spores/ml. Ce temps létaux était environ quatre fois inférieur à celui observé avec Bb-IRAD.Fbt pour le même intervalle des concentrations. Ces résultats montrent que Bb-IRAD.Nkoe a été plus virulent que Bb-IRAD.Fbt car le premier a infecté et tué 50 et 90 % de scolytes en moins de temps (jour) que le dernier (Tableau XV).

Tableau XV : Régression linéaire des probits de la mortalité cumulée corrigée en fonction du logarithme décimal du temps jusqu'au quatrième jour d'observation.

Concentrations de <i>Beauveria</i> <i>bassiana</i> (spores/ml)	Paramètres de régression linéaire			
	Bb-IRAD.Fbt		Bb-IRAD.Nkoe	
	Equation de régression	TL <sub>50</sub> & TL <sub>90</sub> (jour)	Equation de régression	TL <sub>50</sub> & TL <sub>90</sub> (jour)
3 × 10 <sup>2</sup>	y = 2,0563x + 2,7824 R <sup>2</sup> = 0,9463	11,98 & 50,31	y = 3,7423x + 2,4763 R <sup>2</sup> = 0,9715	4,72 & 10,39
3 × 10 <sup>4</sup>	y = 2,4304x + 2,8873 R <sup>2</sup> = 0,972	7,40 & 24,92	y = 2,4507x + 3,2524 R <sup>2</sup> = 0,9915	5,17 & 17,22
3 × 10 <sup>6</sup>	y = 2,9213x + 2,9312 R <sup>2</sup> = 0,9818	5,11 & 14,02	y = 2,3542x + 3,6722 R <sup>2</sup> = 0,9888	3,66 & 12,83
3 × 10 <sup>8</sup>	y = 2,5379x + 3,5705 R <sup>2</sup> = 0,9765	3,66 & 11,70	y = 2,4219x + 3,9554 R <sup>2</sup> = 0,9898	2,7 & 9,13
3 × 10 <sup>10</sup>	y = 3,8264x + 3,4619 R <sup>2</sup> = 0,9663	2,52 & 5,46	y = 3,3973x + 3,8568 R <sup>2</sup> = 0,9388	2,17 & 5,17

Equation de régression probits-logarithmes de type  $y = ax + b$  où  $y$  = probit du pourcentage de la mortalité ;  $x$  = logarithme du temps ou jour ;  $a$  = pente de la droite ;  $R^2$  = le coefficient de détermination.

### III.1.2.3.5. Pathogénicité de *Beauveria bassiana* par infection directe des adultes non sexés d'*H. hampei*

#### III.1.2.3.5.1. Pathogénicité de *Beauveria bassiana* en fonction des concentrations

L'analyse des taux de sporulation cumulée obtenue des insectes morts avec signature de sporulation au moment de l'observation, a montré une relation positive mais moyenne avec les concentrations de Bb-IRAD.Fbt ( $R^2 = 0,657$  ;  $F = 7,772$  ;  $Pr < 0,0001 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher) et Bb-IRAD.Nkoe ( $R^2 = 0,512$  ;  $F = 4,254$  ;  $Pr < 0,0001 < \alpha = 0,05$  ; test de Fisher).

Entre les concentrations 3 × 10<sup>2</sup> spores/ml (6 % en moyenne de scolytes morts avec signature de sporulation) et 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml (16,4 %) de Bb-IRAD.Fbt, on pourrait dire que le taux de sporulation augmentait en fonction de la concentration, mais celui-ci décroissait à la concentration 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml (12 %). Les mêmes constats ont été faits avec Bb-IRAD.Nkoe, mais avec des taux de sporulation plus élevés par rapport à ceux de Bb-IRAD.Fbt pour les mêmes concentrations (Fig. 42). Il n'y a pas eu des différences significatives observées entre les moyennes des taux de sporulation cumulée corrigées de Bb-IRAD.Nkoe aux

concentrations  $3 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^6$  et  $3 \times 10^8$  spores/ml comme ce fut le cas avec Bb-IRAD.Fbt avec les mêmes concentrations. Par ailleurs, tous les cadavres de scolytes incubés après observation, ont présenté une signature de sporulation 2 à 3 jours après incubation (Fig. 42).

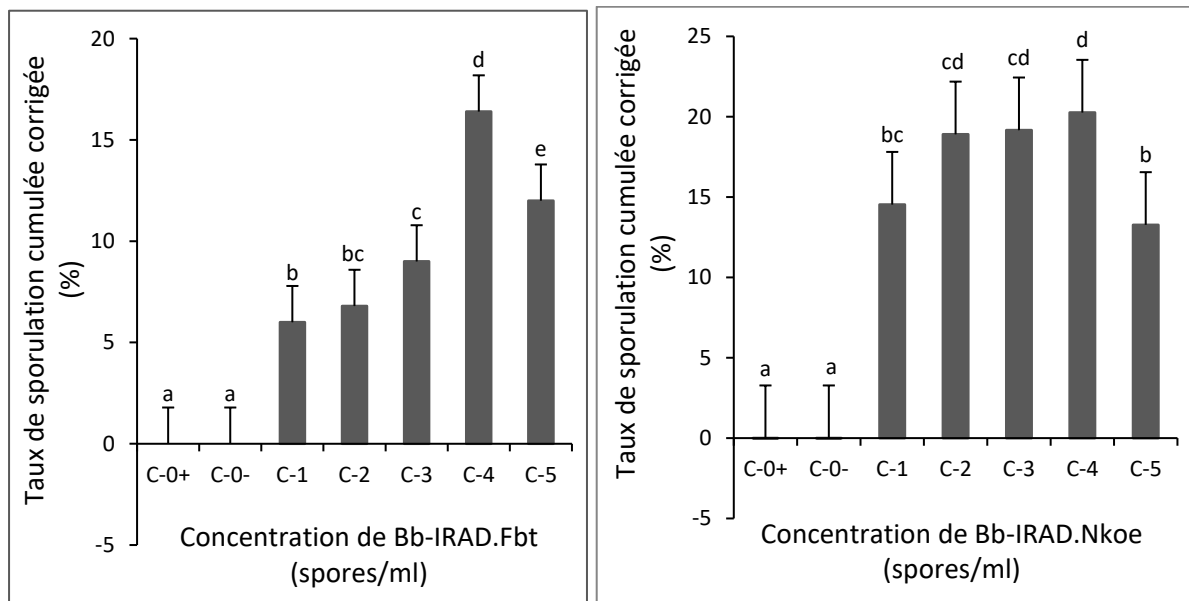


Fig. 42. Sporulation cumulée corrigée selon les concentrations de *Beauveria bassiana*.

C<sub>0+</sub>= Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l) ; C<sub>0-</sub>= eau distillée stérile + tween 80 ; C<sub>1</sub>=  $3 \times 10^2$  spores/ml ; C<sub>2</sub>=  $3 \times 10^4$  spores/ml ; C<sub>3</sub>=  $3 \times 10^6$  spores/ml ; C<sub>4</sub>=  $3 \times 10^8$  spores/ml ; C<sub>5</sub>=  $3 \times 10^{10}$  spores/ml. \*Les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil  $\alpha=0,05$  selon le test de Fisher.

### III.1.2.3.5.2. Pathogénicité de *Beauveria bassiana* en fonction du temps d'observation

L'analyse quotidienne des taux de sporulation observée corrigée, montre que la sporulation a été plus importante entre le quatrième jour d'incubation pour les concentrations  $3 \times 10^4$  et  $3 \times 10^8$  spores/ml (8 % de scolytes morts avec un signe de sporulation), le cinquième jour pour la concentration  $3 \times 10^6$  spores/ml (8 %) et le sixième jour d'incubation pour la concentration  $3 \times 10^8$  spores/ml (10 %) de Bb-IRAD.Fbt. Avec Bb-IRAD.Nkoe, la sporulation a été plus importante (4 à 6 % de scolytes présentant une signature de sporulation) pour les concentrations  $3 \times 10^4$ ,  $3 \times 10^6$ ,  $3 \times 10^8$  et  $3 \times 10^{10}$  spores/ml entre le deuxième et le cinquième jour. La concentration  $3 \times 10^2$  spores/ml a présenté la plus forte sporulation (4 % de scolytes infectés) à partir du cinquième jour avant de rester constant du huitième au dixième jour à 2 % de scolytes (Fig. 43).

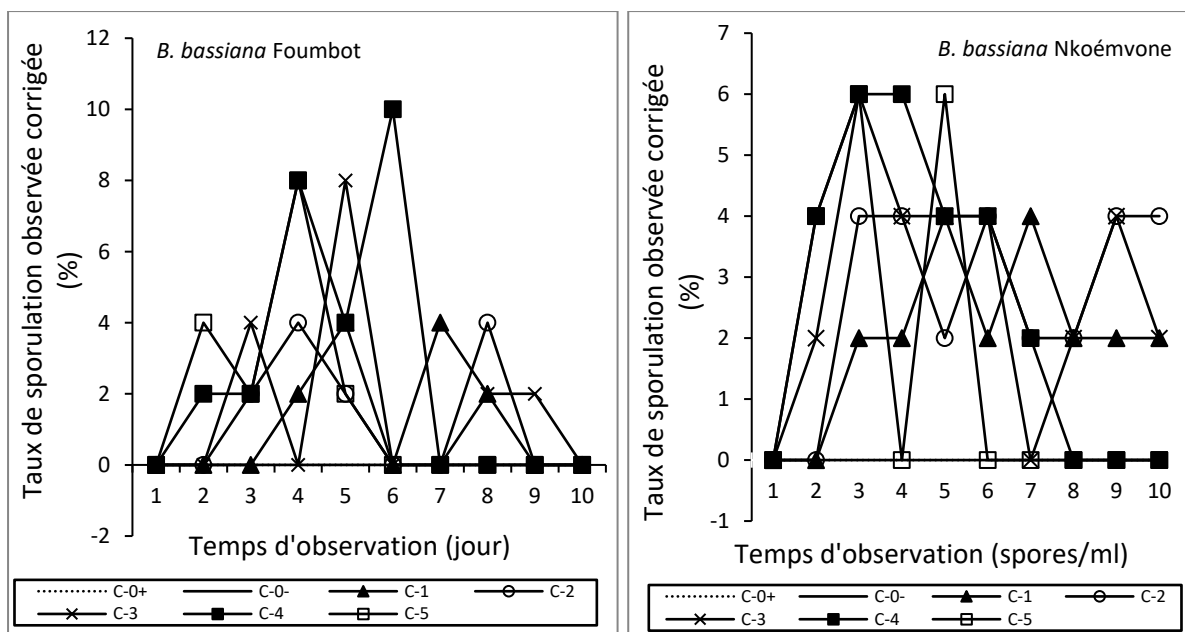


Fig. 43. Sporulation observée corrigée des scolytes selon le temps d'observation.  
 C<sub>0+</sub>= Chlorpyriphos-éthyl 600 g/l) ; C<sub>0-</sub>= eau distillée stérile + tween 80 ; C<sub>1</sub>= 3 × 10<sup>2</sup> spores/ml ; C<sub>2</sub>= 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml ; C<sub>3</sub>= 3 × 10<sup>6</sup> spores/ml ; C<sub>4</sub>= 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml ; C<sub>5</sub>= 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml.

L'analyse quotidienne des taux de sporulation cumulée corrigée montre que ceux-ci augmentaient avec le temps avant de devenir constants. Avec la concentration 3 × 10<sup>6</sup> spores/ml de Bb-IRAD.Fbt, le taux de sporulation a atteint au sixième jour, 26 % en moyenne de scolytes morts avec une signature de sporulation. Les taux les plus faibles (12 % de scolytes en moyenne) ont été observés à partir du huitième jour avec les plus faibles concentrations dont 3 × 10<sup>2</sup> et 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml. Les taux de sporulation n'ont pas été corrélés aux concentrations de Bb-IRAD.Nkoe. On a observé le plus faible taux (16 % de scolytes morts avec signature de sporulation) avec la concentration la plus forte 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml. Les concentrations 3 × 10<sup>6</sup> et 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml ont présenté les taux de sporulation les plus importants respectifs de 28,4 et 27,8 % au dixième jour (Fig. 44).

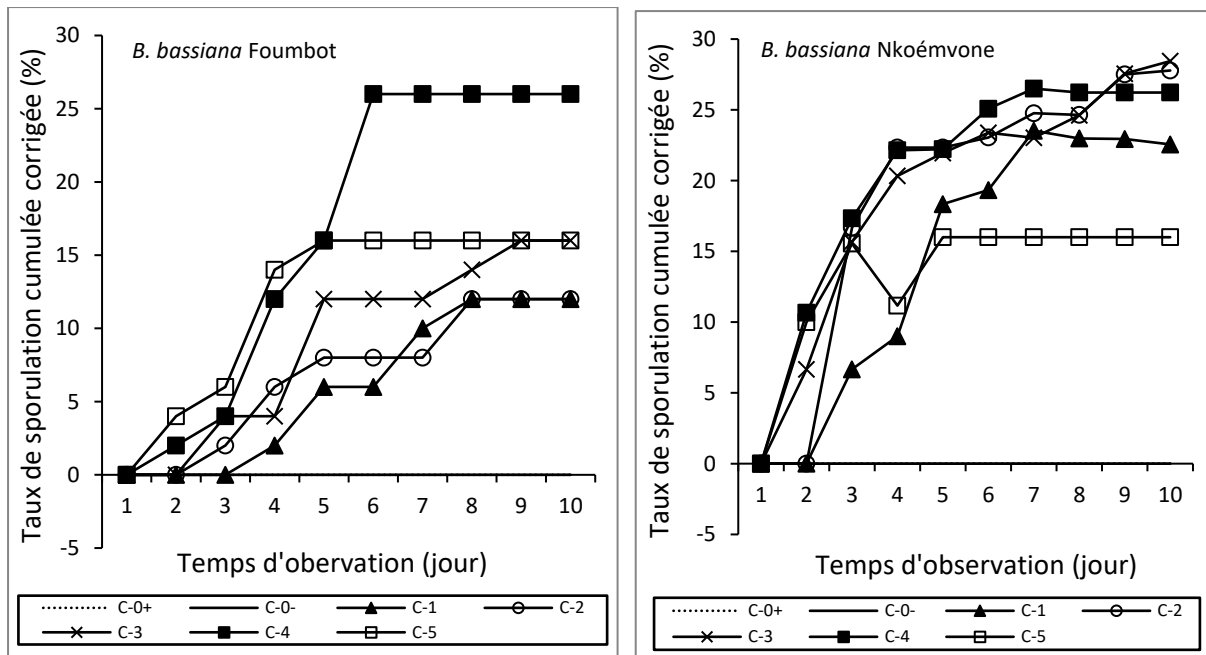


Fig. 44. Sporulation cumulée corrigée selon les concentrations de *Beauveria bassiana* et du temps d'observation.

C<sub>0+</sub>= Chlorpyrifos-éthyl 600 g/l) ; C<sub>0-</sub>= eau distillée stérile + tween 80 ; C<sub>1</sub>= 3 × 10<sup>2</sup> spores/ml ; C<sub>2</sub>= 3 × 10<sup>4</sup> spores/ml ; C<sub>3</sub>= 3 × 10<sup>6</sup> spores/ml ; C<sub>4</sub>= 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml ; C<sub>5</sub>= 3 × 10<sup>10</sup> spores/ml.

### III.1.2.4. Virulence de *Beauveria bassiana* contre *Hypothenemus hampei* après infection des baies

#### III.1.2.4.1. Virulence de *Beauveria bassiana* en fonction des concentrations

En fonction des concentrations, des mortalités de plus de 80 % de scolytes ont été obtenues en infestant directement les baies de café avec la concentration 3 × 10<sup>8</sup> spores/ml de *B. bassiana* de chaque isolat. Toutefois, ces taux n'ont pas été significativement différents entre les deux isolats. Les taux de sporulation ont atteint 10 % de scolytes morts avec une signature de sporulation avec Bb-IRAD.Fbt et 7 % avec Bb-IRAD.Nkoe. L'analyse de variance montre que la mortalité a été expliquée par le type d'isolat et sa concentration à 93 % alors que la sporulation a été expliquée à 48 %. Ces résultats montrent que le lien a été très faible entre la mortalité, la sporulation et le type d'isolat (Tableau XVI).



Tableau XVI. Mortalité cumulée d'*Hypothenemus hampei* et taux de sporulation de *Beauveria bassiana* à la concentration de  $3 \times 10^8$  spores/ml.

Isolat	Mortalité cumulée (%)	Taux de sporulation cumulée (%)
Bb-IRAD.Fbt	$80,10 \pm 22,23^a$	$9,69 \pm 8,34^a$
Bb-IRAD.Nkoe	$80,13 \pm 19,86^a$	$7,44 \pm 4,19^a$
Analyse de variance	$R^2 = 0,927$ $F = 53,282$ $Pr < 0,0001$	$R^2 = 0,481$ $F = 3,903$ $Pr < 0,0001$

\*Les valeurs portant des lettres différentes dans une même colonne sont significativement différentes au seuil  $\alpha = 0,05$  selon le test de Fisher

### III.1.2.4.2. Virulence de *Beauveria bassiana* en fonction du temps d'observation

L'infestation des baies de café à la concentration de  $3 \times 10^8$  spores/ml de *B. bassiana*, a causé des mortalités de 100 % d'*H. hampei* au septième jour avec Bb-IRAD.Nkoe et au huitième jour avec Bb-IRAD.Fbt. L'évolution quotidienne de cette mortalité a été croissante et quasi-identique avec les deux isolats. Le taux de sporulation a atteint 21,53 % au huitième jour avec Bb-IRAD.Fbt et 17,38 % au septième jour avec Bb-IRAD.Nkoe à la concentration de  $3 \times 10^8$  spores/ml. Le nombre de scolytes morts présentant un signe de sporulation était faible comparé à celui des scolytes morts au total avec ou sans signe de sporulation (Fig. 45).

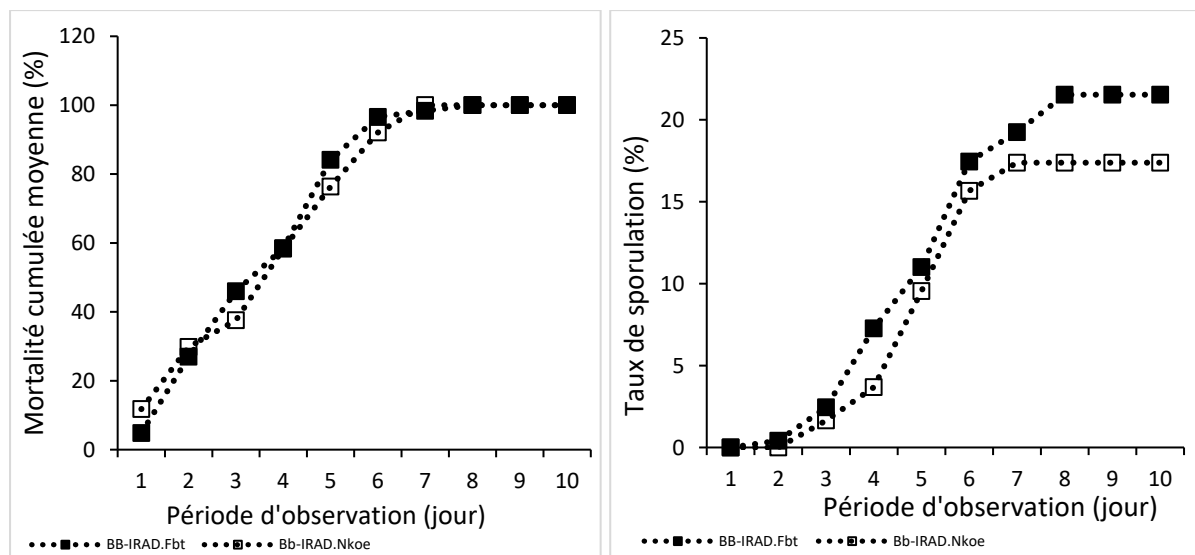


Fig. 45. Mortalité cumulée d'*Hypothenemus hampei* et taux de sporulation de *Beauveria bassiana*.

### **III.1.2.5. Toxicité et anti-appétence d'*Azadirachta indica* et *Thevetia peruviana* sur *Hypothenemus hampei***

#### **III.1.2.5.1. Efficacité des extraits après traitement direct d'*Hypothenemus hampei***

##### **III.1.2.5.1.1. Efficacité des extraits en fonction des concentrations**

L'observation générale montre que la mortalité d'*H. hampei* a été fortement liée ( $R^2 = 0,930$  et  $Pr < 0,0001$ ) aux traitements appliqués tandis que l'attaque des baies l'a été moyennement ( $R^2 = 0,786$  et  $Pr < 0,0001$ ). Spécifiquement, cette mortalité a été fortement liée aux extraits aqueux de graines de *T. peruviana* et l'attaque des baies a été liée aux extraits d'*A. indica*.

L'analyse de la mortalité des insectes a montré que les extraits aqueux de poudre des graines d'*A. indica* ont été très peu efficaces contre le scolyte quelle que soit la concentration, avec des taux compris entre 0 % (C<sub>1</sub> et C<sub>4</sub>) et 11,8 % (C<sub>3</sub>). Les extraits aqueux de *T. peruviana* ont présenté une efficacité significativement moyenne sur la mortalité des scolytes ; les mortalités ont été presque proportionnelles aux concentrations appliquées allant de 0 % (C<sub>2</sub>) à 94,9 % de scolytes tués (C<sub>4</sub>). Les extraits d'huile d'*A. indica* ont été plus efficaces face au scolyte des baies de café. Des taux de mortalité moyen de 78,7, 90,7 et 100 % ont été observés respectivement pour la C<sub>3</sub>, C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub> (Fig. 46).

L'attaque des baies a été liée aux traitements appliqués et aux taux de mortalité des scolytes. Tous les traitements ayant causé une forte mortalité des scolytes, ont présenté des faibles taux d'attaques des baies de café. Les extraits aqueux d'*A. indica* ont présenté des taux d'attaque des baies compris entre 31,3 (C<sub>4</sub>) et 73 % (C<sub>2</sub>) alors que les extraits aqueux de *T. peruviana* ont présenté des taux d'attaque des baies compris entre 18 % (C<sub>4</sub>) et 82,2 % (C<sub>2</sub>). Les extraits d'huile d'*A. indica* ont présenté des taux d'attaque des baies compris entre 0 % (C<sub>2</sub> et C<sub>4</sub>) et 26 % (C<sub>3</sub>) tandis qu'avec de l'eau distillée stérile (contrôle négatif), le taux d'attaque des baies a été de 68 % et de 0 % avec le Chlorpyrifos-éthyl (Fig. 46).

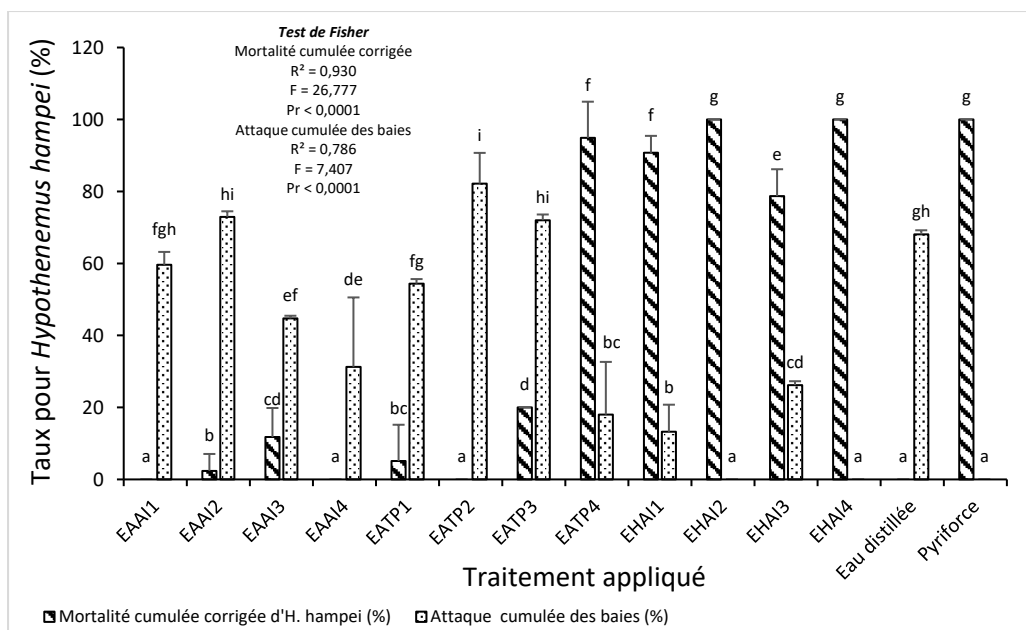


Fig. 46. Taux de mortalité cumulée corrigée d'*Hypothenemus hampei* et d'attaque des baies de café *in vitro* selon les traitements.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyrifos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml) ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile. \*les valeurs portant des lettres différentes pour une même variable sont significativement différentes au seuil  $\alpha = 0,05$  selon le test de Fisher.

### III.1.2.5.1.2. Efficacité des extraits en fonction des concentrations et du temps d'observation

En fonction de la période d'incubation des scolytes, on observe que l'efficacité des extraits n'évolue pas avec le temps. La mortalité des scolytes n'a pas été corrélée ni aux concentrations de l'extrait aqueux de poudre de graines d'*A. indica*, ni à la période d'observation ( $Pr > \alpha = 0,05$ ) (Fig. 47).

L'EAAI<sub>3</sub> a été plus efficace atteignant 14 % de mortalité de scolytes au deuxième jour, pendant que les autres concentrations ont présentées des mortalités de 0 % (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>) et 2,4 % (C<sub>2</sub>) du premier au douzième jour. L'EATP<sub>4</sub> a été plus efficace avec un taux de mortalité cumulée d'environ 95 % du deuxième jour au douzième jour ; le reste des concentrations du même extrait ont eu des taux de mortalité compris entre 20 % (C<sub>3</sub>), 5 % (C<sub>1</sub>) et 0 % (C<sub>2</sub>). La mortalité a été corrélée aux concentrations de cet extrait et à la période d'observation ( $Pr < \alpha = 0,05$ ). Avec les extraits d'huile des graines d'*A. indica*, la mortalité des insectes a été moyennement corrélée ( $R^2 = 0,60$  ;  $Pr < \alpha = 0,05$ ) aux concentrations et à la période d'observation. Une mortalité totale des scolytes a été observée depuis le deuxième jour avec EHAI<sub>2</sub> et EHAI<sub>4</sub> ; EHAI<sub>1</sub> a causé une mortalité de 90,7 % de morts à partir du deuxième jour

alors que EHA1<sub>3</sub> a causé 53 % de morts au premier jour pour atteindre 86 % de morts au quatrième jour (Fig. 47).

Au final, les extraits d'huile d'*A. indica* à toutes les concentrations, les extraits aqueux de *T. peruviana* à la concentration 4 et le Chlorpyriphos-éthyl à la dose recommandée ont été les traitements les plus efficaces contre le scolyte des baies de caféier dans cette étude. La période d'incubation/observation n'a pas influencé l'efficacité des extraits concernant la mortalité des scolytes. L'effet observé dès le deuxième jour a été le même jusqu'au dernier jour d'observation sauf pour la troisième concentration de l'extrait d'huile d'*A. indica* qui a augmenté la mortalité jusqu'à se stabiliser à 86,05 % au jour 4 (Fig. 47).

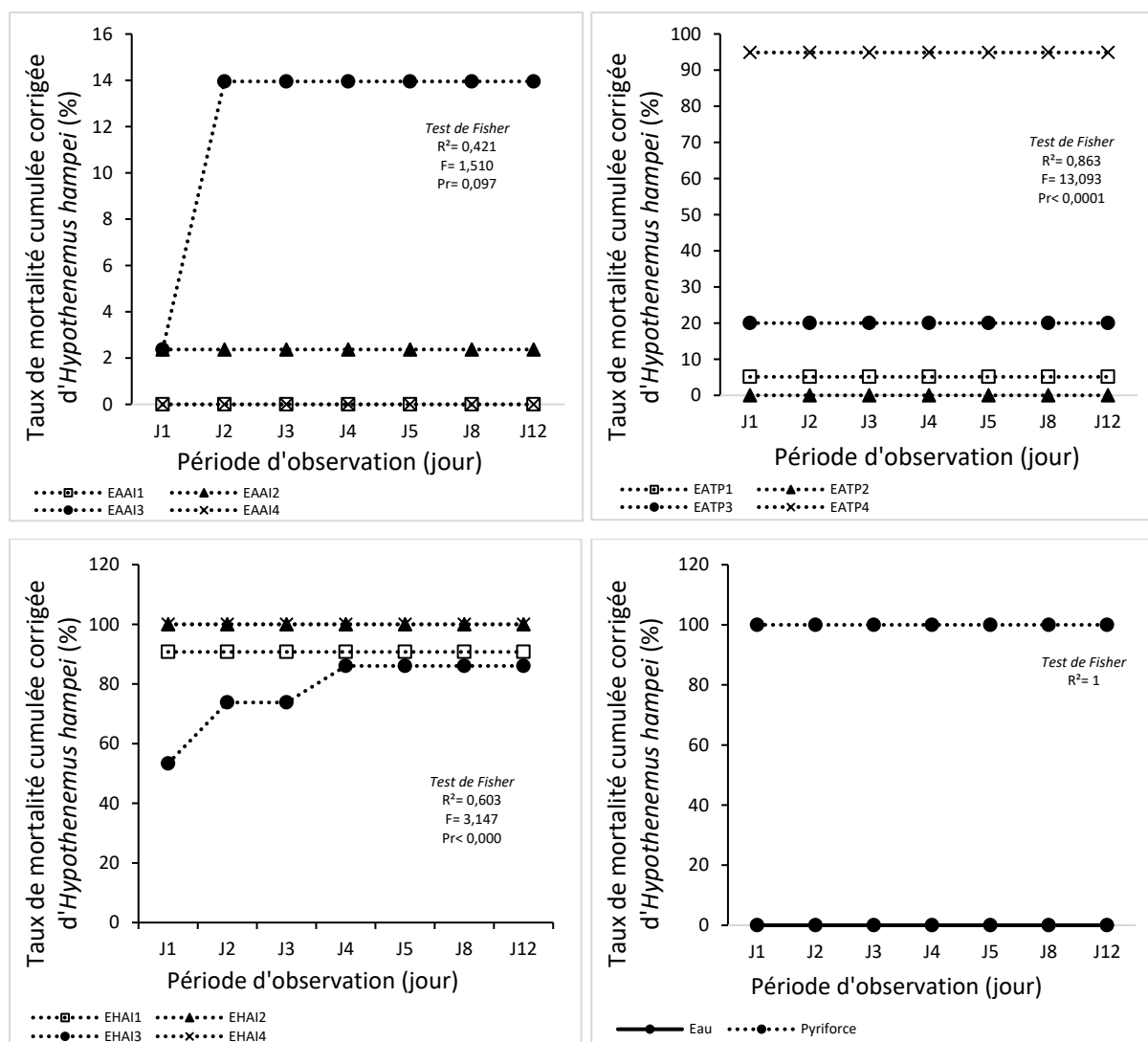


Fig. 47. Taux de mortalité cumulée corrigée *in vitro* d'*Hypothenemus hampei* selon le temps après traitement.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml) ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile.

Le taux d'attaque des baies a été faiblement non corrélé ( $R^2 = 0,33$  ;  $Pr > \alpha = 0,05$ ) aux concentrations des extraits aqueux d'*A. indica* et à la période d'observation. Avec le même extrait, le taux d'attaques des baies a été plus important aux concentrations les plus faibles C<sub>1</sub> (60 %) et C<sub>2</sub> (74 %). Avec les extraits aqueux de *T. peruviana*, les attaques des baies ont été moyennement corrélées aux concentrations et à la période d'observation ( $R^2 = 0,61$  ;  $Pr < \alpha = 0,05$ ) ; les concentrations 2 (86 %) et 1 (74 %) ont enregistré les taux d'attaques des baies les plus importants. Une corrélation moyenne des taux d'attaques des baies a été notée avec les concentrations des extraits d'huile d'*A. indica* et la période d'observation ( $R^2 = 0,64$  ;  $Pr < \alpha = 0,05$ ). Les attaques des baies ont été plus importantes avec les concentrations 3 (33 % au 12<sup>e</sup> jour) et 1 (14 % au 2<sup>e</sup> jour) tandis qu'elles ont été nulles avec les concentrations 2 et 4. Aucune attaque des baies n'a été observée avec le chlorpyriphos-éthyl, mais avec le contrôle négatif, 74 % de baies attaquées par les scolytes a été relevé (Fig. 48).

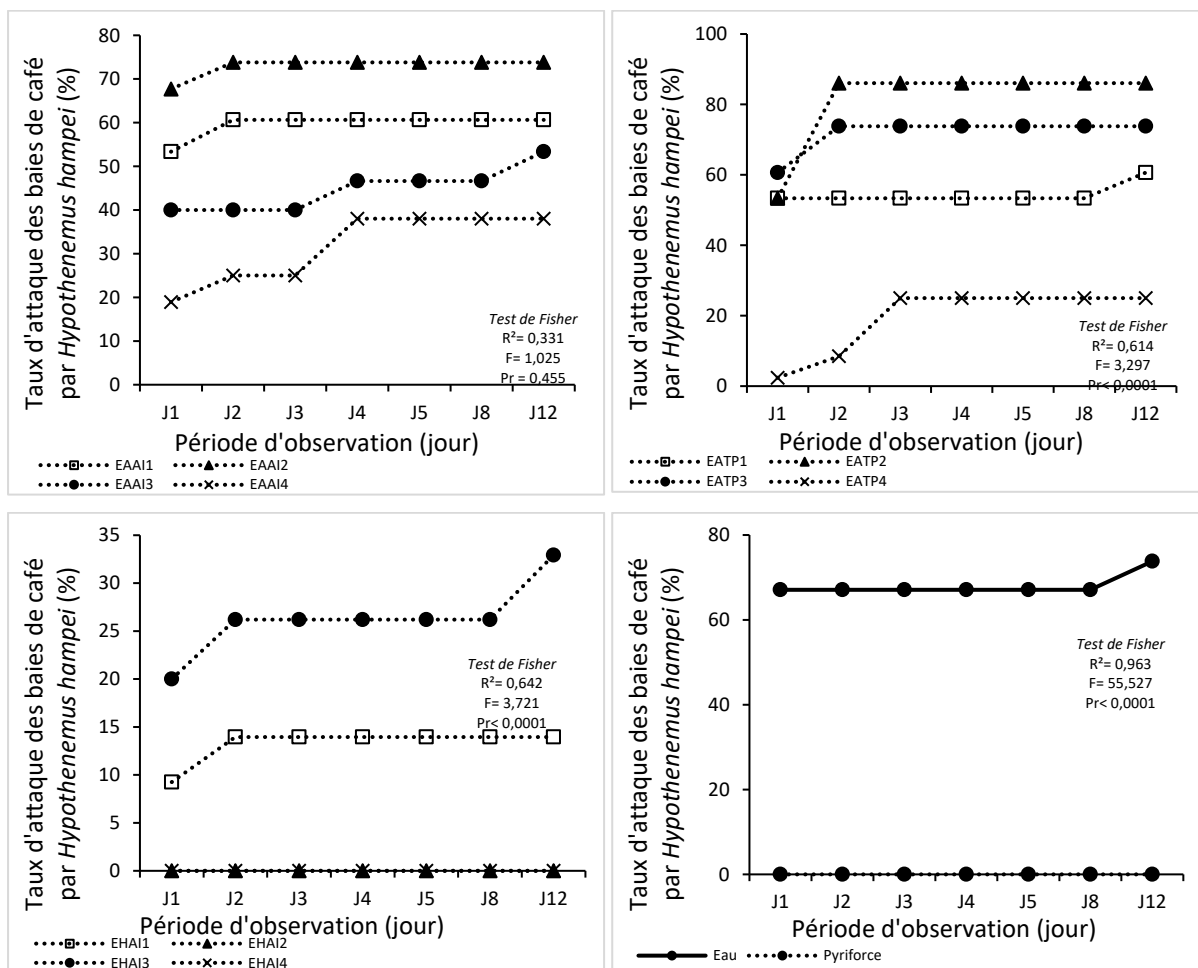


Fig. 48. Taux d'attaque des baies *in vitro* par *H. hampei* selon le temps d'observation après traitement.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml) ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile.

### III.1.2.5.2. Efficacité des extraits après traitement direct des baies de café

#### III.1.2.5.2.1. Efficacité des extraits en fonction des concentrations

En traitant directement les baies, 100 % de mortalité de scolytes a été obtenu avec les extraits d'huile d'*A. indica* (C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>) et le Chlorpyriphos-éthyl pour des taux de perforation des baies respectifs de 11 % (C<sub>2</sub>) et 0 % (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> et Chlorpyriphos-éthyl). 91 % de mortalité a été observé avec EATP<sub>4</sub> pour un taux de perforation de baies de 11 %. Plus de 50 % de mortalité en moyenne a été relevé avec EAAI<sub>3</sub> (55 %), EATP<sub>1</sub> (59 %), EATP<sub>3</sub> (61 %) et EHAI<sub>1</sub> (79 %) pour des taux de perforation des baies respectifs de 33, 13, 19 et 7 %. Des mortalités moyennes de moins de 50 % ont été obtenues dans les traitements à l'eau distillée stérile (0 %), EAAI<sub>1</sub> (16 %), EAAI<sub>4</sub> (36 %), EAAI<sub>2</sub> (39 %) et EATP<sub>2</sub> (49 %) pour des taux moyens d'attaque des baies respectifs de 50, 39, 19, 40 et 10 %. En somme, la mortalité ( $R^2 = 64\%$  ;  $Pr < 0,0001$ ) de même que l'attaque des baies ( $R^2 = 64\%$  ;  $Pr < 0,0001$ ) ont été corrélées aux traitements appliqués. Les extraits d'huile et aqueux d'*A. indica* et le Chlorpyriphos-éthyl ont été les traitements les plus efficaces ayant causé plus de 50 % de mortalité sauf pour EAAI<sub>2</sub>. Ce sont aussi les mêmes traitements qui ont protégé environ 80 % des baies de café. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les mortalités des traitements des extraits d'huile d'*A. indica* (Fig. 49).

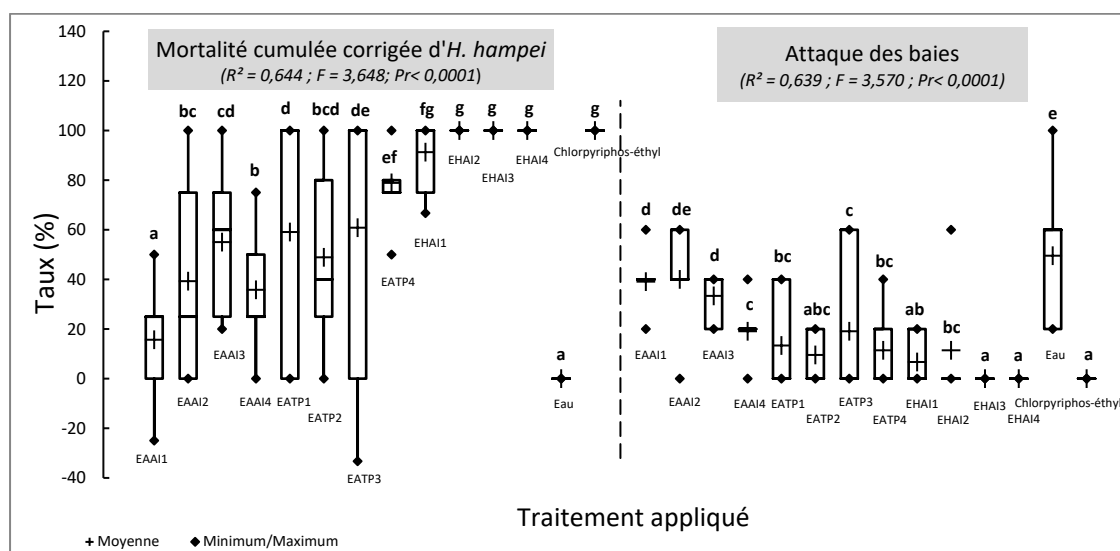


Fig. 49. Taux de mortalité et d'attaque des baies *in vitro* d'*Hypothenemus hampei* après traitement des baies.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml) ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile. \*Les valeurs portant des lettres différentes pour une même variable sont significativement différentes au seuil  $\alpha = 0,05$  selon le test de Fisher. Mortalité ( $R^2 = 0,644$  ;  $F = 3,570$  ;  $Pr < 0,0001$ ) et Attaque des baies ( $R^2 = 0,639$  ;  $F = 3,570$  ;  $Pr < 0,0001$ ).

### III.1.2.5.2.2. Efficacité en fonction du temps d'observation

En fonction du temps d'observation, l'application des extraits des plantes pesticides sur les baies a eu un effet significatif moyen ( $R^2 = 0,6959$  ;  $F = 3,901$  ;  $Pr < 0,0001$  ; test de significativité de Fisher) sur la mortalité des scolytes. Une mortalité significative totale (100 %) de scolytes est observée avec les concentrations 2, 3 et 4 du traitement à l'huile d'*A. indica* et avec le Chlorpyriphos-éthyl dès le premier jour d'observation soit vingt-quatre heures après traitement. Au premier jour d'observation, seuls les traitements EATP<sub>4</sub>, EHAI<sub>1</sub>, EHAI<sub>2</sub>, EHAI<sub>3</sub>, EHAI<sub>4</sub> et le Chlorpyriphos-éthyl ont causé plus de 50 % de mortalité. Au deuxième et troisième jour, s'ajoute les traitements EATP<sub>3</sub> et EATP<sub>1</sub> parmi les traitements causant 50 % et plus de mortalité. Du quatrième au douzième jour, seul le traitement EAAI<sub>3</sub> s'est ajouté à la liste des traitements causant 50 % et plus de mortalité de scolyte. La mortalité causée par certains traitements se révèle faible voire nulle après correction comparative avec le témoin ; c'est le cas de EAAI<sub>1</sub> au jour 3, 4 et 12, de EAAI<sub>2</sub> au jour 12, de EAAI<sub>4</sub> au jour 2, 3 et 4, et de EATP<sub>3</sub> au jour 12 (Tableau XVII).

L'application des extraits des plantes pesticides sur les baies a eu un effet significatif moyen ( $R^2 = 0,6627$  ;  $F = 3,391$  ;  $Pr < 0,0001$  ; test de significativité de Fisher) sur la protection des baies contre les attaques des scolytes. Le taux d'attaques des baies est de 0 % dès le premier jour avec les traitements EATP<sub>2</sub>, EHAI<sub>2</sub>, EHAI<sub>3</sub>, EHAI<sub>4</sub>, Chlorpyriphos-éthyl quoiqu'aucun des autres traitements ne présente des attaques de plus de 50 %. Plus de cinquante pour cent (50 %) d'attaques des baies est observé dans le traitement avec l'eau distillée stérile au jour 4. Du jour 5 au jour 12, seul le traitement EAAI<sub>2</sub> va s'ajouter à la liste des traitements causant 50 % et plus de mortalité des scolytes (Tableau XVII).

Tableau XVII : Mortalité cumulée corrigée et attaques des baies d'*Hypothenemus hampei* *in vitro* 12 jours après application des traitements.

Paramètres d'efficacité	Traitement appliqué	Période d'observation (jour)						
		1	2	3	4	5	8	12
Mortalité cumulée corrigée (%)	EAAI <sub>1</sub>	15,0 <sup>abcd</sup>	16,7 <sup>abcde</sup>	8,3 <sup>abc</sup>	8,3 <sup>abc</sup>	16,7 <sup>abcde</sup>	25,0 <sup>abcdefg</sup>	19,4 <sup>abcdef</sup>
	EAAI <sub>2</sub>	35 <sup>abcdefgh</sup>	40 <sup>abcdefgh</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	33,3 <sup>abcdefgh</sup>
	EAAI <sub>3</sub>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	45 <sup>abcdefghij</sup>	40 <sup>abcdefgh</sup>	58,3 <sup>defghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>
	EAAI <sub>4</sub>	13,3 <sup>abcd</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	16,7 <sup>abcde</sup>	33,3 <sup>abcdefgh</sup>	38,9 <sup>abcdefgh</sup>
	EATP <sub>1</sub>	46,7 <sup>abcdefghij</sup>	50 <sup>bcdefghij</sup>	50 <sup>bcdefghij</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>
	EATP <sub>2</sub>	40 <sup>abcdefgh</sup>	38,3 <sup>abcdefgh</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	41,7 <sup>abcdefghi</sup>	58,3 <sup>defghijk</sup>	58,3 <sup>defghijk</sup>	63,9 <sup>efghijk</sup>
	EATP <sub>3</sub>	45 <sup>abcdefghij</sup>	58,3 <sup>defghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	66,7 <sup>fghijk</sup>	55,6 <sup>cdefghijk</sup>
	EATP <sub>4</sub>	70,0 <sup>ghijk</sup>	76,7 <sup>hijk</sup>	75 <sup>hijk</sup>	75 <sup>hijk</sup>	75 <sup>hijk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	88,9 <sup>ijk</sup>
	EHAI <sub>1</sub>	91,7 <sup>jk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	91,7 <sup>jk</sup>	88,9 <sup>ijk</sup>
	EHAI <sub>2</sub>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>
	EHAI <sub>3</sub>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>

	EHA1 <sub>4</sub>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>
	Chlorpyriphos-éthyl	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>	100 <sup>k</sup>
	Eau distillée stérile	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>
Attaques des baies (%)	EAAI <sub>1</sub>	33,3 <sup>cdef</sup>	40,0 <sup>defg</sup>	40,0 <sup>defg</sup>	46,7 <sup>efgh</sup>	46,7 <sup>efgh</sup>	46,7 <sup>efgh</sup>	46,7 <sup>efgh</sup>
	EAAI <sub>2</sub>	26,7 <sup>bcd</sup>	26,7 <sup>bcd</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	53,3 <sup>fgh</sup>	53,3 <sup>fgh</sup>	53,3 <sup>fgh</sup>
	EAAI <sub>3</sub>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>	33,3 <sup>cdef</sup>
	EAAI <sub>4</sub>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	26,7 <sup>bcd</sup>	26,7 <sup>bcd</sup>
	EATP <sub>1</sub>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>
	EATP <sub>2</sub>	0,0 <sup>a</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>abc</sup>
	EATP <sub>3</sub>	13,3 <sup>abc</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>
	EATP <sub>4</sub>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	13,3 <sup>abc</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>
	EHA1 <sub>1</sub>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>	6,7 <sup>ab</sup>
	EHA1 <sub>2</sub>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>
	EHA1 <sub>3</sub>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>
	EHA1 <sub>4</sub>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>
	Chlorpyriphos-éthyl	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>
	Eau distillée stérile	13,3 <sup>abc</sup>	20,0 <sup>abcd</sup>	40,0 <sup>defg</sup>	53,3 <sup>fgh</sup>	60,0 <sup>gh</sup>	66,7 <sup>h</sup>	66,7 <sup>h</sup>

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHA1 = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl= Insecticide à la concentration de 4,6 µl/ml ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile. \*les valeurs portant des lettres différentes pour une même variable sont significativement différentes au seuil  $\alpha = 0,05$  selon le test de Fisher.

### III.1.2.5.3. Relation entre la mortalité d'*Hypothenemus hampei*, les doses des extraits de *Thevetia peruviana* et *Azadirachta indica*

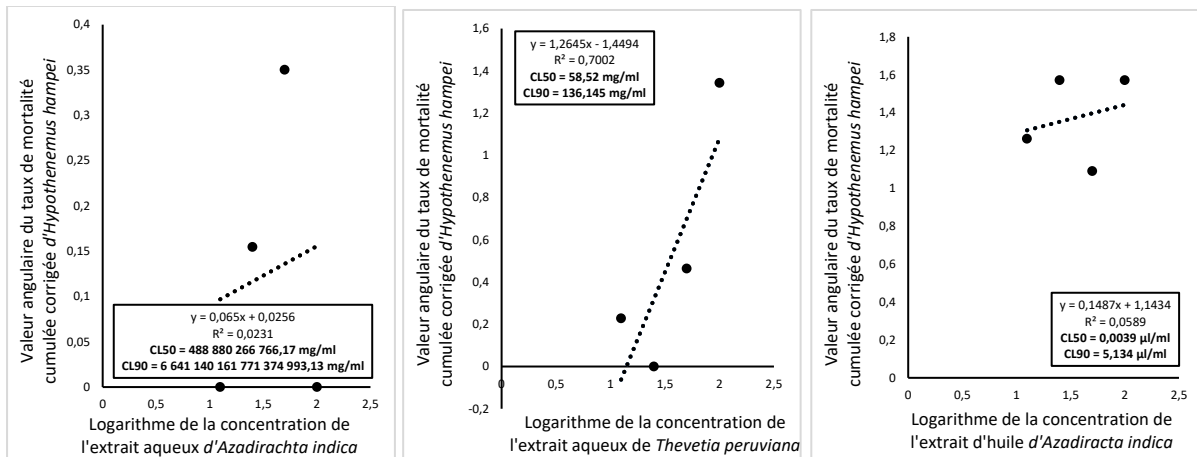
L'ajustement des taux de mortalité cumulée corrigée d'*H. hampei* en fonction des concentrations des extraits aqueux de *T. peruviana* et des extraits aqueux et huile d'*A. indica* après 12 jours d'incubation, a montré une très faible relation linéaire entre les concentrations des traitements EAAI ( $R^2 = 0,0231$ ) et EHA1 ( $R^2 = 0,0589$ ) et une relation linéaire moyenne entre les concentrations du traitement EATP ( $R^2 = 0,7002$ ) et la mortalité des scolytes après traitement de ces derniers. Le logarithme inverse (antilog) de l'équation de régression linéaire a révélé que les concentrations létales provoquant respectivement 50 (CL<sub>50</sub>) et 90 % (CL<sub>90</sub>) de mortalité de scolytes ont été plus élevées avec les extraits aqueux d'*A. indica* (EAAI) qu'avec les extraits aqueux de *T. peruviana* (EATP). Avec EHA1 la CL<sub>50</sub> a été de 0,0039 µl/ml alors que la CL<sub>90</sub> a été 5,134 µl/ml (Fig. 50).

Après traitement des baies de café avec les extraits des plantes, la relation linéaire était faible entre la mortalité d'*H. hampei* et les concentrations des extraits aqueux d'*A. indica* ( $R^2 = 0,20$ ) et celles de *T. peruviana* ( $R^2 = 0,21$ ). Cette relation linéaire a été moyenne entre la mortalité des scolytes et les concentrations des extraits d'huile d'*A. indica* ( $R^2 = 0,6$ ). En somme, il a fallu environ 25 fois plus d'extrait aqueux d'*A. indica* (CL<sub>50</sub> = 161,68 mg/ml) pour tuer cinquante pour cent de scolytes qu'avec les extraits aqueux de *T. peruviana* (CL<sub>50</sub> = 6,49 mg/ml). La CL<sub>50</sub> (0,13 µl/ml) a été encore plus faible avec l'huile d'*A. indica* pour tuer



cinquante pour cent de scolytes. Les mêmes constats ont été faits lorsqu'on a observé les CL<sub>90</sub> où il a fallu environ 2,4 fois d'extrait d'*A. indica* pour tuer quatre-vingt-dix pour cent de scolytes, comparé aux extraits de *T. peruviana*. L'application des extraits sur les baies, a eu un effet plus rapide sur la mortalité des scolytes qu'en appliquant directement sur les scolytes (Fig. 50).

#### Après traitement des scolytes



#### Après traitement des baies de café

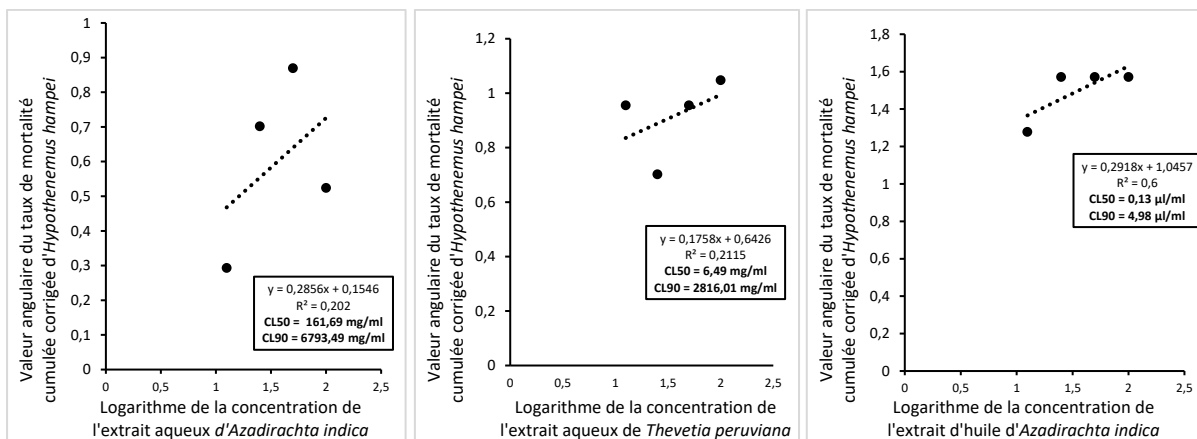


Fig. 50. Régression linéaire de la mortalité cumulée corrigée d'*H. hampei* selon les traitements. Equation de régression arcsin-logarithmes de type  $y = ax + b$  où  $y = \arcsin$  du pourcentage de la mortalité cumulée corrigée d'*H. hampei* ;  $x =$  logarithme de la dose de *B. bassiana* ;  $a =$  pente de la droite ;  $R^2 =$  le coefficient de détermination.

#### III.1.2.5.4. Relation linéaire entre la mortalité d'*Hypothenemus hampei* et le temps d'incubation

L'ajustement des taux de mortalité cumulée corrigée d'*H. hampei* en fonction des temps d'incubation montre qu'il n'y a eu aucune relation linéaire ( $R^2 = \#N/A$  ou 0) entre certains traitements et la mortalité des scolytes après traitement des scolytes. Néanmoins, le traitement EHAI<sub>3</sub> a permis d'obtenir 50 et 90 % de mortalité respectivement après 0,49 et 10,93 jours ; ce

qui montre qu'il a fallu 3 133 et 83 932 fois moins de jours pour les mêmes effets avec les EAAI<sub>3</sub>. En observant les temps létaux qui ont pu être déterminés après le traitement des baies, les TL<sub>50</sub> les plus faibles 0,19, 0,46, 1,51 jours ont été obtenus respectivement avec EATP<sub>4</sub>, EATP<sub>3</sub> et EATP<sub>1</sub> (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Régression linéaire des valeurs angulaires (arcsin) des pourcentages de la mortalité cumulée corrigée d'*Hypothenemus hampei* en fonction des logarithmes décimaux du temps d'observation.

Traitements	Après traitement des scolytes		Après traitement des baies de café	
	Equation de régression	TL <sub>50</sub> et TL <sub>90</sub> (jour)	Equation de régression	TL <sub>50</sub> et TL <sub>90</sub> (jour)
EAAI <sub>1</sub>	y = 0 R <sup>2</sup> = #N/A	#N/A	y = 0,0945x + 0,3459 R <sup>2</sup> = 0,1674	4,47 × 10 <sup>4</sup> et 3,61 × 10 <sup>9</sup>
EAAI <sub>2</sub>	y = 3E-16x + 0,1545 R <sup>2</sup> = 3E-15	#N/A	y = 0,0019x + 0,676 R <sup>2</sup> = 0,0004	3,78 × 10 <sup>57</sup> et 4,01 × 10 <sup>301</sup>
EAAI <sub>3</sub>	y = 0,167x + 0,2533 R <sup>2</sup> = 0,4953	1535 et 917380,56	y = 0,2958x + 0,665 R <sup>2</sup> = 0,7315	2,55 et 94,29
EAAI <sub>4</sub>	y = 0 R <sup>2</sup> = #N/A	#N/A	y = 0,5371x + 0,3201 R <sup>2</sup> = 0,9002	7,35 et 53,65
EATP <sub>1</sub>	y = 0,2282 R <sup>2</sup> = 0	#N/A	y = 0,2306x + 0,7439 R <sup>2</sup> = 0,741	1,51 et 155,09
EATP <sub>2</sub>	y = 0 R <sup>2</sup> = #N/A	#N/A	y = 0,2589x + 0,6241 R <sup>2</sup> = 0,7487	4,20 et 259,33
EATP <sub>3</sub>	y = 0,4636 R <sup>2</sup> = #N/A	#N/A	y = 0,1194x + 0,826 R <sup>2</sup> = 0,2592	0,46 et 3492,18
EATP <sub>4</sub>	y = 1,3426 R <sup>2</sup> = 0	#N/A	y = 0,2437x + 0,9598 R <sup>2</sup> = 0,6717	0,19 et 15,38
EHA1 <sub>1</sub>	y = 1,2617 R <sup>2</sup> = 0	#N/A	y = -0,0296x + 1,2884 R <sup>2</sup> = 0,3663	9,85 × 10 <sup>16</sup> et 21,36
EHA1 <sub>2</sub>	y = 1,5708 R <sup>2</sup> = 0	#N/A	y = 1,5708 R <sup>2</sup> = 0	#N/A
EHA1 <sub>3</sub>	y = 0,3445x + 0,8912 R <sup>2</sup> = 0,7958	0,49 et 10,93	y = 1,5708 R <sup>2</sup> = 0	#N/A
EHA1 <sub>4</sub>	y = 1,5708 R <sup>2</sup> = 0	#N/A	y = 1,5708 R <sup>2</sup> = 0	#N/A

Equation de régression arcsin-logarithmes de type  $y = ax + b$  où y= valeur angulaire du pourcentage de la mortalité ; x= logarithme décimal du temps ou jour ; a= pente de la droite ; R<sup>2</sup>= le coefficient de détermination ; #N/A = valeur non valide

### III.1.2.5.5. Influence du mode d'application des traitements sur leur efficacité contre *H. hampei*

L'analyse en composantes principales des taux de mortalité des scolytes et taux d'attaque des baies en fonction des modes d'application des traitements pesticides, a montré que la majorité des traitements (Chlorpyriphos-éthyl, EHA1<sub>1</sub>, EHA1<sub>2</sub>, EHA1<sub>4</sub> et EATP<sub>4</sub>) ayant causé des fortes mortalités et des faibles attaques des baies, a été efficace en traitant directement les scolytes (Fig. 51).

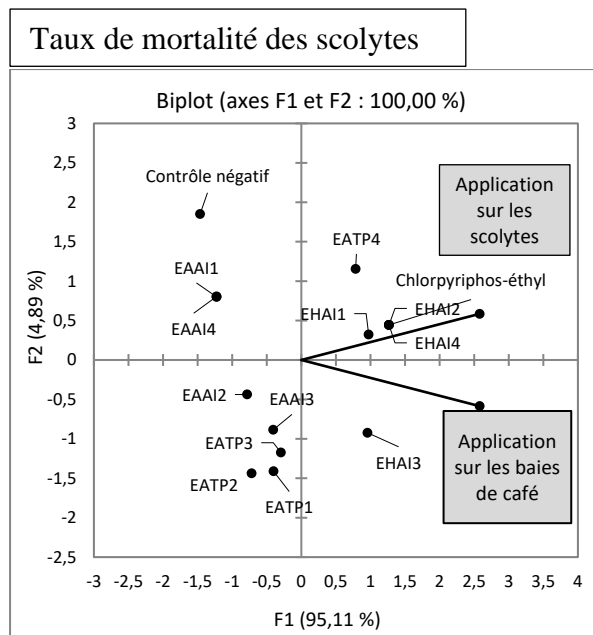


Fig. 51. Efficacité des traitements selon les modes d'application des traitements.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHA1 = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl= Insecticide chimique à la concentration de 4,6 µl/ml ; 1, 2, 3 et 4 correspondent respectivement aux concentrations 12,5 (C<sub>1</sub>), 25 (C<sub>2</sub>), 50 (C<sub>3</sub>) et 100 (C<sub>4</sub>) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile.

### III.1.3. Compatibilité de *Beauveria bassiana* avec *Thevetia peruviana*, *Azadirachta indica*, le Chlorpyriphos-éthyl et le Chlorothalonil + Diméthomorphe

#### III.1.3.1. Effets de *Thevetia peruviana*, d'*Azadirachta indica*, du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la germination de *Beauveria bassiana*

Les résultats obtenus ont montré que la germination des spores des deux isolats de *B. bassiana* (Nkoémvone et Foubot), a été impactée par les différents traitements et leurs concentrations. Cet impact a diminué en fonction des traitements et des concentrations utilisées. En fonction du contrôle, le pourcentage de germination a été plus élevé avec Bb-IRAD.Nkoe qu'avec Bb-IRAD.Fbt aux concentrations C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>, respectivement aux taux de germination de 32,7 ; 23,8 et 9,8 % contre 26,2 ; 16,3 et 8,2 % pour EAAI et 14,2 ; 11,2 et 7,8 % contre 11,2 ; 8,3 et 3,8 % pour EATP (Fig. 52A). Ceci a montré des taux de réduction avec EAAI compris entre 54 et 86 % pour Bb-IRAD.Nkoe contre 46 à 84 % avec EATP pour Bb-IRAD.Fbt. Ainsi, aux concentrations C<sub>4</sub> de ces extraits, il a été observé un taux de germination de 0 % soit des taux de réduction de 100 %. Ce taux est identique à celui obtenu avec le Chlorpyriphos-éthyl, d'où aucune différence significative (Fig. 52B).

De même, pour l'extrait d'huile d'*A. indica* (EHAI), le pourcentage de germination a été plus élevé avec Bb-IRAD.Nkoe qu'avec Bb-IRAD.Fbt aux concentrations C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> ( $13,7 \pm 1,3$  et  $9,2 \pm 0,8$  % contre  $7,7 \pm 1,3$  et  $6,3 \pm 1,3$  %). Cet extrait a totalement inhibé la germination des spores de *B. bassiana*, d'où un taux de germination de 0 % aux concentrations C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>. Le test de Fisher n'a montré aucune différence significative entre le taux de germination à ces concentrations et celui du Chlorpyriphos-éthyl (Fig. 52A).

Le fongicide Chlorothalonil + Diméthomorphe a présenté une réduction faible voire nulle de la germination des spores des isolats de *B. bassiana* étudiés, d'où les taux de germination les plus élevés (57 et 52,66 % respectivement pour Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt) et des taux d'inhibition les plus faibles (7 et 6 % respectivement pour Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt). Néanmoins, le test de Fisher a montré des différences significatives entre les taux de germination enregistrés avec le Chlorothalonil + Diméthomorphe et ceux avec le témoin négatif (60,33 et 56,33 % respectivement pour Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt) (Fig. 52A).

Des taux de réduction de la germination de 100 % ont été enregistrés avec le Chlorpyriphos-éthyl, EATP<sub>4</sub>, EAAI<sub>4</sub> et EHAI<sub>3</sub> chez tous les deux isolats. Pour les mêmes concentrations, les EATP ont eu plus d'effet sur la germination des spores des deux isolats que les EAAI (Fig. 52B).

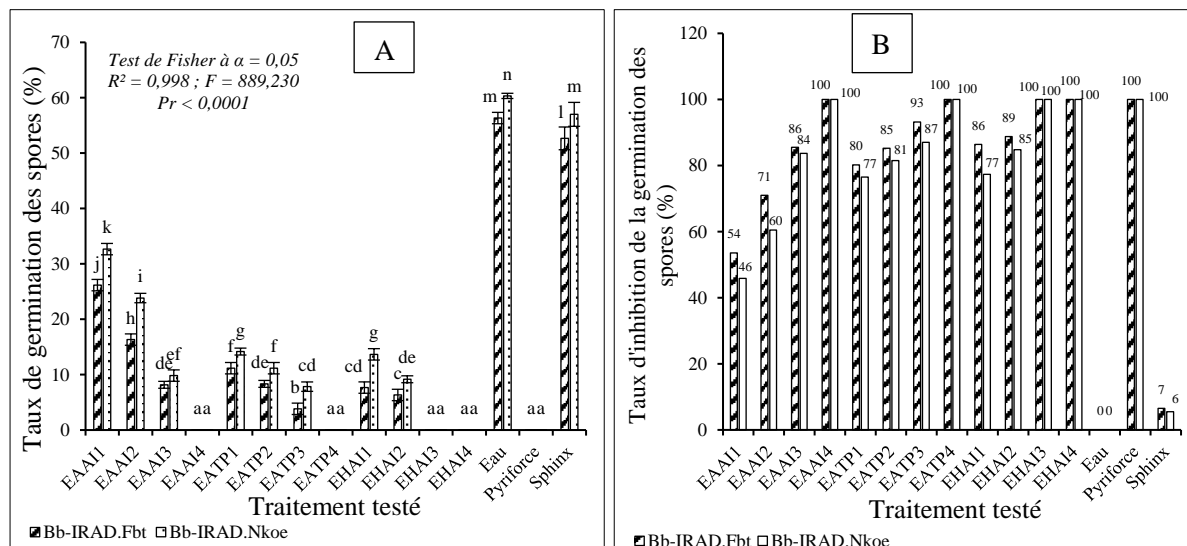


Fig. 52. Taux de germination et d'inhibition de la germination de *Beauveria bassiana* par les traitements.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique à la concentration de 4,6 µl/ml; Chlorothalonil + Diméthomorphe = Fongicide chimique ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile. \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.3.2. Effets de *Thevetia peruviana*, *Azadirachta indica*, du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la croissance radiale de *Beauveria bassiana*

L'extrait aqueux des graines d'*A. indica* a inhibé la croissance des deux isolats à toutes les concentrations. L'inhibition a été proportionnelle à la concentration testée (Fig. 53). En comparaison au témoin négatif, les différentes concentrations utilisées ont provoqué des inhibitions significatives de la croissance mycélienne des deux isolats. On a ainsi observé une inhibition totale (100 %) de la croissance radiale des deux isolats à la concentration C<sub>4</sub>. Toutefois, une inhibition totale (100 %) est également observée à la concentration C<sub>3</sub> sur la souche de Foubot (Tableau XIX).

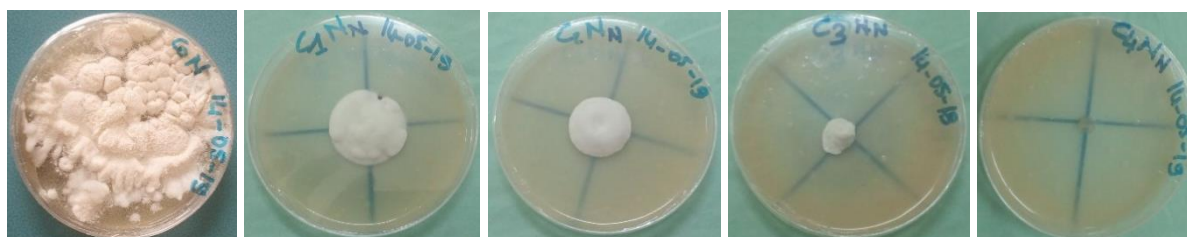


Fig. 53. Inhibition de la croissance de Bb-IRAD.Nkoe par l'extrait aqueux d'*Azadirachta indica* au 21<sup>ème</sup> jour.

N= neem ou *Azadirachta indica* ; N= isolat de Nkoémvone ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile ; C<sub>0</sub>= Eau distillée stérile + tween 80.

L'inhibition de la croissance mycélienne des isolats de *B. bassiana* en présence de EATP a été significative (Fig. 54). Une croissance relativement faible de Bb-IRAD.Fbt a été observée aux concentrations C<sub>1</sub> ( $0,32 \pm 0,17$  cm), C<sub>2</sub> ( $0,20 \pm 0,13$  cm), C<sub>3</sub> ( $0,14 \pm 0,1$  cm) contrairement au témoin négatif où le diamètre moyen de croissance était de  $4,22 \pm 0,59$  cm. Bien qu'il y ait eu une croissance à C<sub>4</sub> pour Bb-IRAD.Nkoe, cette croissance a été presque nulle ( $0,08 \pm 0,09$  cm) comparée à celle du témoin négatif ( $4,21 \pm 0,60$  cm). Une absence totale de la croissance (0 cm) a été observée à C<sub>4</sub> pour la souche de Foubot d'où un pourcentage d'inhibition de 100 %. Le test de Fisher n'a montré aucune différence significative entre les deux extraits aqueux et le Chlorpyriphos-éthyl à la concentration C<sub>4</sub> (Tableau XIX).

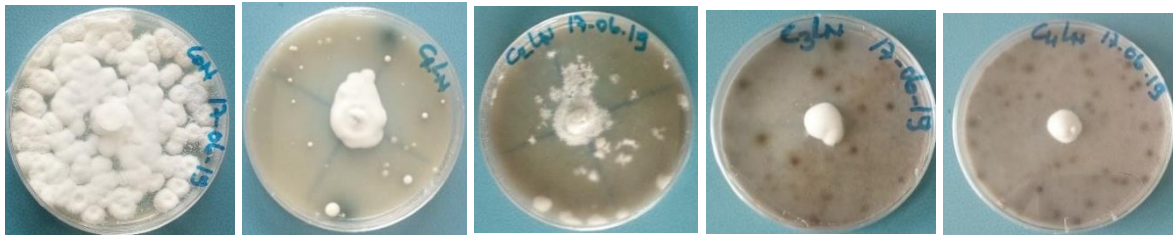


Fig. 54. Inhibition de la croissance de Bb-IRAD.Nkoe par l'extrait aqueux de *Thevetia peruviana* au 21<sup>ème</sup> jour.

L= Laurier jaune ou *Thevetia peruviana* ; N= isolat de Nkoémvone ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile ; C<sub>0</sub>= Eau distillée stérile + tween 80.

L'EHAI s'est montré efficace avec *B. bassiana*, d'où l'inhibition de la croissance mycélienne des isolats à toutes les concentrations. Il a été noté une inhibition totale (100 %) des deux isolats à la concentration EHAI<sub>4</sub>. Les diamètres moyens de croissance ont été relativement faibles aux concentrations EHAI<sub>1</sub>, EHAI<sub>2</sub> et EHAI<sub>3</sub> respectivement à des taux de  $0,12 \pm 0,14$ ,  $0,08 \pm 0,09$  et  $0,05 \pm 0,07$  cm pour Bb-IRAD.Fbt, d'où les pourcentages d'inhibition de  $99,46 \pm 1,40$ ,  $99,66 \pm 0,88$  et  $99,82 \pm 0,59$  %. Aucune différence significative n'a été ainsi observée entre EHAI<sub>2</sub>, EHAI<sub>3</sub>, EHAI<sub>4</sub> et le Chlorpyriphos-éthyl pour Bb-IRAD.Fbt. Bien qu'il y ait eu croissance mycélienne aux concentrations EHAI<sub>1</sub>, EHAI<sub>2</sub> et EHAI<sub>3</sub> pour Bb-IRAD.Nkoe, la croissance a été relativement faible avec des diamètres respectifs de  $0,41 \pm 0,28$ ,  $0,27 \pm 0,19$  et  $0,18 \pm 0,12$  cm, contrairement à ceux du témoin négatif ( $4,21 \pm 0,60$  cm). D'où les pourcentages d'inhibitions de  $96,20 \pm 3,69$  ;  $97,73 \pm 2,37$  et  $98,58 \pm 1,60$  % respectivement pour EHAI<sub>1</sub>, EHAI<sub>2</sub> et EHAI<sub>3</sub> contre 0 % pour le témoin négatif (Tableau XIX).

Le Chlorpyriphos-éthyl a complètement inhibé la croissance mycélienne des isolats de *B. bassiana* (Fig. 55 c et c'). Une très faible réduction a été observée entre le fongicide Sphinx (Chlorothalonil + Diméthomorphe) et les isolats de *B. bassiana* (Fig. 55 b et b'). Les diamètres moyens de croissance radiale de  $3,40 \pm 0,53$  et  $3,31 \pm 0,52$  cm, ont été observés respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe, contre  $4,22 \pm 0,59$  et  $4,21 \pm 0,60$  cm pour les témoins négatifs. Des faibles pourcentages d'inhibition ont été observés à des taux d'inhibition de  $16,27 \pm 3,50$  et  $21,03 \pm 1,32$  % respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe. Toutefois, le test de Fisher a montré une différence significative entre ces pourcentages d'inhibition et le témoin négatif (Tableau XIX).

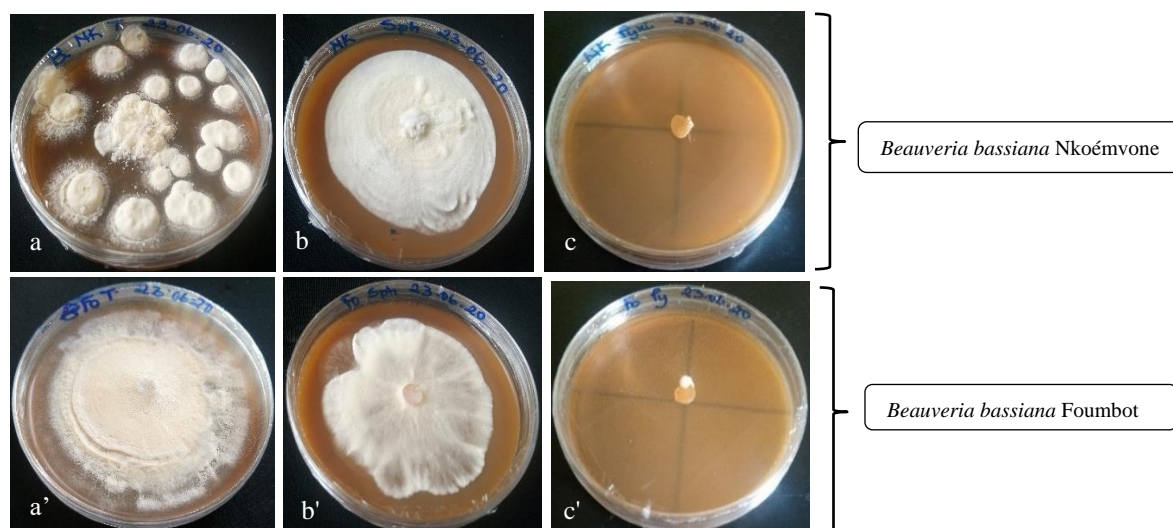


Fig. 55. Effet du Chlorothalonil + Diméthomorphe et du Chlorpyriphos-éthyl sur la croissance de *Beauveria bassiana*.

a et a' = témoins ; b et b' = Chlorothalonil + Diméthomorphe ; c et c' = Chlorpyriphos-éthyl.

Tableau XIX : Croissance radiale et taux d'inhibition des isolats de *Beauveria bassiana* en fonction des traitements après 21 jours d'incubation.

Traitement appliqué	Diamètre moyen de croissance (cm)		Taux d'inhibition (%)	
	Isolat de <i>Beauveria bassiana</i>			
	Foubot	Nkoémvone	Foubot	Nkoémvone
EAAI <sub>1</sub>	0,47 ± 0,25 <sup>h</sup>	2,14 ± 0,37 <sup>k</sup>	94,36 ± 2,94 <sup>fg</sup>	47,09 ± 1,49 <sup>d</sup>
EAAI <sub>2</sub>	0,33 ± 0,20 <sup>ef</sup>	1,52 ± 0,33 <sup>j</sup>	96,48 ± 2,197 <sup>ghij</sup>	64,10 ± 3,67 <sup>e</sup>
EAAI <sub>3</sub>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,19 <sup>fg</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>	94,18 ± 1,86 <sup>fg</sup>
EAAI <sub>4</sub>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>
EATP <sub>1</sub>	0,32 ± 0,17 <sup>ef</sup>	0,57 ± 0,26 <sup>i</sup>	96,31 ± 2,01 <sup>ghij</sup>	92,79 ± 3,35 <sup>f</sup>
EATP <sub>2</sub>	0,20 ± 0,13 <sup>cd</sup>	0,36 ± 0,21 <sup>fg</sup>	98,08 ± 1,48 <sup>ijkl</sup>	96,39 ± 2,81 <sup>ghi</sup>
EATP <sub>3</sub>	0,14 ± 0,1 <sup>bc</sup>	0,21 ± 0,13 <sup>cd</sup>	98,86 ± 1,08 <sup>klm</sup>	97,98 ± 1,57 <sup>ijkl</sup>
EATP <sub>4</sub>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,09 <sup>ab</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>	99,66 ± 0,86 <sup>lm</sup>
EHAI <sub>1</sub>	0,12 ± 0,14 <sup>bc</sup>	0,41 ± 0,28 <sup>gh</sup>	99,46 ± 1,41 <sup>klm</sup>	96,20 ± 3,69 <sup>gh</sup>
EHAI <sub>2</sub>	0,08 ± 0,09 <sup>ab</sup>	0,27 ± 0,19 <sup>de</sup>	99,66 ± 0,88 <sup>lm</sup>	97,73 ± 2,37 <sup>hijk</sup>
EHAI <sub>3</sub>	0,05 ± 0,07 <sup>ab</sup>	0,18 ± 0,12 <sup>c</sup>	99,82 ± 0,59 <sup>lm</sup>	98,58 ± 1,60 <sup>ijkl</sup>
EHAI <sub>4</sub>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>
Eau distillée stérile	4,22 ± 0,59 <sup>n</sup>	4,21 ± 0,60 <sup>n</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
Chlorpyriphos-éthyl	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>	100 ± 0 <sup>m</sup>
Chlorothalonil+Diméthomorphe	3,40 ± 0,53 <sup>m</sup>	3,31 ± 0,52 <sup>l</sup>	16,27 ± 3,50 <sup>b</sup>	21,03 ± 1,32 <sup>c</sup>
Analyse de variance	R <sup>2</sup> = 0,993		R <sup>2</sup> = 0,985	
	F = 295,936		F = 133,447	
	Pr < 0,0001		Pr < 0,0001	

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique ; Chlorothalonil + Diméthomorphe = Fongicide chimique ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en

---

$\mu\text{l/ml}$  pour l'extrait d'huile. \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.3.3. Effets de *Thevetia peruviana*, *Azadirachta indica*, du Chlorpyriphos-éthyl et du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la sporulation de *Beauveria bassiana*

Les résultats des tests révèlent qu'il y a eu une très faible influence du Chlorothalonil + Diméthomorphe sur la production de spores des deux isolats de *B. bassiana*. Une production de  $8 \times 10^6$  et  $7,8 \times 10^6$  spores/ml a été relevée avec ce traitement respectivement pour Bb-IRAD.Nkoe et Bb-IRAD.Fbt. Aucune différence significative n'a été observée entre le Chlorothalonil + Diméthomorphe ( $8,5 \times 10^6$  spores) et le témoin négatif ( $8,06 \times 10^6$  spores) en ce qui concerne la production de spores (Fig. 56A).

Les taux de réduction de la sporulation ont été plus élevés avec Bb-IRAD.Fbt qu'avec Bb-IRAD.Nkoe. Les extraits aqueux des deux plantes ont provoqué des taux de réduction de 100 % chez les deux isolats avec EAAI<sub>4</sub> et EATP<sub>4</sub> pendant que les EHAI<sub>3</sub> et EHAI<sub>4</sub> ont causé des taux de réduction de la sporulation de 100 %. Toutefois, tous les traitements sauf l'eau ont causé plus de 50 % de taux de réduction de la sporulation chez toutes les souches (Fig. 56B).

Une production de  $4 \times 10^6$  et  $2,73 \times 10^6$  spores/ml a été relevée respectivement pour EAAI<sub>1</sub> et EAAI<sub>2</sub> en ce qui concerne Bb-IRAD.Nkoe ;  $2,6 \times 10^6$  et  $1,76 \times 10^6$  spores/ml pour Bb-IRAD.Fbt aux mêmes concentrations. Le test de Fisher a montré une différence significative entre ces concentrations et les témoins négatifs. Une absence de production de conidies et de différence significative a été observée avec EAAI<sub>4</sub> pour les deux isolats, EAAI<sub>3</sub> uniquement pour Bb-IRAD.Fbt et le Chlorpyriphos-éthyl (Fig. 56A).

Dans le cas de l'EATP, une production de spores a été observée avec EATP<sub>1</sub>, EATP<sub>2</sub> et EATP<sub>3</sub> pour les deux souches. La production a été faible à ces concentrations avec des productions respectives de  $2,6 \times 10^6$ ,  $1,83 \times 10^6$  et  $1,23 \times 10^6$  spores/ml pour Bb-IRAD.Nkoe comparées au témoin négatif avec  $8,5 \times 10^6$  spores ; d'où les différences significatives observées. Seule la concentration EATP<sub>4</sub> a présenté une absence de production de spores pour les deux souches (Fig. 56A).

La production de conidies par les isolats de *B. bassiana* a été relativement faible pour toutes les concentrations testées d'EHAI. Une absence de production de spores a été notée avec EHAI<sub>3</sub> et EHAI<sub>4</sub> pour les deux isolats de *B. bassiana*. Bb-IRAD.Fbt a présenté une production de conidies aux concentrations EHAI<sub>1</sub> ( $1,03 \times 10^6$  spores/ml) et EHAI<sub>2</sub> ( $0,9 \times 10^6$  spores/ml),



mais cette production n'était pas significative comparée à celle d'EHA1<sub>3</sub>, d'EHA1<sub>4</sub> (0) et du témoin positif (Fig. 56A).

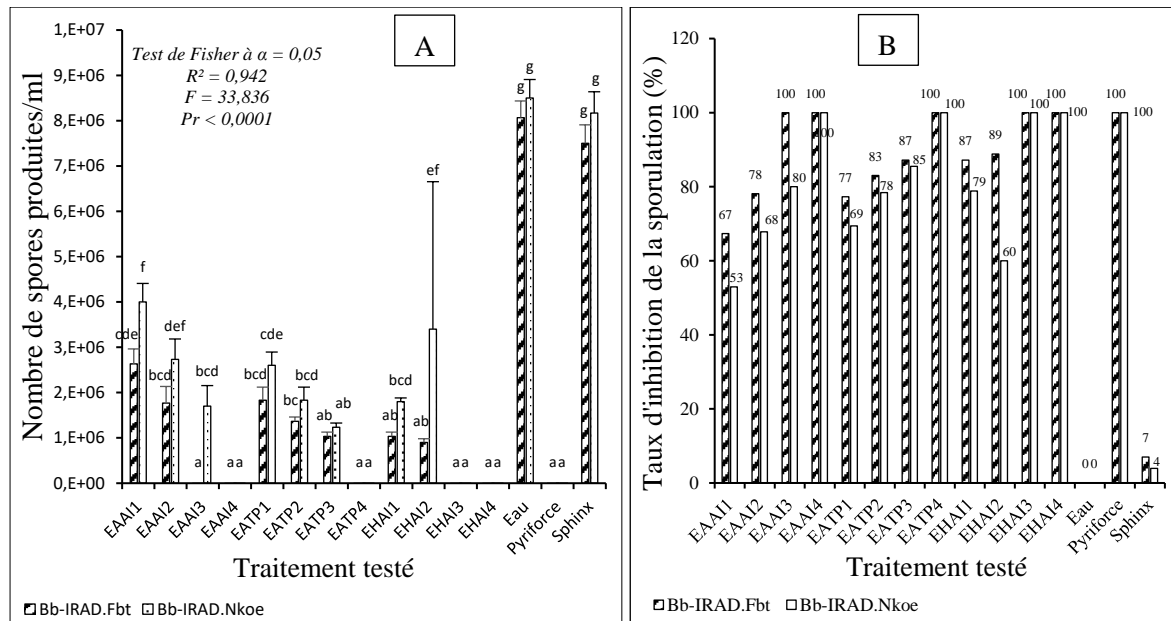


Fig. 56. Production de conidies et inhibition de la sporulation de *Beauveria bassiana* par les traitements.

EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHA1 = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique ; Chlorothalonil + Diméthomorphe = Fongicide chimique ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile. \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.3.4. Relation entre les traitements et l'inhibition du développement de *Beauveria bassiana*

La classification ascendante hiérarchique (CAH) des effets des différents traitements sur les isolats de *B. bassiana*, montre que tous les traitements EATP, EHA1, Chlorpyriphos-éthyl et EAAI ont été très toxiques (inhibition comprise entre 98,31 ou 92,79 %) pour la croissance radiale de Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe sauf EAAI<sub>1</sub> et EAAI<sub>2</sub> qui ont été juste toxiques (inhibition comprise entre 64,10 et 47,09 %) pour le dernier isolat. L'eau et le Chlorothalonil + Diméthomorphe ont été compatibles avec les deux isolats et l'isolat Bb-IRAD.Fbt a été plus inhibé (Tableau XX).

La germination des spores des isolats a été impactée par la majorité des traitements EATP, EHA1, le pyriforce et EAAI qui ont été très toxiques (90 % d'inhibition en moyenne) sauf les traitements EAAI<sub>1</sub> pour Bb-IRAD.Fbt, EAAI<sub>1</sub> et EAAI<sub>2</sub> pour Bb-IRAD.Nkoe qui ont

été toxiques (50 % d'inhibition en moyenne) pour ces isolats ; L'eau et le Chlorothalonil + Diméthomorphe ont été compatibles avec la germination des spores (Tableau XX).

Quant à la sporulation, les fortes concentrations 3 et 4 d'EHAI (pour les deux isolats), 3 et 4 d'EAAI (pour Bb-IRAD.Fbt), 4 d'EATP (pour les deux isolats) et le Chlorpyriphos-éthyl ont été très toxiques en inhibant totalement (100 %) la production des spores. La faible concentration C<sub>1</sub> de tous les traitements, s'est avérée toxique pour les deux isolats toutefois, les concentrations 3 d'EATP (pour les deux isolats) et d'EAAI (pour Bb-IRAD.Fbt) y sont aussi dans cette classe toxique avec une inhibition comprise entre 77,27 et 52,94 %. L'eau distillée stérile et le Chlorothalonil + Diméthomorphe se sont avérés compatibles avec les deux isolats (Tableau XX).

Tableau XX : Classification ascendante hiérarchique des traitements en fonction de leur inhibition des paramètres de croissance des isolats de *Beauveria bassiana*.

Variable de classification	Classes	Barycentre (%) [Intervalle]	Traitement-Isolat	Statut
Taux d'inhibition de la croissance radiale (%)	1	98,190 [0,117 - 5,398]	EAAI <sub>1</sub> -Fbt EAAI <sub>2</sub> -Fbt EAAI <sub>3</sub> -Fbt EAAI <sub>4</sub> -Fbt EATP <sub>1</sub> -Fbt EATP <sub>2</sub> -Fbt EATP <sub>3</sub> -Fbt EATP <sub>4</sub> -Fbt EHAI <sub>1</sub> -Fbt EHAI <sub>2</sub> -Fbt EHAI <sub>3</sub> -Fbt EHAI <sub>4</sub> -Fbt Chlorpyriphos-éthyl-Fbt EAAI <sub>3</sub> -Nk EAAI <sub>4</sub> -Nk EATP <sub>1</sub> -Nk EATP <sub>2</sub> -Nk EATP <sub>3</sub> -Nk EATP <sub>4</sub> -Nk EHAI <sub>1</sub> -Nk EHAI <sub>2</sub> -Nk EHAI <sub>3</sub> -Nk EHAI <sub>4</sub> -Nk Chlorpyriphos-éthyl-Nk	Très Toxique
	2	9,325 [6,942 - 11,709]	Eau-Fbt Chlorothalonil + Diméthomorphe -Fbt Eau-Nk Chlorothalonil + Diméthomorphe -Nk	Compatible
	3	55,597 [8,507 - 8,507]	EAAI <sub>1</sub> -Nk EAAI <sub>2</sub> -Nk	Toxique
Taux d'inhibition de la germination des spores (%)	1	53,301 [0,249 - 7,445]	EAAI <sub>1</sub> -Fbt EAAI <sub>1</sub> -Nk EAAI <sub>2</sub> -Nk	Toxique

	2	90,484 [1,726 - 19,478]	EAAI <sub>2</sub> -Fbt EAAI <sub>3</sub> -Fbt EAAI <sub>4</sub> -Fbt EATP <sub>1</sub> -Fbt EATP <sub>2</sub> -Fbt EATP <sub>3</sub> -Fbt EATP <sub>4</sub> -Fbt EHAI <sub>1</sub> -Fbt EHAI <sub>2</sub> -Fbt EHAI <sub>3</sub> -Fbt EHAI <sub>4</sub> -Fbt Chlorpyriphos-éthyl-Fbt EAAI <sub>3</sub> -Nk EAAI <sub>4</sub> -Nk EATP <sub>1</sub> -Nk EATP <sub>2</sub> -Nk EATP <sub>3</sub> -Nk EATP <sub>4</sub> -Nk EHAI <sub>1</sub> -Nk EHAI <sub>2</sub> -Nk EHAI <sub>3</sub> -Nk EHAI <sub>4</sub> -Nk Chlorpyriphos-éthyl-Nk	Très Toxique
	3	3,008 [2,516 - 3,500]	Eau-Fbt Chlorothalonil + Diméthomorphe -Fbt Eau-Nk Chlorothalonil + Diméthomorphe -Nk	Compatible
Taux d'inhibition de la sporulation (%)	1	76,130 [1,143 - 23,189]	EAAI <sub>1</sub> -Fbt EAAI <sub>2</sub> -Fbt EATP <sub>1</sub> -Fbt EATP <sub>2</sub> -Fbt EATP <sub>3</sub> -Fbt EHAI <sub>1</sub> -Fbt EHAI <sub>2</sub> -Fbt EAAI <sub>1</sub> -Nk EAAI <sub>2</sub> -Nk EAAI <sub>3</sub> -Nk EATP <sub>1</sub> -Nk EATP <sub>2</sub> -Nk EATP <sub>3</sub> -Nk EHAI <sub>1</sub> -Nk EHAI <sub>2</sub> -Nk	Toxique
	2	100,000 [0-0]	EAAI <sub>3</sub> -Fbt EAAI <sub>4</sub> -Fbt EATP <sub>4</sub> -Fbt EHAI <sub>3</sub> -Fbt EHAI <sub>4</sub> -Fbt Chlorpyriphos-éthyl-Fbt EAAI <sub>4</sub> -Nk EATP <sub>4</sub> -Nk EHAI <sub>3</sub> -Nk EHAI <sub>4</sub> -Nk Chlorpyriphos-éthyl-Nk	Très Toxique
	3	2,737 [1,185 - 4,288]	Eau-Fbt Chlorothalonil + Diméthomorphe -Fbt Eau-Nk Chlorothalonil + Diméthomorphe -Nk	Compatible

Fbt= Bb-IRAD.Fbt ; Nk= Bb-IRAD.Nkoe ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique ; Chlorothalonil + Diméthomorphe = Fongicide chimique ; 1, 2, 3 et 4 correspondent à C<sub>1</sub> (12,5), C<sub>2</sub> (25), C<sub>3</sub> (50) et C<sub>4</sub> (100) en mg/ml pour les extraits aqueux et en µl/ml pour l'extrait d'huile.

### III.1.4. Effets *in situ* de *Beauveria bassiana*, de *Thevetia peruviana* et d'*Azadirachta indica* sur *Hypothenemus hampei*

#### III.1.4.1. Effets des traitements sur *H. hampei* en fonction des concentrations

##### III.1.4.1.1. Effets des traitements sur *H. hampei* à 0-1 m de hauteur du caféier

L'évaluation de l'efficacité des traitements en champ, montre que la protection des baies à 0-1 m de hauteur du caféier, a été significativement expliquée ( $Pr < 0,0001$  ;  $\alpha = 0,005$  ; Test de Fisher) à 57 et 71 % (R) par le facteur traitement appliqué ; le reste de l'interaction étant expliquée par d'autres phénomènes. En observant le contrôle négatif, il ressort qu'il y a significativement moins d'attaque des baies à Bamendjou qu'à Doumé et Melong. Les traitements à base de *B. bassiana*, de *T. peruviana* et *A. indica* ont eu quasiment la même efficacité que le Chlorpyrifos-éthyl (Fig. 57A et 57B).

En 2019, les taux d'attaque des baies ont été supérieurs à 10 % à 0-1 m de hauteur du caféier seulement avec les traitements EAAI (localité de Melong), EATP (localité de Doumé) et le contrôle négatif (toutes les localités) (Fig. 57A). En 2020, le taux d'attaque des baies a baissé d'environ 1 % pour certains traitements dont Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe particulièrement dans les localités de Doumé et Bamendjou. Cette dernière localité est aussi celle dans laquelle, on a observé une réduction du taux d'attaques des baies dans tous les traitements. La localité de Melong a montré une augmentation d'environ 1 % des taux d'attaques des baies sauf pour le traitement EAAI à l'année 2020 (Fig. 57B).

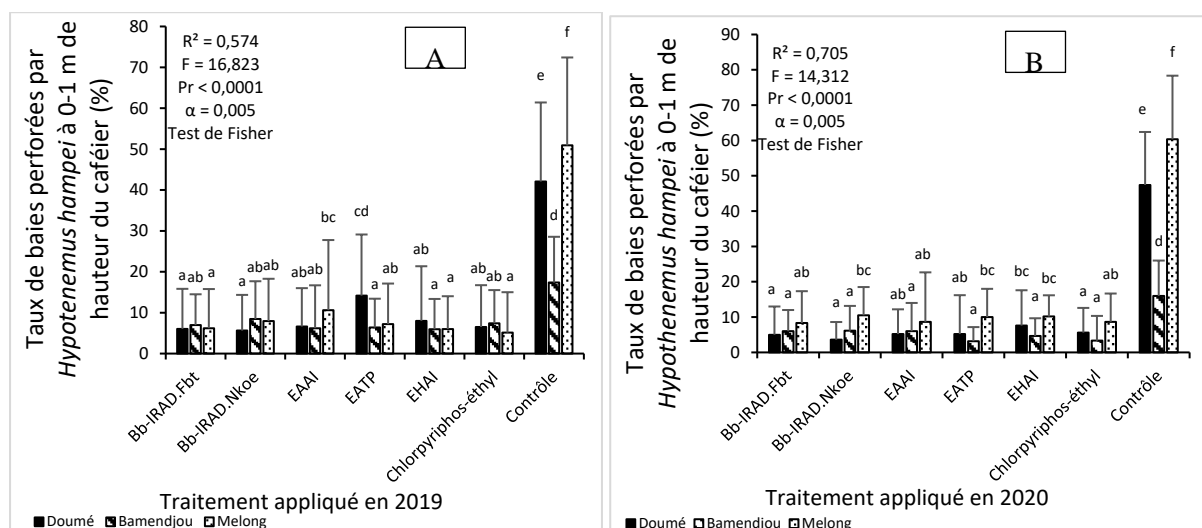


Fig. 57. Efficacité en champ des traitements à 0-1 m de hauteur du caféier.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100 µl/ml ; Chlorpyrifos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml). \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.4.1.2. Effets des traitements sur *H. hampei* à 1-2 m de hauteur du caféier

A 1-2 m de hauteur du caféier, les taux d'attaques des baies étaient significativement corrélés ( $Pr < 0,0001$  ;  $\alpha = 0,005$  ; Test de Fisher) aux traitements appliqués à 56 et 74 % respectivement en 2019 et 2020 (Fig. 58A et 58B). Les taux d'attaques des baies étaient significativement différents et plus élevés avec le contrôle négatif (51 % à Melong, 41 % à Doumé et 19 % à Bamendjou) entre les localités de l'étude qu'avec les autres traitements où les taux de baies perforées enregistrés ont été de 6 % (Chlorpyriphos-éthyl), 9 % (Bb-IRAD.Nkoe, Bb-IRAD.Fbt, EATP et EHAI) et 12 % (EAAI) en 2019 (Fig. 58A). En 2020, ces taux d'attaques des baies ont diminué chez tous les traitements à Doumé et Bamendjou, or ils ont augmenté d'environ 1,5 % à Melong. Pendant les deux années d'expérimentation, les taux d'attaques des baies ont été plus élevés à Melong sauf pour les traitements EATP et le Chlorpyriphos-éthyl (plus élevés à Doumé). Cette augmentation a été observée avec le contrôle négatif en 2020 à Melong. Dans les deux autres localités et avec tous les autres traitements, une réduction d'environ 1 % a été observée (Fig. 58B).

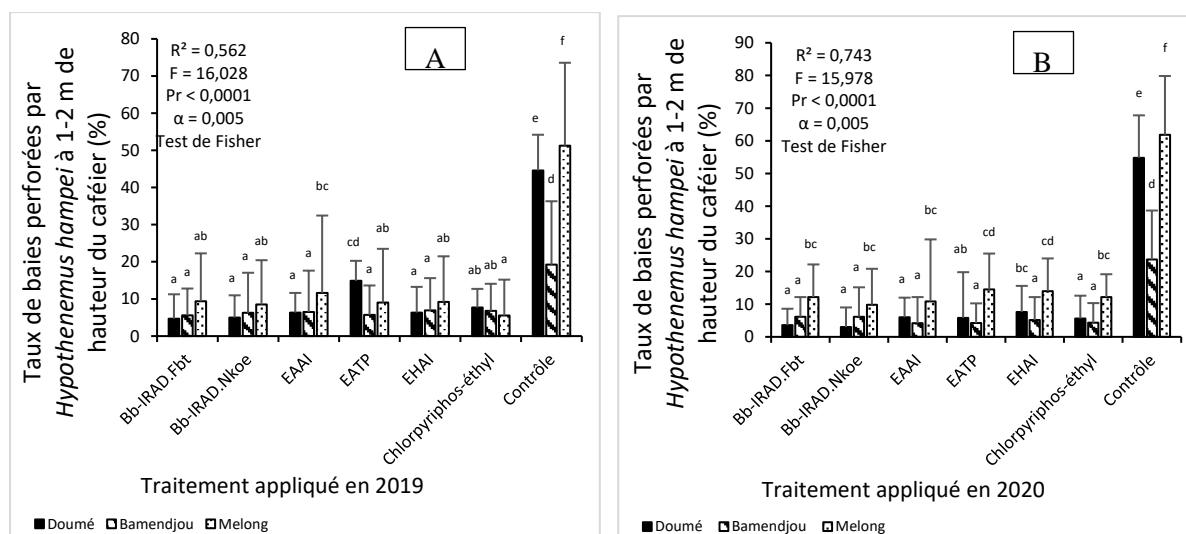


Fig. 58. Efficacité en champ des traitements à 1-2 m du caféier.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassina* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassina* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100  $\mu$ l/ml ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6  $\mu$ l/ml). \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.

### III.1.4.2. Efficacité des traitements sur *H. hampei* en fonction du temps d'observation

#### III.1.4.2.1. Efficacité des traitements à 0-1 m de hauteur du caféier

L'analyse des taux d'attaques des baies en fonction des mois d'observation à 0-1 m de hauteur du caféier, a montré que la fructification débutait au mois de Mai et la récolte au mois d'octobre dans les localités de Melong et Bamendjou, alors qu'à Doumé, la fructification

débutait au mois de juillet et la récolte au mois de décembre. Le contrôle négatif présentait les taux d'attaques de baies les plus importants (sauf pour le mois de mai) et particulièrement au mois de juin dans la localité de Melong soit 76,7 % en 2019 (Fig. 59A) et 89 % en 2020 (Fig. 59B). Dans toutes les localités, les taux d'attaques des baies ont diminué considérablement au deuxième mois d'évaluation montrant l'influence des traitements appliqués sauf pour le contrôle négatif où une augmentation d'environ 20 % du taux d'attaques des baies a été observée. En 2020, les constats ont été quasiment les mêmes qu'en 2019, toutefois, une réduction d'environ 1,5 % du taux d'attaques des baies a été observée avec tous les traitements (Fig. 59).

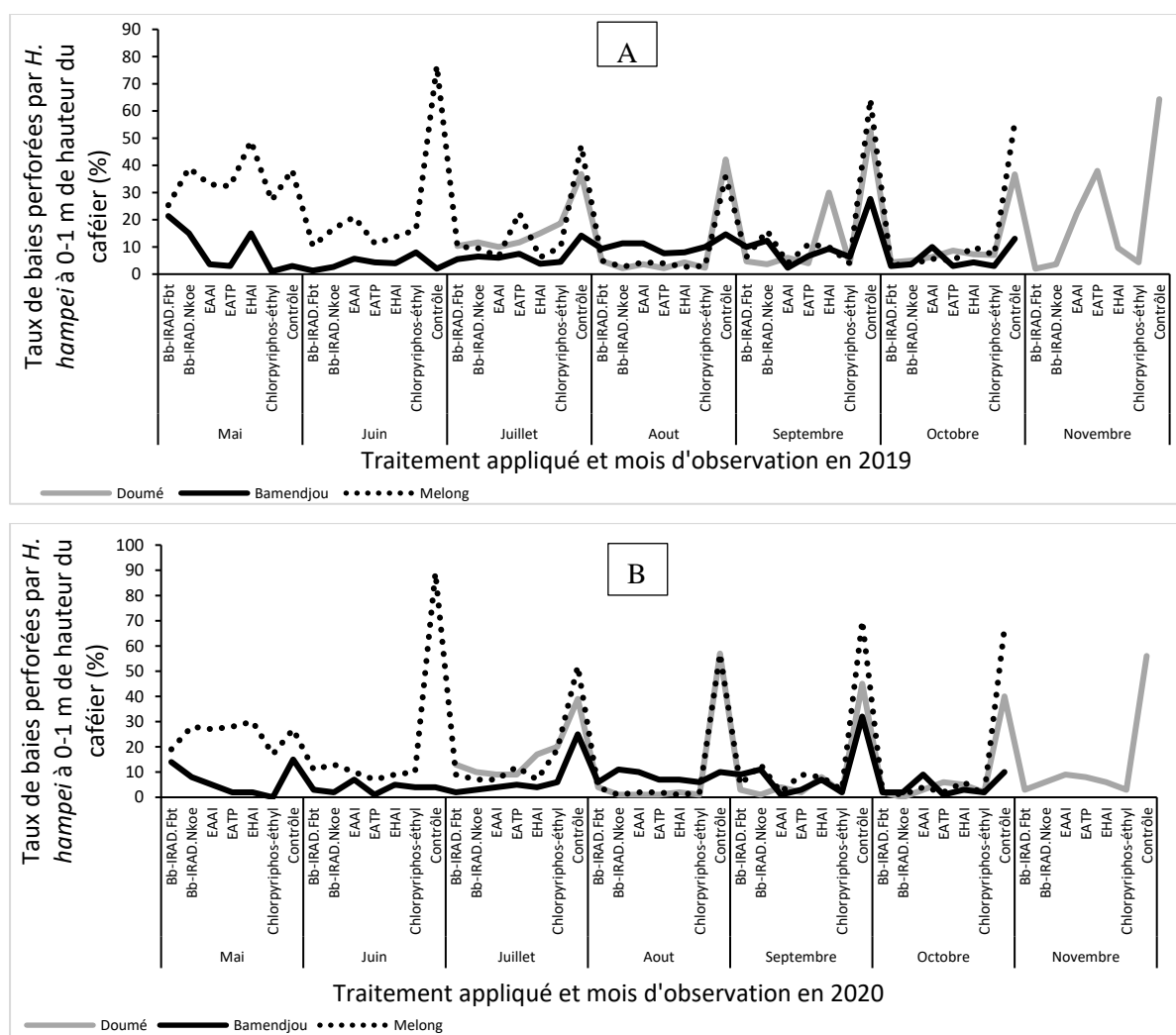


Fig. 59. Efficacité en champ des traitements à 0-1 m du caféier.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassina* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100 µl/ml ; Chlorpyrifos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml).

### III.1.4.2.2. Efficacité des traitements à 1-2 m de hauteur du caféier

A 1-2 m de hauteur du caféier, les taux d'attaque des baies sont restés inférieurs à 15 % pour tous les traitements en 2019 à Bamendjou sauf avec le contrôle négatif (Fig. 60A). En 2020, dans la même localité, sauf pour le mois de mai, ces taux ont baissé à moins de 10 % sauf pour EHAI et le Chlorpyriphos-éthyl au mois de septembre (Fig. 60B). Pour les deux années d'expérimentation, le contrôle négatif a présenté les taux d'attaques de baies les plus importants (sauf pour le mois de mai) et particulièrement au mois de juin 2019 (73 % de taux d'attaques) (Fig. 60A) et au mois de septembre 2020 (79 % de taux d'attaque) à Melong (Fig. 60B). En dehors du contrôle négatif, les traitements EHAI en septembre 2019 (30 %) et EATP en novembre 2020 (28,3 %), sont restés moins efficaces face à *H. hampei* à Doumé comparé aux autres traitements. Les taux d'attaques des baies ont été plus élevés au premier mois d'observation pendant les deux années d'expérimentation et dans toutes les localités, comparé au reste des mois de l'expérimentation (Fig. 60).

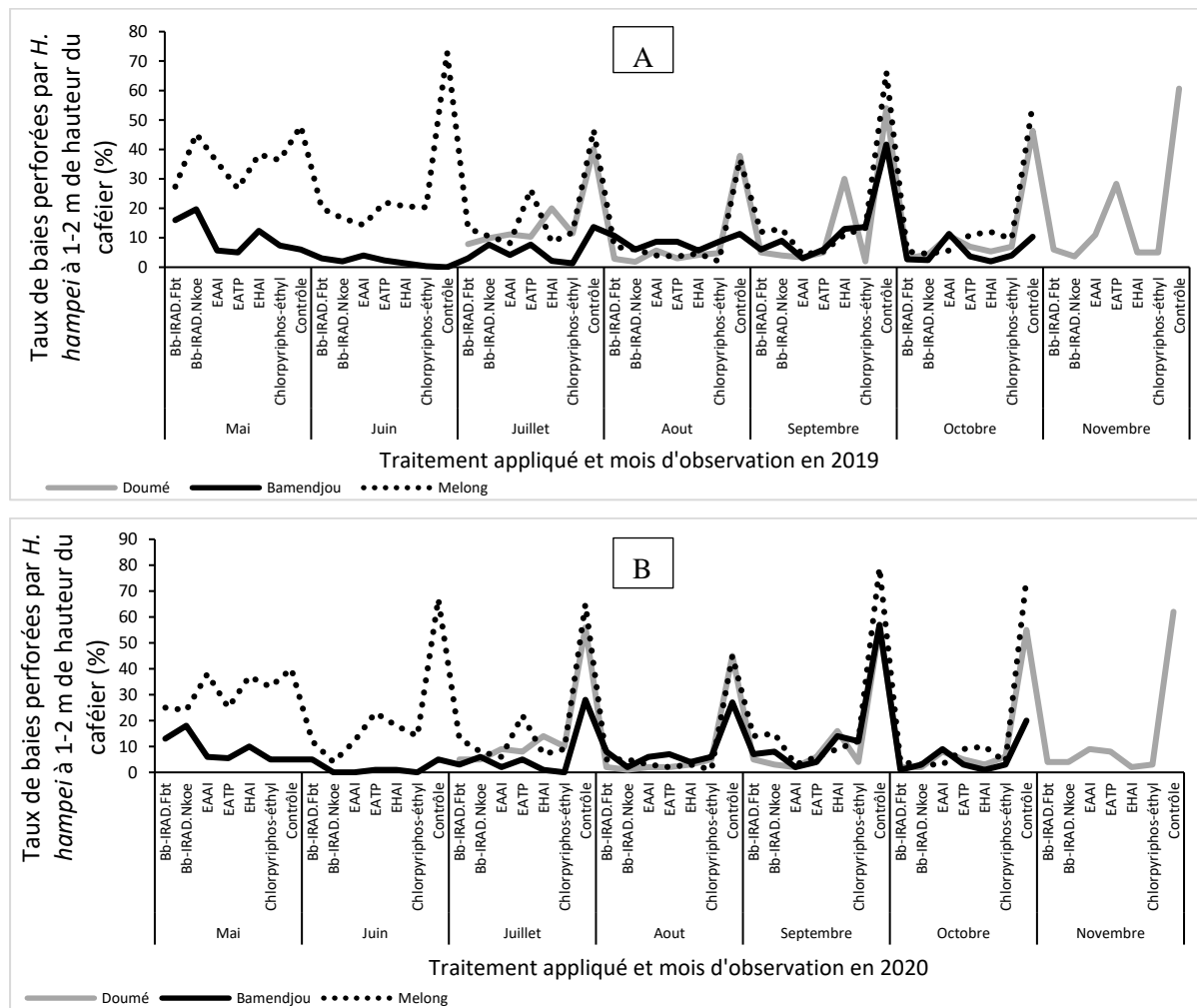


Fig. 60. Efficacité en champ des traitements contre *H. hampei* à 1-2 m du caféier.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100 µl/ml ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml).

### III.1.4.3. Evaluation du rendement du caféier dans les blocs expérimentaux

L'évaluation des récoltes a été effectuée dans chaque bloc expérimental. Entre le contrôle négatif et les autres traitements, une amélioration de rendement a été observée. Sur les deux années expérimentales, le rendement a été meilleur à Doumé quel que soit le traitement. Entre les traitements dans cette localité, le rendement a été significativement meilleur avec Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe et le Chlorpyriphos-éthyl qu'avec les autres traitements respectivement pour 1974 ; 1928,4 ; et 1815 kg/ha de baies sèches. C'est le même constat dans la localité de Melong où 875 ; 813 et 750 kg/ha de baies séchées ont été obtenus respectivement avec Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe et Chlorpyriphos-éthyl. Cependant, à Bamendjou, les meilleurs rendements sont observés avec les EPP soit 722 ; 642 et 607,3 kg/ha de baies sèches respectivement avec EAAI, EATP et EHAI (Fig. 61A).

En effet, la comparaison des rendements en baies des traitements au témoin négatif, a montré que plus de 60 % d'augmentation du rendement a été observée avec Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe et Chlorpyriphos-éthyl à Doumé alors qu'à Melong, ce taux d'augmentation avoisine 40 %. A Bamendjou, les taux d'amélioration des rendements en baies sèches ont été meilleurs (environ 70 %) avec les EPP atteignant 74,6 % avec EAAI. A Melong (Fig. 61B).

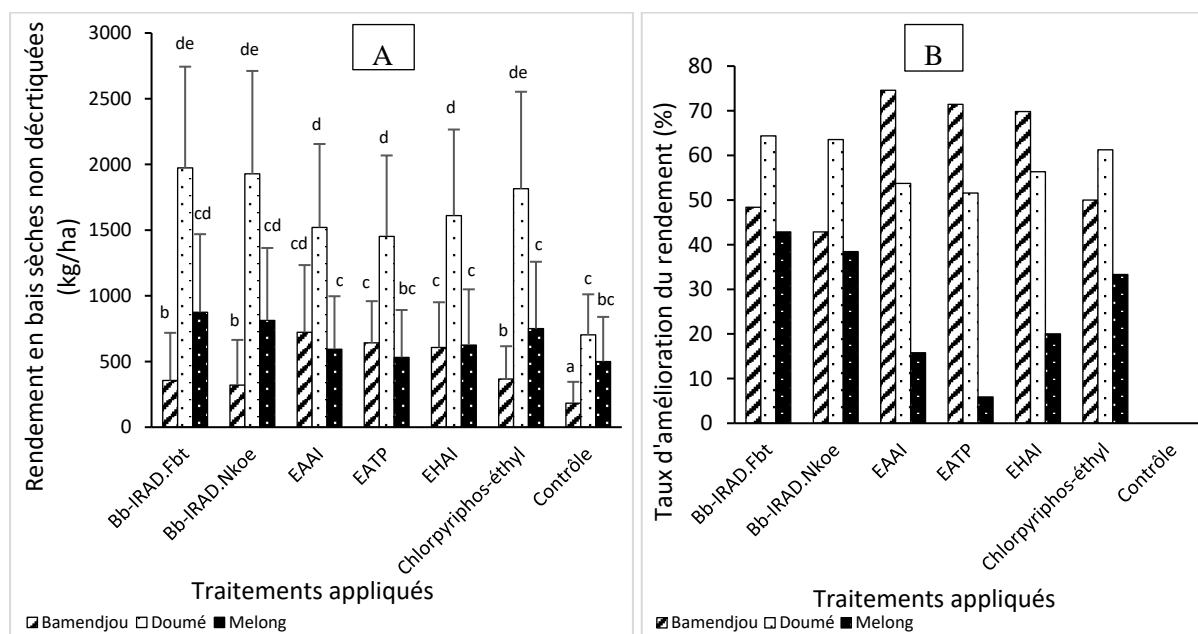


Fig. 61. Rendement et taux d'amélioration en baies sèches non décortiquées selon les sites d'étude et les traitements.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100 µl/ml ; Chlorpyriphos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml). \*Les moyennes ayant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 0,05 selon le test de Fisher.



En fonction des années d'expérimentation, les rendements ont été nettement meilleurs à la deuxième année d'expérimentation. Une augmentation de rendement d'environ 60 % a été observée dans toutes les localités avec tous les traitements (Fig. 62).

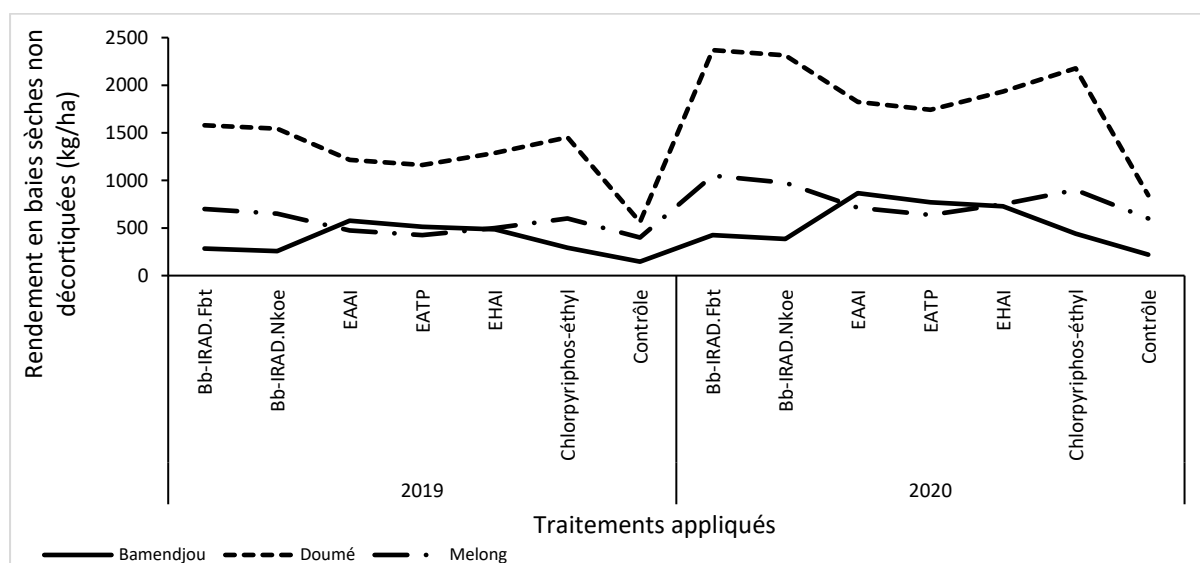


Fig. 62. Rendement en baies sèches non décortiquées selon les sites d'étude, les années d'expérimentation et les traitements.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassiana* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100 µl/ml ; Chlorpyrifos-éthyl = Insecticide chimique (4,6 µl/ml).

### III.1.4.4. Efficacité en champ des traitements contre *H. hampei* selon les conditions climatiques

#### III.1.4.4.1. Conditions climatiques en 2019 et 2020

L'analyse des données météorologiques des deux années d'observation (2019 et 2020) a montré que le taux d'humidité a été plus faible en 2019, pendant le mois de mai et dans la localité de Melong (71 % d'humidité) (Fig. 63A). La pluviométrie a été plus importante en 2020 avec des pics de 932 mm et 877 mm au mois de juillet respectivement à Bamendjou et Melong (Fig. 63B). La vitesse du vent a été plus importante à Melong en 2019 atteignant une pointe de 17 km/h au mois d'août (Fig. 63C). En regardant la distribution des températures minimales, elles ont été quasi-identiques entre les deux années, toutefois des légères différences ont été observées surtout à Melong au mois de juillet et août, avec 22 °C. Entre les localités, ces températures ont été plus élevées à Melong avec un pic de 26 °C au mois de mai et plus faibles à Bamendjou autour de 16 °C (Fig. 63D). L'analyse des températures maximales montre que celles-ci ont été quasi-identiques entre les deux années et plus faibles à Bamendjou avec un pic de 23 °C en juillet et septembre 2020, pendant qu'à Melong on relevait 34 °C en

mai 2019 (Fig. 63E). L'observation des températures moyennes montre que l'année 2019 reste légèrement la plus chaude avec des pics de 27 °C en novembre (aussi pour l'année 2020) à Doumé, 28 °C en octobre à Bamendjou et 30 °C en mai à Melong (Fig. 63F).

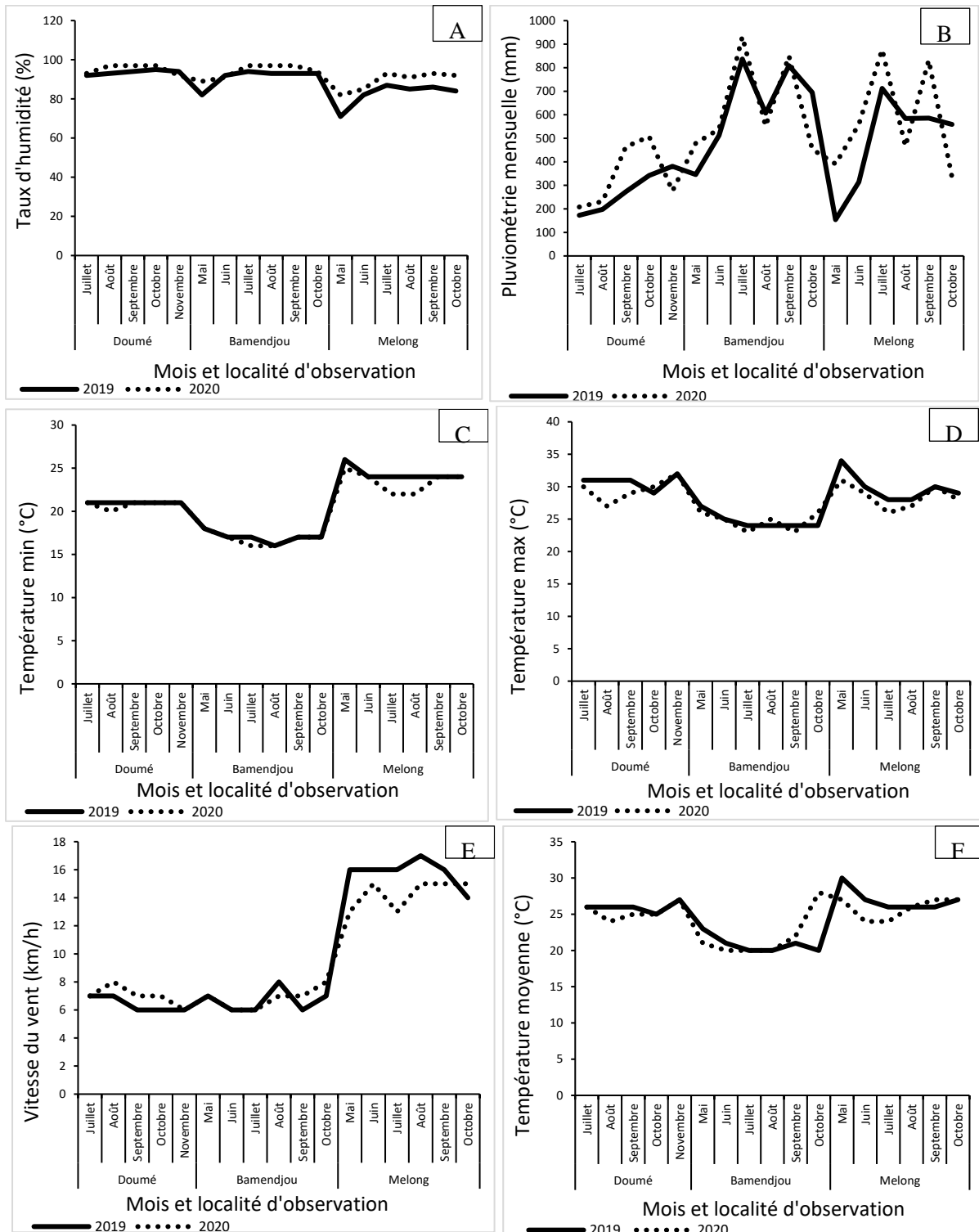


Fig. 63. Données météorologiques selon les années, mois et sites d'expérimentation.

### III.1.4.4.2. Corrélation entre les taux d'attaque des baies, les traitements et les conditions climatiques en 2019 et 2020

L'analyse factorielle discriminante (AFD) montre que les trois localités d'étude ont été différenciées par les taux d'attaque des baies par *H. hampei*, les taux de baies infectées par *C. kahawae*, la hauteur des caféiers et les conditions météorologiques relevées. La localité de Melong a été caractérisée par la plus forte vitesse du vent, des taux importants de baies perforées à 0-1 m et 1-2 m de hauteur du caféier. La localité de Bamendjou a été caractérisée par des taux importants de baies avec anthracnose à 0-1 m de hauteur du caféier et une forte pluviométrie mensuelle totale à la période de 2020. La localité de Doumé a été différenciée par des températures moyenne et maximale importantes (Fig. 64). Cette figure montre aussi que l'année 2019 a été caractérisée par de fortes températures, pendant que 2020 a été caractérisée par une forte pluviométrie et humidité.

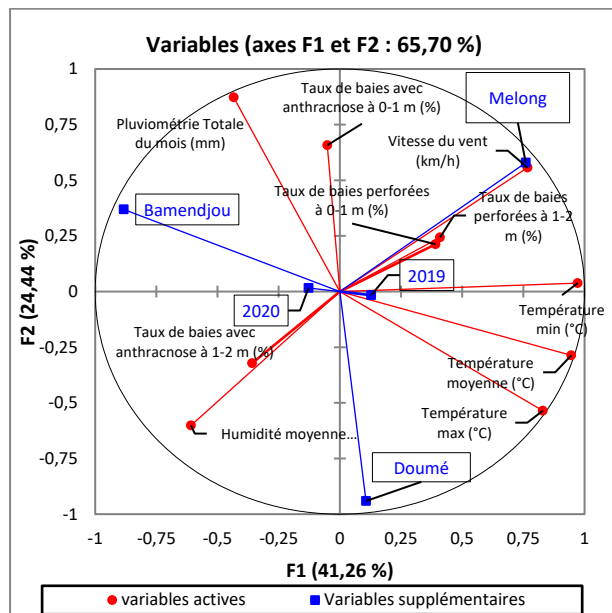


Fig. 64. Analyse Factorielle Discriminante entre les traitements, les sites, les années d'étude, les conditions météorologiques, les taux d'attaque de baies par *H. hampei* et l'anthracnose.

La caractérisation des taux d'attaque des baies par les parasites en champs montre qu'il y a un lien significatif entre la localité de Bamendjou ( $p\text{-value} = 0,011 < \text{au seuil critique de } 0,05$  selon le test paramétrique du  $\chi^2$ ) et les taux d'attaque de 0-10 %. Toutefois, on observe un lien non significatif entre le taux d'attaque des baies de 0-10 % et l'année d'expérimentation 2019 ( $p\text{-value} = 0,05$ ), les traitements Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe, Chlorpyrifos-éthyl et EAAI ( $p\text{-value} = 0,072 > \text{au seuil critique de } 0,05$ ). Le lien est faible entre le taux d'attaque des baies de 0-10 %, la localité de Doumé, la localité de Melong, la période de 2020, les traitements EATP, EHAI et l'eau (Fig. 65A). La caractérisation des taux de 11-50 % d'attaque

des baies par le scolyte, montre qu'il y a un lien entre ce taux, la localité de Melong (p-value = 0,019) et le traitement à l'eau (p-value = 0,032) (Fig. 65B). Il en va de même pour le taux d'attaque des baies  $\geq 50$  % qui est lié seulement à la localité de Melong et au traitement à l'eau (Fig. 65C). Ces résultats montrent que d'autres facteurs comme les conditions climatiques, ont influencé le taux d'attaque des baies par le scolyte dans les caféières comme cela est confirmé par les figures 64 et 65D.

Ainsi, en corrélant le taux d'attaque des baies par le scolyte en champs aux conditions climatiques, on observe que l'humidité a un lien qui n'est pas significatif avec les taux de 0-10 % de baies attaquées (Fig. 65D). Par contre les taux élevés (11-50 % et  $\geq 50$  %) d'attaques des baies sont corrélés de manière non significative aux températures et à la vitesse du vent (Fig. 65E et F) (toutes les p-values  $> 0,05$  le seuil de significativité selon le test).

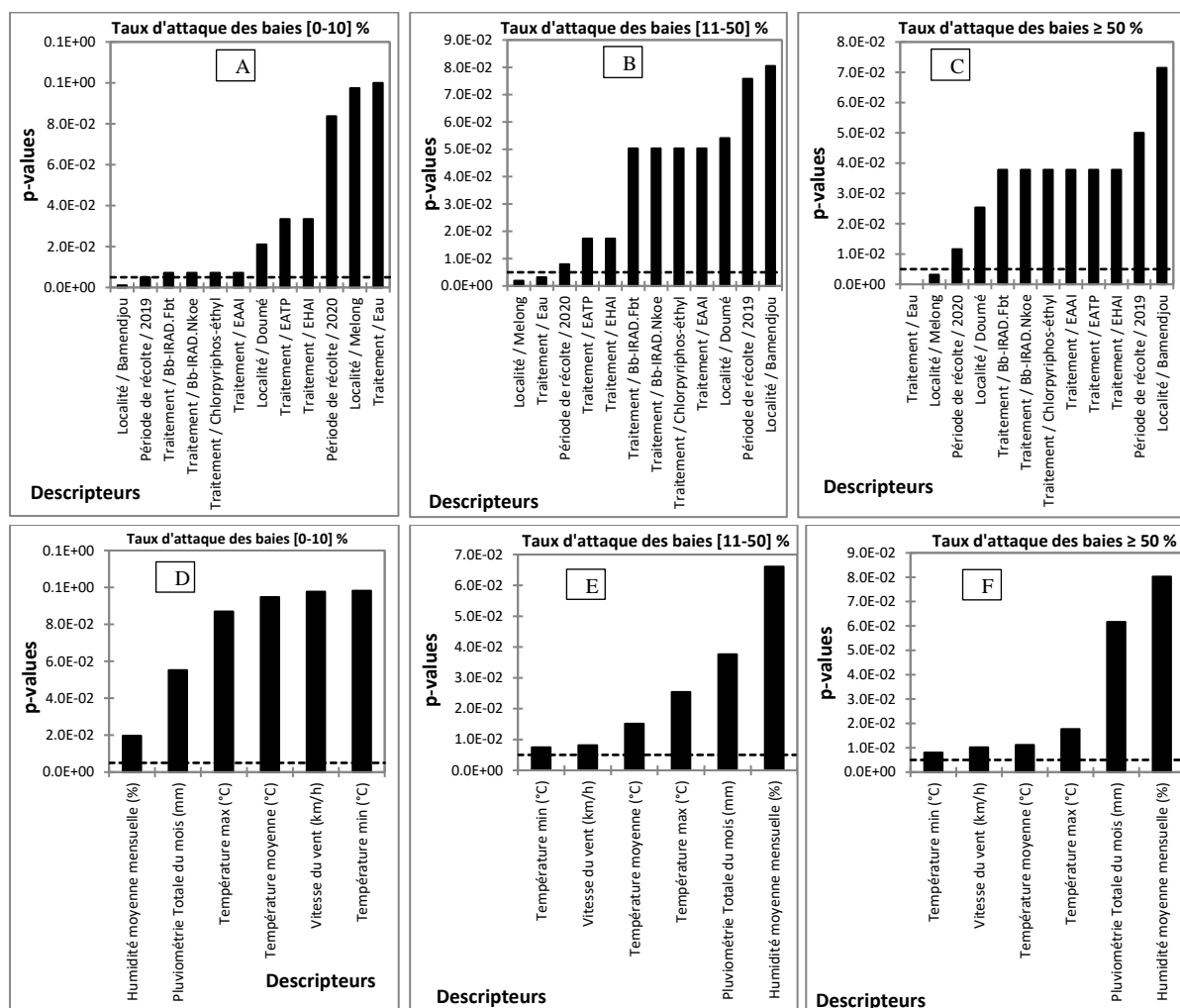


Fig. 65. Caractérisation des taux d'attaque des baies par le scolyte en champs.

Bb-IRAD.Fbt = Isolat de *Beauveria bassina* de la localité de Foubot à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; Bb-IRAD.Nkoe = Isolat de *Beauveria bassina* de la localité de Nkoémvone à  $3 \times 10^{10}$  spores/ml ; EAAI = Extrait aqueux d'*Azadirachta indica* à 100 mg/ml ; EATP = Extrait aqueux de *Thevetia peruviana* à 100 mg/ml ; EHAI = Extrait d'huile d'*Azadirachta indica* 100  $\mu$ l/ml ; Chlorpyrifos-éthyl = Insecticide chimique (4,6  $\mu$ l/ml). P-values obtenues à partir du test de Chi<sup>2</sup> au seuil critique de 5 %.

## III.2. DISCUSSION

### *Objectif spécifique 1*

Malgré les plans de relance de la caféiculture au Cameroun, le secteur reste sujet à plusieurs contraintes parmi lesquelles les contraintes phytosanitaires, le vieillissement des vergers et des producteurs, et le faible prix. L'évaluation des contraintes phytosanitaires a montré que quel que soit le type de caféière (principale ou secondaire), les plus vieilles caféières étaient observées à Bamendjou (41,8 ans) et les moins âgées (23,3 ans) à Melong. Les plus grandes superficies (3,1 ha) non significatives étaient observées à Melong pour une superficie moyenne de 2,8 ha (comprise entre 0,5 et 10 ha) par rapport à l'échantillon total. Ces superficies sont supérieures à celles de 0,5 à 2 ha énoncées par le Conseil des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED) (Anonyme 5, 2018). Les résultats sur l'âge et les superficies des caféières ont montré que Melong et Doumé sont des fronts pionniers et que Bamendjou reste le berceau de la caféiculture au Cameroun. Par ailleurs, la région de l'Ouest faisant face à de fortes pressions démographique, d'urbanisation et foncière, celle-ci subit une réduction des terres agricoles, des superficies caféières et des possibilités d'extension de celles-ci ou de création de nouvelles (Fotsing, 1999a ; 1999b ; Anonyme 6, 2016 ; Anonyme 5, 2018).

Les rendements sont faibles comme évoqués par 94 % des producteurs de l'échantillon total, de même que le PRDFCC 2015-2020 (Anonyme 1, 2014). Les principaux facteurs imputés à cette faiblesse étaient le manque d'entretien des caféières, les pressions phytosanitaires et le manque d'intrants dont les pesticides et les engrais aux dires des enquêtés ; ces résultats sont confirmés par le PRDFCC 2015-2020 (Anonyme 1, 2014) et le CNUCED (Anonyme 5, 2018). Ces constats méritent une considération particulière lors de l'élaboration du nouveau plan de relance pour l'horizon 2030.

Les insectes y compris le scolyte étaient les contraintes phytosanitaires les plus redoutables dans toutes les localités, suivie par l'anthracnose majoritaire à Bamendjou. La protection phytosanitaire des caféières devrait par conséquent mettre l'accent sur la lutte insecticide contre *H. hampei*, suivie de celle fongique contre *Colletotrichum kahawae* (Dadi et Damtew, 2021), deux ennemis fortement attachés aux baies qui sont le cœur de la culture du café. Cela fut le cas pendant la réalisation du projet d'appui à la lutte antifongique dans les filières cacao/café (PALAF2C), un des neuf projets du FODECC (Anonyme 25, 2018).

Le scolyte et ses attaques sur les baies étaient bien visibles et connus par les producteurs enquêtés. Selon ceux-ci, il apparaît après la nouaison or, il est installé dans les baies résiduelles

et plantes alternatives hôtes depuis la campagne précédente (Vega *et al.*, 2015 ; Aristizabal *et al.*, 2017). Au vu de ce constat, il serait donc préférable de débiter le traitement insecticide avant le début du bourgeonnement floral (entre janvier et mai) car le scolyte s'installerait pendant la nouaison (Woodill *et al.*, 2021). Cette hypothèse est partagée par Vega *et al.* (2014 ; 2015) qui ont montré que le scolyte issu des zones de survie, dépose les œufs dans les fleurs et la nouaison se fait avec eux. Après avoir vidés la baie, les scolytes jeunes et adultes sortent et vont infester de nouvelles baies d'où les attaques des baies continuent et augmentent bien après la fructification.

La multiplication exponentielle de leur population atteignant deux à trois générations, trois à quatre mois après la première nouaison, en serait la cause. Mbondji (1988) avait confirmé cette hypothèse en trouvant que le taux d'attaque des baies était de 17 % au début de mai et 40 % au début de juin à Nkongsamba (localité frontalière à Melong) et à Abong-Mbang (localité frontalière à Doumé), il était passé de 14 à 34 % de la fin du mois de juin à celui de juillet respectivement. Cependant, notre étude a révélé que le taux moyen d'attaque des caféières par le scolyte a été de 50 à 60 % par contre, les taux d'attaques des baies dans ces champs étaient d'environ de 65 % à Doumé et Melong, et de 29,6 % à Bamendjou. Ces résultats montrent que le café robusta reste la source de nourriture privilégiée du scolyte (Anonyme 22, 2006).

L'âge moyen des producteurs était de 50 ans et significativement plus élevé à Bamendjou (64,19 ans). Malgré la prédominance des hommes parmi les producteurs enquêtés, des femmes (8 %) ont été enregistrées à Melong. Il est perceptible que les producteurs de café sont vieillissants avec un manque de remplacement de ceux-ci par les jeunes (Anonyme 28, 2011 ; Anonyme 29, 2019), et que le front pionnier (Melong) offre une ouverture aux femmes dans la caféiculture.

Le défrichage, la taille, l'application des insecticides, des fongicides et des herbicides étaient mises en pratique comme stratégies de régulation des nuisibles spécifiques à chaque pratique, alors que l'application des engrais était faite pour l'amélioration de la fertilité du sol. Le défrichage et la taille structurale/sanitaire étaient pratiqués par 100 % des producteurs dans toutes les localités. L'application des fongicides était majoritairement (86 % des producteurs) faite à Bamendjou (5 fois au maximum) par contre celle des engrais était majoritairement (86 % des producteurs) faite à Melong. Ces pratiques sont appliquées en fonction des contraintes rencontrées, de leur période de manifestation, et de l'estimation du taux d'infestation ou

d'infection du champ qui impose l'application du pesticide ou pas (Woodill *et al.*, 2021). Au vu du nombre de fois qu'on applique certains intrants à Bamendjou, cela montre que les producteurs de cette localité maîtrisent l'utilisation des intrants chimiques et y en font énormément recours.

La forte présence de l'antracnose à Bamendjou pendant les périodes pluvieuses expliquerait le fort pourcentage de producteurs qui appliquent les fongicides pendant les périodes humides ou pluvieuses (Anonyme 22, 2006). Cette dernière assertion montre aussi que les variations et changements climatiques doivent être pris en compte aujourd'hui dans les stratégies de régulation des parasites du café. Ceux-ci influencent l'efficacité des produits de lutte et la biologie des parasites (Ziska *et al.*, 2018), d'où il serait important de bien planifier l'application des différentes stratégies de régulation des agents pathogènes pour les rendre plus efficaces (Cerdeira, 2017 ; Harvey *et al.*, 2018).

Tous les produits utilisés contre les pestes et les mauvaises herbes étaient des produits de synthèse. La gamme des insecticides a été la plus large (10 insecticides cités) et il a été trouvé que les insecticides à base de Chlorpyrifos-éthyl étaient les plus utilisés (63,5 % des producteurs) ; les fongicides étaient tous des dérivés du cuivre et les herbicides étaient composés eux de glyphosate. Par conséquent, le Chlorpyrifos-éthyl, les dérivés de cuivre et le glyphosate seraient des molécules les plus efficaces pendant l'utilisation respectivement contre les insectes, les champignons et les mauvaises herbes.

D'une part, le processus d'homologation de ces produits pourrait être responsable de la forte présence de certains produits et molécules sur le marché camerounais ; ce qui a été observé entre les listes d'homologation des pesticides au Cameroun de 2019 (avec 19 insecticides au total destinés aux caféiers pour 17 à base de Chlorpyrifos) et 2021 (avec un seul insecticide homologué à base Imidaclopride + Lambda-Cyhalothrine) (Anonyme 26, 2019 ; Anonyme 27, 2021). D'autre part, les projets d'appui à la lutte phytosanitaire feraient seulement l'apologie de ces produits vu qu'ils utilisent les produits homologués et donc en totalité des produits de synthèse. Ceci fut le cas du PALAF2C qui a seulement promu les produits de synthèse (Anonyme 25, 2018). Néanmoins, l'écho de la dangerosité de ces produits de synthèse à trouver une oreille attentive auprès des instances de régulation des produits phytosanitaires depuis 2003 avec la promulgation de la Loi n° 2003/003 du 21 avril 2003 portant protection phytosanitaire (Anonyme 1, 2003a) et la Loi n°2003/2006 du 21 avril 2003 portant régime de la sécurité en matière de biotechnologie moderne au Cameroun (Anonyme

1, 2003b). Elles ont interdit en 2021 sur le sol camerounais, l'importation, l'homologation et l'utilisation de toute dérivée du Chlorpyrifos (Anonyme 1, 2021). Valoriser les molécules biologiques est donc plus que primordial pour protéger notre agriculture qui reste encore à majorité naturelle par défaut. L'homologation de l'« AZEBIONEEM » (insecticide et fongicide multi actions préventifs et curatifs) par le MINADER est déjà une bataille gagnée.

Dans tous les sites d'étude, les pesticides biologiques sont préférés par environ la moitié des producteurs. Le besoin d'utiliser ces produits étaient la production d'un café de qualité, la compétitivité de celui-ci sur le marché, la protection de la santé humaine et environnementale. Par contre, les intrants chimiques étaient préférés pour leur disponibilité sur le marché, l'efficacité et l'obtention des bons rendements, le manque de pesticides biologiques sur le marché et la persistance des chutes des baies. Il est observé qu'aujourd'hui, les producteurs ont un souci de préserver leur santé et environnement, de diminuer les coûts des intrants en utilisant des produits biologiques locaux, et surtout de produire un café de qualité avec moins de résidus de pesticides chimiques (Lengai *et al.*, 2020). Cependant, l'indisponibilité des produits biologiques sur le marché, la faible connaissance de leur utilisation et la dépendance historique aux produits de synthèse, compliquent l'adoption des produits biologiques (Johnson *et al.*, 2020) et poussent inexorablement les producteurs vers les produits de synthèse. Il faudrait par conséquent développer et permettre l'homologation des produits biologiques, car dans la loi régissant la protection phytosanitaire au Cameroun, l'article 21 stipule que : « seuls les produits phytosanitaires homologués ou bénéficiant d'une autorisation provisoire de vente doivent être importés, distribués, conditionnés ou utilisés au Cameroun (Anonyme 1, 2003a).

L'accent doit être mis sur les bonnes pratiques de lutte contre les contraintes phytosanitaires car selon Mala *et al.* (2020), les producteurs préfèrent les espèces et variétés de cultures de rente (cacao et café) qui se développent et produisent bien que celles qui résistent mieux aux maladies. De même selon les mêmes auteurs, les producteurs préfèrent utiliser les pesticides modernes que d'introduire de nouvelles variétés ou d'utiliser les pesticides locaux. Ainsi, pour impulser l'adoption des méthodes biologiques, il serait important que l'agriculture biologique ou durable soit reconnue au niveau de la politique publique comme c'est déjà le cas avec l'agriculture conventionnelle ou de seconde génération (Anonyme 1, 2009a ; 2009b ; Anonyme 1, 2020a). Cette reconnaissance devra être suivie soit par la mise en place d'une loi reconnaissant cette agriculture biologique ou durable, soit par la prise en compte des produits biologique dans la loi régissant la protection phytosanitaire, soit par la mise en place d'un mécanisme de certification du café issu de cette agriculture (Anonyme 1, 2014) pour valoriser



ce système de production. Enfin, il faudrait vulgariser ce système de production et ces produits à travers une réduction des asymétries de connaissances entre recherche, pouvoirs publics, secteur privé/professionnelle et société civile (Anonyme 1, 2018 ; Bayiha *et al.*, 2019 ; Bayiha *et al.*, 2020).

### **Objectif spécifique 2**

La chasse des scolytes destinés à l'élevage et aux tests expérimentaux *in vitro*, a montré que la récolte des baies infestées de scolyte était meilleure ( $60 \pm 15,3$  scolytes en moyenne par baie) que les pièges à phéromones. Ce résultat montre que la récolte sanitaire des baies infestées d'*H. hampei* reste tout au moins une solution pour réduire l'infestation des plantations, réduire les coûts de production surtout lorsque la production en baies est forte, les infestations faibles et le prix du café meilleur (Bagny Beilhe *et al.*, 2019 ; Cure *et al.*, 2020). Cette méthode sélective des baies infestées est aussi préférable lorsqu'on veut obtenir du matériel scolyté (Cochereau et Potiaroa, 1994). En effet, les baies fraîches encore accrochées sur les arbres sont les meilleurs réservoirs des scolytes (Johnson *et al.*, 2019) ; une seule baie pouvant héberger de 10 à 200 scolytes à l'état de larves, nymphes surtout adultes (Mahob *et al.*, 2006 ; Infante *et al.*, 2014). Cependant, la faible efficacité des pièges à phéromones pourrait dépendre du taux d'infestation du champ comme l'ont montré certains travaux (Wiriyadiputra *et al.*, 2008). En dépit de ces résultats intéressants, la récolte sanitaire est coûteuse en termes de production finale de baies, de temps et d'énergie pour la récolte et le traitement des baies infestées (transport et destruction) (Dufour et Frérot, 2008 ; Aristizabal *et al.*, 2012).

L'élevage des scolytes au laboratoire a été meilleure avec les baies de caféier qu'avec les graines d'arachides ou de maïs, d'où les baies de café demeurent la source de nourriture privilégiée d'*H. hampei* et quel que soit le sexe. En effet, le scolyte femelle et les scolytes en général sont attirés respectivement par le méthyl salicylate et linalool ; ceux-ci sont des composés volatiles qui se libèrent après une blessure des baies soit à cause d'une attaque d'insectes, soit à cause d'une blessure mécanique (Cruz-Lopez *et al.*, 2016). Une faible population de scolytes a pu se maintenir dans l'arachide et le maïs ; ces substrats peuvent donc servir de plantes hôtes pour la survie du scolyte et à détourner son attention des baies de caféier dans un champ à travers la méthode « Pull » (Damon, 2000).

La tentative d'élevage de ce ravageur au laboratoire à  $25 \pm 2$  °C a été bonne (162,4 scolytes obtenus à la fin avec le café), mais pourrait être meilleure si on augmentait le nombre de femelles dans les boîtes. De nombreux auteurs retiennent en moyenne un sexe-ratio de 10

scolytes femelles environ pour un mâle (Cochereau et Potiaroa, 1994). Des baies vertes et semi-mûres ont été utilisées pour l'élevage des scolytes, ce qui a pu influencer l'élevage. Ainsi, Blassioli-Moraes *et al.* (2018) ont montré que ce stade phénologique des baies est meilleur pour l'épanouissement (nutrition et développement) des scolytes quoique les scolytes ne distinguent pas ces stades de fruits en fonction de leurs composés volatiles. Par contre, Mathieu *et al.* (1999) ont montré que le taux de fécondité du scolyte du café est plus élevé dans les baies qui sont trop mûres que dans les baies non mûres.

L'isolement de *B. bassiana* à partir des échantillons de sol a confirmé sa présence dans les sols et caféières des zones de production de café Arabica et Robusta des zones d'étude (Mbondji, 1988 ; Da Costa *et al.*, 2002 ; Amang à Mbang *et al.*, 2012). La production des spores et la croissance radiale ont présenté des différences significatives entre les deux isolats. Ceci montre que les deux isolats sont différents et que cette différence pourrait être liée soit à leur zone agroécologique d'origine, soit à des recombinaisons génétiques, soit au support d'hébergement (insecte hôte ou sol), soit à leur nature cosmopolite. Estrada *et al.* (2007) et Wang *et al.* (2013) ont caractérisé des souches de *B. bassiana* provenant de plusieurs pays et ont trouvé une grande diversité liée à l'origine géographique de ces souches. De même, il a été démontré que *B. bassiana* isolé des feuilles de la litière en décomposition, est plus virulent que celui isolé des cadavres d'*H. hampei* récupérés en champ (Varela et Morales, 1996). Par contre, Toledo *et al.* (2018) ont trouvé que la grande diversité génétique entre 36 isolats de *B. bassiana* en Argentine n'était pas liée ni à l'origine géographique des souches, ni à leurs insectes hôtes.

Après 21 jours d'incubation à  $25 \pm 2$  °C au laboratoire, pendant la caractérisation, les isolats se sont développés atteignant des diamètres moyens de croissance radiale de 1,9 et 2,0 cm respectivement pour Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe. Ces diamètres étaient faibles comparés à ceux obtenus dans les boîtes du témoin absolu (4,22 pour Bb-IRAD.Fbt et 4,21 cm pour Bb-IRAD.Nkoe) pendant les tests de compatibilité. Cette faible croissance et différence entre les isolats seraient dues soit au niveau d'adaptation des isolats au milieu PDA, soit à leurs caractères génétiques, soit au milieu de culture PDA utilisé, soit à la température d'incubation. En effet, certains travaux ont montré que les températures entre 20 et 30 °C, et les milieux Agar SDA et PDA sont favorables au développement de *B. bassiana* ( $5,57 \pm 0,44$  cm de croissance radiale obtenu) (Heviefio *et al.*, 2018 ; Membang *et al.*, 2021). Ces travaux ont aussi montré que la température de  $25 \pm 1$  °C et l'Agar SDA sont plus adéquats pour le développement mycélien et la production des spores de *B. bassiana* tandis que le PDA est bon pour l'isolement de *B. bassiana* de son hôte. En effet, certains travaux ont montré que les conidies de *B. bassiana*

produites sur le riz et les pommes de terre, contrôlent totalement des œufs de *Tuta absoluta*, parasite de la tomate (Ludmilla *et al.*, 2017).

Au laboratoire et après traitement des scolytes, leur mortalité a atteint des taux maxima de 88 et 91 % avec  $3 \times 10^{10}$  spores/ml respectivement de Bb-IRAD.Fbt et Bb-IRAD.Nkoe. Ces taux sont quasi-identiques avec celui moyen provoqué par le Chlorpyriphos-éthyl (98 %) mais à des périodes différentes. Ces résultats confirment que nos deux isolats natifs du Cameroun attaquent efficacement *H. hampei*, prouvant en laboratoire la pathogénicité et la virulence de ce champignon ; pathogénicité naturelle démontrée par Amang à Mbang *et al.* (2012). Cette efficacité différerait en fonction des concentrations en spores, du temps et de leur origine. L'observation des CL<sub>50</sub>, CL<sub>90</sub>, TL<sub>50</sub>, TL<sub>90</sub> et caractéristiques du cycle de vie (production, germination des spores et croissance mycélienne) obtenus confirment cette différence. Tous ces paramètres ont été significativement meilleure avec Bb-IRAD.Nkoe qu'avec Bb-IRAD.Fbt. La basse altitude de la localité d'origine de cet isolat, agirait favorablement sur le gène de virulence de cet isolat. Par ailleurs, certaines études ont montré que les taux de présence et de mortalité du scolyte due à *B. bassiana*, sont plus élevés à Nkoémvone après récolte des baies (Amang à Mbang *et al.*, 2012).

Les taux de scolytes morts présentant un signe de sporulation étaient plus faibles que ceux morts sans signature de sporulation. A travers ces constats, l'on peut dire que ces isolats ont la capacité d'agir à l'intérieur des scolytes avant de laisser apparaître des signes (muscardine blanche) à l'extérieur de l'hôte infecté et cet effet évolue en fonction de la concentration et du temps sauf avec la plus forte concentration.

Les différences de temps entre l'effet du Chlorpyriphos-éthyl et *B. bassiana*, ont révélé que l'insecticide chimique agit comme une neurotoxine inhibitrice de l'acétylcholine estérase (Lengai *et al.*, 2020) avec une action rapide et totale dès le deuxième jour. Or, le champignon attaque pendant plusieurs jours par phases (adhésion, pénétration, installation ou sporulation et dissémination), correspondant à son cycle de vie qui est aussi synchrone aux stades de développement de l'insecte et aux conditions environnementales (Shah et Pell, 2003). Cette assertion épouse celle de Längle (2006) qui a montré que les agents de contrôle biologique comme *B. bassiana* sont significativement différents des pesticides chimiques dans leurs propriétés, et ceci devrait être pris en compte quand on intègre et révise des études d'efficacité. Néanmoins, les résultats de cette étude et d'autres ont montré que *B. bassiana* tue les scolytes pendant la phase de pénétration (correspondant au deuxième jour après incubation) (Vidal,

1997 ; Barra-Bucarei *et al.*, 2019) ou en l'espace de 5 jours (Cochereau et Potiaroa, 1994 ; Woodill *et al.*, 2021).

En infestant directement les baies de café, une mortalité des scolytes de 80 % a toujours été observée. Les spores de *B. bassiana* ont donc la capacité d'infester les scolytes même de manière indirecte, au contact de ceux-ci avec des organes de la plante, infectés par le champignon (Mota *et al.*, 2017). L'observation des taux de sporulation a montré que la majorité des insectes mouraient avant d'entrer dans la baie potentiellement à cause de trois effets cumulés : le développement des spores avec sécrétion des toxines de *B. bassiana* dans leurs tissus, la faim et la fatigue dues aux efforts consentis pour pénétrer dans la baie. Cette capacité de transmission du champignon sur les scolytes est importante en milieu naturel pour prévenir les attaques des baies. L'observation quotidienne de ce phénomène a montré que *B. bassiana* agit toujours avec un temps de latence compris entre cinq et six jours pour un effet mortel sur le scolyte.

Au laboratoire, les extraits à l'huile d'*A. indica* (EHAI) ont été plus efficaces que les extraits aqueux de *T. peruviana* (EATP) et d'*A. indica* (EAAI) qui ont été respectivement moyennement et faiblement efficaces contre les scolytes adultes. Ces effets seraient causés par les tannins, les anthocyanes, les saponines, les stérols et la présence de nombreux autres métabolites secondaires, présents dans leurs extraits de graines et ayant une forte activité insecticide, antimicrobienne et antifongique (Scalbert, 1991 ; Stevenson *et al.*, 2017). Ainsi, les constituants de l'huile des graines d'*A. indica* comme l'Azadirachtine A et B, la Gédunine et la Nimbinine seraient à l'origine des effets insecticide et anti-appétant observés sur le scolyte (Moreira *et al.*, 2007 ; Anonyme 10, 2011 ; Grdiša *et al.*, 2013) ; effets similaires obtenus contre le scolyte par d'autres auteurs (Isman, 2006 ; Mawussi, 2008 ; Vijayalakshmi *et al.*, 2014 ; Green *et al.*, 2015 ; Samy, 2018). Les constituants des graines de *T. peruviana* dont les cardenolides appelés thévétine A&B et d'autres incluant la péruvoside, la nerrifoline, la thévétoxine et la rivoside, auraient les mêmes effets qu'avec l'huile d'*A. indica* et le chlorpyrifos-éthyl, car ils agissent plus efficacement dès les premiers jours de contact direct avec les scolytes. Chougourou *et al.* (2012) ont montré que les graines de *T. peruviana* étaient très riches en huile qui a un effet insecticide contre *Musca domestica* de même que l'huile d'*A. indica*.

La comparaison des CL<sub>50</sub> et CL<sub>90</sub> a confirmé ce constat en montrant qu'il faut plus d'EAAI que d'EATP ou d'EHAI pour causer 50 ou 90 % de mortalité. La majorité de ces concentrations létales a été plus élevée lorsqu'on appliquait les extraits directement sur les

scolytes que sur les baies. Le traitement des baies activerait leurs enzymes de défense, empoisonnerait et/ou jouerait un rôle répulsif contre les scolytes lors de leurs tentatives de nutrition. Ceci pousse ces derniers à se priver de nourriture. Cette hypothèse a été confirmée par les travaux de Green *et al.* (2015) qui ont relevé un effet répulsif important des extraits aqueux de poudre de graines d'*A. indica* contre *H. hampei*. De même, les résultats obtenus avec EHAI épousent ceux de Depieri et Martinez (2010) et Celestino *et al.* (2016) qui ont montré que cette huile causait une forte mortalité des scolytes et assurait la protection des baies de café. Par ailleurs, Gholamnezhad (2019) a montré que l'extrait aqueux de graines de neem peut augmenter l'activité des enzymes de défense comme la peroxydase, la phénylalanine ammonia-lyase, la  $\beta$ -1,3-glucanase et la polyphénol oxydase en présence de *Botrytis cinerea*, champignon microscopique de la pomme pendant et après sa récolte.

La présence des baies non perforées et l'absence de mortalité ont été relevées avec l'eau distillée stérile et aux fortes concentrations de certains traitements. Une explication pourrait venir du fait que le sexe-ratio des insectes n'a pas été appliquée car, la perforation des baies se fait à majorité par les femelles lorsqu'elles vont déposer leurs œufs et elles sont suivies par les mâles (Vega *et al.*, 2014). Cet état des choses aurait eu un effet considérable si les populations d'insectes mises en boîte pour les tests, étaient constituées de peu de femelles qui ont pu entrer dans les baies avant un effet des extraits. Les mâles les auraient suivies dans les mêmes baies ce qui donne lieu à des taux d'attaque des baies faibles et à la présence des baies non perforées dans certains traitements et particulièrement dans le contrôle négatif (traitement avec l'eau distillée stérile). Certaines études ont montré qu'en pulvérisant seulement sur les scolytes femelles et les baies avec l'huile de neem à 1% (v/v), environ 80 % de mortalité des scolytes et très peu d'attaques des baies ont été obtenus (Depieri et Martinez, 2010 ; Celestino *et al.*, 2016).

### ***Objectif spécifique 3***

Les produits testés *in vitro* à l'exception du Chlorothalonil + Diméthomorphe et de l'eau, ont affecté significativement la germination, la croissance mycélienne et la production de spores des isolats de *B. bassiana* obtenus. Le Chlorothalonil + Diméthomorphe et l'eau se sont montrés compatibles en n'influençant quasiment pas tous les paramètres de développement des deux isolats. Ce résultat montre que l'application de ce fongicide pour lutter contre les maladies fongiques comme l'antracnose permet de conserver en champ l'inoculum naturel de *B. bassiana*. Il a déjà été prouvé que plusieurs fongicides autres que ceux à base de Chlorothalonil + Diméthomorphe, sont compatibles avec *B. bassiana* or leur faculté première

est d'être antifongique. Usha *et al.* (2014), Lipa Dep *et al.* (2017) et Dara (2019) ont respectivement montré que les fongicides à base de soufre, d'oxychlorure de cuivre et de strobilurine sont compatibles avec les isolats de *B. bassiana*.

Tous les traitements EHAI, EATP et EAAI se sont avérés toxiques aux concentrations 1, 2 et certaines 3 (pour les deux isolats avec une influence importante pour Bb-IRAD.Fbt) et très toxiques aux concentrations 3 et 4 pour les deux isolats. Cette toxicité et incompatibilité des extraits des deux plantes avec *B. bassiana* seraient dues aux terpènes, phénols, alcools, alcaloïdes, tannins et d'autres métabolites secondaires capables d'induire la toxicité des parois, des membranes cellulaires et des organites (Anonyme 10, 2011 ; Yoon *et al.*, 2013). Une utilisation synergique des spores de *B. bassiana* avec ces extraits de plantes pesticides (EPP) laisse prévoir une efficacité hypothétique de *B. bassiana* surtout que la germination des conidies est une étape très importante dans la lutte des ravageurs avec le CEP. En effet, le début de l'épizootie est conditionné par la capacité de ces conidies à germer sur l'hôte (Alizadeh *et al.*, 2007). De même, le succès du CEP dépend de la viabilité de ses spores (De Oliveira *et al.*, 2004) qui n'ont pas pu être assurées au contact de ces EPP. Ces résultats restent contraires à ceux d'une étude antérieure qui a montré que la combinaison de l'Azadirachtine avec *B. bassiana*, a un effet additif contre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (Hernandez *et al.*, 2012).

Les résultats obtenus de l'évaluation de la compatibilité, sont similaires à ceux de certains travaux qui ont montré que les extraits d'huile d'*A. indica* et l'azadirachtin 5EC (biopesticide commercial) à la dose recommandée, ont été incompatibles avec *B. bassiana* (Bajan *et al.*, 1998 ; Depieri *et al.*, 2005 ; Dutta *et al.*, 2016). De même, Mohan *et al.* (2007) ont montré que le Margoside® (formulation commerciale d'huile de neem à 0,3%) a retardé *in vitro* la germination des spores de 23 isolats (sur 30 au total) de *B. bassiana*, mais sans la réduire significativement. Cependant, les résultats de certains travaux ont montré que l'huile (2,5 %) et les extraits de graines de neem, le neem gold, Topneem, le biospark et l'exodon (trois pesticides biologiques commercialisés) présentent une compatibilité avec tous les isolats de *B. bassiana* obtenus dans ces travaux (Rodriguez-Lagunes *et al.*, 1997 ; Ribeiro *et al.*, 2012 ; Usha *et al.*, 2014 ; Potrich *et al.*, 2018).

Par ailleurs, Ali *et al.* (2018) ont trouvé une efficacité synergique des extraits de feuilles d'*A. indica* et *B. bassiana* dans la lutte contre les aphides du blé. De même, Duarte *et al.* (2016) ont montré que l'Azadirachtine (AzaMax ; 200 ml × 100 liter<sup>-1</sup>) était compatible avec *B.*

*bassiana* dans la lutte contre *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera : Plutellidae). Ces résultats contradictoires pourraient être dus à la variabilité qualitative et quantitative des extraits utilisées (Forim *et al.*, 2010) par les différents auteurs et à la variabilité génétique des isolats de *B. bassiana* utilisées dans les différentes études (Mohan *et al.*, 2007). Il est évident que la compatibilité des produits phytosanitaires dépend principalement de la nature des composés, des concentrations utilisées et de la nature des isolats.

Le Chlorpyrifos-éthyl à la dose recommandée s'est montré incompatible avec *B. bassiana* en inhibant tous les stades de développement des deux isolats de *B. bassiana*. Ce fut aussi le cas pour Usha *et al.* (2014) de même que De Oliveira *et al.* (2003) qui ont rapporté que les formulations de triazophos, de Chlorpyrifos et d'endosulfan inhibaient 100 % de la germination des spores de *B. bassiana* à toutes les doses testées.

Le regard comparatif des deux isolats a montré que Bb-IRAD.Fbt a été plus affecté par les EPP que Bb-IRAD.Nkoe. Cela confirme encore que ces deux isolats sont différents d'où leur réactivité a été variable face aux pesticides appliqués. Les différents récepteurs membranaires et intra-cellulaires de Bb-IRAD.Nkoe seraient moins spécifiques aux molécules toxiques de EATP, EAAI et EHAI qui agissent soit au niveau de la membrane (comme fongicide de contact), soit à l'intérieur des cellules (comme fongicide systémique) (Zacchino *et al.*, 1998). Par conséquent, ces extraits peuvent soit inhiber le métabolisme en ayant un effet fongistatique, soit inhiber la respiration en ayant un effet fongicide (Mboussi, 2016).

#### ***Objectif spécifique 4***

En champ, la comparaison des taux d'attaque des baies par le scolyte, à 0-1 et 1-2 m de hauteur du caféier, a montré que les isolats de *B. bassiana*, les EHAI et le Chlorpyrifos-éthyl ont significativement mieux protégé les baies, que les EAAI, EATP et le témoin absolu à Melong et Doumé ; c'est aussi dans ces localités que les taux d'infestation étaient importants avant l'expérimentation. En fonction des localités, l'efficacité des traitements a été proportionnelle à la sévérité des attaques des baies par le scolyte. Malgré l'influence de ces traitements, les taux d'attaque des baies sont restés élevés à Melong et Doumé comparée à Bamendjou où, le taux d'infestation était faible au départ.

En comparaison au témoin absolu, les résultats ont montré la capacité de *B. bassiana* à protéger les baies de café. Les taux de baies attaquées enregistrées étaient moins de 10 % avec *B. bassiana*, soit une différence de 25 à 30 % comparé au témoin absolu, et d'environ 40 % comparé aux taux d'attaques enregistrés pendant les enquêtes et les observations. En effet, *B.*

*bassiana* attaque même naturellement les scolytes pendant leur déplacement à la recherche de femelles (pour les mâles) et/ou à la recherche de nouvelles baies (fraîches ou résiduelles) pour se nourrir (les deux sexes) ou pour pondre des œufs (les femelles) ; ces effets ont été aussi démontrés par d'autres travaux (De la Rosa *et al.*, 2000 ; Vera *et al.*, 2011 ; Jaramillo *et al.*, 2015 ; Escobar-Ramírez *et al.*, 2019). Au contact du scolyte, *B. bassiana* va germer en sécrétant une chitinase qui lui permet de pénétrer à l'intérieur du scolyte et de le momifier dans la cerise (Cochereau et Potiaroa, 1994). Par ailleurs, il a été démontré que l'application de *B. bassiana* causait la mortalité des scolytes après infestation des caféières avec ceux-ci au préalable et lors de leurs déplacements (Samuels *et al.*, 2002). En comparant une fois de plus les résultats de *B. bassiana* à ceux du témoin absolu, il ressort que le contrôle biologique classique du scolyte (par application d'un bioagent) réduit mieux les attaques des baies que le contrôle naturel. Certains travaux antérieurs à cette étude ont particulièrement noté qu'environ 49 % de la mortalité des scolytes dans une caféière, est due à une activité de *B. bassiana* (Ruiz, 1995 ; Escobar-Ramírez *et al.*, 2019).

Concernant les extraits des plantes, les résultats enregistrés au laboratoire avec ceux-ci ont été confirmés en champ attestant ainsi le potentiel insecticide, répulsif et anti-appétant des métabolites secondaires de ces extraits sur le scolyte. Ces effets ont été confirmés par Vijayalakshmi *et al.* (2014) qui a montré qu'en champ, l'huile de neem avait une action répulsive très forte contre le scolyte. De même, il a été prouvé que l'huile de neem à 3 % avait réduit de 90 % la population de scolyte des plants de caféier infestés au préalable (Samy, 2018). En somme, aucune différence significative au niveau de l'efficacité n'a été observée aux deux hauteurs. Ainsi, les produits appliqués agiraient pareillement sur toute la hauteur du plant malgré l'exposition différente des plants aux conditions environnementales. Un regard plus approfondi sur ces conditions, devrait être faite pour permettre d'évaluer leurs effets sur le développement des pestes et maladies (Bukomeko *et al.*, 2018).

La comparaison des deux années d'expérimentation (2019 et 2020) a montré une légère réduction du taux d'attaque des baies d'environ 1 à 1,5 %, entre la première et la deuxième année, de même qu'après les premiers mois d'application et d'observation. Cette réduction des taux d'attaques entre les deux années d'expérimentation, est quasiment la même que celle obtenue avec *B. bassiana* par De la Rosa *et al.* (2000), mais semble faible comparée à celle de 36 (première année) à 14 % (deuxième année) obtenue avec les extraits de neem par Samy en 2018. En effet, l'efficacité ou l'activité des agents de lutte est très dépendante des souches (pour *B. bassiana*), de la concentration et de la virulence (*B. bassiana* et les EPP), de la



formulation, du taux d'infestation des champs au départ, de l'écologie et de la dynamique des parasites/agent de lutte, et des conditions environnementales notamment climatiques (De la Rosa *et al.*, 2000 ; Posada *et al.*, 2003 ; Agegnehu *et al.*, 2015 ; Vega *et al.*, 2015 ; Aristizabal *et al.*, 2016).

Concernant la durabilité des traitements, certains travaux ont montré qu'en champ, il y a une rapide dégradation des molécules des produits du neem et qu'ils seraient plus efficaces dans des plantations ombragées où il y a moins d'exposition (Vijayalakshmi *et al.*, 2014). Cette rapide biodégradabilité naturelle des EPP est bonne pour la santé environnementale, mais délicate dans la lutte contre les parasites, à cause de leur courte durée de vie et de conservation (Lengai *et al.*, 2020). Par ailleurs, les conidies séchées de *B. bassiana* peuvent garder leur viabilité durant deux mois à la température ambiante ( $28 \pm 2$  °C), mais perdre leur capacité à infecter après une exposition de trois heures au soleil (Heviefio *et al.*, 2018). Par conséquent, l'addition d'adjuvants pourrait protéger et assurer la survie des conidies, ce qui a été fait avec l'huile dans cette étude, pour protéger les spores contre les radiations et leur permettre d'adhérer aux surfaces pulvérisées. Cette hypothèse a été testée et confirmée par Ludmilla *et al.* (2017) et Mohan *et al.* (2007). Néanmoins, d'autres études ont montré que l'addition d'adjuvant réduirait substantiellement leur concentration létale effective (Bateman *et al.*, 1993 ; Akbar *et al.*, 2005), de même que la germination des conidies (réduction de 9,2 fois après 48 h) (Zampiroli *et al.*, 2019).

Concernant l'écologie et la dynamique des parasites/agents de lutte, *B. bassiana* a un caractère endophyte qui lui permettrait de rester viable dans certains organes du caféier quoique son domaine principal de vie reste le sol (Fréchette *et al.*, 2009). Son efficacité pourrait donc augmenter si le scolyte passait une majeure partie de son cycle vital au sol et non dans les baies. En observant le taux d'attaque des baies en fonction des hauteurs du caféier, il est presque pareil quelle que soit la hauteur du caféier. Ainsi, malgré sa petite taille et son incapacité à voler normalement surtout pour les mâles alors que les femelles présentent une phase aérienne (Cochereau et Potiaroa, 1994), cet insecte atteint toute la hauteur du caféier, attiré par les baies. Néanmoins, *B. bassiana* coloniserait toutes les parties du caféier et continuerait son développement après son application à la surface des organes traités et grâce à son caractère endophyte qui, serait plus efficace lorsque *B. bassiana* est plutôt injecté dans les organes du café (Bamisile *et al.*, 2018). Gaviria *et al.* (2020) ont montré que quatre semaines après infection des plants par aspersion et ré-isolation, *B. bassiana* colonisait de façon décroissante les feuilles, les pétioles, les tiges et les racines. Par ailleurs, la présence du champignon a été

démontrée sur les branches, les baies fraîches accrochées à ces branches et les baies résiduelles (baies sèches tombées au sol) (Bustillo, 2006). Cependant, ces constats sont contraires à celui de Posada *et al.* (2007) qui ont trouvé que l'installation et la colonisation de *B. bassiana* était faible et regrettable après pulvérisation des suspensions de conidies sur les feuilles de café.

Concernant l'influence des conditions environnementales, l'augmentation du taux d'humidité entre les deux années d'expérimentation aurait augmenté l'efficacité des traitements à base de *B. bassiana* comme l'ont montré certaines études. Celles-ci ont affirmé que *Beauveria* sp. exercerait naturellement une action répressive contre le scolyte en conditions humides et chaudes ou en général avec une température modérée, une forte humidité et une faible insolation (Cochereau et Potiaroa, 1994 ; Zimmermann, 2007 ; Jaronski, 2010 ; Wraight *et al.*, 2018). Par ailleurs, l'année 2019, le mois de Mai et le site de Melong ont été les moins humides, mais les plus chauds au vu de la température moyenne enregistrée (30 °C). Ces paramètres seraient donc à l'origine des taux élevés d'infestation des baies par *H. hampei* à Melong comme l'ont montré en Colombie, Nunez *et al.* (2021). Ils ont montré que l'augmentation de la température perturbe les pluies et les saisons, et augmente l'intensité des attaques et maladies tout en réduisant la production agricole. De plus, d'autres études ont montré que le facteur primaire qui influence la biologie des insectes, est la température ; l'augmentation de celle-ci avec les variations et changements climatiques, favorise la multiplication, le nombre de générations et l'abondance des insectes (Ziska *et al.*, 2018 ; Ennis, 2019). Les mêmes constats ont été faites à Bamendjou où, les fortes pluviométrie et humidité moyennes mensuelles seraient à l'origine des taux élevés d'infection des baies par *C. kahawae* malgré l'application des traitements. Ceci a été prouvé par Mouen Bedimo *et al.* (2008 et 2012) dans les plantations à Arabica des Hauts Plateaux de l'Ouest (HPO).

Les meilleurs rendements et amélioration de ceux-ci ont été obtenus à Doumé et Melong avec tous les traitements sauf ceux avec les EPP. Ce résultat est une preuve que des attaques cumulées des baies par *H. hampei*, *C. kahawae* et autres maladies et pestes, ont eu des effets dévastateurs à Bamendjou. Ceci montre aussi que *B. bassiana* n'aurait pas d'effet contre *C. kahawae*, mais que les EPP ont des effets insecticide et fongicide respectivement contre *H. hampei* et *C. kahawae*. De plus, lorsque les baies sont atteintes d'anthracnose, elles tombent alors qu'avec le scolyte, elles peuvent rester accrochées sur les branches si elles n'ont pas été trop endommagées. Cependant, le rendement a été meilleur à Doumé qu'à Melong où les attaques du scolyte étaient plus fortes. Ceci serait dû au fait qu'à Melong, la majorité des baies quoique scolytées, avaient un état physiologique pouvant présenter trois cas : deux grains pleins

et durs ; un grain plein et l'autre spongieux ; et enfin un grain plein et l'autre avorté. Cette hypothèse a été confirmée par Cochereau et Potiaroa (1994) qui ont étudié les cerises-flotteurs et montré que 25 % de celles qui flottent dans de l'eau ne sont pas scolytées. L'évaluation du taux d'augmentation du rendement joue un rôle important dans la mesure effective de l'efficacité des traitements contre les maladies et ravageurs, et dans la mise en place d'une bonne stratégie de régulation (Avelino *et al.*, 2018). En effet, les pestes comme *H. hampei* impactent négativement le poids, la qualité et la quantité des baies de café (Souza *et al.*, 2014).

## CONCLUSION GENERALE

Le secteur du café au Cameroun reste sujet à un relâchement sans pareil et une forte baisse de la production, malgré les multiples plans de relance du gouvernement et les efforts des producteurs. Les contraintes phytosanitaires et les stratégies de régulation de celles-ci sont parmi les principaux problèmes pointés du doigt. Dans cette étude, les contraintes phytosanitaires, leurs stratégies de régulation, et l'efficacité de *B. bassiana*, *T. peruviana*, *A. indica* contre *H. hampei* au laboratoire et en champ, ont été évaluées. Les méthodes d'enquêtes, d'observation dans les parcelles, de tests au laboratoire et en champ, utilisées se sont avérées efficaces pour atteindre les objectifs fixés dans ce travail.

Le regard croisé des résultats a montré que les caféières au Cameroun restent sous la menace de multiples contraintes phytosanitaires dont les insectes sont les plus redoutables à Melong et Doumé alors que c'est l'anthracnose à Bamendjou. Tous les producteurs appliquent le défrichage et la taille, et de manière disparate d'autres appliquent les insecticides, les fongicides et les herbicides. Tous les produits utilisés sont chimiques, avec un grand nombre pour les insecticides. Le nombre de fois (de 0 à 2 fois) et la période d'application de ces pratiques dépendent du type et de l'intensité de la pression phytosanitaire. Les producteurs enquêtés expriment fortement le besoin de préserver leur santé et celle de l'environnement, de diminuer les dépenses liées aux intrants en utilisant des produits biologiques locaux et surtout de produire un café de qualité avec moins de résidus des pesticides chimiques. Cependant, l'indisponibilité des produits biologiques sur le marché les poussent inexorablement vers les produits de synthèse et les pratiques conventionnelles.

Dans les caféières et particulièrement la rhizosphère de Foubot et de Nkoémvone, *B. bassiana* est présent et a pu être isolé. Les deux isolats étaient différents de par leurs caractéristiques de développement et même leur virulence contre le scolyte. Ce champignon et les extraits de graines de *T. peruviana* et *A. indica* ont causé de 20 à 80 % de mortalité de la population adulte d'*H. hampei*, qu'ils soient appliqués directement sur ces insectes ou sur les baies. Cette efficacité était proportionnelle aux doses appliquées et comparable, voire meilleure avec les fortes doses des substances naturelles qu'avec le Chlorpyrifos-éthyl.

L'évaluation de la compatibilité entre les extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica* avec les isolats de *B. bassiana* de cette étude, a montré que, quoi que biologiques, ces substances naturelles devraient être utilisées avec réserve pour assurer la durabilité et la conservation de la diversité des ennemis naturels des parasites des cultures. Particulièrement,

l'EATP, l'EHAI, le Chlorpyriphos-éthyl et l'EAAI se sont avérés très toxiques pour toutes les caractéristiques de développement des *B. bassiana*, en causant de 50 à 90 % d'inhibition. Cependant le fongicide synthétique à base de Chlorothalonil + Diméthomorphe s'est avéré compatible avec les isolats de *B. bassiana* au même titre que le témoin absolu.

En champs, *B. bassiana*, les extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica*, ont montré leur efficacité dans la protection des baies de café face à *H. hampei*, en diminuant de 30 à 40 % les taux d'attaques des baies en comparaison à l'état sanitaire de départ. En fonction du témoin absolu et des localités, l'amélioration des rendements en baies sèches a été meilleur à Doumé avec Bb-IRAD.Fbt, Bb-IRAD.Nkoe et Chlorpyriphos-éthyl pour plus de 60 % d'augmentation. A Melong, l'augmentation variait entre 33,3 % (Chlorpyriphos-éthyl), 34,8 % (Bb-IRAD.Nkoe) et 43 % (Bb-IRAD.Fbt) alors qu'à Bamendjou, les taux d'amélioration des rendements en baies sèches ont été d'environ 70 % et meilleurs avec les trois extraits des plantes pesticides. Entre les deux années d'expérimentation, le taux d'attaque des baies a diminué d'environ 2 %, mettant en exergue la non durabilité de ces substances et l'impact des conditions météorologiques qui ont légèrement réduit l'activité des traitements et augmenté la sévérité des parasites du café.

Ces conclusions sanctionnent l'issue de cette étude. Elles nous permettent de répondre à nos questions et de valider nos hypothèses de recherche. Ainsi, l'on peut attester que :

- les caféières des grands bassins de production du Cameroun sont toujours sujettes à de fortes pressions phytosanitaires dont les attaques d'insectes comme le scolyte, et les maladies comme l'anthracnose. Pour pallier à ces contraintes, les produits chimiques restent et demeurent la seule solution utilisée par les producteurs, bien que les contraintes persistent, stimulant ainsi chez les producteurs des envies de pesticides biologiques ou d'abandon ;
- la rhizosphère des caféières du Cameroun héberge *B. bassiana* et les isolats locaux utilisés sont virulents contre *H. hampei* en laboratoire et en champ ;
- ces isolats de *B. bassiana* ne peuvent être conservés ou utilisés de manière synergique en cas de contact avec les fortes concentrations des extraits de *T. peruviana*, d'*A. indica* ou de Chlorpyriphos-éthyl ;
- les substances naturelles issues des extraits de graines de *T. peruviana* et d'*A. indica* réduisent les attaques des baies causées par *H. hampei*, au même titre que le Chlorpyriphos-éthyl.

## RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Dans le contexte des résultats obtenus et des hypothèses validées, on a saisi l'occasion pour faire quelques recommandations visant à valoriser les acquis de cette étude. Il apparaît donc essentiel que :

- soit toujours fait un traitement d'entretien/préventif des caféières pour lutter contre la population de scolyte vivant dans les baies résiduelles ou des plantes hôtes ;
- les programmes/projets d'amélioration de la production des caféières au Cameroun, mettent l'accent sur la lutte insecticide dans toutes les localités de l'étude, mais avec un effort de plus pour la lutte antifongique contre l'antracnose à Bamendjou ;
- *T. peruviana* et *A. indica* soient intégrées dans les systèmes de cultures, et encourager leur production à grande échelle sur des terres marginales non arables à l'agriculture ;
- l'importance de ces produits biologiques soit reconnue au niveau de la politique publique/agricole et qu'une loi sur l'agriculture biologique ou durable ou qu'un mécanisme de certification strict du café soit mis en place ;
- les systèmes de production et produits biologiques soient vulgarisés et valorisés au niveau des pouvoirs publics, de la recherche, du secteur privé/professionnel et de la société civile pour pallier à l'absence de connaissances et l'indisponibilité des produits biologiques sur le marché des pesticides.

Pour apporter un plus à ce travail, en guise de perspectives, des études devraient se poursuivre en vue de :

- caractériser au niveau moléculaire, les isolats de *B. bassiana* utilisés dans cette étude ;
- tester d'autres types de formulations des spores de *B. bassiana* et des extraits des graines de *T. peruviana* et *A. indica*, pour améliorer et assurer la stabilité et longévité de ces substances naturelles une fois en conditions non contrôlées/naturelles ;
- investiguer le potentiel d'autres plantes pesticides contre le scolyte et leur compatibilité avec *Beauveria bassiana* ;
- conduire des études similaires dans d'autres bassins de production du café du Cameroun ;
- évaluer l'efficacité de ces produits face à d'autres parasites du caféier ou d'autres spéculations et face aux insectes pollinisateurs ;
- évaluer l'effet de ces agents biologiques sur l'activation des molécules de défense des différents organes du caféier ;

- déterminer les effets écotoxicologiques et toxicologiques des extraits de *T. peruviana* et *A. indica* pour assurer leur utilisation saine et sûre ;
- évaluer le respect par les producteurs de café, de l'utilisation des pesticides chimiques dans les fréquences d'utilisation et les délais de sécurité ;
- mener une étude économique liée à la production et l'utilisation de ces agents biologiques en comparaison à celles des produits chimiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abbott W.S., 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Aby N., Kobenan K., Kehe M., Gnonhoury P., Kone Zouzou A.M., 2010. *Metarhizium anisopliae* : parasite du charançon noir du bananier *Cosmopolites sordidus* dans les bananeraies Ivoiriennes. *Journal of animal and plant Sciences.* 7: 729-741.
- Adeniyi D.O., Abiodun J., 2015. *In vitro* evaluation of plant extracts against *Lasiodiplodia theobromae*, causing cashew inflorescent blight. *Afr. J. Biotechnol.* 14 (13): 1139-1142.
- Adler S., Verdeil J., Lartaud M., Fock-Bastide I., Joët T., Conéjéro G., Noirot M., 2014. Morphological and histological impacts of the laurina mutation on fructification and seed characteristics in *Coffea arabica* L. *Trees.* 28 (2): 585-595.
- Agegnehu E., Thakur A., Mulualem T., 2015. Potential impact of climate change on dynamics of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in Ethiopia. *Open Access Libr. J.* 2 (1): 1-11.
- Akbar W., Lord J.C., Nechols J.R., Loughin T.M., 2005. Efficacy of *Beauveria bassiana* for red flour beetle when applied with plant essential oils or in mineral oil and organosilicone carriers. *Journal of Economic Entomology.* 98: 683-688.
- Akello J., Dubois T., Coyne D., Kyamanywa S., 2008. Endophytic *Beauveria bassiana* in banana (*Musa* spp.) reduces banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) fitness and damage. *Crop Prot.* 27: 1437-1441.
- Ali Sajjad, Muhammad Aslam Farooqi, Asif Sajjad, Muhammad Irfan Ullah, Ahmad Kaleem Qureshi, Bushra Siddique, Waqas Waheed, Muhammad Sarfraz and Ali Asghar, 2018. Compatibility of entomopathogenic fungi and botanical extracts against the wheat aphid, *Sitobion avenae* (Fab.) (Hemiptera: Aphididae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control.* 28 (1): 1-6.
- Alizadeh A., Samih M.A., Khezri M., Riseh R.S. 2007. Compatibility of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. with several pesticides. *Int. J. Agri. Biol.* 9: 31-34.
- Amang à Mbang J., Mounjouenpou P., Mahob R.J., Mbarga Amougou M., Mouen Bedimo J., Nyasse S., Dibog I., Bidzanga Nomo I., Tchouamo I.R., Babin R., 2012. Evaluation naturelle de l'impact de *Beauveria bassiana* : champignon entomopathogène dans la dynamique de population de *Hypothenemus hampei*, scolyte de baies des cerises de *Coffea canefora*. *African Crop Science Journal.* 20 (2): 443-451.
- Ambang Z., Ngoh Dooh J.P., Essono G., Bekolo N., Chewachong G., Asseng C.C., 2010. Effect of *Thevetia peruviana* seeds extracts on *in vitro* growth of four strains of *Phytophthora megakarya*. *Plant Omics Journal.* 3 (3): 70-76.
- Ambang Z., Ndong B., Essono G., Chewachong G.M., Ngoh J.P., Kosma P., 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. *Aus. J. of Crop Science.* 5 (3): 227-232.
- Amoabeng B.W., Gurr G.M. Gitau C.W. and Stevenson P.C., 2014. Cost: benefit analysis of botanical insecticide uses in cabbage: implications for smallholder farmers in developing countries. *Crop Protection.* 57: 71-76.
- Anonyme 1, 2003a. Loi n°2003/003 du 21 avril 2003 portant protection phytosanitaire. *République du Cameroun.* 6 p.



- Anonyme 1, 2003b. Loi n°2003/2006 du 21 avril 2003 portant régime de la sécurité en matière de biotechnologie moderne au Cameroun. *République du Cameroun*. 23 p.
- Anonyme 1, 2009a. Document de Stratégie pour la Croissance et l'emploi 2010-2020 (DSCE 2010-2020). *Ministère de l'Économie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT)*, Cameroun. 167 p.
- Anonyme 1, 2009b. Cameroun Vision 2035. Document de travail. *Ministère de l'Économie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT)*, Cameroun. 76 p.
- Anonyme 1, 2014. Plan de relance et de développement des filières cacao et café du Cameroun. *MINEPAT, Cellule technique de suivi et de coordination des filières cacao et café, Services du Premier Ministre*, Cameroun. 106 p.
- Anonyme 1, 2018. Note d'analyse prospective : l'agriculture biologique, l'agriculture de demain ? *MINEPAT*, Cameroun. 18 p.
- Anonyme 1, 2020a. Stratégie Nationale de Développement 2020-2030 pour la transformation structurelle et le développement inclusif (SND20-30). *MINEPAT*, 1<sup>ère</sup> éd., Cameroun. 231 p.
- Anonyme 1, 2020b. Cadre de dépenses à moyen terme (CDMT 2020-2022). Chapitre 30. *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) et MINEPAT*, Cameroun. 50 p.
- Anonyme 1, 2020c. Loi N° 2020/010 du 20 Juillet 2020 régissant l'activité statistique au Cameroun. 7 p.
- Anonyme 1, 2021. Décision 00034/MINADER/CAB du 09/02/2021 portant interdiction d'importation, d'homologation et d'utilisation des formulations de pesticide à base de chlorpyrifos, chlorpyrifos-éthyl et chlorpyrifos-méthyl au Cameroun. *Commission Nationale d'Homologation des Produits Phytosanitaires et de Certification des Appareils de Traitement (CNHPCAT, Direction de la Réglementation et du Contrôle de Qualité des Intrants et Produits Agricoles (DRCQ), MINADER*, Cameroun. 1 p.
- Anonyme 2, 2018. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> (consulté le 05 Février 2018).
- Anonyme 3, 2017. Country Coffee Profile: Cameroon. ICC-120-5, London. Disponible sur : <https://www.ico.org/documents/cy2016-17/icc-120-5e-profile-cameroon.pdf> (consulté en Août 2018).
- Anonyme 3, 2018. Growing Prosperity - Economic viability as the catalyst for a sustainable coffee sector. London: International Coffee Organization - Coffee Development Report, Available at: <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/ed-2318e-overview-flagship-report.pdf> (consulté le 18 Mai 2020).
- Anonyme 4, 2008. Rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. *Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD)*, Cameroun. 74 p.
- Anonyme 4, 2019. Résolution n° 000017/IRAD/CAA/12/2019 du 13 Décembre 2019 portant organigramme de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD). *Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD)*, Cameroun. 30 p.
- Anonyme 5, 2016. Le Café. Un profil de produit de base par INFOCOMM. *Conseil des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED)*, Palais des Nations, CH-1211 Genève, Suisse. 42 p.
- Anonyme 5, 2018. Coup d'œil sur les produits de base : édition spéciale sur le café en Afrique de l'Ouest et du Centre. *Conseil des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED)*. 11: 62 p.

- Anonyme 6, 2016. Histoire du Café au Cameroun. Office National du Cacao et du Café (ONCC), <https://www.oncc.cm> (consulté le 15 Septembre 2018).
- Anonyme 7, 2016. New génération. *Conseil Interprofessionnelle du Cacao et du Café (CICC)*, Cameroun. 2 p.
- Anonyme 8, 2022a. Café : la production commercialisée du Cameroun chute de 50,7 % et se situe à 12 157 tonnes lors de la saison 2020-2021. <https://www.investiraucameroun.com/agriculture/1602-17518-cafe-la-production-commercialisee-du-cameroun-chute-de-50-7-et-se-situe-a-12-157-tonnes-lors-de-la-saison-2020-2021> (consultée le 24 février 2022).
- Anonyme 8, 2022b. Café : la transformation locale en hausse de 20% au cours de la saison 2020-2021, malgré une production morose. <https://www.investiraucameroun.com/agriculture/> (consulté le 20 février 2022).
- Anonyme 8, 2018. Des cafés camerounais décrochent 5 prix sur 9 aux Awards 2017 de l'Agence de valorisation des produits agricoles. <https://www.investiraucameroun.com/agriculture> (consulté le 20 mai 2020).
- Anonyme 9, 2008. Introduction progressive d'alternatives à l'endosulfan. *Pesticide Actions Network (PAN) Germany pour PAN International*, Hambourg. 8 p.
- Anonyme 10, 2011. Le biocontrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Rapport au Premier ministre François Fillon. *Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire*, France. 156 p.
- Anonyme 11, 2012. Neem: The UN's tree of the 21st Century. Nairobi: United Nations Environment Programme. <http://www.unep.org/wed/tree-a-day/neem.asp> (consulté le 10 Septembre, 2017).
- Anonyme 11, 2015. Transformer notre monde : Le Programme de développement durable à l'horizon 2030. *Nations Unies*, document final du Sommet des Nations Unies sur le Programme de développement pour l'après-2015. 38 p.
- Anonyme 12, 2009. Position Statement on Synthetic Pesticides. CAPE. <http://www.cape.ca/toxics/pesticides.html> (consulté en Mars 2016).
- Anonyme 13, 2009. Règlement CE n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil. *J. Off. Union Eur., Commission Européenne*. 309 (1): 1-50.
- Anonyme 13, 2021. The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food. *European Parliament's Committee on Development*, Policy Department for External Relations. 56 p.
- Anonyme 14, 2000. Annual report of the Plant Health Division. *International Institute of Tropical Agriculture*. pp. 12-22.
- Anonyme 15, 2002. Mémento de l'agronome. *Ministère des Affaires étrangères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET)*. 1968 p.
- Anonyme 15, 2003. Le piège à BROCAP : Une solution innovante de lutte contre le scolyte des baies du caféier. Fiche technique. *Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*, France. 2 p.
- Anonyme 16, 2002. L'agriculture biologique et la protection naturelle contre les ravageurs des cultures. Fiche technique, Programme de radio rurale. *Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA)*. 2 (4): 22 p.

- Anonyme 17, 1973. Statuts. *Bulletin SROP. Organisation Internationale de Lutte Biologique et Intégrée contre les Animaux et les Plantes Nuisibles (OILB)*. 1973/1: 25 p.
- Anonyme 18, 2007. Le Café. Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest, Série Economie. *CEDEAO-OCDE*. [www.atlas-ouestafrique.org](http://www.atlas-ouestafrique.org) (consulté le 25 Avril 2013).
- Anonyme 19, 2008. Forum du commerce international, n° 3-4. <http://www.forumducommerce.org/Les-femmes-dans-le-secteur-du-café> (consulté en Août 2018).
- Anonyme 20, 2020. Le café au Cameroun. <http://www.investiraucameroun.com> (consulté le 17 Décembre 2020).
- Anonyme 22, 2006. Pests and diseases of coffee in eastern Africa: a technical and advisory manual. Mike Rutherford and Noah Phiri (eds.), *CAB International*, Crop Protection Programme of the UK Department for International Development (DFID), Wallingford, UK. 70 p.
- Anonyme 23, 2014. Découverte du vivant : Mise en place d'un élevage d'insectes en classe. *Micropolis, la cité des insectes et Direction départementale de l'Education nationale de l'Aveyron*, France. 24 p.
- Anonyme 24, 2020. Données climatiques des pays tropicaux : cas du Cameroun. <https://www.historique-meteo.net/afrique/cameroun> (consulté au mois de Décembre 2020).
- Anonyme 25, 2018. Rapport annuel de performance, exercice 2017. *Projet d'Appui à la Lutte Antifongique dans les Filières Cacao et Café (PALAF2C)*. MINADER, FODECC, Cameroun. 10 p.
- Anonyme 26, 2019. Liste des pesticides homologués au Cameroun en Avril 2019. *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER), Commission Nationale d'Homologation des Produits Phytosanitaires et de Certification des Appareils de Traitement*, Cameroun. 211 p.
- Anonyme 27, 2021. Liste des pesticides homologués au Cameroun en Mars 2021. *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER), Commission Nationale d'Homologation des Produits Phytosanitaires et de Certification des Appareils de Traitement*, Cameroun. 244 p.
- Anonyme 28, 2011. Stratégie d'intervention de la CEEAC dans le secteur café (2011-2015). Le Centre du Commerce International (ITC), Bureau des Politiques et Programmes, Stratégies à l'exportation. 86 p.
- Anonyme 29, 2019. Café : la descente aux enfers de la production locale. 7ème édition de Festicoffee 2019, tenue du 16 au 17 avril 2019. <https://ecomatin.net/cafe-la-descente-aux-enfers-de-la-production-locale/> (consulté le 23 avril 2019).
- Anonyme 30, 2008. Programme d'Urgence pour la Réduction des Résidus des Pesticides dans les Cacao et Café Camerounais. *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER), Sous-Direction des Interventions Phytosanitaires*, Cameroun. 34 p.
- Anonyme 31, 2021. Cameroun, la perspective sur la sécurité alimentaire entre Octobre 2020 à Mai 2021. Famine early warning systems network (FEWS NET). 16 p.
- Anonyme 32, 2021. Agro, Commerce, Développement, Economie, Gouvernance. <https://www.conjonctureseconomiques.net/2021/05/22/au-cameroun-le-prix-du-cafe-robusta-atteint-des-sommets-alors-que-la-demande-ne-cesse-de-croitre/#comment-123> (consulté le 01 novembre 2021).
- Anonyme 33, 2021. Le café camerounais. <https://graine-de-cafe.com/tout-savoir-sur-le-cafe-du-cameroun/> (consulté le 01 novembre 2021).

- Aristizabal L.F., Olga Lara, Steven P. Arthurs, 2012. Implementing an Integrated Pest Management Program for Coffee Berry Borer in a Specialty Coffee Plantation in Colombia. *Journal of Integrated Pest Management*. 3 (1): 2012.
- Aristizabal L.F., Bustillo A.E., Arthurs S.P., 2016. Integrated pest management of coffee berry borer: Strategies from Latin America that could be useful for coffee farmers in Hawaii. *Insects*. 7 (1): 11-14.
- Aristizabal L.F., Shriner S., Hollingsworth R., Arthurs S., 2017. Flight Activity and Field Infestation. Relationships for Coffee Berry Borer in Commercial Coffee Plantations in Kona and Kau Districts, Hawaii. *J. Econ. Entomol.* 110 : 2421-2427.
- Aubry K.B., Mc Kelvey K.S. and Copeland J.P., 2011. Distribution and broadscale habitat relations of the wolverine in the contiguous United States. *Journal of Wildlife Management*. 71: 2147-2158.
- Avelino Jacques, Allinne Clémentine, Rolando Cerda, Laetitia Willocquet and Serge Savary, 2018. Multiple-Disease System in Coffee: From Crop Loss Assessment to Sustainable Management. *Annual Review of Phytopathology*. 56: 27.1-27.25.
- Bagny Beilhe Leïla, Roudine S., Quintero Perez José Alcides, Allinne Clé., Daout D., Mauxion Ré., Carval D., 2019. Pest-regulating networks of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in agroforestry systems. *Crop Protection*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105036>.
- Bajan C., Kmitowa K., Popowska E.N., 1998. Reaction of various ecotypes of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* to the botanical preparation NEEMTM and pyrethroid Fastak. *Arch. Phytopath. Pl. Protec.* 3: 369-375.
- Baker P., 1999. The coffee berry borer in Colombia. Final report of the DFID-Cenicafé-CABI Bioscience IPM for coffee project (CNTR 93/1536A). Chinchina (Colombia): *DFIDCenicafé-CABI*. 144 p.
- Bamisile Bamisope Steve, Dasha Chandra Kanta, Akutsed Komivi Senyo, Ravindran Keppanana, Oluwatoyin Grace Afolabi, Mubasher Hussaina, Muhammad Qasima, Liande Wanga, 2018. Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiological Research*. 217 : 34-50.
- Barra-Bucarei Lorena, Andrés France Iglesias, and Carlos Pino Torres, 2019. Chapter 11: Entomopathogenic Fungi. In: Souza B. *et al.* (eds.), *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical*. Springer Nature Switzerland Agroecosystems. pp. 123-136.
- Barrera J.F, Gómez J., Castillo A., López J., Herrera J., González G., 2008. Broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). In: Arredondo Bernal H.C., Rodríguez del Bosque L.A. (eds.), *Casos de control biológico en México*. *Mundi Prensa*. pp. 101-120.
- Bassi A.G., 1836. Maladies des vers à soie. Recherches sur la muscardine. In : *Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences*, France. 2 : 434-436.
- Bateman R.P., Carey M., Moore D., Prior C., 1993. The enhanced infectivity of *Metarhizium flavoviride* in oil formulations to desert locust at low humidities. *Annals of Applied Biology*. 122: 145-152.
- Bationo Babou André, Barthélémy Yélémo, Sibiri Jean Ouédraogo, 2004. Le neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), une espèce exotique adoptée par les paysans du Centre-Ouest du Burkina Faso. Actes de conférence, CIRAD (éd.). *Bois et forêts des tropiques*. 282 (4). <https://doi.org/10.198182/bft2004.282.a20219>.

- Bayiha Gérard De La Paix, Temple Ludovic, Mathé Syndhia, Nesme Thomas, 2019. Typologie et perspective d'évolution de l'agriculture biologique au Cameroun. *Cahiers d'Agriculture*. 28 (3) : 8 p.
- Bayiha Gérard De La Paix, Temple Ludovic, Mathé Syndhia, 2020. « Diversité des trajectoires de l'agriculture biologique au Cameroun ». *Systèmes alimentaires/Food Systems*, Classiques Garnier (ed.). 5 : 181-204.
- Bélangier André et Musabyimana Thaddée, 2005. Le Neem contre les insectes et les maladies. *Centre de Recherche et Développement en Horticulture. Journées horticolas, Québec J3B 3E6, Canada*. 4 p.
- Bellon S., Deverre C., Lamine C., 2007. Des paradigmes en matière de protection des cultures. *GéDuPIC, congrès, Avignon, France*. 11 p. hal-02816091.
- Belmain S.R., Hagggar J., Holt J., Stevenson P.C., 2013. Managing legume pests in sub-Saharan Africa: Challenges and prospects for improving food security and nutrition through agro-ecological intensification. *Chatham Maritime (United Kingdom): Natural Resources Institute, University of Greenwich*. 34 p.
- Benavides P., Bustillo A., Gongora C., 2012. IPM program to control coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. In: Perveen F. (ed.), *Insecticides: Advances in Integrated Pest Management. InTech, Rijeka, Croatia*, 3: 511-540.
- Bergamin J., 1943. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). *Arquivos do Instituto Biológico*. 14: 31-72.
- Berhaut J., 1971. Flore illustrée du Sénégal. Tome 1. *Claire Afrique Sénégal*. 626 p.
- Bertrand B., Montagnon C., Georget F., Charme P., Étienne H., 2012. Création et diffusion de variétés de caféiers Arabica : quelles innovations variétales. *Cah. Agric.* 21: 77-88.
- Bertrand F.A., 2002. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed. [http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/divers2/010\\_029197.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010_029197.pdf) (consulté en décembre 2017).
- Beauverie Jean, 1911. Notes sur les muscardines : sur une muscardine du ver à soie, non produite par le *Botrytis bassiana*. Etude du *Botrytis effusa* sp. *Nov. Rapp. Comm. administrative du lab. d'études de la soie*, Lyon. 145-31.
- Blassioli-Moraes M.C., Michereff M.F.F., Magalhães D.M., Morais S.D., Hassemer M.J., Laumann R.A., Meneghin A.M., Birkett M.A., Withall D.M., Medeiros J.N., Corrêa C.M.C., Borges M., 2018. Influence of constitutive and induced volatiles from mature green coffee berries on the foraging behaviour of female coffee berry borers, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Arthropod-Plant Interactions*. 13: 349-358.
- Bourguet D., Guillemaud T., 2016. The hidden and external cost of pesticide use. In: Lichtfouse Ed., *Sustainable Agriculture Reviews. International publishing Switzerland*. 19: 35-120.
- Brun L.O., Mathieu F., Gaudichon V., Marcillaud C., 1996. Lutte intégrée contre le scolyte du café en Nouvelle-Calédonie, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae). *ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, HZ80867, FA\*10314, F010053323*, 34 p.

- Bukomeko H., Jassogne L., Kagezi G.H., Mukasa D., Vaast P., 2018. Influence of shaded systems on *Xylosandrus compactus* infestation in Robusta coffee along a rainfall gradient in Uganda. *Agr. Forest. Entomol.* 20: 327-333.
- Burbano E., Wright M., Bright D.E., Vega F.E., 2011. New Record for the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei*, in Hawaii. *J. Insect Sci.* 11: 117.
- Bustillo A., Cardenas R., Villalba D., Benavides P., Orozco J., Posada F., 1998. Manejo integrado de la broca del cafe: *Hypothenemus hampei* Ferrari en Colombia. *Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)*, Chinchina', Colombia. 134 p.
- Bustillo A.E., Cardenas R., Posada F.J., 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) in Colombia. *Neotrop. Entomol.* 31: 635-639.
- Bustillo A.E., 2006. Una revision sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae. Scolytidae), en Colombia. *Revista Colombiana de Entomologia.* 32: 101-116.
- Butt T.M., Goettel M.S., 2000. Bioassays of entomopathogenic microbes and nematodes. *K.R.S. CABI Publishing*, New York. 320 p.
- Bytof G., Selmar D., Schieberle P., 2000. New aspects of coffee processing: how do the different post-harvest treatments influence the formation of potential flavour precursors? *J. Appl. Bot.* 74: 131-136.
- Celestino F. N., Pratisoli D., Machado L. C., Gonçalves dos Santos J. H. J., Vagner T. de Q., Leonardo M., 2016. Control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) with botanical insecticides and mineral oils. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá.* 38 (1): 1-8.
- Celestino F. N., Pratisoli D., Gonçalves dos Santos H. J. J., Machado L. C., 2020. *In vivo* compatibility between *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin and castor oil on *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Coffee Science.* e151771: 9 p. Doi: <https://doi.org/10.25186/v15i.1771>.
- Cerda R., 2017. Assessment of yield and economic losses caused by pests and diseases in a range of management strategies and production situations in coffee agroecosystems. Thèse de Doctorat, *Université de Montpellier SupAgro*, France. 150 p.
- Charrier A., Eskes A.B., 1997. Les caféiers. In : A. Charrier, M. Jacquot, S. Hamon, D. Nicolas (Eds.), *l'Amélioration des Plantes Tropicales. CIRAD & ORSTOM.* pp. 171-196.
- Chetan K., Surya P. S. and Harikesh B. S., 2013. *Beauveria bassiana*: Status, Mode of action, Applications and Safety issues. *Biotech Today.* 3 (1): 5 p.
- Chevalier A., 1947. Les Caféiers du globe. Fascicule III. Systématique des caféiers et faux-caféiers. Maladies et Insectes Nuisibles. *Paul Lechevalier*, Paris. 28 : 3 p.
- Chopra I.C., Gupta K.C., Nazir B.N., 1952. Preliminary study of antibacterial substance from *Melia azadirachta*. *Indian Journal of Medical Research.* 40: 511-515.
- Chougourou C. Daniel, Dellouh P. Lesline, Agbaka Alphonse, N'guessan K. Raphael, Gbenou Joachim D., 2012. Toxicité et effets répulsifs de certaines huiles extraites des plantes locales Béninoises sur la mouche domestique *Musca domestica* L. (Diptera Muscidae). *Journal of Applied Biosciences.* 55: 3953-3961.
- Cochereau P. et Potiaroa T., 1994. Lutte biologique contre le scolyte de la graine du caféier *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera : Scolytidae) en Nouvelle-Calédonie. *Fonds documentaire ORSTOM*, Cote : B\*5341, Ex : 1. 32 p.
- Contentin J. et Delaveau P., 2010. Café, thé, chocolat : Les bienfaits pour le cerveau et le corps. *Odile Jacob* (ed.), Paris. 272 p.

- Coste R., 1955. Les caféiers et les cafés dans le monde. *Les caféiers*, LAROSE (ed.), Paris, France. 1: 466 p.
- Cruz-Lopez L., Diaz-Diaz B., Rojas J. C., 2016. Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. *Arthropod-Plant Interactions*, Springer. 9 p. DOI:10.1007/s11829-016-9417-0.
- Cure R. J., R. D., Gutierrez P. A., Ponti L., 2020. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). *Scientific Reports*. 10: 12262. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68989-x>.
- Da Costa J. N. M., Silva R. B., Ribeiro P. A., 2002. Ocorrência de *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill., em broca-do-café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari) no estado de Rondônia, Brasil. *Acta Amazon*. 32 (3): 517-519.
- Dadi T. L., Dantew A., 2021. Review on Integrated Pest Management of Coffee Berry Disease and Coffee Berry Borer. *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 8 (1): 1001-1008.
- Dagnelie P., 2000. La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental. *Journal de la société française de statistique*. 141 (1-2): 5-29.
- Damon A., 2000. Review of the biology and control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research*. 90: 453-465.
- Dara Surendra K., 2019. The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age. *Journal of Integrated Pest Management*. 10 (1): 1-9.
- Daumas F., 1982. Méthodes de normalisation des données. *Revue de statistique appliquée*, France. 3 (4): 23-38.
- Decazy B., Castro M.C., 1990. El manejo integrado de la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Manuel técnico. Programa de generación y transferencia de tecnología, PROMECAFE. *Publicación Miscelaneadel IICA A1/GC0-90-01*, ISSN 0534-5391. 21 p.
- De Jussieu A., 1830. *Mem. Mus. Hist. Nat.*, Paris. 19 : 220 p.
- De Kouassi M., 2001. Les possibilités de lutte microbiologique en phase sur le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*. *Sciences de l'environnement*. 2: 1-35.
- De la Rosa W., Alatorre R., Barrera J. F., Toriello C., 2000. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) upon the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Scolytidae) Under Field Conditions. *Journal of Economic Entomology*. 93 (5): 1409-1414.
- De Oliveira C.N., Neves P.M.O.J. and Kawazoe L.S., 2003. Compatibility between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and insecticides used in coffee plantations. *Scientia Agricola*. 60 (4): 663-667.
- De Oliveira R.C., Neves P.M.O.J, 2004. Biological control compatibility of *Beauveria bassiana* with acaricides. *Neotrop. Entomol*. 33: 353-358.
- Depieri R.A., Martinez S.S., Ayres O. and Menezes J.R., 2005. Compatibility of the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes) with extracts of neem seeds and leaves and the emulsible oil. *Neotrop. Entomol*. 34: 601- 606.
- Depieri R.A., Martinez S.S., 2010. Redução da sobrevivência da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), e do seu ataque aos frutos de café pela pulverização com nim em laboratório. *Neotropical Entomology*. 39(4): 632-637.

- Duarte R.T., Gonçalves K.C., Espinosa D.J.L., Moreira L.F., De Bortoli S.A., Humber R.A., Polanczyk R.A., 2016. Potential of Entomopathogenic Fungi as Biological Control Agents of *Diamondback Moth* (Lepidoptera: Plutellidae) and Compatibility with Chemical Insecticides. *Journal of Economic Entomology*. pp. 1-8. doi:10.1093/jee/tow008.
- Dufour B.P., Picasso C., Gonzalez M.O., 2001. Development of a large capacity trap for controlling the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) in El Salvador. In: Proceedings, 19<sup>ème</sup> Colloque Scientifique International sur le Café, Trieste, 14-18 May, Italy. pp. 1-12.
- Dufour B.P., Frérot B., 2008. Optimization of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Col., Scolytidae), mass trapping with an attractant mixture. *J. Appl. Entomol.* 132: 591–600.
- Dufour B.P., 2013. Le scolyte des baies du caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.), présent en Martinique. *Cahiers d'Agriculture*. 22: 575-578.
- Duque O., Baker, 2003. Devouring Profit. The Socio-Economics of Coffee Berry Borer IPM. *The Commodities Press-CABI-CENICAFE*, Chinchina. 106 p.
- Dutta P., Bhattacharyya P. N., Sarmah S. R., Mausomi Madhab, Sandilya S.P., Gogoi D., Phukan Ivy, Begum R., Tanti A.J., Pathak S.K., 2016. *In vitro* studies on the compatibility assessment of certain agrochemicals with microbial biopesticides used in tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] of Assam, Northeast India. *Two and a Bud*. 63 (1): 13-16.
- Eichhoffs W.J., 1871. Neue exotische Tomiciden-Arten. *Berliner entomologische Zeitschrift*. 15: 131-137.
- Ennis K. K., 2019. Climate consequences for ecosystem functions, production and producer responses in coffee agroecosystems. *Thesis of Doctorate, University of California, Santa Cruz, USA*. 107 p.
- Escobar-Ramírez S., Grass I., Armbrecht I., Tschardt T., 2019. Biological control of the coffee berry borer - Main natural enemies, control success, and landscape influence. *Biological Control*. 136: 17 p.
- Estrada M.E., Camacho M.V., Benito C., 2007. The molecular diversity of different isolates of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. as assessed using intermicrosatellites (ISSRs). *Cell Mol. Biol. Lett.* 12: 240-252.
- Etoa Abena P., 2006. La libéralisation des Filières Cacao/Café du Cameroun et la transparence des marchés. Expert Meeting: "Enabling small commodity producers in developing countries to reach global markets". *United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) Commodities Branch*. 32 p.
- Farah A., Donangelo C.M., 2006. Phenolic compound in coffee. *Journal of Plant Physiology*. 18 (1): 23-36.
- Faye M., 2010. Nouveau procédé de fractionnement de la graine de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) sénégalais : production d'un biopesticide d'huile et de tourteau. *Thèse de Doctorat. Institut Nationale Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse, France*. 267 p.
- Ferrari J.A.G., 1867. Die Forst- und Baumzuchtschädlichen Borkenkäfer (Tomicides Lac.) aus der Familie der Holzverderber (Scolytides Lac.), mit besonderer Berücksichtigung vorzüglich der europäischen Formen, und der Sammlung des k. k. zoologischen Kabinetes in Wien. *Carl Gerold's Sohn, Vienna*. 95 p.



- Ferron P., Fargues J., Riba G., 1993. Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs. *Handbook of Applied Mycology vol. 2: Humans, Animals and insects*, 1991. 5: 65-92.
- Finney D.J., 1952. Probit Analysis. A statistical treatment of the sigmoid response curve. *Cambridge University Press*, 2<sup>nd</sup> ed. 331 p.
- Finney D.J., 1971. Probit analysis 3<sup>rd</sup> ed. *Cambridge University Press*, London. 318 p.
- Fisher S., Yates, 1963. Statistical tables for biological agricultural and medical research. 5<sup>th</sup> ed. *Longman Group Limited*, London. 146 p.
- Forim M.R., Fernandes M.F.G., Cass Q.B., Fernandes J.B., Vieira P.C., 2010. Simultaneous quantification of azadirachtin and 3-tigloylazadirachtol in Brazilian seeds and oil of *Azadirachta indica*: Application to quality control and marketing. *Anal Methods*. 2: 860-869.
- Fotsing J.M., 1999a. Croissance démographique et mise en culture des réserves forestières dans l'Ouest Cameroun. In: Population and Deforestation in the Humid Tropics, Bilsborrow R.E., Hogan D. (eds.). *International Union for Scientific Study of Population*, Liège, Belgique. pp. 76-98.
- Fotsing J.M., 1999b. Excursion dans les agroforêts de l'Ouest : pays Bamiléké et Bamoun. Carnet de tournée. *Colloque international l'homme et l'érosion du 9 au 19 décembre*, Yaoundé, Cameroun. 15 p.
- Fréchette B., Ziani J., Cormier D., Guertin C., 2009. Utilisation de *Beauveria bassiana* contre le charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar*, en verger de pommiers. *Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel (CRAM)*. 4 p.
- Gata-Gonçalves L., 2001. Propriedades Biocidas de Plantas de Origem Tropical: Caso da *Thevetia peruviana* Schum. *PhD. Thesis. Engenharia Agronomica Quinina*. Campos das Cebolas Lisboa. 133 p.
- Gata-Gonçalves L., Nogueira J.M.F., Matos O., Bruno De Sousa R., 2003. Photoactive extract from *Thevetia peruviana* with antifungal properties against *Cladosporium cucumerinum*. *Journal of photochemistry and photobiology*. 70 (1): 51-54.
- Gauthier N., 2010. Multiple cryptic genetic units in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae): evidence from microsatellite and mitochondrial DNA sequence data. *Biol. J. Linn. Soc.* 101: 113-129.
- Gauvin M. J., Bélanger A., Nébié R., Boivin G., 2003. *Azadirachta indica* : l'azadirachtine est-elle le seul ingrédient actif ? *Phytoprotection*. 84 (2) : 115-119 p.
- Gaviria J., Pedro P. P., Alonso G., 2020. Selection of strains of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (ascomycota: hypocreales) for endophytic colonization in coconut seedlings. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*. 36 (1): 3-13.
- Gholamnezhad Jalal, 2019. Effect of plant extracts on activity of some defence enzymes of apple fruit in interaction with *Botrytis cinerea*. *Journal of Integrative Agriculture*. 18 (1): 115-123.
- Gonzalez F., Tkaczuk C., Dinu M.M., Fiedler Z., Vidal S., Zchori-Fein E. and Messelink G.J., 2016. New opportunities for the integration of microorganisms into biological pest control systems in greenhouse crops. *Journal of Pest Science*. 89 (2): 295-311.
- Grassias M., Kammacher P., 1975. Observations sur la conjugaison chromosomique de *Coffea arabica* L. *Café Cacao Thé*. 19 (3): 177-190.
- Green P. W.C., Davis A.P., Cossé A. A., Vega F. E., 2015. Can coffee chemical compounds and insecticidal plants be harnessed for control of major coffee pests? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 27 p.

- Grdiša M., Gršić K., 2013. Botanical insecticides in plant protection. *Agric. Conspect. Sci.* 2: 85-93.
- Gutiérrez C.G., Maldonado M.B.G., 2010. Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. *Ra Ximhai*. 6 (1): 17-22.
- Guyot J. M., Séguier-Guis M., Duris D., 2003. Terres de café. *CIRAD-Magellan et Cie, Quae* ed., Montpellier, Paris. 150 p.
- Hagedorn, 1910. Wieder ein neuer Kaffeeschädling. *Entomologische Blätter*. 6: 1-4.
- Hallé F., Oldeman R., 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. *Monographie de Botanique et de Biologie Végétale 6<sup>e</sup> ed. Masson*, Paris. 6 : 192 p.
- Harvey A. C., Saborio-Rodríguez M., Martínez-Rodríguez R. M., Viguera B., Chain-Guadarrama A., Vignola R., Alpizar F., 2018. Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security*. 7: 57. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>.
- Hassan S.A., 1989. Testing methodology and the concept of the IOBC/WPRS working group. In: Pesticides and Non- Target invertebrates (P.C Jepson, ed.), Intercept, Wimborne, Dorset. pp. 1-8.
- Hernandez-Paz M., 1983. Campana nacional contra la broca adel fruto del cafeto en Guatemala. Pub. en « La broca y su control ». IICA/G-4-83. pp. 14-24.
- Hernandez M.M., Martínez-Villar E., Peace C., Pérez-Moreno I., Marco V., 2012. Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with flufenoxuron and azadirachtin against *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.*, Springer. 58: 395-405.
- Heviefio G. A., Nyamador S. W., Dagbozoukou E. D., Tamò M., Glitho I. A., 2018. Influence de la température et de la nature du substrat sur la production en masse et la conservation de *Beauveria bassiana* B., champignon entomopathogène. *Science de la vie, de la terre et agronomie, REV. RAMRES*. 6 (2): 36-44.
- Humber R.A., 1997. Fungi: Identification. In: Lacey L. (ed.), Manual of Techniques in Insect pathology. *Academic press*, New York. pp. 153-185.
- Humber R.A., 2005. Entomopathogenic Fungal Identification. *Originally prepared for a workshop jointly sponsored by the American Phytopathological Society and Entomological Society of America Las Vegas, Nevada – 7 November 1998*. 32 p.
- Hussein K.A., Abdel-Rahman M.A.A., Abdel-Mallek A.Y., El-Maraghy, Joo J.H., 2010. Climatic factor interference with the occurrence of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in cultivated soil. *African Journal of Biotechnology*. 9: 7674-7682.
- Huxley R., Man Ying Lee C., Bars F.A.I.S., 2009. Coffee, decaffeinated coffee, and tea consumption in relation to incident type 2 diabetes mellitus. *Archive International Medecin*. 169: 2053-2063.
- Ibiyemi S.A., Fadipe V.O., Akinremi O.O., Bako S.S., 2002. Variation in oil composition of *Thevetia peruviana* Juss 'Yellow oleander' fruit seed. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 6: 61-66.
- Infante F., Castillo A., Pérez J., Vega F.E., 2013. Field-cage evaluation of the parasitoid *Phymastichus coffea* as a natural enemy of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Biol. Control*. 67 (3): 446-450.
- Infante F., Pérez J., Vega F., 2014. The coffee berry borer: the centenary of a biological invasion in Brazil. *Braz. J. Biol.* 74: 125-126.

- Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M., Strasser H., 2001. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. *In: Butt T.M., Jackson C.W., Magan N. (eds.), Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 23-55.*
- Isman M.B., 2006. Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.* 51: 45-66.
- Jaramillo J., Chabi-Olaye A., Kamonjo C., Jaramillo A., Vega F.E., Poehling H.M., Borgemeister C., 2009. Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *PLoS ONE.* 4 (8): 11 p.
- Jaramillo J.L., Montoya Esther, Benavides P., Gongora Carmenza E.B., 2015. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de broca del café en frutos del suelo. *Rev. Colomb. Entomol.* 41 (1): 95-104.
- Jaronski S.T., 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl.* 55 (1): 159-185.
- Jayarama K., 1999. Manuel de statistique pour la recherche forestière. *Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).* 242 p.
- Johnson A. M., Fortna S., Hollingsworth G. R., Manoukis C. N., 2019. Postharvest Population Reservoirs of Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) on Hawai'i Island. *Journal of Economic Entomology.* 112 (6): 2833-2841.
- Johnson A. Melissa, Ruiz-Diaz P.C., Manoukis C.N., Jose C. V. R., 2020. Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*), a Global Pest of Coffee: Perspectives from Historical and Recent Invasions, and Future Priorities. *Insects.* 11: 882. doi:10.3390/insects11120882.
- Joly Arnaud, 2010. Intoxication digitale non médicamenteuse : un risque non négligeable. Mémoire de thèse de docteur en médecine générale, *Faculté de médecine de Nancy, Université Henri Poincaré Nancy 1, France.* 132 p.
- Kacko Agrippine, 2021. Aspects épidémiologique, physiologique et biochimique de l'interaction *Coffea arabica* L. / *Colletotrichum Kahawae*, agent causal de l'antracnose des baies. Mémoire de Doctorat, *Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun.* 180 p.
- Kengne J., 1984. Contribution à l'étude botanique de quelques plantes ornementales de Yaoundé. *Mémoire de Maitrise, Université de Yaoundé I.* 90 p.
- Kosma P., Ambang Z., Begoude B.A.D., Ten Hoopen G.M., Kuate J., Amougou A., 2011. Assessment of nematicidal properties and phytochemical screening of neem seed formulations using *Radopholus similis* parasitic nematode of plantain in Cameroon. *Crop protection.* 30: 733-738.
- Kosma P., 2011. Etude de la sensibilité des cultivars de bananier plantain à *Radopholus similis* (Cobb) Thorne (nématode) et essais de protection aux extraits de graines de neem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Mémoire de Doctorat. Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Physiologie et Végétales, Cameroun.* 143 p.
- Kouagang D. J., 2016. Importance des plantes médicinales dans la santé humaine : cas du neem (*Azadirachta indica*) à Garoua. Mémoire de fin de 3<sup>e</sup> année de l'Ecole Normale des Instituteurs d'Enseignement Technique de Ngaoundéré. 70 p.
- Kuruचेve V., Echilan J.G., Jayaraj J., 1997. Screening of higher plants for fungi toxicity against *R. solani* in vitro. *Indian Phytopathology.* 50 (2): 235-241.

- Labouisse J.P, Adolphe C., 2012. Conserver et gérer les ressources génétiques du caféier Arabica (*Coffea arabica* L.) un défi pour l'Éthiopie. *Cahiers d'Agriculture*. 21: 99-105.
- Lacey L.A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D.I., Frutos R., Brownbridge M., Goettel M.S., 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*. 132: 1-41.
- Längle T., 2006. *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. – A biocontrol agent with more than 100 years of history of safe use. *Pest Management Centre, Agriculture and Agri-Food, Canada*. 3 p.
- Lashermes P., Combes M., Robert J., Trouslot P., D'Hont A., Anthony F., Charrier A., 1999. Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular & General Genetics*. 261 (2): 259-66.
- Lazar P., 1968. Les essais biologiques. *Revue de statistique appliquée, Société française de statistique*, France. 16 (3): 5-35.
- Lengai G.M.W., Muthomi J.W., Mbega E.R., 2020. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African*. 7 (2020): e00239. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239>.
- Le Pichon V., Romet L., Lambion J., 2008. Approches multi-niveaux de la gestion des bio-agresseurs : moyen d'analyse des expérimentations du Groupe de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB). *Innovations Agronomiques*. 4: 91-99.
- Leroy J., 1980. Evolution et taxogenèse chez les caféiers (*Coffea* L., *Psilanthus* Hook. f. et *Nostolachma* Durand). Hypothèse sur leur origine. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences ? France. *Serie D: Sciences naturelles*. ISSN: 0567-655X.
- Lipa Deb, Rajesh T., Majumdar D. and Tombisana R.K., 2017. Evaluation of biological compatibility of *Beauveria bassiana* with fungicides and botanicals. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. SP1: 1120-1124.
- Li Z.Z., 1988. A list of insect hosts of *Beauveria bassiana*. In: Li Y.W., ed. Study and application of entomogenous fungi in China. *Academic Periodical Press*, Beijing, China. 1: 241-255.
- Li Z.Z., Alves S.B., Roberts D.W., Fan M., Delalibera I. Jr., Tang J., Lopes R.B., Faria M., Rangel D.E.N., 2010. Biological control of insects in Brazil and China: History, current programs and reasons for their successes using entomopathogenic fungi. *Biocontrol Sci. Technol.* 20: 117-136.
- Lopes R.B., Michereff-Filho M., Tigano M.S., Oliveira P.M., Neves J., López E.L., Fancelli M., 2011. Virulence and horizontal transmission of selected Brazilian strains of *Beauveria bassiana* against *Cosmopolites sordidus* under laboratory conditions. *Bulletin of Insectology*. 64 (2): 201-208.
- Louarn J., 1972. Introduction à l'étude génétique des *Mascaroffea* : Nouvelles déterminations de leurs nombres chromosomiques. *Café Cacao Thé*. 16: 312-315.
- Louarn J., 1992. La fertilité des hybrides interspécifiques et les relations génomiques entre caféiers diploïdes d'origine africaine (Genre *Coffea* L. sous-genre *Coffea*). *Multigr. Thèse en Sciences Biologiques Fondamentales et Appliquées, Université de Paris-Sud*, France. 200 p.
- Ludmilla I., Cynthia D., Mounira E.K., Rasha D., Nour E., Said I., 2017. Environmentally Sustainable Production of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* for

- Control of *Tuta absoluta*. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2 (1): 1-12.
- Mahob R., Babin R., Dibog L., 2006. Test de piège Brocarp au Cameroun, pour améliorer la lutte contre le scolyte des baies du caféier *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae). In : Bella Manga, Kamga André, Omokolo Ndoumou D., Havard Michel éd., Atelier de présentation des résultats des opérations de recherche participative, 21-23 février, Yaoundé, Cameroun. Cirad – Agritop, <https://agritop.cirad.fr/540864/>.
- Mahot H.C., Membang G., Hanna R., Begoude B.A.D., Bagny Beilhe L., Bilong B.C.F., 2019. Laboratory assessment of virulence of Cameroonian isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against mirid bugs *Sahlbergella singularis* Haglund (Hemiptera: Miridae). *African Entomology*. 27 (1): 86-96.
- Mala W.A., Geldenhuys C.J., Ravi P., Manga Essouma F., 2020. Chapter 10: Forest–Agriculture in the Centre–South Region of Cameroon: How Does Traditional Knowledge Inform-Integrated Management Approaches? In: Alexandros Gasparatos, Abubakari Ahmed, Merle Naidoo, Alice Karanja, Kensuke Fukushi, Osamu Saito, Kazuhiko Takeuchi (eds.). Sustainability Challenges in Sub-Saharan Africa I: Continental Perspectives and Insights from Western and Central Africa. *Springer Nature*, Singapour. pp. 317-353.
- Mamza W.S., Zarafi A.B. and Alabi O., 2008. In-vitro evaluation of six fungicides on radial mycelia growth and re-growth of *Fusarium pallidoroseum* isolated from Castor (*Ricinus communis*) in Samaru, Nigeria. *Afri. J. Gen. Agric*. 4 (2): 65-71.
- Manga Amougou M., Amougou A.M., Abolo D., Amang à Mbang J., Mouen Bedimo J., Bidzanga Nomo L., Akoume D. J., 2013. Structure et composition floristiques des agroforêts à base de caféiers arabica (*Coffea arabica* L.) dans les hauts plateaux de l'Ouest du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (4): 1474-1489.
- Masanza M., 2003. Effect of sanitation on banana weevil population and associated damage. *Summary of PhD thesis*, Wageningen University, the Netherlands. *InfoMusa*. 12: 36-38.
- Mathieu F., Brun L.O., Frérot B., Suckling D.M., Frampton C., 1999. Progression in field infestation is linked with trapping of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *J. Appl. Entomol*. 123: 535-540.
- Mawussi Gbénonchi, 2008. Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Thèse de Doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, *Université de Toulouse*, France. 207 p.
- Mawussi G., Vilarem G., Raynaud C., Merlina G., Agbéklodji K., Gbongli, Wegbe K., Sanda K., 2009. Chemical Composition and Insecticidal Activity of *Aeollanthus pubescens* Essential Oil Against Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 12 (3): 327-332
- Mbondji M.P., 1988. Etude épidémiologique d'*Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae), ravageur des baies du caféier, dans deux régions du Cameroun. *Naturaliste can. (Rev. Ecol. Syst.)*. 115: 245-249.
- Mboussi Serge Bertrand, Ambang Zachée, Angele Ndogho, Jules Patrice Ngoh Doo and Manga Essouma François, 2016a. In vitro Antifungal Potential of Aqueous Seeds Extracts of *Azadirachta indica* and *Thevetia peruviana* against *Phytophthora megakarya* in Cameroon. *Journal of Applied Life Sciences International*. 4 (4): 1-12.

- Mboussi S.B., Ambang Z., Ngoh Dooh J.P., 2016b. Aqueous extracts effects of seeds of *Thevetia peruviana* and *Azadirachta indica* on the development of *Phytophthora megakarya* in locality of Biakoa (Cameroon). *Journal of Applied Biosciences*. 105: 10042-10054.
- Mboussi Serge Bertrand, 2016. Efficacité des extraits aqueux des poudres de graines de *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum. et *Azadirachta indica* A. Juss. contre *Phytophthora megakarya* et *Sahlbergella singularis*. Mémoire de doctorat, *Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I*. 178 p.
- Mboussi Serge Bertrand, Ambang Zachée, Kakam Stéphanie, Leïla Bagny Beilhe, 2018. Control of cocoa mirids using aqueous extracts of *Thevetia peruviana* and *Azadirachta indica*. *Cogent Food & Agriculture*. 4: 13 p.
- Medeiros Flávio Henrique Vasconcelos, Silva Júlio Carlos Pereira, 2019. Chapter 36. Plant Diseases. In: B. Souza *et al.* (eds.), *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical. Springer Nature Switzerland Agroecosystems*. pp. 451-466.
- Membang G., 2013. Pathogénicité des champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* contre le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. Mémoire de Master, *Département de Biologie et Physiologie Végétales, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun*. 63 p.
- Membang G., Ambang Z., Mahot H.C., Kuate A.F., Fiaboe K.K.M., Hanna R., 2020. *Cosmopolites sordidus* (Germar) susceptibility to indigenous Cameroonian *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) isolates. *J. Appl. Entomol.* 00 : 1-13.
- Membang G., Ambang Z., Mahot C.H., Kuate Fotsa A., Komi Kouma M.F., Hanna R., 2021. Thermal response and horizontal transmission of Cameroonian isolates of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* – Candidates for microbial controls of the banana root borer *Cosmopolites sordidus*. *Fungal Ecology*. 50(5): 101042. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2021.101042>.
- Messi I.M., Manga Essouma F., Voula A.V., Essouma M.J.E., Begoude B.A.D., 2018. In vitro study of the compatibility of six fungicides with two strains of *Trichoderma asperellum*, biocontrol agents used against cacao black pod disease in Cameroon. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 24 (4), 1834-1848.
- Meyling N.V., Eilenberg J., 2007. Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: potential for conservation biological control. *Biological control*. 43: 145-155.
- Mkenda P., Mwanauta R., Stevenson P.C., Ndakidemi P., Mtei K. and Belmain S.R., 2015. Extracts from field margin weeds provide economically viable and environmentally benign pest control compared to synthetic pesticides. *PLoS ONE*. 10 (11): e0143530.
- Mohan M.C., Reddy N.P., Devi U.K., Kongara R., Sharma H.C., 2007. Growth and insect assays of *Beauveria bassiana* with neem to test their compatibility and synergism. *Biocontrol Science and Technology, Taylor and Francis Group*. 17 (10): 1059-1069.
- Moreira M.D., Picanço M.C., Cláudio de Almeida L.B., Guedes R.N.C., M. Ribeiro de Campos, G.A. Silva, J.C. Martins, 2007. Plant compounds insecticide activity against Coleoptera pests of stored products. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 7 (2007): 909-915.
- Mota L.H.C., Silva W. D., Sermarini R.A., Demétrio C.G.B., Bento J.M.S., Delalibera I.J.R., 2017. Autoinoculation trap for management of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) with *Beauveria bassiana* (Bals.) in coffee crops. *Biological Control*. 111 (1): 32-39.

- Mouen Bedimo J.A., Njiayouom I., Biéysse D., Ndoumbe Nkeng M., Cilas C., Nottoghem J.L., 2008. Effect of shade on Arabica coffee berry disease development: working towards an agroforestry system to reduce disease impact. *Phytopathology*. 98 (12): 1320-1325.
- Mouen Bedimo J.A., Dufour B., Cilas C., Avelino J., 2012. Effets des arbres d'ombrage sur les bioagresseurs de *Coffea Arabica*. *Cahiers Agricultures*. 21: 89-97.
- Mouffok B., Raffy E., Urruty N., Zicola J., 2007. Le neem, un insecticide biologique efficace. Projet tutoré du S2, *Département génie biologique, Université Paul Sabatier, France*. 16 p.
- Mugnai L., Bridge P.D. and Evans H.C., 1989. Achemotaxonomic evaluation of the genus *Beauveria*. *Myc. Res.* 92: 199-209.
- Mugo H.M., 2006. Effective application of chemical strategy against Coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, infestation in Kenya. *Paper presented during International conference on coffee science 11<sup>th</sup>-15<sup>th</sup> September, Montpellier, France*.
- Muller R. A., Berry D., Avelino J., Biéysse D., 2004. Coffee diseases. In: *Coffee Growing, Processing, Sustainable Production* (J. N. Wintgens, Eds.). Pp 493-545.
- Mvondo Nganti D., Manga Essouma F., Kone Nsangou A.N., Ndogho P.A., Ambang Z., 2019a. Pathogenicity and in vitro control of *Lasiodiplodia theobromae* and *Fusarium* sp., pathogens associated with cocoa dieback in Cameroon. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.* 6 (7): 1-13.
- Mvondo Nganti Dorothée, 2019b. Etiologie, épidémiologie et essais de quelques méthodes de lutte contre le dieback du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Mémoire de thèse doctorat, *Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé 1, Cameroun*. 199 p.
- Ngoth Dooh J.P., Ambang Z., Tih Ewola A., Heu A., Kosma P., Maho Yalen E.J., Ghogomu Tih R., 2014a. Screening and the effect of extracts of *Thevetia peruviana* on the development of *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of cassava anthracnose disease. *E3 J. Agric. Res. Develop.* 4 (4): 54-65.
- Ngoth Dooh J.P., Ambang Z., Ndongo B., Heu A., Kuate T.W., 2014b. Effect of extracts of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum on development of *Phytophthora megakarya* causal agent of black pod disease of cocoa. *J. Appl. Biosci.* 77: 6564-6574.
- Nguema Ndoutoumou P., Ondo O.P., Gatarasi T., Okoumba J.S.O., 2015. Effet des extraits de *Jatropha curcas* L. et de *Tabernanthe iboga* Baill. dans la lutte contre le scolyte du caféier (*Hypothenemus hampei* Ferrari) au Sud-Est du Gabon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 9 (6): 2764-2775.
- Nunez Rodríguez J.J., Carvajal Rodríguez J.C., Carrero D.M., Ramírez Novoa L.L., Sánchez Frank J.V., 2021. Representations of Colombian Andean farmers on climate change and mitigation and adaptation strategies. *Revista de Economía e Sociología Rural*. 59(2): e220439, 18 p. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220439>.
- Okolle J.N., Lappers L. and Ngando J., 2007. Preliminary test for the viability and pathogenicity of commercial *Beauveria bassiana* strain GHA (Botanigard 22 WP) on banana borer weevils (*Cosmopolites sordidus*). *Document of CARBAP/AGROVHEM*. 4 p.
- Opara E.U., Wokocho R.C., 2008. Efficacy of Some Plant extracts on the *in-vitro* and *in-vivo* control of *Xanthomonas campestris* P.v. Vesicatoria. *Agric. J. Medwell J.* 3 (3): 163-170.
- Paiva-Guimarães A.G.L., Freire K.R.L., Santos S.F.M., Almeida A.F., Sousa A.C.B., 2019. Alternative substrates for conidiogenesis of the entomopathogenic fungus *Beauveria*

- bassiana* (Bals) Vuillemin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Brazilian Journal of Biology*. 9 p.
- Pascalet P., 1939. La lutte biologique contre *Stephanoderes hampei* ou scolyte du caféier au Cameroun. *Rev. Bot. Appl. et d'Agr. Trop.* 219: 753-764.
- Patil B.V., Naik M.K., Manujnath H., Hosamani A.C., 2014. Chapter 23: Formulation and compatibility of PGPR with pesticides for suppression of insect pests. *In: Recent Advances in Biofertilizers and Biofungicides (PGPR) for Sustainable Agriculture. Cambridge Scholars Publishing.* pp. 269-280.
- Pendergrast M., 2010. Uncommon Grounds: The History of Coffee Market Liberalisation and the Implications for Producers in Brazil, Guatemala and India. Oxford University Press on behalf of the World Bank (consulté le 18 décembre 2017).
- Perez-Lachaud, Hardy Ian C.W., Lachaud J.P., 2002. Insect gladiators: competitive interactions between three species of bethylid wasps attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Biological Control*. 25: 231-238.
- Pinard F., 2007. Sur les chemins des caféiers. *Études rurales*. 2: 15-34.
- Petelot A., 1953. Plantes médicinales du Cambodge du Laos et du Vietnam. Tome II : *Caprifoliacées à Plantaginacées. Centre national de recherches scientifiques et techniques. Archives des recherches agronomiques et pastorales au Vietnam.* 284 p.
- Pohe J., Agneroh T.A., 2013. L'huile des graines de neem, un fongicide alternatif à l'oxyde de cuivre dans la lutte contre la pourriture brune des cabosses de cacaoyer en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 62: 4644-4652.
- Posada F.F.J., Salazar E.H.M., Aristizabal A.L.F., 2003. Taller de evaluación de *Beauveria bassiana* con caficultores experimentadores para el control de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Ver. Colomb. Entomol.* 29 (1): 63-68.
- Posada F., Aimé M.C., Peterson S.W., Rehner S.A., Vega F.E., 2007. Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *British Mycological Society, Elsevier Ltd.* 3: 748-757.
- Potrich M., Dallacort S., Luckman D., Lozano R. E., Pegorini S. C., Simionatto D., 2018. Compatibility of *Beauveria bassiana* and alternative phytosanitary products. *Journal of Applied Microbiology*. 10 p.
- Puri H.S., 1999. Neem the divine tree, *Azadirachta indica*. 1079 LH Amsterdam.
- Raguraman S., Kannan M., 2014. Non-target Effects of Botanicals on Beneficial Arthropods with Special Reference to *Azadirachta indica*. *In: Singh D. (ed.), Advances in Plant Biopesticides. Springer, India.* pp. 173-205.
- Razafindratiiana Eleonore, 2006. Champignon entomopathogène et huiles de formulation : Test de formulation des spores de champignon entomopathogène dans les différents types d'huiles végétales existantes à Madagascar. *Projet DPV/GTZ, documentation DEPSE.* pp. 332-337.
- Reed D.K., Freedman B., Ladd T.L., 1982. Insecticidal and antifeedant activity of neriifolin against Coldling moth, Striped cucumber beetle and Japanese beetle. *J. Econ. Entomol.* 75 (6): 1093-1097.
- Regnault-Roger C., 2007. Biopesticides : une alternative aux pesticides conventionnels ? *Mer, Littoral, Lacs et Cours d'eau*. 73: 60-64.
- Ribeiro L. P., Blume E., Bogorni P. C., Dequech S. T.B., Brand S. C., Junges E., 2012. Compatibility of *Beauveria bassiana* commercial isolate with botanical insecticides utilized in organic crops in southern Brazil. *Biological Agriculture & Horticulture*. 28 (4): 223-240.



- Rodriguez-Lagunes D.A., Tajada A.L., Diaz D.R., Maciel C.R., Mendoza J.V., Roamn E.B., Colorado S.R. and Velasco E.P., 1997. Compatibility of *Beauveria bassiana* and aqueous extracts of neem (*Azadirachta indica*) to control coffee borer (*Hypothenemus hampei*). *Manejo Integrado de Plagas*. 44: 14-19.
- Rodriguez D., Cure J.R., Gutierrez A.P., Cotes J.M., 2017. A coffee agroecosystem model: III. Parasitoids of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Ecological Modelling*. 363: 96-110.
- Rondot Y. and Reineke A., 2013. Potential of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as an endophyte in grapevine *Vitis vinifera*. *IOBC-WRPS meeting "Integrated Protection and Production in Viticulture" Ascona, 16th Oct.* 21 p.
- Rova J.H.E., Depletes P.G., Andersson L., Albert V.A., 2002. A trnL-F cpDNA sequence study of the *Condamineae-Rondeletieae-Sipaneeae* complex with implications on the phylogeny of the *Rubiaceae*. *American Journal of Botany*. 89: 145-159.
- Ruiz C.R., 1995. Efectos de la fenología del fruto del café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café : *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Tesis (Ingeniero Agronomo), Universidad de Caldas, Colombia*. 78 p.
- Samuels R.I., Pereira R.C., Gava C.A.T., 2002. Infection of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) by Brazilian isolates of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Biocontrol Science and Technology*. 12 (5): 631-635.
- Samy M.A., 2018. The Potential of Neem, Pongamia Oil and Garlic Extracts Formulation for an Effective Management of Berry Borers in Organic Coffee Plants. *Int. J. Food Biosci.* 1 (1): 49-55.
- Sanchez- Pena S.R., Lara J.S.J., Medina R.F., 2011. Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in saltillo, Mexico, and their virulence towards thrips and whiteflies. *Journal of insect science*. 11: 1-10.
- Sanivada S.K., Challa M., 2014. Mycolytic effect of extracellular enzymes of entomopathogenic fungi to *Colletotrichum falcatum*, red rot pathogen of sugarcane. *J. Biopesticides*. 7: 33-37.
- Scalbert A., 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*. 20: 875-83.
- Schenk Peter, 2001. Effets de l'huile de neem sur l'acarien *varroa* et les abeilles. *Suisse apiculture*, Suisse. 98 (3): 114-119.
- Schmutterer H., 1995. The Neem Tree: Source of Unique Natural Products for Integrated Pest Management, Medicine, Industry and Other Purposes. *VCH, Weinheim, Germany*. pp. 1-696.
- Shapiro S.S., Wilk M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 52: 591-611.
- Shah P.A., Pell J.K., 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 61 (5/6): 413-423.
- Serrato-Diaz L.M., Mariño Y.A., Bayman P., 2020. Pathogens Causing Anthracnose and Fruit Rots of Coffee Associated with the Coffee Berry Borer and the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* in Puerto Rico. *Phytopathology*. 110 (9): 1541-1552.
- Souza J.C., Reis P.R., Silva R.A., Carvalho Tafde, Pereira A.B., 2014. Controle químico de broca-do-café com Cyantraniliprole. *Coffee Science*. 8 (4): 404-410.
- Stevenson P.C., Isman M.B., Belmain S.R., 2017. Pesticidal plants in Africa: a global vision of new biological control products from local uses. *Ind. Crops Prod.* 110: 2-9.

- Stoll, 1999. Protection naturelle des végétaux en zone tropicale. *CTA. AGRECOL*. pp. 95-99.
- Swaine J.M., 1909. Catalogue of the described Scolytidae of America, north of Mexico. 24<sup>th</sup> Report of the State Entomologist on Injurious and other Insects of the State of New York 1908. *Appendix B., Education Department Bulletin no. 455, New York State Museum, Museum Bulletin*. 134: 76-159.
- 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. *Chem. Pharm. Bull.* 50: 630-635.
- Thungrabeab M., Tongma S., 2007. Effect of Entomopathogenic Fungi, *Beauveria bassiana* (Balsam) and *Metarhizium anisoplie* (Metsch) on Non-Target Insects. *KMITL Sci. Technol. J.* 7: 8-12.
- Toledo A.V., Franco M.E.E., Medina R., Ana M.M.R.L., Balatti P.A., 2018. Assessment of the genetic diversity of Argentinean isolates of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) using ISSR markers. *Journal of King Saud University – Science*. 31 (2019): 1264-1270.
- Usha J., Naren B.M., Padmaja V., 2014. Detection of compatibilty of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (bals.) Vuill. With pesticides, fungicides and botanicals. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 4 (2): 613-624.
- Van D.R.M., Hu F.B., 2005. Coffee consumption and risk of type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 294 (1): 97-104.
- Van L.J.C., Bolckmans K., Köhl J. *et al.*, 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*. 63 (1): 39-59.
- Varela A., Morales E., 1996. Characterization of some *Beauveria bassiana* isolates and their virulence toward the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *J. Invertebr. Pathol.* 67: 147-152.
- Vega F.E., Infante F., Castillo A., Jaramillo J., 2009. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrest. Arthropod Rev.* 2: 129-147.
- Vega F.E., Simpkins A., Bauchan G., Infante F., Kramer M., Land M.F., 2014. On the eyes of male coffee berry borers as rudimentary organs. *PLoS ONE*. 9 (1): e85860.
- Vega F.E., Infante F., Johnson A.J., 2015. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer. *In: Vega F.E., Hoffstetter R.W. eds., Bark Beetles. Biology and Ecology of Native and Invasive Species. Elsevier/Academic Press. London, UK. pp. 427-494.*
- Vera J.T., Montoya E.C., Benavides P., Góngora C.E., 2011. Evaluation of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as a control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) emerging from fallen, infested coffee berries on the ground. *Biocontrol Science and Technology*. 21 (1): 1-14.
- Vidal, 1997. Variabilité et potentialités de l'hyphomycète. *Thèse Univ. Montpellier II, France*. 148 p.
- Vijayalakshmi C.K, Tintumol K., Vinodkumar P.K, 2014. Effect of few Commercial Neem-Based Insecticides in the Management of Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). *The Journal of Zoology Studies*. 1 (1): 22-25.
- Voula V.A., Manga Essouma F., Messi Ambassa L.M., Mahob J. R., Begoude Boyogueno A.D., 2018. Impact of mirids and fungal infestation on dieback of cocoa in Cameroon. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6 (5): 240-245.

- Vuillemin P., 1912. Sur une maladie des amygdalées observée en Lorraine en 1887. In : *Bulletin de la Société mycologique de France*. 4 : XL-XLVII.
- Wahab S., 2006. An overview on the biotechnological approaches in the control of crop pests. *Journal of Eco-friendly Agriculture*. 1 (2): 89-99.
- Wang J., Yang L., Qiu X., Liu Y., Zhou W., Wan Y., 2013. Diversity analysis of *Beauveria bassiana* isolated from infected silkworm in southwest China based on molecular data and morphological features of colony. *World J. Microb. Biotechnol.* 29: 1263-1269.
- Wang H., Peng H., Li W., Cheng P., Gong M., 2021. The toxins of *Beauveria bassiana* and strategies to Improve their Virulence to Insects. *Frontiers Microbiology*. 12: 705343, 11 p. Doi: 10.3389/fmicb.2021.705343.
- Wiriyadiputra S., Cilas C., Morin J-P., 2008. Effectiveness of the Brocap Trap in Controlling the Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.) in Indonesia. *ASIC Montpellier. International Conference on Coffee Science*. 22, Campinas, Brésil, 14-19 Septembre. pp. 1405-1408. Cirad - Agritrop (<https://agritrop.cirad.fr/550189/>).
- Woodill A.J., Nakamoto S.T., Kawabata A.M., Leung P., 2021. Optimal spraying strategy to combat the coffee berry borer: A dynamic approach. *Journal of Agriculture and Food Research (JAFR)* 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100125>.
- Wraight S., Galaini-Wraight S., Howes R., Castrillo L., Carruthers R., Smith R., Matsumoto T., Keith L., 2018. Prevalence of naturally-occurring strains of *Beauveria bassiana* in populations of coffee berry borer *Hypothenemus hampei* on Hawai'i Island, with observations on coffee plant *H. hampei*-*B. bassiana* interactions. *J. Invertebr. Pathol.* 156: 54-72.
- Xlstat Life Software, 2014. Version 2014.1.01. Addinsoft SARL Paris, France. <http://www.xlstat.com>.
- Yi-Fang C., Yumin C., Richard M., Black P.H., Brown B.J., Lyle, Rui., Hai, Liu., Boxin O.U., 2011. Type 2 diabetes-related bioactivities of coffee: Assessment of antioxidant activity, NF-kB inhibition, and stimulation of glucose uptake. *Food chemistry*. 124: 9 p.
- Yoon M., Cha B., Kim J., 2013. Recent trends in studies on botanical fungicides in agriculture. *Plant Pathol. J.* 1: 1-9.
- Zacchino, Santecchiac, Lopez S., Galtusos, Manõz J., De D., Gruañes A., Vivote, Gruañes N., Del C., Salimas A., De Ruiz R.E. et Ruiz S., 1998. *In vitro* antifungal evaluation and studies on mode of action of eight selected species from Argentine flora. *Phytomédécine*. 5 (5): 339-395.
- Zampiroli R., Cleyton B.A., Bruno S.V., Jair R.P., Paula C.N.R., Luiz F.H.J., 2019. Effect of phytosanitary spray solution storage time on the viability of *Beauveria bassiana* conidia. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, Brazil*. 49: e55513. 6 p.
- Zimmermann G., 2007. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*. 17 (1): 553-596.
- Ziska H.L., Bradley A.B., Wallace D.R., Barger T.C., LaForest H.J., Choudhury A.R., Garrett A.K., Vega E.F., 2018. Climate Change, Carbon Dioxide, and Pest Biology, Managing the Future: Coffee as a Case Study. *Agronomy*. 8 (152): 21 p.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Publications scientifiques.

#### ➤ *Articles publiés*

1. **MANGA ESSOUMA François**, VOULA Valteri Audrey, KONE NSANGOU Abdou Nourou, MVONDO NGANTI Dorothée, AMBANG Zachée, 2021. Coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari: Cultural control and *in vitro* effects of kernel extracts of *Azadirachta indica* A. Juss. and *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum. *European Scientific Journal*. 17(34): 12. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n34p12>.
2. **Manga Essouma François**, Ndo Eunice Golda Danièle, Voula Valteri Audrey, Mvondo Nganti Dorothée, Assena Laure Huguette, Ambang Zachée, 2021. Isolation of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) from the soils of coffee fields and insecticide activity against *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Biopesticides*. 14(2): 141-153.

#### ➤ *Conférences et séminaires*

- 1- 19 Novembre 2020, Yaoundé : Présentation des travaux recherche menés par les chercheurs du DP-Agroforesterie/CIRAD.
- 2- 18-22 Novembre, 2019, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte-d'Ivoire : 23<sup>rd</sup> meeting of scientific conference of African Association of Insect Scientists (AAIS).
- 3- 26-29 août 2019, Yaoundé : Atelier de formation sous-régional sur le Conseil Scientifique aux Gouvernements et CONFCAYS.
- 4- 15 octobre 2018 à Yaoundé : Séminaire de présentation des travaux des étudiants venant des institutions partenaires du DP-Agroforesterie/CIRAD Cameroun.



## Annexe 2 : Financements mobilisés pour la réalisation de cette étude.

<p><b>IFS</b> INTERNATIONAL FOUNDATION FOR SCIENCE</p> <p style="text-align: right;"><b>A</b></p> <p><b>RESEARCH GRANT AGREEMENT NO. I-1-C-6256-1</b> Date: 2019-01-11</p> <p style="text-align: right;"><b>IFS</b> INTERNATIONAL FOUNDATION FOR SCIENCE 2019 -04- 04</p> <p>(1) Grant: 12000 USD          (2) Investigator: François MANGA ESSOUMA          (3) Project: Effets du champignon <i>Beauveria bassiana</i> (Bals.) Vuill. et des extraits de poudre de graines de <i>Thevetia peruviana</i> Metsh. et <i>Azadirachta indica</i> A. Juss sur le scolyte des baies de café <i>Hypothenemus</i> sp.          (4) Institution: Centre Régional de Recherche Agricole de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) - Cameroun          (5) Specifications for the Grant:</p> <table border="1"> <tr><td>Equipment</td><td>4396 USD</td></tr> <tr><td>Expendable supplies</td><td>1273 USD</td></tr> <tr><td>Literature</td><td>0 USD</td></tr> <tr><td>Travel</td><td>3000 USD</td></tr> <tr><td>Fieldwork/Manpower</td><td>2429 USD</td></tr> <tr><td>Other costs</td><td>902 USD</td></tr> <tr><td><b>Total</b></td><td><b>12000 USD</b></td></tr> </table> <p>With reference to the items number (1) to (5) above,          the <b>International Foundation for Science</b> ("the Foundation"), acting under its Statutes, and the <b>Investigator</b> (2), having submitted to the Foundation an application registered as IFS Application No. 111.C.037310,          and the <b>Institution</b> (4), endorsing the Application and supporting the Chief Investigator, agree to their joint interest in supporting the project (3).          For this purpose the Foundation will engage itself in the project for one research period commencing on the date specified below, in particular by a Grant (1) of USD 12000 subject to the Specifications for the Grant (5) above and to the availability of funds and to the General Conditions otherwise stated on this page and overleaf.          For the Foundation: <i>[Signature]</i> Date: 2019-01-15          I accept the Grant and undertake to carry out the research project according to approved research plan and the Specifications for the Grant (5), to submit reports, and to abide by the Conditions expressed on this page and overleaf.          I plan to commence the project on the date: 05<sup>th</sup> March 2019          Chief Investigator (2): <i>[Signature]</i> Date: 12/02/2019          We undertake to facilitate the administration of the Grant (1) for uses solely within the Project (3) and in accordance with the Conditions expressed on this page and overleaf.          Head of Institution (4): <i>[Signature]</i> Date: 13 FEB 2019          Director of Research          International Foundation for Science, Karlavägen 10B, 4<sup>th</sup> floor, SE-115 26 Stockholm, Sweden          Tel: +46 (0)8 545 818 00 • Fax: +46 (0)8 545 818 01 • E-mail: info@ifs.se • Web: www.ifs.se</p>	Equipment	4396 USD	Expendable supplies	1273 USD	Literature	0 USD	Travel	3000 USD	Fieldwork/Manpower	2429 USD	Other costs	902 USD	<b>Total</b>	<b>12000 USD</b>	<p>MANGA ESSOUMA François          Attaché de Recherche, IRAD-Nkolbisson          IRAD, Yaoundé Cameroun          B.P. 2067          Tel: (+237) 699357142          Email : essouma2003@yahoo.fr</p> <p style="text-align: right;"><b>B</b></p> <p>A          CIRAD / DP          AGROFORESTERIE          Yaoundé, Cameroun</p> <p>S/C          Dr Jean Michel Harmand          Senior Researcher Soil - tree - crop          interactions DP Agroforesterie          CIRAD, UMR Eco&amp;Sols Functional Ecology &amp;          Biogeochemistry of Soils &amp; Agroecosystems</p> <p style="text-align: center;"><b>FACTURE N° 23112018_001</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>DESIGNATION</th> <th>PRIX TOTAL (FCFA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>« Appui 2018 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais d'achat du matériel de terrain et de laboratoire, et des paiements des services et voyages de terrain pour réalisation des travaux de thèse portant sur le thème : « Lutte biologique du champignon <i>Beauveria bassiana</i> contre <i>Hypothenemus hampei</i>, scolyte foreur des baies du caféier, et évaluation des structures des systèmes agroforestiers à base de caféiers et de leurs impacts sur le lien entre <i>B. bassiana</i> et <i>H. hampei</i> »</td> <td>1 000 000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><b>Total</b></td> <td><b>1 000 000</b></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i> François MANGA ESSOUMA</p>	N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)	1	« Appui 2018 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais d'achat du matériel de terrain et de laboratoire, et des paiements des services et voyages de terrain pour réalisation des travaux de thèse portant sur le thème : « Lutte biologique du champignon <i>Beauveria bassiana</i> contre <i>Hypothenemus hampei</i> , scolyte foreur des baies du caféier, et évaluation des structures des systèmes agroforestiers à base de caféiers et de leurs impacts sur le lien entre <i>B. bassiana</i> et <i>H. hampei</i> »	1 000 000	<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>
Equipment	4396 USD																							
Expendable supplies	1273 USD																							
Literature	0 USD																							
Travel	3000 USD																							
Fieldwork/Manpower	2429 USD																							
Other costs	902 USD																							
<b>Total</b>	<b>12000 USD</b>																							
N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)																						
1	« Appui 2018 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais d'achat du matériel de terrain et de laboratoire, et des paiements des services et voyages de terrain pour réalisation des travaux de thèse portant sur le thème : « Lutte biologique du champignon <i>Beauveria bassiana</i> contre <i>Hypothenemus hampei</i> , scolyte foreur des baies du caféier, et évaluation des structures des systèmes agroforestiers à base de caféiers et de leurs impacts sur le lien entre <i>B. bassiana</i> et <i>H. hampei</i> »	1 000 000																						
<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>																						
<p>MANGA ESSOUMA François          Attaché de Recherche, IRAD-Nkolbisson          IRAD, Yaoundé Cameroun          B.P. 2067          Tel: (+237) 699357142          Email : essouma2003@yahoo.fr</p> <p style="text-align: right;"><b>C</b></p> <p>A          CIRAD / DP          AGROFORESTERIE          Yaoundé, Cameroun</p> <p>S/C          Dr Jean Michel Harmand          Senior Researcher Soil - tree - crop          interactions DP Agroforesterie          CIRAD, UMR Eco&amp;Sols Functional Ecology &amp;          Biogeochemistry of Soils &amp; Agroecosystems</p> <p style="text-align: center;"><b>FACTURE N° 06112019_001</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>DESIGNATION</th> <th>PRIX TOTAL (FCFA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>« Appui 2019 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais de voyage pour la présentation des résultats des activités déjà réalisés et pour la réalisation de la suite des travaux de terrain sur le thème : « Lutte contre <i>Hypothenemus hampei</i> par l'utilisation de <i>Beauveria bassiana</i> et des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sous influence des mosaïques agroforestières à base de caféiers »</td> <td>1 000 000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><b>Total</b></td> <td><b>1 000 000</b></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i> François MANGA ESSOUMA</p>	N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)	1	« Appui 2019 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais de voyage pour la présentation des résultats des activités déjà réalisés et pour la réalisation de la suite des travaux de terrain sur le thème : « Lutte contre <i>Hypothenemus hampei</i> par l'utilisation de <i>Beauveria bassiana</i> et des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sous influence des mosaïques agroforestières à base de caféiers »	1 000 000	<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>	<p>MANGA ESSOUMA François          Chargé de Recherche, IRAD-Mbalimayo          Bureau de la Production Végétale          Section des Cultures Parasitaires et Industrielles          IRAD, Yaoundé Cameroun          B.P. 2067          Tel: (+237) 6 99 35 71 42          Email : essouma2003@yahoo.fr</p> <p style="text-align: right;"><b>D</b></p> <p>Yaoundé, le 23 novembre 2020</p> <p>A          CIRAD / DP          AGROFORESTERIE          Yaoundé, Cameroun</p> <p>S/C          Dr Jean Michel Harmand          Senior Researcher Soil - tree - crop          interactions DP Agroforesterie          CIRAD, UMR Eco&amp;Sols Functional Ecology &amp;          Biogeochemistry of Soils &amp; Agroecosystems</p> <p style="text-align: center;"><b>FACTURE N° 23112020-01</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>DESIGNATION</th> <th>PRIX TOTAL (FCFA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Appui 2020 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur à IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I.  Application des traitements et collecte des données de la deuxième campagne de l'expérimentation en champ dans le cadre des travaux de thèse portant sur le thème : « Pressions parasitaires dans les mosaïques caféières au Cameroun et essais de contrôle biologique de <i>Hypothenemus hampei</i> avec <i>Beauveria bassiana</i>, <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> »</td> <td>1 000 000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><b>Total</b></td> <td><b>1 000 000</b></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i> François MANGA ESSOUMA</p>	N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)	1	Appui 2020 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur à IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I.  Application des traitements et collecte des données de la deuxième campagne de l'expérimentation en champ dans le cadre des travaux de thèse portant sur le thème : « Pressions parasitaires dans les mosaïques caféières au Cameroun et essais de contrôle biologique de <i>Hypothenemus hampei</i> avec <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> »	1 000 000	<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>					
N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)																						
1	« Appui 2019 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I  Frais de voyage pour la présentation des résultats des activités déjà réalisés et pour la réalisation de la suite des travaux de terrain sur le thème : « Lutte contre <i>Hypothenemus hampei</i> par l'utilisation de <i>Beauveria bassiana</i> et des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> sous influence des mosaïques agroforestières à base de caféiers »	1 000 000																						
<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>																						
N°	DESIGNATION	PRIX TOTAL (FCFA)																						
1	Appui 2020 du DP Agroforesterie pour la thèse de M. MANGA ESSOUMA François, chercheur à IRAD et doctorant à l'Université de Yaoundé I.  Application des traitements et collecte des données de la deuxième campagne de l'expérimentation en champ dans le cadre des travaux de thèse portant sur le thème : « Pressions parasitaires dans les mosaïques caféières au Cameroun et essais de contrôle biologique de <i>Hypothenemus hampei</i> avec <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Thevetia peruviana</i> et <i>Azadirachta indica</i> »	1 000 000																						
<b>Total</b>		<b>1 000 000</b>																						

A. Convention du financement de l'International Foundation for Science (IFS) ; B, C et D. Financements obtenus du DP-Agroforesterie/CIRAD en 2018, 2019 et 2020.

### Annexe 3 : Etudiants formés dans le cadre de cette étude.



A. page de garde du mémoire de master de l'étudiante encadrée ; B. attestation de fin de stage de 2 mois de la deuxième étudiante.

### Annexe 4 : Trame d'enquête.

**Trame d'enquête pour caractérisation des producteurs, leurs parcelles et évaluation des pressions socio-économiques, phytosanitaires, et les stratégies de régulation de ces pressions**

**Section 1 : Profil socio-économique du producteur**

0- Localité/région : \_\_\_\_\_ ; Nom du village : \_\_\_\_\_

1- Nom et prénom du producteur : \_\_\_\_\_

2- Age approximatif : \_\_\_\_\_

3- Sexe : \_\_\_\_\_

4- Origine/ Groupe ethnique :

4-1- Autochtone : \_\_\_\_\_

4-2- Allogène (provenance) : \_\_\_\_\_

5- Situation matrimoniale : \_\_\_\_\_

6- Nombre de personnes à charge : \_\_\_\_\_

7- Nombre de salariés permanents : \_\_\_\_\_

8- Niveau d'instruction : \_\_\_\_\_

8-1- Formation et autres : \_\_\_\_\_

9- Vous vous considérez prioritairement comme quoi ? La priorité c'est quoi ? (%) (Agriculteur, Salarié, Fonctionnaire, Commerçant, Artisan, Chasseur...) \_\_\_\_\_

10- Si vous êtes agriculteur : votre priorité va à quoi ? (%)  
 Café, cacao, maraichage, vivrier... \_\_\_\_\_

11- Quelles sont vos activités génératrices de revenus (par exemple : agriculture, chasse, commerce, pêche, transport, etc.) \_\_\_\_\_

11- Faites-vous partie d'un GIC ? \_\_\_\_\_

12- Nombre de cultures que vous pratiquez ou semez \_\_\_\_\_

**Section 2 : Parcours de vie, histoire de l'exploitation et caractérisation des caféières**

1- Les caféières qu'il exploite actuellement :

1-1- Quel est le nombre et ont-elles été héritées ou créées? \_\_\_\_\_  
 De qui ? Et quand ? \_\_\_\_\_

Surface approximative (en ha): \_\_\_\_\_

Âge et localisation : \_\_\_\_\_

Nombre de pieds ou densité de café/ha : \_\_\_\_\_

Variété de café plantée dans le champ (en %): \_\_\_\_\_

Noms et Nombre approximatif des espèces forestières/ha : \_\_\_\_\_

Noms et Nombre approximatif des espèces fruitières/ha : \_\_\_\_\_

1-2- Ont-elles été créées ? Quand ? Surface approximative et localisation ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1-3- Ont-elles été prises en métayage (donner à quelqu'un qu'on paye pour travailler) ou en location ? Surface approximative et localisation, détails des modalités et des contrats... \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1-4- Nombre de strates, densité café, densité arbres associées ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2- A-t-il des caféières confiées à des métayers ? Ou louées ? Détailler les surfaces et les modalités... Le pourquoi de ces transferts de parcelles ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3- A-t-il récupéré une plantation déjà mise en place pour commencer : Location ? Achat d'une plantation? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4- Réserve foncière du producteur : \_\_\_\_\_

5- Pratiques pour l'entretien et gestion des attaques de sa/ses plantations :

5-1- défrichage ou taille, combien de fois par an et quand ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5-2- Votre plantation est-elle attaquée par des pestes ou maladies ? \_\_\_\_\_

5-3- Citez les noms des principales pestes \_\_\_\_\_

5-4- Citez les principales maladies \_\_\_\_\_

5-5- Parmi les pestes, connaissez-vous le scolyte des baies du café ? \_\_\_\_\_

5-6- Quand est-ce qu'il apparait dans vos champs ?? \_\_\_\_\_

5-8- Quand est-ce qu'il est plus vorace et à quel taux (de 0 à 100 %) ? \_\_\_\_\_

5-9- Dans votre champ, quels sont les Intrants agricoles (insecticide ou fongicide ou engrais ou herbicide) utilisés, leur nom et à quelle période, combien de fois et à quelles doses ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5-10- Quels sont ceux utilisés spécifiquement pour le scolyte (noms, nombre, quantité, prix et période d'application)? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5-11- Cout total par type d'intrants agricoles achetés ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5-12- Vous préférez utiliser les pesticides chimiques/synthétiques ou organiques/biologiques et pourquoi? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6- Production ou rendement :

6-1- Quelle quantité de café récoltée l'année dernière (kg ou sac, préciser l'unité)? \_\_\_\_\_

6-2- Etait-elle meilleure, moyenne ou faible et pourquoi ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6-3- A combien le kilogramme a été vendu et quelle était le revenu total de votre vente ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6-4- A qui avez-vous vendu (GIC, association, particulier, intermédiaire, industriel) ? \_\_\_\_\_

6-5- Qu'avez-vous fait avec les revenus du café l'année dernière ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7- Quelles sont les Cultures que vous avez associées au café ? Pourquoi ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8- Objectifs et stratégies pour la suite concernant la caféiculture ? (Extension, diversification, arrêt, remplacement etc.) pourquoi ? Et pour faire quoi \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

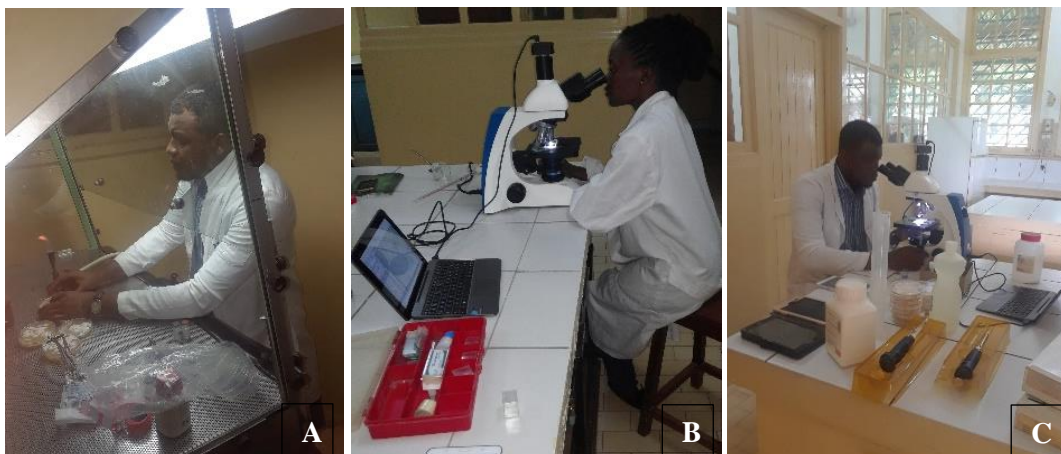
**N.B : Descentes dans le champ du planteur et collecte des baies pour état des lieux ou évaluation des taux d'attaque du scolyte.**

Annexe 5 : Stades phénologiques des caféiers observés dans les blocs expérimentaux.



A. floraison ; B et C. fructification et maturation des fruits ; D. murissement des baies.

Annexe 6 : Isolement et caractérisation des isolats de *Beauveria bassiana*.



A. isolement et repiquage de *B. bassiana* ; B. observation et identification des isolats ; C. calibrage des concentrations.



Annexe 7 : Pièges à phéromones et boîte de collection des coléoptères du laboratoire d'entomologie de l'IRAD.



A et B. préparation des phéromones et des pièges ; C. boîte de collection des coléoptères et du scolyte pour identification.

Annexe 8 : Mise en place des essais d'élevage et test de substrat de nutrition.



A et B. préparation des boîtes d'élevage avec les substrats de nutrition (arachide et maïs) ; C et D. boîtes fermées avec de la mousseline et incubées.

Annexe 9 : Préparation du matériel et tests insecticides.



A. collecte des scolytes dans les baies incubées ; B. désinfection et nettoyage des scolytes ; C. mise en boîtes des scolytes et/ou baies traitées avec les extraits ; D. évaluation quotidienne des scolytes morts et des baies perforées ; E. traitements préparés ; F. baies de café nettoyées et prêtes pour accueillir les scolytes.

Annexe 10 : Préparation des plaques et étiquetage des blocs expérimentaux et des arbres.



A et B. plaques découpées et numérotées ; C et D. étiquetage des caféiers ; E. plant de caféier étiqueté.

Annexe 11 : Préparation et application en champ des traitements.



A. broyage des graines des plantes pesticides ; B et C. préparation des traitements et remplissage du pulvérisateur ; D et E. application des traitements sur les plants de caféier par pulvérisation.

Annexe 12 : Fiche de collecte des données des tests en champ.

**FICHE 1 : EVALUATION TAUX D'ATTAQUE DES BAIES PAR LE SCOLYTE**

CODE FICHE ..... Date (JJ/MM/AA) .....

Région : ..... Site : .....

Nom du Superviseur ..... Noms des observateurs : .....

N° Parcelle ..... Traitement : .....

N° arbre	Baies non perforées/saines		Baies perforées/non saines	
	0 - 1m	1 - 2 m	0 - 1m	1 - 2 m
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
...				
20				

**FICHE 2 : DONNEES SUR LES MALADIES DU CAFEIER**

CODE FICHE ..... Date (JJ/MM/AA) .....  
 Région : ..... Site : .....  
 Nom du Superviseur ..... Noms des observateurs : .....  
 N° Parcelle ..... Traitement : .....

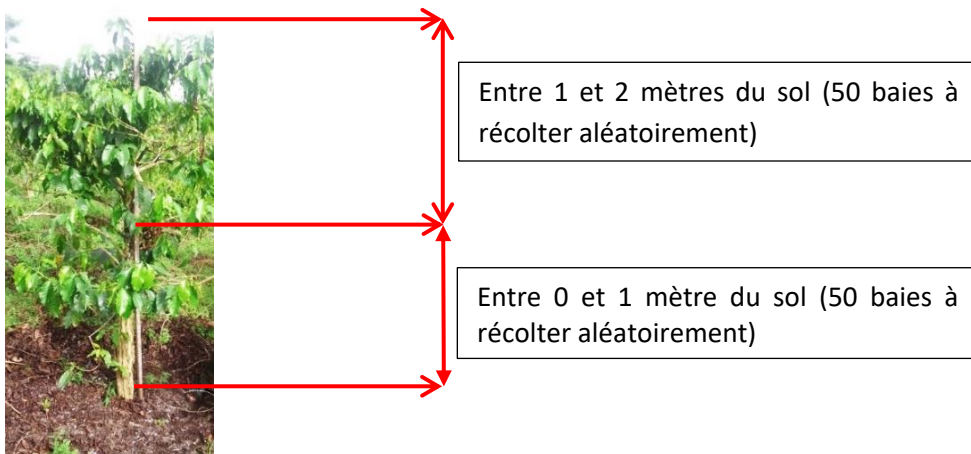
N° arbre	Nombre de baies présentant des traces d'Anthracnose (pourriture humide de la pulpe des jeunes graines)		Autres observations en précisant l'organe touché (fourmis ou abeilles mortes, papillon)	
	0 - 1m	1 - 2m	0 - 1m	1 - 2m
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
...				
..				
20				

**FICHE 3 : OBSERVATIONS GENERALES DES BLOCS EXPERIMENTAUX**

CODE FICHE ..... Date (Jour/mois/année) ..... Région : .....  
 Site : ..... Nom observateur : ..... Traitement/Bloc : .....

N° arbre	Superficie du champ (ha)	Stade phénologique général (Floraison ; fructification ...)	Niveau (%)	Opération culturale	Observations (Pression parasitaire ...)
1					
2					
3					
4					
5					
....					
....					
20					

Annexe 13 : Dispositif d'évaluation en champ du taux d'attaque des baies par le scolyte.

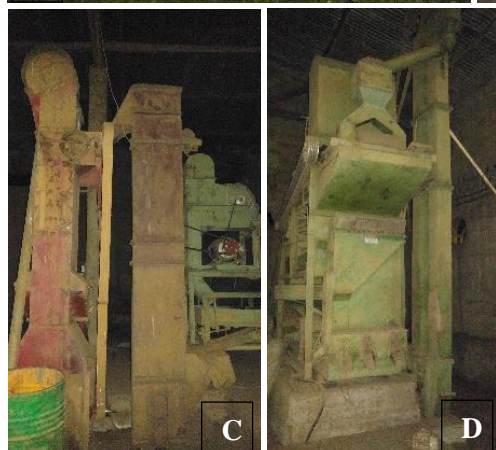


## Annexe 14 : Evaluation du rendement des baies de café



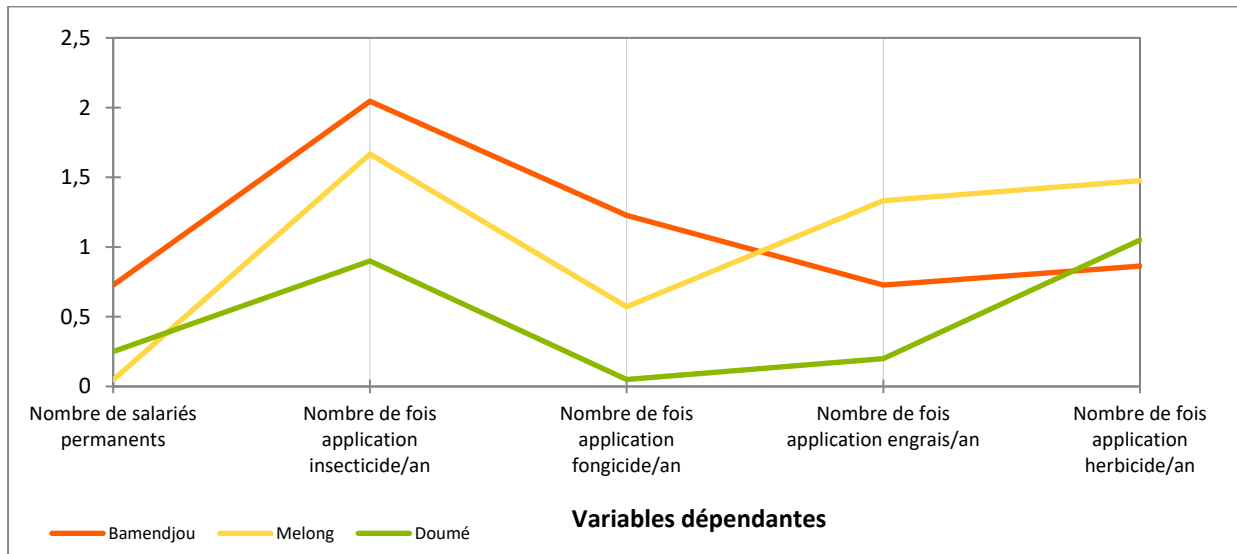
A. récolte des baies mures ; B et C. séchage des baies avec leur coque.

## Annexe 15 : Visite de la plus grande coopérative de café (COOPAFERLOS) de Melong.

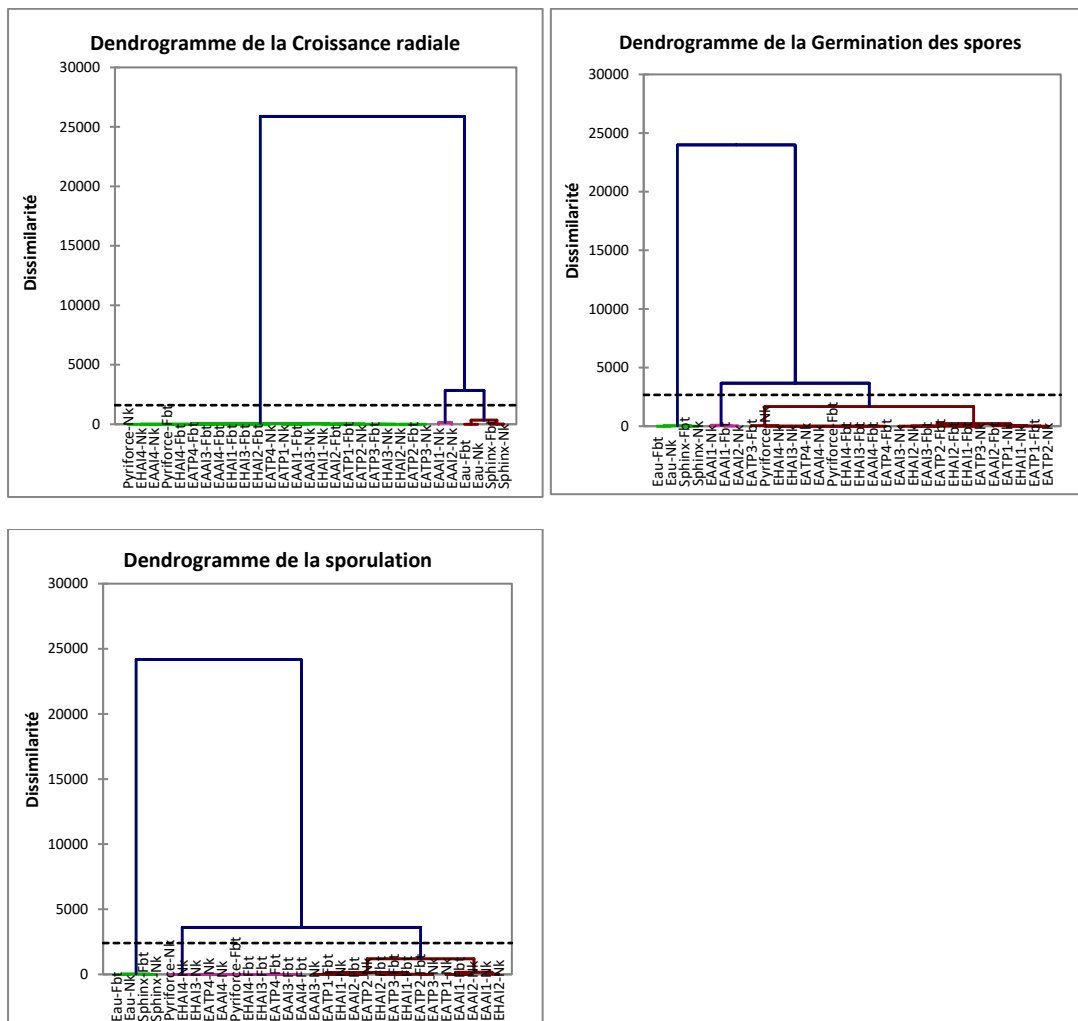


A. visite de l'usine de stockage et de transformation des baies de la COOPAFERLOS ; B. sacs de café stockés depuis environ 2 ans par la coopérative en attendant de potentiels acheteurs ; C et D. machines de dépulpage/décorticage des baies de café.

Annexe 16 : Synthèse du nombre moyen de salariés et d'application des pratiques de gestion des parasites et de la fertilité.



Annexe 17 : Classification Ascendante Hiérarchique des traitements selon leur impact sur le développement de *Beauveria bassiana*.



## Annexe 18 : Procédé d'extraction à chaud d'huile de Neem (*Azadirachta indica*).

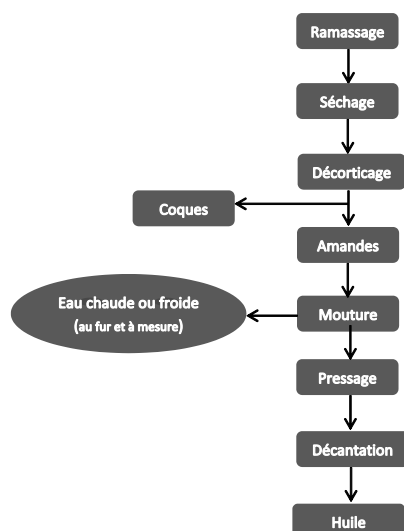
L'amande extraite du noyau de Neem est transformée en Huile de Nem, soit par un procédé à chaud qui donne de plus grandes quantités, mais dont la teneur en insecticide (l'Azadirachtine) est de seulement 300 ppm (parts par millions), soit par une pression à froid qui permet d'atteindre un taux d'insecticide (l'Azadirachtine) supérieur à 1600 ppm. L'extraction à chaud a deux procédés :

- 1<sup>er</sup> procédé : faire cuire la poudre de graines (comme l'on fait avec les tourteaux de noix de palme) à feu doux et par décantation, l'huile va remonter. Ce procédé produit une grande quantité d'huile mais elle est moins chère et a beaucoup d'actifs, concernant l'huile de neem ;
- 2<sup>e</sup> procédé : verser de l'eau chaude au fur et à mesure sur la poudre de graines et presser ensuite. Ce procédé produit moins d'huile, mais elle est plus chère et possède plus d'actifs.

Le principe d'extraction des huiles végétales a été utilisé pour extraire les huiles (HN=Huile de neem et HL=Huile de laurier jaune) à partir de la poudre des graines du neem et du laurier jaune. L'objectif de cette manipulation est d'obtenir une huile végétale extraite selon un procédé mécanique, exempt de tout contact avec des produits chimiques. Ainsi, cent grammes (100 g) de poudre des graines ont été introduits dans un récipient et 5 ml d'eau chaude (pour l'extraction à chaud) ou d'eau froide (pour l'extraction à froid) y ont été ajoutés. L'extraction est effectuée par pression de poudre des graines sans ajout de solvant organique. Les poudres sont transformées en une pâte qu'on malaxe à la main et presse.

A la fin de l'extraction, l'huile brute (mélange d'huile et de boue) obtenue, est filtrée à l'aide d'un filtre à café. L'huile filtrée est mise dans des bouteilles en aluminium adaptées aux conditionnements des huiles, et conservées à 4 °C à l'abri de la lumière jusqu'à leurs utilisations.

(Kosma ; 2011a ; Kouagang Deetar, 2016)



## Annexe 19 : Méthodes de traitement de la cerise de café après sa récolte.

### Voie sèche (donne le café naturel ou non-lavé)

Les cerises de café sont triées et directement placées au soleil pour sécher\*. Elles sont régulièrement remuées pour assurer un séchage uniforme. Selon les conditions météorologiques, elles peuvent prendre jusqu'à 4 semaines avant d'atteindre le niveau d'humidité requis (environ 11 %). Une phase de séchage prolongée permet aux grains de café d'absorber davantage de composants, donnant au café une saveur plus complexe. Les grains sont finalement décortiqués pour retirer la pulpe.

### Voie humide (donne le café lavé)

Les cerises de café sont triées et dépulpées (séparation de la pulpe des grains). Les grains enveloppés de mucilage sont placés dans des cuves de fermentation pendant 12 à 36 heures, selon les règles de l'art. Une fois que le mucilage est retiré, les grains sont séchés\* jusqu'à obtenir l'humidité requise. Le café traité par voie humide a tendance à avoir des saveurs plus vives et propres, avec un corps léger. Ce traitement produit souvent des cafés de qualité supérieure. Toutefois, la méthode utilise une grande quantité d'eau dans le processus et qui, en outre, doit être épurée en bout de chaîne.

### Voie semi-humide (donne le café semi-lavé)

Les cerises de café sont triées et dépulpées. Les grains sont directement lavés et mis à sécher\*. Ce traitement utilise moins d'eau.



### Variante de la voie humide (donne le café « honey »)

Le café dit « honey » est le résultat d'une variante de la technique de traitement par voie humide, dans laquelle les cerises de café sont dépulpées et les grains sont directement placés au soleil pour sécher\*, avec une partie ou la totalité de leur mucilage. Le mucilage est doux et collant, ce qui donne au café une saveur exceptionnellement sucrée. Le but est donc de gagner en sucrosité comparé au café lavé, et avoir un goût plus propre vis-à-vis du café naturel.

\* Le séchage est généralement réalisé selon trois manières : dans un grand four mécanique à air chaud ; au soleil sur une grande étendue de béton ; ou au soleil sur un « lit africain » composé d'un filet tressé suspendu sur quatre pieds.

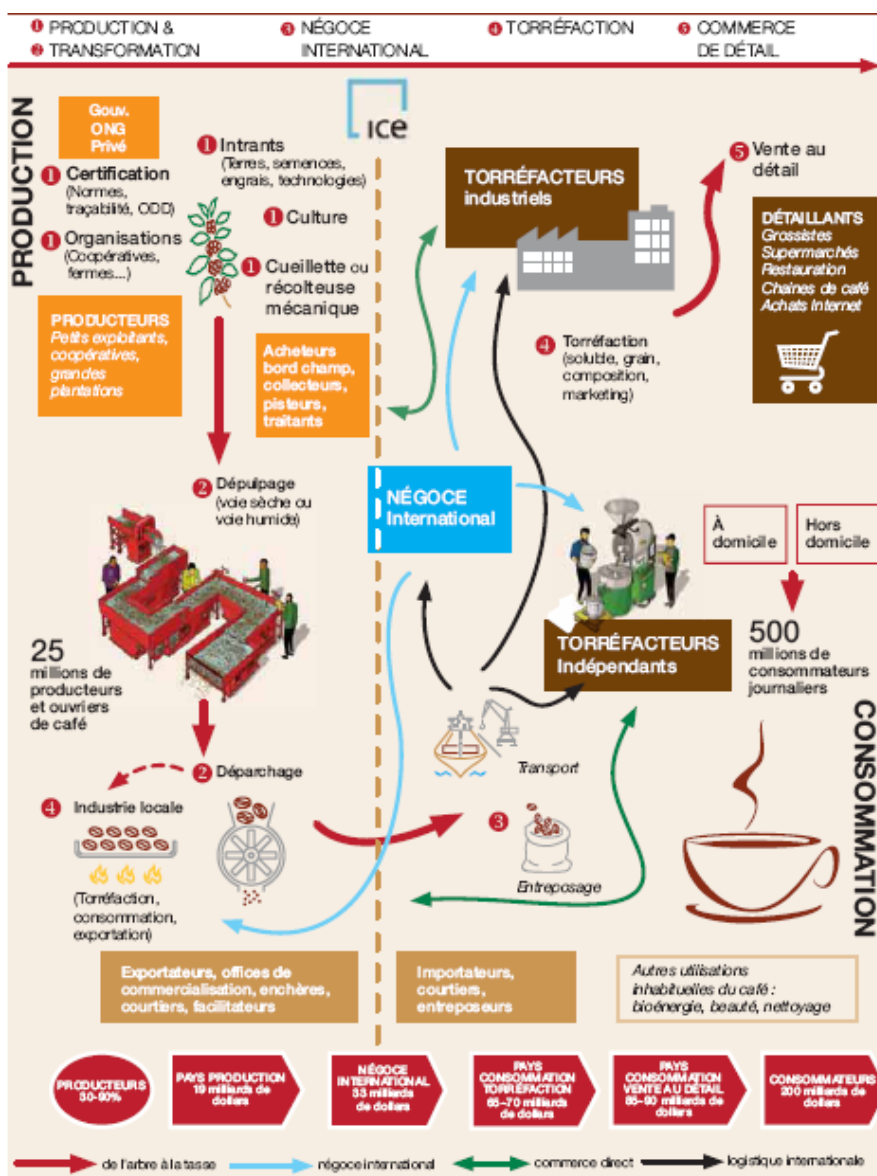
(Anonyme 5, 2018)

## Annexe 20 : Méthodes de classification des cafés.

Nombre de défauts tolérés	Nom 	Type	Crible 
		E	20
8	Extra-prima	A	18-20
16	Prima	AB	17-18
32	Supérieur	B	17
64	courant	C	Caracolis
		D	16
source : ico.org		N	13



Annexe 21 : Chaîne de valeurs du café : de l'arbre à la tasse.



(Anonyme 5, 2018)

## Annexe 22 : Méthodes de piégeage du scolyte en champ.

### **1. Matériels nécessaires pour le piège à scolyte**

Pour former le piège à scolyte, on a besoin :

- Une bouteille en plastique d'eau minérale vide (volume de 1 ou 2 L) ;
- Un fil d'attache en métal (environ 50 cm de Long) ;
- Une petite boîte en plastique avec couvercle (environ 10 ml) ;
- Un mélange d'éthanol et de méthanol ;
- Un peu de détergent ;
- Un couteau tranchant ;
- Des pinces ou tenailles.

### **2. Construction du piège**

Pour construire le piège, les étapes suivantes ont été nécessaires :

- Découper le haut de la bouteille en plastique au quart ;
- Renverser et insérer la partie coupée dans la partie basse de la bouteille restée après découpage ;
- Faire un petit trou (2 mm environ ou plus) dans le bouchon de la petite boîte ;
- Remplir la petite bouteille en plastique avec le mélange d'éthanol et méthanol (une moitié de la boîte pour chacun) ;
- Attacher la petite boîte en plastique au fil de métal en entourant celui-ci autour et en dessous du bouchon ;
- Percer deux petits trous opposés l'un de l'autre à 3 cm au-dessous du bord de la grande bouteille et enfiler le fil de fer avec la petite bouteille à travers ces trous ;
- Se rassurer que la petite bouteille est accrochée au milieu de la partie ouverte de la grande bouteille et ne touche pas les bords de celle-ci ;

### **3. Mise en place du piège**

Le piège est accroché sur les pieds de caféier avec le fil de fer à environ 1,2 m de hauteur et remplir le fond de la grande bouteille avec l'eau savonnée en s'assurant que l'ouverture originale de la partie renversée de la grande bouteille n'est pas submergée.

### **4. Principe du piège**

Le scolyte des baies de café est attiré par l'odeur du mélange éthanol-méthanol et reste tourner sur la petite bouteille. Eventuellement, il finit par se fatiguer et tombe au fond de la bouteille dans l'eau savonnée où il ne peut plus échapper.

Environ 15 pièges sont nécessaires pour un hectare de plantation de café. Les pièges doivent être espacés de façon régulière. Idéalement, les pièges sont mis sur les pieds de caféier après la principale récolte. Ils doivent être gardés sur les arbres jusqu'au pic de la première saison pluvieuse. Chaque weekend, les pièges doivent être vérifiés. L'eau savonnée et le mélange éthanol-méthanol doit être rempli si nécessaire.