

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix - Travail - Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
FACULTÉ DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET  
PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES

\*\*\*\*\*

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



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace - Work - Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
FACULTY OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF PLANT  
BIOLOGY

\*\*\*\*\*

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

**Étude du potentiel phytoprotecteur des extraits de *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum contre les populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary sur la pomme de terre au Cameroun**

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

Par : **DIDA LONTSI Sylvère Landry**  
Master ès Sciences

Sous la direction de  
**AMBANG Zachée**  
Professeur

Année Académique : 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 ACADÉMIQUE 2020/2021**

(Par Département et par Grade)

### ADMINISTRATION

**DOYEN** : TCHOUANKEU JEAN CLAUDE, *Maître de Conférences*

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

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

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

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

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

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)			
N°	NOMS ET PRENOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DIAGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<b>Chef de Département</b>
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE Garbin Boris	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
17	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
18	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
19	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
20	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur Serv MINESUP
21	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
22	EWANE Cécile Anne	Maître de Conférences	En poste
23	KOTUE KAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste

24	AKINDEH MBUH NJI	Chargée de Cours	En poste
25	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Chargée de Cours	En poste
26	DAKOLE DABOY Charles	Chargée de Cours	En poste
27	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
28	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
29	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
30	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
31	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
32	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
34	PACHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

## 2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (46)

1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>VICE / Doyen/FMSB/UIYI</i>
6	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
7	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
8	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
9	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
10	NOLA Moïse	Professeur	En poste
11	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
12	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
13	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
14	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En poste
15	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
21	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
22	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
23	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	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	Chargée de Cours	En poste
29	KANDELA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
30	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste
42	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
43	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
44	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
45	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
46	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste

### 3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)

1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5	YOUMBI Emmanuel	Professeur	<b>Chef de Département</b>
6	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
7	MBOLO Marie	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/UDs
12	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
13	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
16	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
17	DJEUANI Astride Carole	Chargée de Cours	En poste
18	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
19	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
20	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
21	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
22	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
23	NSOM ZAMO Annie Claude épouse PIAL	Chargée de Cours	<i>Expert national /UNESCO</i>
24	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste

25	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
26	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
27	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
28	KABELONG BANAHOU Louis-Paul R.	Assistant	En poste
29	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
30	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
31	LIKENG6LI6NGUE Benoit C	Assistant	En poste
32	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
33	TEMEGNE NONO Carine	Assistant	En poste

#### 4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (35)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Vice Recteur Univ ,Bamenda</i>
2	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>Recteur Univ.Ngaoundere</i>
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé deMiss.PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI/Chef de Département</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	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Professeur	En poste
11	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
12	KAMGANG YOUNBI Georges	Maître de Conférences	En poste
13	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
14	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
15	NDI NSAMI Jilius	Maître de Conférences	En poste
16	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
17	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
18	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
19	ACAYANKA Elie	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	EMADACK Alphonse	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
28	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
31	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
32	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
33	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
34	PTOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste

35	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En poste
<b>5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (35)</b>			
1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen / PSAA
2	GHOUMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDS
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	En poste
4	NKENGFACK Augustin Ephreïm	Professeur	<b>Chef de Département</b>
5	NYASSE Barthélemy	Professeur	<i>Directeur/UN</i>
6	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP</i>
7	WANDJI Jean	Professeur	En poste
8	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
9	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	<i>DEPE/ Rectorat/UYI</i>
10	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	<i>Chef Service DPER</i>
11	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
12	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
14	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
15	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	Chef Service/MINESUP
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
20	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
21	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
24	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
25	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
26	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
27	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
28	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
29	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
30	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
31	SIELINOUE TEDJING Maurice	Chargée de Cours	En poste
32	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
33	ZONDENDEGOUNBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
34	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste
<b>6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (26)</b>			
1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<b><i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i></b>
3	NDOUNAM René	Maître de Conférences	En poste
4	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	En poste
5	DJAM Xaviera YOUHEP KIMBI	Chargé de Cours	En Poste

6	EBELE Serge	Chargé de Cours	En Poste
7	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
8	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
9	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
11	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
12	KAMGUEU Patrick Olivier	Chargé de Cours	En poste
13	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
14	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	C/D Enset. Ebolowa
15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
18	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
19	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
22	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
23	KAMDEM KENGNE Christiane	Assistante	En poste
23	MAKEMBE. S. Oswald	Assistant	En poste
24	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
25	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
26	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

### 7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)

1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>CD Info/ Chef division MINESUP</i>
2	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<b>Chef de Département</b>
3	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
4	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
7	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
8	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
9	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste
10	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
11	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
12	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
13	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
14	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
15	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
16	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
20	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
21	NIMPA PEFOUNKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
22	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste

23	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
24	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargée de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
26	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistant	En poste
28	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
29	MEPENZA NOUNTU TIERY	Assistant	En poste
30	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste

### 8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)

1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	DRV/IMPM
2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	En poste
4	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste
4	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
5	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
6	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
7	ASSAM ASSAM Jean Paul	Chargé de Cours	En poste
8	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
9	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
11	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
13	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
14	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
15	MEYIM A EBONG Solange	Assistante	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste

### 9- DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (40)

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
3	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
4	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
5	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<b>Chef de Département</b>
6	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
7	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	<i>Sous Directeur/ MINRESI</i>
8	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
9	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen Univ/Bda
10	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
11	WOAFO Paul	Professeur	En poste
12	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
13	NANA NDENDJO Blaise Roméo	Professeur	En poste
14	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
15	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
16	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste

17	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Maître de Conférences	<i>Chef Division. UN</i>
18	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
19	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
20	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
21	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
22	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
23	SAIDOU	Maître de Conférences	MINRESI
24	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
25	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
26	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
27	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Sous Directeur/ MINESUP</i>
28	ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
29	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
32	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
33	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
34	MELI'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
35	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
36	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	<i>DA/Univ Inter Etat/San.</i>
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
38	CHAMANI Roméo	Chargée de Cours	En poste
49	AYISSI EYEBE Guy François V.	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)</b>			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
3	KAMGANG Pierre	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	<b>Chef de Département</b>
5	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
6	NGOS III Simon	Professeur	DAAC/Uma
7	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
8	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
9	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
10	GHO GOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/UMa
11	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
12	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
13	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
14	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	En poste
15	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
16	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
17	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
18	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEM DJIM 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	TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
24	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
25	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
26	ELISE SABABA	Chargé de Cours	En poste
27	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
28	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
29	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
30	LAMILEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
31	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de Cours	En poste
32	MBIDA YEM	Chargé de Cours	<i>En poste</i>
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	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste
41	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
42	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

## **DÉDICACE**

A

La famille LONTSI

## REMERCIEMENTS

Je remercie l'Université de Yaoundé 1, l'Université de Dschang et l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement pour avoir permis la réalisation de ce travail. Je tiens également à remercier particulièrement :

- Pr. AMBANG Zachée, mon directeur de thèse, qui a accepté de m'accueillir dans son laboratoire de recherche. Vos conseils et encouragements ont été d'une importance capitale ;
- Pr. YOUMBI Emmanuel, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales (DBPV) à l'Université de Yaoundé I (UYI), dont la rigueur scientifique très impressionnante contribue au rayonnement du dit département ;
- tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'UYI pour la formation qu'ils m'ont apporté depuis le niveau I et leurs multiples conseils et encouragements ;
- Pr. DJEUGAP Fovo du Département d'Agriculture de l'Université de Dschang qui a accepté de m'accueillir dans son laboratoire de recherche. Vos conseils et encouragements ont été d'une importance capitale ;
- Pr. DZOYEM Jean Paul du Département de Biochimie de l'Université de Dschang pour ses encouragements, sa disponibilité et du soin qu'il a apporté à la relecture et à la correction de ce manuscrit ;
- Youth NDC Climate Scholarships pour avoir contribué au financement de mes travaux dans le cadre des Contributions Déterminées au niveau National (CDN, Accord de Paris) ;
- Youth NDC Climate Scholarships et la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) pour m'avoir permis de présenter mes travaux durant la COY 15 et la COP 25 dans le cadre des Contributions Déterminées au niveau National (CDN, Accord de Paris) ;
- monsieur TSHOUONGANG Elie Saker pour son assistance financière à travers la Bourse de l'Excellence Scolaire et Universitaire Galim ;
- toute l'équipe de l'Organisation Soldats Pour la Nature (SOPNA) pour leur assistance multiforme à travers son Coordonnateur CHEDJOU Bécaire. Je vous témoigne ici toute ma reconnaissance ;
- toute l'équipe du Laboratoire de Phytopathologie particulièrement, Dr. NGOOH NDOH, Dr. MBOUSSI Serge, Dr. KONE Nsangou, Dr. HEU Alain Dr. NDOGHO Angèle, Dr. NGANTSI Dorothé Dr. KUATE Williams et Dr. NGATSI Patrice, M.

GBAPORO GBAPORO Fabrice pour l'assistance dans les manipulations et à la correction du présent manuscrit ;

- tout le personnel et les stagiaires du Laboratoire de Microbiologie de l'IRAD. Je pense ainsi à Dr. BEGOUDE Didier qui a accepté de m'accueillir dans ce laboratoire ;
- BATKAM Biamen et Nouteka Nicky du Laboratoire de Phytopathologie de l'Université de Dschang, pour leur participation aux activités sur l'obtention des isolats utilisés dans ce travail ;
- tous mes camarades de promotion sans exception parmi lesquels : GBAPORO GBAPORO Fabrice, AMBOMBO OGUENE Marien ; CHIMI Pierre Marie, NYOUMA Achille, TSIGAIN TSIGAIN Fabrice pour leurs aides multiformes et leurs critiques constructives ;
- mes amis et collègues, BOSSIOMO MFELA Ahmadou, ANGOULA Bernard, CHEDJOU Bécaire, et NDOUDOUMOU André; NOUMBOU Espérance, pour leur soutien moral et physique ;
- tous les planteurs de Pommes de terre des localités de Tsela, Tiamekie, Bamaka, Tola, Abonghen 1, Abonghen 2, Bambui, Ntah, Lingan, Ngui, Melo et Doh, pour l'accueil, la bonne volonté, la disponibilité et la patience dont ils ont toujours fait preuve à l'égard de nos travaux sur le terrain. Je pense particulièrement à KAMTA YEMELONG Dérive ;
- mes parents LONTSI Barnabas et KENLACK Thérèse, pour leur affection, leurs encouragements multiples, leur divers soutiens, et leur multiples conseils ;
- tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur soutien et leur collaboration à la réalisation de ce travail et donc les noms ne sont pas cités ici, qu'ils trouvent à travers cette Thèse, le témoignage de ma profonde gratitude ;
- les membres du jury qui vont examiner ce travail. Leurs critiques et leurs suggestions seront indispensables pour la suite de mes travaux dans le monde de la recherche.

## SOMMAIRE

LISTE PROTOCOLAIRE .....	i
DÉDICACE .....	x
REMERCIEMENTS .....	xi
SOMMAIRE .....	xiii
LISTE DES FIGURES .....	xviii
LISTE DES TABLEAUX.....	xx
LISTE DES ANNEXES .....	xxi
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xxii
RÉSUMÉ .....	xxiii
ABSTRACT.....	xxv
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	7
I.1. Pomme de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> L.).....	7
I.1.1. Origine et répartition géographique.....	7
I.1.2. Position systématique .....	7
I.1.3. Diversité.....	7
I.1.4. Description de <i>Solanum tuberosum</i> .....	8
I.1.5. Écologie .....	10
I.1.6. Agronomie .....	10
I.1.7. Importance socio-économique.....	10
I.1.8. Production de la pomme de terre au Cameroun .....	12
I.1.9. Exigences de la culture de la pomme de terre .....	13
I.1.9.1. Exigences écologiques.....	13
I.1.9.2. Exigences hydriques .....	13
I.1.9.3. Exigence édaphiques .....	13
I.1.9.4. Exigences agronomiques .....	14
I.2. Mildiou de la pomme de terre.....	15
I.2.1. Aperçu historique de la maladie du mildiou.....	15
I.2.2. Systématique.....	15
I.2.3. Biologie et reproduction .....	16
I.2.4. Cycle de vie .....	16

I.2.5. Sources d'inoculum primaires et modes de conservation .....	18
I.2.6. Diversité et distribution .....	19
I.2.7. Symptomatologie.....	19
I.2.8. Description morphologique de l'agent pathogène.....	20
I.2.9. Compatibilité sexuelle .....	21
I.2.10. Épidémiologie.....	22
I.2.11. Facteurs affectant l'évolution de la maladie .....	23
I.2.11.1. Facteurs climatiques .....	23
I.2.11.2. Facteur du Sol.....	24
I.2.11.3. Prédilection de l'hôte.....	24
I.2.12. Gamme d'hôtes .....	25
I.3. Interaction <i>Phytophthora infestans</i> / <i>Solanum tuberosum</i> .....	25
I.3.1. Pouvoir pathogène .....	25
I.3.1.1. Protéines .....	25
I.3.1.2. Motifs moléculaires associés aux pathogènes et effecteurs.....	26
I.3.2. Composition de la paroi cellulaire.....	27
I.3.2.1. Cellulose .....	27
I.3.2.2. Structure de la cellulose.....	28
I.3.3. Dégradation enzymatique des parois .....	28
I.3.3.1. Cellulases.....	30
I.3.3.2. Mécanisme d'action des cellulases.....	30
I.3.4. Mécanisme de défense chez la pomme de terre .....	31
I.3.4.1 Au niveau génétique .....	31
I.3.4.2. Au niveau moléculaire.....	34
I.4. Moyens de lutte autre que la résistance des plantes .....	34
I.4.1. Lutte prophylactique.....	34
I.4.2. Lutte chimique.....	35
I.4.3. Lutte génétique .....	35
I.4.4. Lutte biologique.....	36
I.4.4.1. Mécanismes d'action des agents de lutte biologique .....	36
I.5. Autres maladies et insectes ravageurs de la pomme de terre .....	39
I.5.1. Bactérioses.....	39
I.5.2. Mycoses .....	40
I.5.3. Viroses et Mycoplasmoses .....	43

I.5.4. Maladies non parasitaires .....	45
I.5.5. Nématodes .....	46
I.5.6. Insectes de la pomme de terre.....	47
I.6. Laurier jaune ( <i>Thevetia peruviana</i> ) .....	50
I.6.1. Positon systématique .....	50
I.6.2. Description botanique et biologie.....	50
I.6.3. Principales propriétés .....	51
I.6.3.1. Propriétés médicinales .....	51
I.6.3.2. Propriétés rodenticides .....	51
I.6.3.3. Propriétés bactéricides .....	52
I.6.3.4. Propriétés insecticides .....	52
I.6.3.5. Propriétés fongicides .....	52
II. MATÉRIEL ET MÉTHODES .....	54
II.1. MATÉRIEL.....	54
II.1.1. Zones d'étude .....	54
II.1.2. Matériel végétal.....	56
II.1.3. Matériel technique.....	56
II.1.4. Produits phytosanitaires .....	56
II.1.5. Matériel de laboratoire .....	56
II.2. Méthodes .....	57
II.2.1. États des lieux du mildiou dans la zone d'étude .....	57
II.2.2. Description des caractères phénotypiques des isolats issus des différentes localités..	57
II.2.2.1. Collecte des échantillons et dénomination des isolats .....	57
II.2.2.2. Culture et isolement de <i>Phytophthora infestans</i> .....	59
II.2.2.3. Maintenance de la pathogénicité des isolats .....	61
II.2.2.4. Morphologies et morphométries des sporocystes issues des différents isolats.....	61
II.2.2.5. Détermination de la présence des différents types sexuels A1 et A2.....	62
II.2.2.6. Pathogénicité des différents isolats de <i>Phytophthora infestans</i> sur des folioles détachées de pomme de terre .....	63
II.2.3. Évaluation <i>in vitro</i> de l'effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> sur le développement du mildiou.....	63
II.2.3.1. Obtention des extraits des graines <i>Thevetia peruviana</i> et screening phytochimique.	63
II.2.3.2. Inhibition <i>in vitro</i> de la croissance des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> par les extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	66

II.2.3.3. Évaluation de l'activité fongicide ou fongistatique des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	67
II.2.3.4. Détermination des concentrations minimales inhibitrices .....	67
II.2.3.5. Évaluation de l'effet des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> sur la germination des sporocystes de <i>Phytophthora infestans</i> .....	68
II.2.4. Évaluation du potentiel antifongique des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> en champ.....	68
II.2.4.1. Site d'étude et préparation du terrain .....	68
II.2.4.2. Dispositif expérimental .....	69
II.2.4.3. Semis et entretien .....	69
II.2.4.4. Application des substances antiparasitaires .....	70
II.2.4.5. Évaluation de l'incidence et la sévérité de la maladie dans les champs expérimentaux .....	71
II.2.4.6. Évaluation de l'effet des produits phytosanitaires testés sur le rendement.....	72
II.2.7. Analyses statistiques .....	72
CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	75
III.1. RÉSULTATS .....	75
III.1.1. État des lieux du mildiou dans les différentes localités étudiées .....	75
III.1.2. Caractères phénotypiques des différents isolats collectés .....	77
III.1.2.1. Identification de l'agent pathogène et nombre d'isolats obtenus.....	77
III.1.2.2. Morphologies des sporocystes issus des différents isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	78
III.1.2.3. Morphométries des sporocystes issus des différents isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	80
III.1.2.4. Présence des différents types sexuels chez les isolats de <i>Phytophthora infestans</i> ...	81
III.1.2.5. Tests de pathogénicité des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> sur des folioles détachées de pomme de terre.....	82
III.1.3. Effet des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> sur le développement <i>in vitro</i> du mildiou ...	83
III.1.3.1. Rendement d'extraction des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	83
III.1.3.2. Screening phytochimique des extraits obtenus .....	84
III.1.3.3. Effet des extraits sur la croissance des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	85
III.1.3.4. Corrélation entre les différentes concentrations et les pourcentages d'inhibition de la croissance de <i>Phytophthora infestans</i> .....	88

III.1.3.5. Concentrations minimales inhibitrices CMI <sub>50</sub> et CMI <sub>90</sub> de la croissance des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	90
III.1.3.6. Activité fongicide ou fongistatique des extraits aux différentes concentrations .....	90
III.1.3.7. Effet des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> sur la germination des sporocystes de <i>Phytophthora infestans</i> .....	91
III.1.3.8. Corrélation entre les différentes concentrations et les taux de germination des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	93
III.1.4. Effet des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> sur le développement du mildiou en champ durant deux saisons de culture .....	95
III.1.4.1. Incidence du mildiou dans les différentes parcelles traitées aux extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	95
III.1.4.2. Sévérité de la maladie dans les différentes parcelles traitées aux extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	97
III.1.4.3. Effet des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> sur le rendement en tubercules de pomme de terre .....	99
III.1.4.4. Analyse de la matrice de corrélation entre les différents paramètres étudiés en champs .....	102
III.1.4.6. Analyse en composante principale et classification des traitements en fonction des différents paramètres étudiés en champs .....	103
III.2. Discussion .....	104
CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	115
IV.1. CONCLUSION.....	115
IV.2. PERSPECTIVES .....	116
BIBLIOGRAPHIE .....	117
ANNEXE .....	144

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Pomme de terre en culture dans la localité de Bambui.....	8
Fig. 2. Description d'un plant de pomme de terre adulte.....	9
Fig. 3. Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre. ....	11
Fig. 4. Cycle de vie de <i>Phytophthora infestans</i> .....	18
Fig. 5. Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre. ....	20
Fig. 6. Morphologie de <i>Phytophthora infestans</i> . ....	21
Fig. 7. Le dialogue moléculaire de l'interaction <i>Phytophthora infestans</i> /Pomme de terre .....	27
Fig. 8. Structure et étapes de la dégradation enzymatique de la cellulose.....	29
Fig. 9. Carte génétique consensus de la pomme de terre avec le positionnement des méta-QTLs .....	33
Fig. 10. Mécanismes d'action des agents de lutte biologique .....	37
Fig. 11. Doryphores de la pomme de terre.....	48
Fig. 12. Plante adulte de laurier jaune.....	51
Fig. 13. Localisation de la zone d'étude .....	55
Fig. 14. Mesure de la longueur et de la largeur des sporocystes au microscope photonique ..	62
Fig. 15. Test de confrontation des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	62
Fig. 16. Fruits et graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	64
Fig. 17. Principe de mesure de la croissance radiale en boîte de Pétri .....	67
Fig. 18. Dispositif expérimental.....	69
Fig. 19. Mis en place du dispositif expérimental et semis .....	70
Fig. 20. Aspect sanitaire des tubercules de pomme de terre récoltés. ....	72
Fig. 21. Évolution de l'incidence moyenne du mildiou dans les différentes localités en 2017. ....	75
Fig. 22. Évolution de l'incidence moyenne du mildiou dans les différents bassins de productions .....	76
Fig. 23. Évolution de la sévérité moyenne du mildiou dans les différentes localités en 2017 ..	76
Fig. 24. Évolution de la sévérité moyenne du mildiou dans les différents bassins de production en 2017.....	77

Fig. 25. Caractères macroscopiques et microscopiques des souches pures de <i>Phytophthora infestans</i> obtenues dans les différentes localités .....	78
Fig. 26. Caractéristiques morphologiques des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> au Cameroun .....	79
Fig. 27. Cluster de classification des tailles des sporocystes en fonction de leur rapport Longueur/largeur.....	81
Fig. 28. Caractéristiques montrant les différents modes de reproduction chez <i>Phytophthora infestans</i> . .....	82
Fig. 29. Croissance de l'isolat P2 de la localité de Tsela au jour 4 sur milieu V8 supplémenté à l'extrait au méthanol et aqueux.....	87
Fig. 30. Effet des extraits sur la croissance des différents isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .87	
Fig. 31. Droites de régression entre le pourcentage d'inhibition et le logarithme népérien (ln) des concentrations utilisées pour chaque isolat testé .....	89
Fig. 32. Effet des extraits de <i>Thevetia peruviana</i> sur la germination des sporocystes de trois isolats (P2, P17 et P30) de <i>Phytophthora infestans</i> .....	92
Fig. 33. Effet des extraits sur la germination des sporocystes de l'isolat P17 de la localité de Ngui (grossissement x20). .....	92
Fig. 34. Droites de régression entre le taux de germination et le logarithme népérien (ln) des concentrations utilisées pour chaque isolat.....	94
Fig. 35. Aspect phytosanitaire des parcelles T0 et T1 dix semaines après semis durant les deux saisons de culture. ....	99
Fig. 36. Analyse en composante principale des différents paramètres étudiés en champs....	103
Fig. 37. Cluster de classification des différents traitements en fonction de leurs effets.....	104

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Production (t) de pommes de terre entre 2013 et 2016 au Cameroun .....	12
Tableau II. Caractéristiques des variétés de pomme de terre utilisées. ....	56
Tableau III. Dénomination et origine des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> .....	58
Tableau IV. Protocole du screening chimique des extraits des graines de <i>Thevetia peruviana</i> .....	65
Tableau V. Caractères morphométriques des sporocystes issus des isolats de <i>Phytophthora infestans</i> étudiés .....	80
Tableau VI. Surface des lésions sur les folioles détachées de deux variétés de pommes de terre après 7 jours d'incubation.....	83
Tableau VII. Rendement d'extraction (%) et aspect physique des extraits pour 1000 g de graines .....	84
Tableau VIII. Famille de composés des différents extraits.....	84
Tableau IX. Évolution des diamètres de la croissance mycélienne des isolats de <i>P. infestans</i> au cours du temps.....	86
Tableau X. Corrélation entre les pourcentages d'inhibition et les concentrations sur les différents isolats testés avec les extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	88
Tableau XI. Concentrations (µl/ml) minimales inhibitrices de <i>Phytophthora infestans</i> .....	90
Tableau XII. Activité fongicide ou fongistatique des extraits de <i>Thevetia Peruviana</i> .....	91
Tableau XIII. Corrélation entre les taux de germination et les concentrations sur les différents isolats testés avec les extraits de <i>Thevetia peruviana</i> .....	93
Tableau XIV. Évolution de l'incidence du mildiou (%) sur les plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés .....	96
Tableau XV. Évolution de la sévérité du mildiou sur les plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés.....	98
Tableau XVI. Rendement en nombre de tubercules par plant en fonction des traitements et des variétés .....	100
Tableau XVII. Rendement de la pomme de terre en fonction des traitements et des variétés .....	101
Tableau XVIII. Corrélation entre les différents paramètres étudiés en champs .....	102

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. 64 morpho-espèces de <i>Phytophthora</i> présentés par Erwin et Ribeiro (1996) .....	144
Annexe 2. Aspect de quelques souches pures de <i>P. infestans</i> sur milieu de culture .....	144
Annexe 3. Protocole d'obtention des souches pures de <i>Phytophthora infestans</i> .....	145
Annexe 4. Protocole d'extraction des graines de laurier jaune.....	145
Annexe 5. Dispositif d'arrosage des parcelles durant la contre saison.....	145
Annexe 6. Utilisation de la cellule de Malassez .....	146
Annexe 7. Autres maladies diagnostiquées visuellement .....	147
Annexe 8. Évolution du taux de levée (%) des tubercules de pomme de terre.....	148
Annexe 9. Évolution du diamètre au collet (cm) des plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés. ....	148
Annexe 10. Évolution de la taille des tiges (cm) des plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés. ....	149

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

ANOVA :	Analyse des variances (Analysis Of Variance)
FAOSTAT :	Food and Agriculture Organization Stat
GPS :	Global Positioning System
IRAD :	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
JAS :	Jours Après Semis
SAS :	Semaine Après Semis
SP :	Saison de Pluie
SS :	Saison Sèche
CMI :	Concentration Minimale Inhibitrice
PDA :	Potato Dextrose Agar
CE :	Concentration de l'extrait aqueux de <i>Thevetia peruviana</i>
CM :	Concentration de l'extrait au méthanol <i>Thevetia peruviana</i>

## RÉSUMÉ

Le mildiou causé par l'oomycète *Phytophthora infestans* reste un énorme problème dans la production des pommes de terre et l'une des plus redoutables maladies des cultures dans le monde entier. Au Cameroun les caractéristiques des populations de cet agent pathogène restent très peu connues et les mesures de contrôle de cette maladie impliquent des applications fréquentes de fongicides synthétiques. Le présent travail a pour objectif général de contrôler les populations de *Phytophthora infestans* sur la pomme de terre par l'utilisation des extraits de *Thevetia peruviana*. Douze localités des trois principaux bassins (Bamboutos, Menoua et Mezam) de production de la pomme de terre de la zone agroécologique III au Cameroun ont été choisies. La situation épidémiologique réelle du mildiou dans ces bassins de production a été évaluée. Les caractères morphologiques et morphométriques (longueur, largeur, rapport longueur/largeur) des sporocystes issus des différents isolats ont été décrits. La présence des types sexuels et les tests de pathogénicité sur les folioles détachées de deux variétés de pommes (CIPIRA et MANATE) de terre ont été évalués. Les extraits aqueux et au méthanol de *T. peruviana* ont été testés à différentes doses (6,25 µl/ml ; 12,5 µl/ml et 25 µl/ml correspondant respectivement à CE1, CE2 et CE3 pour l'extrait aqueux et CM1, CM2 et CM3 pour les extraits au méthanol) sur la croissance mycélienne de trois isolats de *P. infestans* (P2, P17 et P30) et sur la germination des sporocystes. L'activité fongicide et fongistatique ainsi que les CMI<sub>50</sub> et CMI<sub>90</sub> ont été évalués. En champ, deux variétés de pomme de terre (locale (V1) et une variété améliorée "CIPIRA" (V2) ont été utilisées. Quatre traitements phytosanitaires (un extrait aqueux (T1) ; un fongicide Bravo 720 combinée à un insecticide le Décis 5 CE (T2) ; un fongicide Bravo 720 (T3) ; un extrait au méthanol (T4) et un témoin (T0)) ont été testés suivant un dispositif bifactoriel de type split-plot en blocs complètement randomisés. L'évolution de la maladie et le rendement en tubercules durant deux campagnes de culture (une en saison de pluie et l'autre en saison sèche) ont été évalués et comparés en fonction des différents traitements. Les résultats montrent que, 100 % des parcelles visitées dans les différentes localités au cours des prospections ont été infectées par le mildiou avec une incidence et une sévérité élevées et dont leur distribution s'est révélée très hétérogène. Le bassin de Bamboutos est le plus affecté par le mildiou. Un total de 36 isolats a été obtenu. Les formes de sporocystes de *P. infestans* ont été ellipsoïde, globuleuse, elliptique, ovoïde, critriforme, ovale à ellipsoïde ; pépiniforme et subglobose. Les tailles des sporocystes ont été très variables et peuvent être classées en deux groupes en fonction du rapport longueur/largeur (1,47 et 2,01). Les types sexuels A1 et A2 sont présents au Cameroun. Les 36 isolats ont tous présenté une pathogénicité vis-à-vis des folioles détachées de pommes de terre. La comparaison du niveau d'agressivité

de 03 isolats (P2, P17 et P30) provenant des trois localités (Tsela, Ngui et Abonghen respectivement) montre que l'isolat P2 de la localité de Tsela est le plus agressif. Les extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) aux doses 12,5 et 25 µl/ml ont inhibé de façon significative (100 %) l'évolution du diamètre de croissance mycélienne de tous les isolats par rapport au témoin au même titre que le traitement au fongicide chimique. Les extraits ont été tous fongicide aux doses de 12,5 et 25 µl/ml tandis que la dose 6,25 µl/ml s'est révélée fongistatique pour certains isolats. Les CMI les plus faibles ont été de 3,35 et de 14,29 µl/ml respectivement pour la CMI<sub>50</sub> et la CMI<sub>90</sub>. Les extraits se sont révélés efficaces sur l'inhibition de la germination des sporocystes. Les taux de germination ont été très faibles voir nuls (de 0 à 13,33 %) dans les traitements aux extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) aux doses 12,5 et 25 µl/ml comparativement au témoin (T0) où les taux sont compris entre 86,66 et 100 %. Les extraits aqueux (T1) et au méthanol (T4) ont fortement réduit la sévérité de la maladie au même titre que les traitements aux fongicides chimiques par rapport au témoin T0 dans toutes les périodes d'observations et durant les deux campagnes. Les produits appliqués (T1, T2, T3 et T4) ont réduit la sévérité du mildiou de 90 % en moyenne durant la saison sèche comparativement à 75 % de réduction en moyenne de la sévérité durant la saison de pluie par rapport à T0. Ces produits ont augmenté largement le rendement en nombre de tubercules par plant ainsi que le rendement commercial en tonne par hectare au même titre que le fongicide chimique comparativement au témoin durant les deux campagnes de cultures. Cette étude révèle que le mildiou reste et demeure la maladie la plus importante sur la pomme de terre. Les formes et les tailles des sporocystes de *P. infestans* au Cameroun sont très variables ; les isolats sont de deux types sexuels A1 et A2 au Cameroun et se sont révélés très agressifs. Les tests des extraits effectués sur le développement du mildiou se sont révélés positifs. Les extraits peuvent donc être exploités pour leurs propriétés antifongiques dans un programme de lutte intégrée contre le mildiou.

**Mots clés :** pomme de terre ; *Phytophthora infestans* ; isolats ; types sexuels ; pathogénicité ; *Thevetia peruviana*

## ABSTRACT

Late blight caused by the oomycete *Phytophthora infestans* remains a huge problem in potato production and one of the most formidable crop diseases worldwide. In Cameroon the characteristics of the populations of this pathogen remain very poorly known and control measures involve frequent applications of synthetic fungicides. The general objective of this work is to control the *Phytophthora infestans* populations in potato crop by using *Thevetia peruviana* extracts. Twelve localities in the three main potato-producing basins (Bamboutos, Menoua and Mezam) of Cameroon were selected in agroecological zone III. The actual epidemiological situation of late blight in these basins was performed. The morphological and morphometric characters (length, width, length/width ratio) of sporocyst from the different isolates were described. The presence of matingtypes and pathogenicity tests on detached leaflets of two potato varieties were evaluated. Aqueous and methanol of *T. peruviana* extracts were tested at different doses (6.25 µl/ml; 12.5 µl/ml and 25 µl/ml corresponding respectively to CE1, CE2 and CE3 for the aqueous extract and CM1, CM2 and CM3 for the methanol extracts) on the mycelial growth of three isolates of *P. infestans* (P2, P17 and P30) and sporocyst germination. Fungicidal and fungistatic activities as well as MIC<sub>50</sub> and MIC<sub>90</sub> were evaluated. In the field, two potato varieties (local (V1) and an improved variety "CIPIRA" (V2) were used. Four phytosanitary treatments (an aqueous extract (T1); a Bravo 720 fungicide combined with an insecticide le Décis 5 CE (T2); a Bravo 720 fungicide (T3); a methanol extract (T4) and a control (T0)) were tested according to a completely randomized design. Disease progression and tuber yield during two growing campaigns (rain season and dry season) were evaluated and compared according to the different treatments. Results showed that 100 % of the plots visited in the different localities during the surveys were infected by late blight with high incidence and severity, and their distribution was found to be very heterogeneous. The Bamboutos basin is the most affected by mildew. A total of 36 isolates was obtained. Sporangia shape of *P. infestans* were ellipsoid, globose, elliptic, ovoid, lemoniform, oval to ellipsoid; pip form and subglobose. Sporangia sizes were highly variable and can be classified into two groups according to the length/width ratio (1.47 and 2.01). A1 and A2 matingtypes are present in Cameroon. All isolates showed pathogenicity to detached potato leaflets. The level of aggressiveness of three isolates (P2, P17 and P30) from the three basins shows that the P2 isolate from bamboutos basin is the most aggressive. Aqueous (CE) and methanol (CM) extracts at 12.5 and 25 µl/ml doses significantly inhibited (100%) the evolution of mycelial growth diameter of all strains compared to the control, as did the chemical fungicide treatment in all the isolates tested. All extracts were fungicidal at 12.5 and 25 µl/ml while the

6.25 µl/ml dose was fungistatic for some isolates. The lowest MICs were 3.35 and 14.29 µl/ml for MIC<sub>50</sub> and MIC<sub>90</sub> respectively. The extracts were effective in inhibiting of sporocyst germination. Germination rates were very low (0 to 13.33 %) in the aqueous extract (CE) and methanol (CM) treatments at 12.5 and 25 µl/ml compared to the control (T0) where rates ranged from 86.66 to 100 %. Aqueous extract (T1) and methanol (T4) significantly reduced disease severity as did chemical fungicide treatments compared to the T0 control in all observation periods and during both growing seasons. The applied products (T1, T2, T3 and T4) reduced late blight severity with an average of 90 % in the dry-season compared to an average 75 % reduction in severity during the rain season compared to T0. These products significantly increased yield in number of tubers per plant and commercial yield in tonnes per hectare as did chemical fungicide compared to the control during both growing seasons. This study shows that late blight remains and continues to be the most important disease on potatoes. Sporocyst shapes and sizes of *P. infestans* in Cameroon are highly diverse; isolates are two matingtypes A1 and A2 in Cameroon and were found to be very aggressive. Extract tests carried out on late blight development were positive. The extracts can therefore be exploited for their antifungal properties in an integrated control program against mildew.

**Keywords:** Potato; *Phytophthora infestans*; isolates; matingtype; pathogenicity; *Thevetia peruviana*

## INTRODUCTION

Le mildiou est l'une des maladies les plus destructrices et les plus redoutables pour les cultivateurs de la pomme de terre dans le monde entier. Elle est causée par un Oomycète *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary (Hijmans *et al.*, 2000). Cet Oomycète est capable d'attaquer toutes les parties d'un plant infecté : jeunes pousses, feuilles et pétioles, bouquets terminaux, tiges et tubercules. Les pertes de rendement engendrées par cette maladie peuvent atteindre 100 % ; en moins de trois semaines une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite lorsque les conditions sont favorables au développement du pathogène (Gaucher *et al.*, 1998). Toutes les attaques n'ont pas les mêmes conséquences sur le rendement : les attaques précoces induisent surtout une diminution de la photosynthèse, alors que les attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991). L'installation et l'évolution de la maladie sont très largement déterminées par les conditions climatiques, notamment l'humidité et la température (Harrison, 1992). Une température comprise entre 15 et 25 °C et une humidité relative supérieure à 90 % sont particulièrement favorables au développement de la maladie (Grewal et Panag, 2015). Chaque année, des milliers de documents sont publiés sur *P. infestans*. Malgré toutes ces recherches, le mildiou reste un énorme problème dans la production des pommes de terre et l'une des pires maladies des cultures dans le monde entier (Fry *et al.*, 2015). Au Cameroun, ce pathogène a également la capacité de causer des dommages importants ainsi que des pertes de 100 % de rendement sur les pommes de terre et sur les tomates. Il attaque principalement trois cultures que sont la pomme de terre, la tomate et le poivron (Fontem *et al.*, 2005).

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante herbacée tubéreuse originaire d'Amérique latine. Sa production augmente de façon significative depuis 1980 jusqu'à nos jours. Ces dernières années, sa production est passée de 328 616 920 de tonnes en 2010 sur 18 167 194 d'hectares à 370 436 581 sur 17 340 986 ha en 2019 (Anonyme, 2021), ce qui lui confère la quatrième place parmi les plantes cultivées après le maïs, le blé et le riz. Dans la pratique agricole, le cycle de production de la pomme de terre est principalement végétatif, les tubercules produites constituant à la fois un organe de reproduction asexuée, la partie alimentaire de la plante et aussi une matière première pour la transformation industrielle (Ellissèche, 2008). Près de deux million d'hectares sont cultivés en Afrique pour une production de 26 534 489 t en 2019 contre 24 932 066 t en 2010 (Anonyme, 2021). Mais malgré l'augmentation de la production de la pomme de terre dans les tropiques, l'Afrique ne représente que 7 % de la production mondiale. Ce qui reste en dessous de ses potentialités

réelles car les rendements sont généralement bas et se situent entre 3 et 16 t/ha, alors que ceux des pays européens sont en moyenne de 25 t/ha et atteignent les 60 t/ha dans certains pays (Anonyme, 2021). Au Cameroun, la culture de la pomme de terre a été introduite dans certaines zones agroécologiques depuis le 19<sup>e</sup> siècle. Avec une production de 363 556 t sur une superficie de 21 471 ha en 2019, la pomme de terre occupe une place très importante parmi les tubercules commercialisés au Cameroun. Cultivée dans neuf des 10 régions du Cameroun actuellement, elle constitue un aliment de base pour les populations de ces régions (consommation annuelle de 4-10 kg/habitant/an) et une source de revenu importante (222,2 FCFA/Kg), car les excédents de production sont soit vendus dans le marché local soit exportés vers les pays voisins (Anonyme, 2017). Les régions du nord-ouest et de l'ouest sont les plus grandes productrices au Cameroun avec plus de 80 % de la production nationale. Cependant, les rendements dans ces régions restent faibles (14 t/ha) et varient en fonction de la zone de production (Anonyme, 2017). Ainsi malgré l'importance de la pomme de terre dans l'économie nationale, la production totale reste en dessous des potentialités réelles. Plusieurs facteurs contribuent à cette baisse de production tel que l'utilisation du matériel local ou des variétés à faible potentiel de production ainsi que la prédominance de certaines maladies dont la plus redoutable est le mildiou et qui demeure le véritable fleau.

Plusieurs méthodes de lutte sont utilisées contre cet agent pathogène parmi lesquels :

- la lutte prophylactique qui consiste à limiter au maximum les sources d'inoculum primaire par rotations culturales et élimination des tas de déchets, issus de la récolte précédente, souvent laissés à proximité des parcelles (François et Michel, 2013). Les tas de déchets constituent la source principale d'inoculum primaire. La prévention des épidémies passe également par l'utilisation de tubercules de semences saines (Ambang, 1996). Enfin, la destruction des fanes avant la récolte par des traitements thermiques, mécaniques ou chimiques permet de diminuer les risques de contamination des tubercules au moment de la récolte.

- la lutte chimique, avec l'utilisation de fongicides de contact, pénétrants ou systémiques, reste la principale mesure de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Gaucher *et al.*, 1998).

- la lutte génétique dans laquelle de nombreux programmes reposant sur l'introduction de gènes de résistance (Njualement *et al.*, 2001) ont été engagés, avec pour but la sélection de variétés ayant une bonne valeur agronomique et une bonne résistance au mildiou. Ces programmes se sont longtemps basés sur l'introduction de résistances spécifiques, à caractère monogénique. (Jo *et al.*, 2015). Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *Solanum tuberosum*, telles *S. Bulbocstanum* (Lokossou *et al.*, 2010 ;

Orbegozo *et al.*, 2016), *S. berthaultii* (Parck *et al.*, 2009a), *S. phureja* (Śliwka *et al.*, 2006) ou *S. michoacanum*. (Śliwka *et al.*, 2012).

Les mesures de contrôle de cette maladie impliquent des applications fréquentes de fongicides. Toutefois, la gestion du mildiou avec ces fongicides est généralement limitée en raison d'un développement de la résistance par les populations de *P. infestans* (Ambang, 1996 ; Strange, 2003). L'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxadixyl) (Gisi & Cohen, 1996). L'efficacité réduite par exemple du métalaxyl et du maneb dans la lutte contre le mildiou a été démontrée au Cameroun (Fontem *et al.*, 2005 ; Dorn *et al.*, 2007). D'ailleurs, ces dernières années, il y a eu des mutations au sein des populations de *P. infestans*. La «vieille» population de type sexuel A1, qui était simple et se reproduisait seulement de façon asexuée a muté vers une population «nouvelle», plus agressive et diverse, contenant deux types sexuels A1 et A2, ce qui permet à l'agent pathogène de se reproduire sexuellement en plus de la reproduction asexuée généralement connue (Cooke, 2011). De nombreux travaux ont confirmé la présence de ce type de compatibilité sexuel en Amérique, (Reis *et al.*, 2003 ; Alkher *et al.*, 2015) en Europe (Savazzini et Galletti, 2015) et en Afrique du Nord (Abdelhadi, 2003 ; Andrivon *et al.*, 2007 ; Jmour et Hamada, 2006 ; Beninal *et al.*, 2008) mais pas dans la sous-région Afrique Centrale. La caractérisation au niveau local des différents isolats de *P. infestans* reste donc essentielle pour la création d'un système de gestion efficace de lutte contre cette maladie comme l'avaient signalé Cooke *et al.* (2012).

Par ailleurs, l'utilisation des produits chimiques pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre entraîne une perte économique d'environ 170 milliards de dollars Américains par an dans le monde (Haverkort *et al.*, 2008 ; Wu *et al.*, 2012). De plus, les effets nocifs de l'emploi des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement amènent aujourd'hui à les utiliser d'une façon plus raisonnée. La meilleure alternative à l'utilisation des fongicides est la lutte génétique. Cependant, ces gènes, conférant à la plante une résistance totale, sont très rapidement contournés par les populations parasites et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Ainsi pour trouver d'autres alternatives de luttés efficaces à cette lutte chimique toxique et coûteuse pour l'environnement, de nombreux chercheurs ont montré l'importance de l'utilisation des espèces végétales, non seulement pour la santé humaine (Omolaro *et al.*, 2007) mais également pour l'agriculture, comme source riche de Biopesticide pouvant être employées dans la protection de récolte (Mollah et L'Islam, 2007 ; Ambang *et al.*, 2007, Mboussi *et al.*, 2018) . Au Cameroun de nombreux travaux ont montré l'importance du

contrôle de cette maladie par l'utilisation des biofongicides pour réduire l'intensification des effets de ces fongicides chimiques dont les formes de résistance des pathogènes ont été révélées (Goufo *et al.*, 2010 ; Djeugap *et al.*, 2011). Par conséquent, la recherche des solutions de rechange aux produits chimiques comme l'utilisation des pesticides d'origine végétale sont des voies prometteuses pour une agriculture raisonnable et soutenable. Pour plus d'une décennie maintenant, des chercheurs ont focalisé leurs études sur l'action des extraits du laurier jaune sur les mycètes phytopathogènes (Kurucheve *et al.*, 1997 ; Gata-Gonçalves *et al.*, 2003 ; Ambang *et al.*, 2010 ; Ngho Dooch *et al.*, 2014a, Mboussi *et al.*, 2016 ; Ndogho *et al.*, 2018). Le laurier jaune (*Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum) est un petit arbre appartenant à la famille des Apocynaceae et est généralement employé comme une plante ornementale au Cameroun. Ces dernières années, cette plante a été considérée comme une source de biopesticides qui sont importants dans la protection des cultures. Au vu de ce qui précède, les différentes questions de recherches suivantes ont été posées :

- quel est la situation épidémiologique réelle du mildiou dans les zones de productions choisies pour cette étude ?
- y a-t-il une diversité dans les populations de *Phytophthora infestans*, agent causal du mildiou dans les zones/ localités de production de la pomme de terre au Cameroun ?
- la présence du type sexuel influence-t-elle l'agressivité des populations de *P. infestans* au Cameroun ?
- les extraits de *Thevetia peruviana* (laurier jaune) peuvent-ils réduire le développement du mildiou sur la pomme de terre ?

Quatre hypothèses de recherches ont été ainsi testées à savoir que : (i) la sévérité de la maladie est très importante dans les bassins de production de la pomme de terre au Cameroun ; (ii) les populations de *P. infestans* au Cameroun sont très diversifiées ; (iii) les populations de *P. infestans* sont toutes pathogènes ; (iv) les extraits de laurier jaune peuvent contrôler le mildiou de la pomme de terre.

Le présent travail a pour objectif général de contrôler les populations de *Phytophthora infestans* sur la pomme de terre par l'utilisation des extraits de *Thevetia peruviana*.

Plus spécifiquement, il était question de :

- réaliser un état des lieux de la maladie dans les différentes localités prospectées ;
- décrire les caractères phénotypiques des différents isolats collectés ;
- tester *in vitro* les potentiels antifongiques des extraits de *T. peruviana* sur le développement du mildiou ;
- évaluer en champ l'effet des substances antiparasitaires testées sur le mildiou.

Cette étude a des intérêts sur le plan académique, socioéconomique, environnemental et sanitaire.

Sur le plan académique, cette étude présente d'une part la diversité phénotypique des populations de *P. infestans* agent causal du mildiou de la pomme de terre au Cameroun ainsi que leurs différents modes de reproduction et leur agressivité. Il montre également une méthode de contrôle de ce pathogène par l'utilisation des extraits de plante.

Sur le plan socioéconomique, cette étude présente l'importance du mildiou dans les principales localités de production des pommes de terre et contribue ainsi à augmenter la productivité et à valoriser tout en augmentant les gammes des services rendus par les plantes locales telle que *Thevetia peruviana*.

Sur le plan environnemental, la phytoprotection proposée est respectueuse de l'environnement et limite la multiplication des maladies des plantes cultivées ainsi que l'inhibition des mutations des pathogènes dues à l'utilisation des produits chimiques.

Sur le plan sanitaire, ce travail s'inscrit dans le cadre de la production biologique des aliments et de ce fait contribue à la production des pommes de terre exemptes de résidus chimiques.

**CHAPITRE I**  
**REVUE DE LA LITTÉRATURE**

## **CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTÉRATURE**

### **I.1. Pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.)**

#### **I.1.1. Origine et répartition géographique**

La pomme de terre semble avoir pris naissance et avoir vécu à l'état spontané dans les rivages d'Ouest de l'Amérique latine (Pérou, Bolivie, Équateur et centre du Mexique). Elle fut introduite en Europe, vers les deuxièmes moitiés du 16ème siècle par les navigateurs ou les pirates. Importée en Europe à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, elle fut introduite par deux foyers : D'abord en Espagne, d'où elle se répandit vers le continent ; puis également en Angleterre, d'où elle se dispersa vers l'Écosse, l'Irlande et les pays scandinaves et nordiques (Rousselle *et al.*, 1996). Elle s'est rapidement diffusée dans le monde et est cultivée de nos jours dans plus de 150 pays. Introduite au Cameroun par la colonisation, la pomme de terre y est cultivée (Fig. 4) depuis 1940 dans six des dix régions du Cameroun, surtout par les populations rurales et essentiellement les femmes (Fontem *et al.*, 2004a). Les régions du nord-ouest et de l'ouest sont les plus grandes productrices au Cameroun avec plus de 80 % de la production nationale. Elle est aussi cultivée dans les hautes terres de l'Adamaoua, de l'extrême Nord et les régions du Centre, du Sud, du Sud-Ouest et du Littoral.

#### **I.1.2. Position systématique**

La position systématique de la pomme de terre est (Boumlik, 1995):

Règne : Plantae

Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Polémoniales

Famille : Solanaceae

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum tuberosum* L.

#### **I.1.3. Diversité**

Le genre *Solanum* L. regroupe environ un millier d'espèces dont plus de 200 sont tubéreuses (Rousselle *et al.*, 1996). Il existe environ 4000 variétés de pomme de terre en fonction du climat, des besoins des agriculteurs et des utilisations, du goût des consommateurs et de la résistance aux ennemis des cultures (Viva Patata, 2014). Les mâles sont stériles (environ 1/3 des variétés). L'espèce cultivée dans nos régions, *Solanum tuberosum* L. (Fig.1) comprend plusieurs centaines de variétés différentes par la forme, la couleur, la texture ou

encore par la teneur en amidon des tubercules. Parmi ces variétés les plus connues sont, Cipira, Manon, Tubira, Dosa, Atlas, Candor, Spunta, Désirée, Cardinal, et Diamant.

#### **I.1.4. Description de *Solanum tuberosum***

La pomme de terre est une plante dicotylédone annuelle de la famille des Solanacées dont l'espèce commune blanche cultivée a pour nom latin *Solanum tuberosum*. Botaniquement, la tige pouvant atteindre 1 m de longueur, est dressée ou prostrée et porte des feuilles pointues et des fleurs dont la couleur varie du blanc au violet (Fig. 2). Le fruit est une baie de la taille d'une cerise et comporte de nombreuses graines. Le tubercule oblong, rond ou réniforme, est l'organe de réserve de la plante, où vont s'accumuler les sucres. Le tubercule, qui se forme à 15 cm environ sous le sol, est rattaché à la tige souterraine (stolon) par l'une de ses extrémités, le talon. À l'autre extrémité, se trouve la couronne, qui porte les yeux (bourgeons), disposés selon une hélice plus ou moins régulière (Kleinkopf, 1983).



Fig. 1. Pomme de terre en culture dans la localité de Bambui (Cameroun)

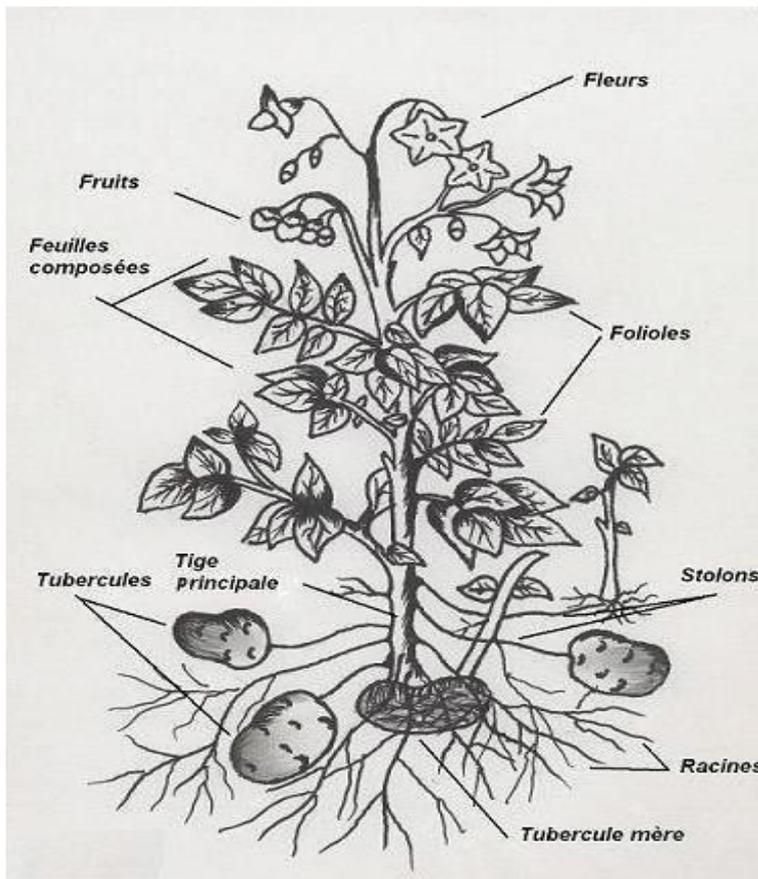


Fig. 2. Description d'un plant de pomme de terre adulte (Vanderhofstadt et Jouan, 2009).

L'appareil aérien de la pomme de terre est constitué de plusieurs tiges principales souvent ailées, la plante adoptant avec l'âge un port plus ou moins étalé (caractéristique variétale). Les feuilles sont alternes, composées imparipennées et comportent de 7 à 15 grandes folioles latérales primaires flanquées de folioles secondaires, de folioles intercalaires et de foliolules se distinguant par leur mode d'insertion sur le rachis. L'inflorescence est une cyme qui naît à l'extrémité de la tige. Elle compte généralement entre 7 et 15 fleurs. Ces fleurs d'un diamètre de 3 à 4 cm, sont régulières, à symétrie pentamère typique de la famille des Solanaceae (Vanderhofstadt et Jouan, 2009). Cette espèce produit des graines par autofécondation (comportement propre des espèces autogames), mais elle manifeste aussi une dépression endogamique (caractéristique propre aux espèces allogames). Les graines obtenues par pollinisation libre sont le résultat d'un mélange d'autopollinisation et de pollinisation croisée, la première étant la plus fréquente (Soltner, 1979).

L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché, les stolons (tiges souterraines diagéotropes) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale ainsi que des racines adventives (Rousselle *et al.*, 1996). Il représente la partie la

plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire.

### **I.1.5. Écologie**

La pomme de terre aime les sols légers (sableux ou sablo-limoneux) avec un pH relativement neutre. Cependant elle peut supporter des sols légèrement acides (pH 5 à 6,5). Les sols légers d'origine volcanique sont particulièrement bien adaptés à la culture de la pomme de terre. Les températures optimales de croissance des tubercules se situent aux alentours de 18 °C le jour et 12 °C la nuit (Rousselle *et al.*, 1996)..

### **I.1.6. Agronomie**

La pomme de terre est une solanacée. Il faut impérativement la planter dans un sol qui n'a pas été cultivé avec une plante de la même famille (tomate, aubergine, piment, poivron...) depuis au moins 3 saisons de culture. La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale (Soltner, 2005). La multiplication végétative des tubercules passent d'abord par une période dite de « dormance ». Durant cette période, le tubercule est dans un état de repos végétatif pendant lequel son aspect extérieur ne se modifie pas. Le tubercule ne germe pas même s'il est mis en conditions favorables. Ensuite, placé dans des conditions d'environnement favorables (16-20 °C, 60-80 % d'humidité relative) aussitôt après la fin de son repos végétatif, il va se « réveiller » en émettant des germes, c'est la « germination » (Ellisèche, 2008). La durée de la dormance est avant tout une caractéristique variétale, mais elle est également directement liée aux conditions de conservation. La température de conservation est un facteur déterminant. Les durées de dormance des variétés utilisées en Afrique, conservées entre 20 et 30 °C, varient de 60 à 120 jours (Rolot et Vanderhofstadt, 2014). La germination est épigée et les cotylédons sont portés au-dessus du sol par le développement de l'hypocotyle (Rousselle *et al.*, 1996). En conditions favorables, quand la jeune plante a seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer d'abord au niveau des cotylédons puis aux aisselles situées au-dessus, et s'enfoncent dans le sol pour donner des tubercules.

### **I.1.7. Importance socio-économique**

La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est l'une des récoltes vivrières les plus importantes dans le monde, elle a été consommée par des humains depuis plus de 8000 ans (Ellisèche, 2008). Sa production augmente de façon significative depuis 1980 jusqu'à nos

jours. Ces dernières années, sa production est passée de 328 616 920 de tonnes en 2010 sur 18 167 194 d’hectares à 370 436 581 sur 17 340 986 ha en 2019 (Anonyme, 2021), ce qui lui confère la quatrième place parmi les plantes cultivées après le maïs, le blé et le riz. La Chine est le premier pays producteur mondial et produit 1,6 fois plus que l’Union Européenne et 26 % des 368 millions de t. produites dans le monde. Près de deux million d’hectares sont cultivés en Afrique pour une production de 26 041 721 t en 2018 contre 24 932 066 t en 2010 (Anonyme, 2021). En termes de consommation, la pomme de terre est la première racine féculente consommée (93,01 g/personne/jour) au niveau mondial avant le manioc, les patates douces et les ignames. Les quantités de pommes de terre consommées ne rivalisent cependant pas avec les féculents céréaliers tels que le blé et le riz. Les tubercules produits constituent à la fois un organe de reproduction asexuée, la partie alimentaire de la plante et aussi une matière première pour la transformation industrielle (Ellissèche, 2008).

En plus de son importance dans l’alimentation (Fig. 3), la pomme de terre est aussi utilisée par voies biotechnologiques dans la production des vaccins contre le diabète et l’hépatite (Arakawa *et al.*, 1999). Les tubercules sont utilisés dans certaines régions pour produire de l’énergie locale. D’après les données relevées entre 1999 et 2004 par l’enquête National Health and Nutrition Examination, les personnes qui mangent des pommes de terre ou des produits réalisées à base de ce fruit présentent une pression sanguine moins élevée. De même, selon une étude présentée au congrès international de San Diego en 2008, ces personnes réduiraient environ de 27 % les risques de contracter un syndrome métabolique lié aux troubles comme les maladies cardiovasculaires ou le diabète.

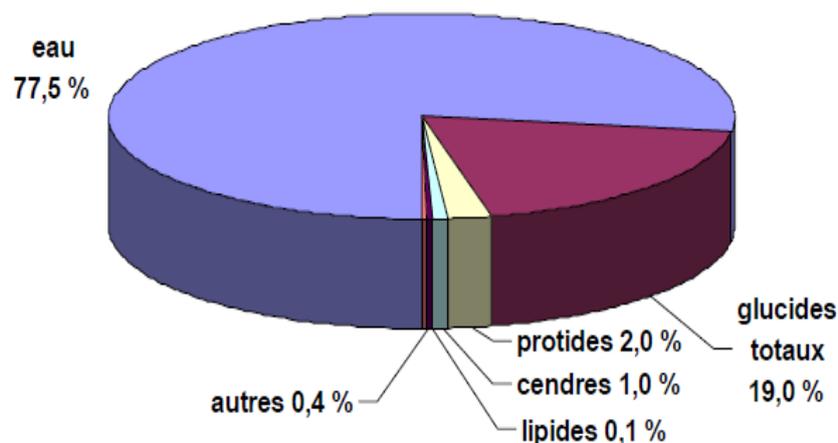


Fig. 3. Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*). Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la matière fraîche totale (Delaplace, 2007).

### I.1.8. Production de la pomme de terre au Cameroun

La culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) a été introduite dans certaines zones agroécologiques du Cameroun depuis le 19<sup>e</sup> siècle. Elle fut cultivée uniquement dans trois régions du Cameroun, surtout par les ruraux et essentiellement les femmes (Fontem *et al.*, 2004a). Actuellement cultivé dans neuf des dix régions du Cameroun (Tableau I), la pomme de terre peut être plantée et récoltée dans n'importe quelle région, en fonction des saisons. Avec une production de 363 556 t sur une superficie de 21 471 ha en 2019 (Anonyme, 2021), la pomme de terre occupe une place très importante parmi les tubercules commercialisés au Cameroun. Les régions du nord-ouest et de l'ouest sont les plus grandes productrices au Cameroun avec plus de 80 % de la production nationale (Anonyme 2017). Elle constitue un aliment de base pour les populations de ces régions (consommation annuelle de 4-10 kg par habitant/an) et une source de revenu importante car les excédents de production sont soit vendus dans le marché local soit exportés vers les pays voisins. Cette production (302 706 t) est déficitaire pour plus de 600 000 t voire plus. Ceci ne permet pas de satisfaire la demande nationale qui avoisine 1 000 000 t et celle de l'ensemble de la zone CEMAC estimée à plus de 2 500 000 t (Anonyme, 2021). Le prix de vente varie en fonction des zones et des périodes. C'est ainsi qu'il est en moyenne de 180,6 FCFA/kg dans les zones de production et de 222,2 FCFA/kg en zones urbaines (marchés de consommation). Deux campagnes agricoles (périodes de cultures) sont effectuées généralement dans ces deux régions. La saison de culture (saison de pluie) est dominante tant par les surfaces occupées et leur participation au total de la production. La contre-saison (saison-sèche) qui occupe la seconde place se pratique dans des zones à grande possibilité d'irrigation où presque tout le cycle se déroule en absence de pluies.

Tableau I. Production (t) de pommes de terre entre 2013 et 2016 au Cameroun (Anonyme 2017)

Régions	production (en tonnes)			
	2013	2014	2015	2016
Adamaoua	4804,87	7570,87	8205,5	16570
Centre	726	857	901	577
Extème-Nord	961	963	1019	1617
Littoral	804	828,12	870	714
Nord	17268	17293	18311	29051
Nord-Ouest	63733	63823	67579	107220
Ouest	125807	123334	243233	211649
Sud	303	304	322	510
Sud-Ouest	5556	5564	5892	9348
Total	219962,87	220536,99	346332,5	377256

## **I.1.9. Exigences de la culture de la pomme de terre**

### **I.1.9.1. Exigences écologiques**

Dans le cas d'une culture de pomme de terre, les hautes températures réduisent la croissance du tubercule et stimulent la croissance des tiges ; par contre les basses températures favorisent d'avantage la croissance du tubercule (Abbas *et al.*, 1995). La pomme de terre est très sensible au gel. Le tubercule gèle entre 1 °C et 2.2 °C. Le zéro de végétation est compris entre 6 et 8 °C (Houidi, 2007). Les températures optimales de croissance des tubercules se situent aux alentours de 18 °C le jour et 12 °C la nuit. Une température du sol supérieure à 25 °C est défavorable à la tubérisation (Bamouh, 1999 ; Vanderhofstadt et Jouan, 2009).

La pomme de terre est une plante héliophile. La croissance de la pomme de terre est favorisée par la longueur du jour élevée (14 à 18 h) une photopériode inférieure à 12 h favorise la tubérisation. Ce facteur est déterminant pour la photosynthèse et la richesse en féculé des tubercules (Moule, 1972).

### **I.1.9.2. Exigences hydriques**

La pomme de terre comme toutes les plantes, assure sa croissance et son développement d'une part par les produits élaborés par la photosynthèse et, d'autre part, par l'eau et les éléments minéraux puisés par le substrat. En comparaison avec d'autres cultures, la pomme de terre est bien exigeante en eau ; une quantité d'eau entre 500 et 700 mm d'eau selon le climat pour une variété dont le cycle est de 120 à 150 jours de culture est nécessaire pour obtenir un rendement élevé de la pomme de terre.

Les exigences de la culture de pomme de terre sont très élevées. Elles sont de l'ordre de 250 à 300 kg d'eau par kilogramme de matière sèche. Par ailleurs, ses besoins sont constants pendant toute la durée de végétation. En période de forte tubérisation c'est jusqu'à 80 m<sup>3</sup> d'eau par hectare et par jour qui peut lui être nécessaires. La durée de végétation étant courte et souvent même très courte (variétés hâtives), il faudra donc veiller à lui préparer une alimentation en eau abondante et régulière. L'irrigation peut donc avoir un sérieux intérêt. Mais elle doit bien être conduite. Un excès d'eau peut être néfaste en diminuant la richesse en féculé et en favorisant le développement du mildiou et de la pourriture (Moule, 1972).

### **I.1.9.3. Exigence édaphiques**

Dans les sols légèrement acides ( $\text{pH } 5.5 < a < 6$ ), la pomme de terre peut donner de bons rendements. Une alcalinité excessive du sol peut causer le développement de la galle commune

sur tubercule (Bamouh, 1999). Néanmoins elle peut s'adapter aux sols faiblement alcalins. En général, la pomme de terre est une plante qui s'accommode à toutes les terres, à condition que celles-ci soient suffisamment alimentées en eau. La pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture plus ou moins grossière (texture sableuse ou sablo-limoneuse) que dans des sols à texture argileuse ou argilo-limoneuse qui empêchent tout grossissement de tubercule.

#### **I.1.9.4. Exigences agronomiques**

La pomme de terre est une plante exigeante en éléments nutritifs, tant au point de vue organique que minéral, qui influent tant sur le rendement que sur la qualité de la récolte obtenue. Les principaux éléments fertilisants, sont surtout l'azote, phosphore et la potasse. Il est indispensable d'appliquer une fertilisation équilibrée.

L'azote est un élément qui augmente la vigueur des plantes, assure aux tiges un développement puissant et favorise donc la formation des tubercules. Il augmente non seulement le rendement mais aussi la richesse en féculé (Houidi, 2007). Lors de la plantation l'azote peut être appliqué sous forme de sulfate d'ammoniaque, vu son assimilation progressive.

Les plants de pommes de terre absorberaient près de 22 kg /ha de phosphore et environ 18 kg P/ ha se retrouvent dans les tubercules à la récolte (Soltanpour, 1969 ; Harris, 1978 ; Mccollum, 1978). La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) à une exigence élevée en engrais phosphore pour une croissance et un rendement optimal (Tesfaye, 2009). Ainsi, en cas d'une carence en P, la croissance et le rendement sont considérablement réduites. Le phosphore intervient dans les phénomènes de floraison, fructification et maturation. Le phosphore est difficilement absorbé par la plante. Pour cela il doit être appliqué avant plantation et sous forme la plus assimilable.

Toutefois, bien que la pomme de terre soit exigeante en azote et en phosphore, la culture de la pomme de terre est très exigeante en potassium. Parmi les trois éléments (N.P.K), le potassium est celui qui est requis en plus grande quantité par la plante (Carpenter, 1957 ; Darpoux, 1967). Dans la culture de la pomme de terre, la fertilisation potassique diminue l'incidence des maladies sévères comme le mildiou (*Phytophthora infestans*), la fusariose (*Fusarium* sp.), la galle poudreuse (*Spongospora subterranea*) et l'alternariose (*Alternaria solani*) (Marschner, 1995). Le potassium est l'élément majeur pour la tubérisation. Il facilite la migration de la féculé et sa concentration dans les tubercules. Il favorise le développement de la plante et augmente sa résistance au froid, aux maladies et aux accidents physiologiques. La carence en K cause des nécroses. La forme sulfate est plus préférable que la forme chlorure.

Le potassium intervient dans différents aspects de la physiologie de la plante. Il aide à la photosynthèse ; favorise de hauts niveaux d'énergie ; maintient la turgescence des cellules ; régularise l'ouverture des stomates des feuilles ; stimule l'absorption d'eau ; régularise la translocation des éléments nutritifs dans la plante ; favorise le transport et le stockage des carbohydrates.

## **I.2. Mildiou de la pomme de terre**

### **I.2.1. Aperçu historique de la maladie du mildiou**

Le mildiou, causé par *P. infestans*, est une maladie très redoutable de la pomme de terre et de la tomate non seulement dans les régions tempérées mais pratiquement dans toutes les zones de production de ces cultures (Fry *et al.*, 1992). Le centre d'origine de ce fléau est probablement les montagnes du Mexique Centrale (Christine *et al.*, 2000 ; Sedlakova *et al.*, 2011) où la diversité du parasite est maximale et où la reproduction sexuée du champignon a toujours existé (Tooley *et al.*, 1986 ; Niederhauser, 1991). Ensuite, la maladie s'est manifestée en dehors du Mexique après migration en plusieurs temps (Spielman *et al.*, 1991 ; Fry *et al.*, 1992 ; Goodwin *et al.*, 1993 ; Andrivon, 1996). Le mildiou atteint l'Europe entière dès 1845 et fût à l'origine d'une famine en Irlande entre 1845 et 1846 où elle a provoqué une grande famine qui a entraîné la mort de plus d'un million d'habitants et la migration de plus d'un million et demi de personnes (Fry et Goodwin, 1997 ; Andrivon et Lebreton, 1998). En Afrique, la maladie a été détectée pour la première fois en 1941 (Sediqui *et al.*, 1997).

### **I.2.2. Systématique**

Le genre *Phytophthora* appartient à la classe des Oomycètes, à l'ordre des Péronosporales et à la famille des Perenosporacées. Il se compose de deux racines grecques à savoir "phyto" qui signifie plante et "phthora" qui signifie destruction. Les *Phytophthora* sont donc des destructeurs de végétaux. C'est Anton de Bary en 1861 qui a été le premier à utiliser ce terme lorsqu'il décrivait l'agent responsable de la destruction des cultures de la pomme de terre (mildiou), *P. infestans*. Approximativement 43, 67, 80 et plus de 100 espèces de *Phytophthora* ont été décrites (Cooke *et al.*, 2000). Elles sont connues et causent un grand nombre de maladies sur un nombre croissant d'espèces végétales incluant les grandes cultures, les espèces forestières, subtropicales, tropicales et les plantes ornementales. Sur 50 espèces de *Phytophthora* étudiées, 32 ont des spectres d'hôtes larges et 18 n'ont qu'un seul hôte. Par

exemple, *P. cinnamomi* infecte plus de 900 espèces alors que *P. infestans* n'infecte que deux espèces de *Solanum* (la tomate et la pomme de terre) (Grünwald *et al.*, 2000).

*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary est donc un Oomycète de la famille des Peronosporacées. Les oomycètes sont caractérisés par un mycélium non cloisonné et de zoospores biflagellés, dont l'un dirigé vers l'avant est cilié et l'autre dirigé vers l'arrière est lisse. Le thalle est diploïde, avec une méiose qui se produit dans les gamétocystes et qui aboutit à la formation de spores sexuées ou oospores (Agrios, 2005).

La position systématique de l'agent pathogène est la suivante (Jagadeesh *et al.*, 2014) :

Domaine: Eukarya

Règne: Stramenopila

Phylum: Oomycota

Classe: Oomycètes

Ordre: Peronosporales

Famille: Peronosporaceae

Genre: *Phytophthora*

Espèce: *Phytophthora infestans*.

### **I.2.3. Biologie et reproduction**

*Phytophthora infestans* est un oomycète hétérothallique, pathogène hémi-biotrophe quasi-oligotrophe. Son cycle biologique est composé d'une phase asexuée et d'une phase sexuée. Pour que la reproduction sexuée ait lieu, les deux types sexuels A1 et A2 doivent être en présence. La détection de l'autre type sexuel se fait par un dialogue hormonal entre les deux hyphes mycéliens. Suite à la fertilisation, une oospore est produite. L'oospore constitue le stade de survie de l'agent pathogène et la source de variation des populations de *P. infestans*. Les oospores du mildiou peuvent survivre plusieurs années dans le sol, à conditions que les températures restent relativement basses (Fay and fry, 1997).

### **I.2.4. Cycle de vie**

Le cycle de vie de *P. infestans* consiste en une phase asexuée et une autre sexuée (Fig. 4). Les sporocystes constituent l'unité de la reproduction asexuée. Ces organes sont facilement détachés des sporangiophores qui constituent un duvet blanc autour des lésions. Les sporocystes germent soit directement par émission d'un ou de plusieurs tubes germinatifs soit indirectement par production des zoospores (Harrison, 1990). Ces propagules seront à l'origine

des contaminations secondaires. L'infection des tubercules et des feuilles se fait le plus souvent par ces zoospores biflagellées de *P. infestans* qui sont facilement drainés avec l'eau d'irrigation ou des précipitations. L'agent pathogène infecte les tubercules au niveau des lenticelles, les yeux, les stolons ou les blessures mais ne pénètre jamais à travers le épiderme intact (Walmsley- Woodward et Lewis, 1977 ; Pathak et Clarke, 1987). L'importance relative des différentes voies de pénétration de l'agent pathogène dans les tubercules dépendent des conditions de la croissance et le type de cultivar (Swizynsky et Zimnoch- Guzowska, 2001). Au niveau des feuilles, les zoospores rejoignent les stomates, en se déplaçant dans le film d'eau présent grâce à leurs flagelles, s'enkystent à proximité puis émettent un tube germinatif qui, en pénétrant, détermine les foyers primaires de l'infection. Un hyphe primaire émerge de l'appressorium et envahit la cellule végétale puis des hyphes intercellulaires se développent : c'est l'incubation ou phase d'invasion. Des structures d'alimentation spécialisées, les haustoria, se forment et envahissent les cellules du mésophylle pour récupérer les éléments nutritifs de la plante et favoriser la croissance du mycélium (Agrios, 2005). L'espèce *P. infestans* est hétérothallique et se caractérise par l'existence de deux types sexuels A1 et A2 (Gallegly et Galindo, 1958, Smoot *et al.*, 1958). Après confrontation entre les anthéridies et les oogones, les oospores sont formés selon les réactions de chacun des types sexuels vis à vis de l'hormone produite par le type sexuel opposé (Ko, 1988 ; Shaw, 1987). Les oospores peuvent être formées selon trois mécanismes différents : par apomixie, autofertilité ou par reproduction sexuée croisée. Cependant, l'importance relative des oospores formées par ces trois voies restent indéterminée (Christine *et al.*, 2000).

Une des particularités de *P. infestans* est son mode de trophie : Dans un premier temps il colonise les tissus sous forme de mycélium et initie l'infection de façon biotrophe, causant peu de dommages sur les tissus hôtes. Cette phase biotrophe peut durer plusieurs jours alors qu'elle ne dure que quelques heures pour *P. sojae* (Fry, 2008). Il génère ensuite des sporocystes et épuise peu à peu les ressources de son hôte entraînant la formation d'une nécrose. *P. infestans* change ainsi de mode de trophie et devient nécrotrophe. Cependant, les deux modes de trophie coexistent, car l'oomycète continue de se développer sous forme de mycélium et sporule autour de cette nécrose. Ainsi, ces modes de trophie correspondent à trois phases de développement de l'agent pathogène qui coexistent : la croissance mycélienne ; la sporulation (biotrophe) et la nécrose. Le reste du tissu est considéré sain.

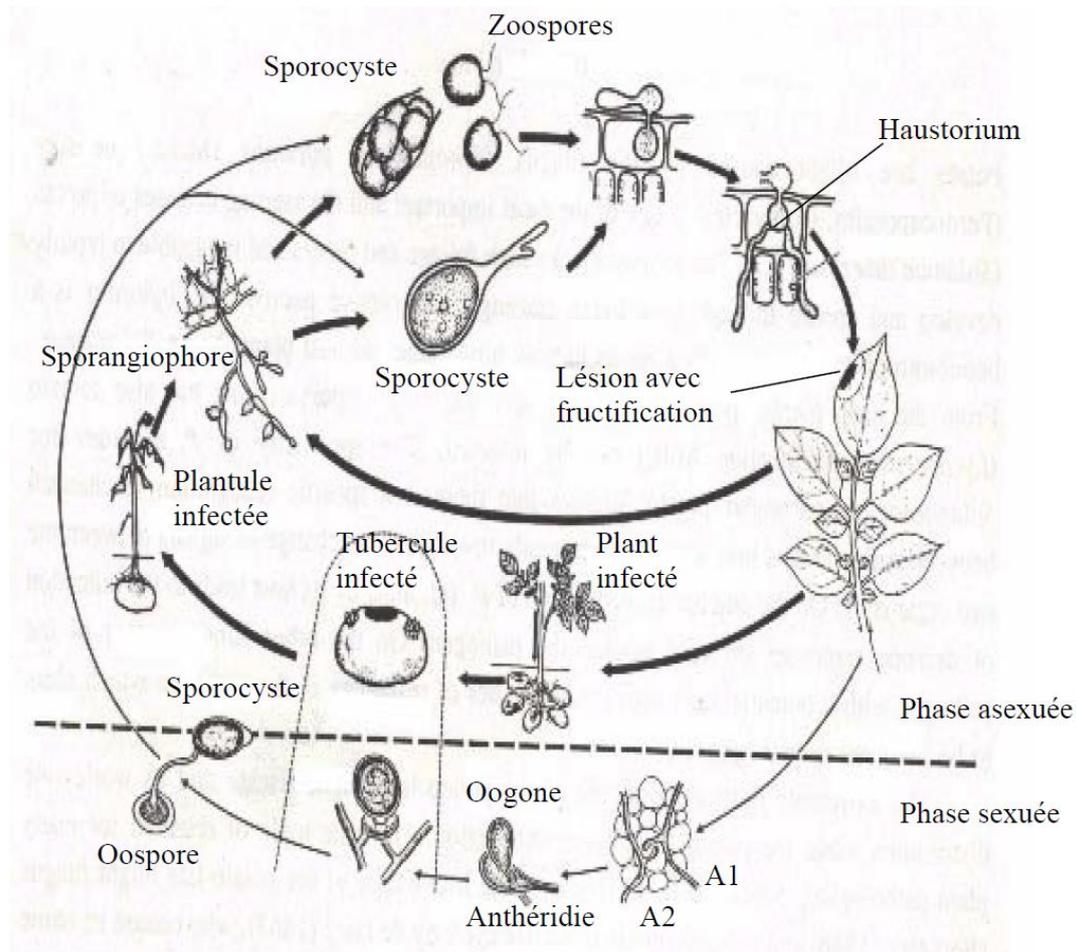


Fig. 4. Cycle de vie de *Phytophthora infestans* (Agrios, 2005)

### I.2.5. Sources d'inoculum primaires et modes de conservation

Le mycélium hivernant dans les yeux et/ou les blessures des tubercules de semences constitue la source principale d'inoculum primaire (Paitier, 1980 ; Gregory, 1983 ; Davidse *et al.*, 1983). En effet, un tubercule infecté sur 100 000 sains est considéré comme une quantité d'inoculum suffisante pour déclencher une épidémie générale (Weste, 1983). L'infection peut être aussi provoquée par les propagules du champignon (sporocystes, zoospores et fragments mycéliens) conservés dans le sol sur les débris des fanes et parfois sur les repousses en zone à climat doux (Paitier, 1980). Selon ce même auteur, il suffit d'une quantité infime de sporocystes dans la culture pour qu'une épidémie puisse avoir lieu lorsque les conditions climatiques sont favorables. Les oospores résultant de la recombinaison génétique sont considérées comme la forme de conservation la plus importante de cet agent pathogène (Thurston et Shultz, 1981 ; Drenth *et al.*, 1993).

### **I.2.6. Diversité et distribution**

Le genre *Phytophthora* appartient à la famille des Peronosporacées et comprend plus de 80 espèces (Cooke *et al.*, 2000). C'est l'un des champignons pathogènes le plus répandu dans le monde. On retrouve ce genre partout où l'on cultive la pomme de terre. Des deux espèces qui attaquent la pomme de terre (*P. erythroseptica* et *P. infestans*), *P. infestans* est l'espèce la plus répandue dans le monde et elle cause le plus de dégâts. Ce genre attaque également de nombreuses familles de plantes cultivées autres que les Solanacées à l'instar des Malvacées.

### **I.2.7. Symptomatologie**

Le mildiou est considéré comme la maladie la plus grave de la pomme de terre à l'échelle mondiale. Il attaque toutes les parties de la plante. Cette maladie apparaît généralement à une date qui varie selon les régions et les conditions climatiques. Sur des tiges et des feuilles, des taches brunâtres apparaissent et se développent très rapidement ; à la face inférieure des feuilles on observe un duvet blanchâtre représentant les fructifications du mildiou (Hodgson *et al.*, 1975 ; Bernhards, 1998). Par temps chaud et humide tout un champ sera brûlé en quelques jours (Moule, 1972). Les tubercules restent fermes mais après quelques semaines d'entreposage ils présentent des dépressions. A l'intérieur du tubercule se manifestent des taches de couleur rouille, de forme diffuse.

Le mildiou se caractérise par le développement de taches d'abord humides, voire de plages, sur les folioles. Ces attaques confèrent localement aux tissus touchés une teinte vert pâle à vert brun (Agrios, 2005). Des portions importantes du limbe finissent par être affectées et ne tardent pas à brunir et se nécroser. Ces tâches sont fréquemment entourées d'une marge de tissus livide, mal définie, sur laquelle se forme parfois, à la face inférieure du limbe, un discret et fugace duvet blanc (Fig. 5A et 5B) constitué par les sporangiophores et les sporocystes de *Phytophthora infestans* (Dominique *et al.*, 2009). Lorsque les conditions sont particulièrement favorables, la progression des symptômes sur les folioles est fulgurante ; les feuilles, les rameaux voire les plants entiers, finissent par se nécroser et se dessécher entièrement (Nelson, 2008).

Sur la tige, le symptôme typique est une nécrose brun violacé, s'étendant sur 2 à 10 cm à partir d'un noeud (Fig. 5C). Par temps humide, cette nécrose se couvre d'une couche poudreuse blanche ou grisâtre (Rousselle *et al.*, 1996). Des brunissements comparables peuvent

être observés sur les bouquets floraux ; ils sont à l'origine de la chute de nombreuses fleurs (Dominique *et al.*, 2009).

L'infection des tubercules se manifeste par la présence de zones légèrement déprimées de taille variable et de forme irrégulière, où la peau est brun violet et coriace. Les tissus sous-jacents acquièrent une coloration havane ou brun clair, et une pourriture sèche et granuleuse se développe dans la chair du tubercule (Fig 5 D) (Platt, 2008). En conditions humides ou chaudes, une infection secondaire bactérienne ou fongique peut transformer en pourriture aqueuse les zones atteintes par le mildiou (Platt, 2008).

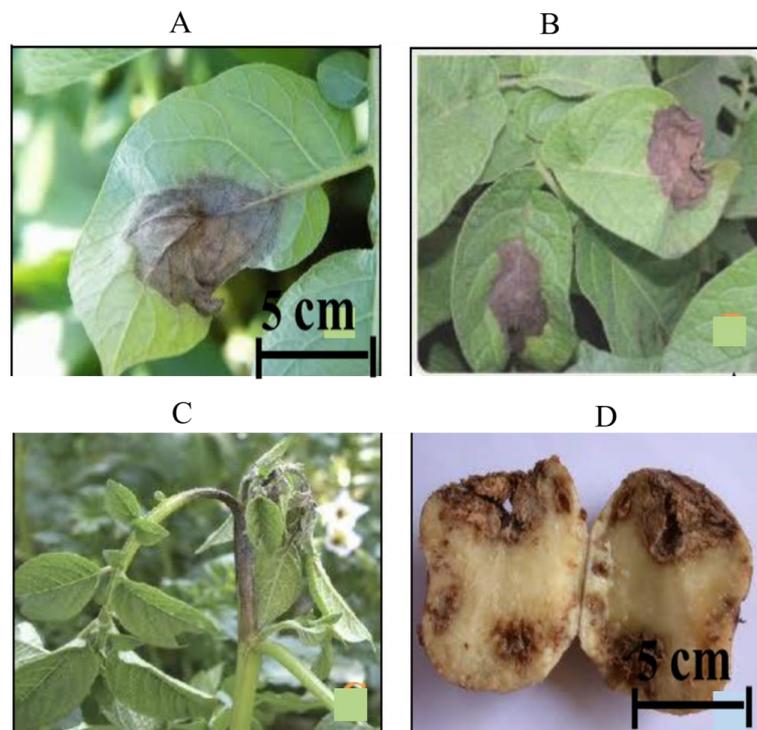


Fig. 5. Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre (Agrios, 2005).

A et B) sur les feuilles ; C) sur la tige et D) sur les tubercules de pomme de terre

### I.2.8. Description morphologique de l'agent pathogène

*Phytophthora infestans* possède un mycélium coenocytique hyalin à développement endogène (intercellulaire et intracellulaire) via la formation d'haustoria (Thurston et Shultz, 1981). Le mycélium produit des sporocystophores qui forment à leurs extrémités des sporocystes (Fig. 6A) (Agrios, 2005).

Les sporocystes germent soit par la formation d'un tube germinatif, lorsque la température est supérieure à l'optimum de germination des sporocystes (germination directe) ; soit par la différenciation de leur cytoplasme en zoospores, si la température est inférieure à

l'optimum de germination du mycélium et en présence de l'eau (germination indirecte) (Erwin *et al.*, 1983). Les sporocystes sont de forme ovoïde à elliptique effilé à la base (Erwin et Ribeiro, 1996). Les zoospores sont mobiles possédant deux flagelles : un flagelle postérieur lisse et un flagelle antérieur portant des mastigonèmes (Erwin et Ribeiro, 1996). *Phytophthora infestans* est un organisme hétérothalique possédant deux types de compatibilité sexuelles A1 et A2 (Gallegly et Galindo, 1958). Lorsque les mycéliums de types sexuels différents se rencontrent et produisent des oogones et des anthéridies, il peut y avoir reproduction sexuée avec production d'oospores (Fig. 6A) (Platt, 2008). Les oospores sont sphériques d'une couleur brun rougeâtre, possédant une paroi épaisse. Lorsqu'elles germent, les oospores forment un tube germinatif à l'extrémité duquel apparaît un sporange (Platt, 2008). Les oogones sont globuleux, alors que les anthéridies sont amphigynes et généralement de forme allongée (Agrios, 2005)

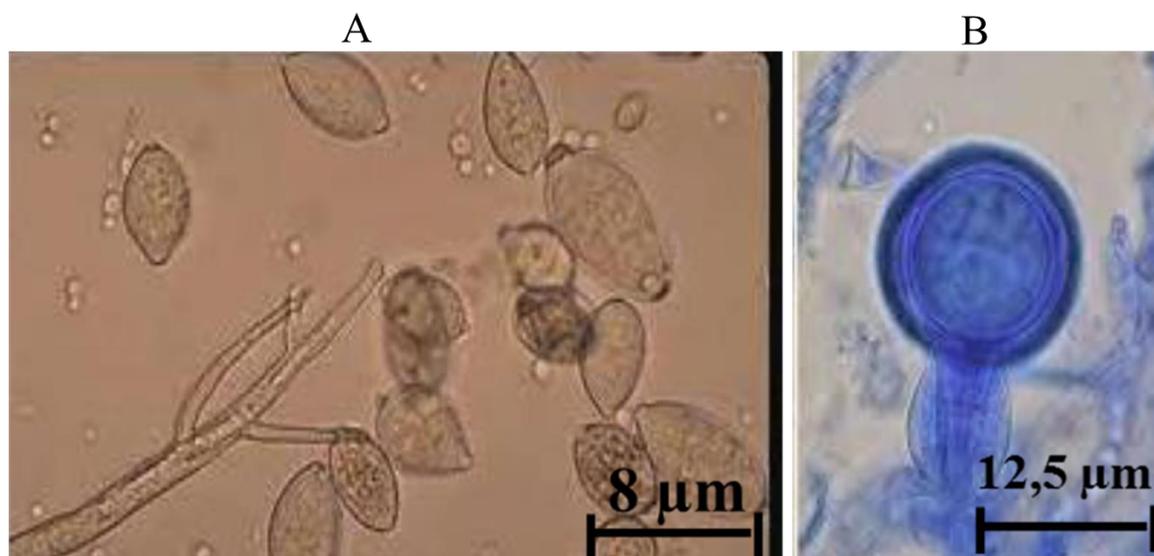


Fig. 6. Morphologie de *Phytophthora infestans*. A : Sporocystophores et sporocystes (Gr : X 80). B : Oospore (Gr : X 125) (Platt, 2008)

### I.2.9. Compatibilité sexuelle

Les premières études de la reproduction sexuée de *P. infestans* ont montré que la population de l'agent pathogène est hétérothalique, avec deux types sexuels « mating type » nommés A1 et A2 (Miller, 2001). Cet auteur a montré que la reproduction sexuée n'est réalisable qu'après confrontation entre deux mycéliums de types sexuels différents A1 et A2.

Au Mexique, centre d'origine de *P. infestans*, l'analyse des différentes collections de cet agent pathogène montre une coexistence à des proportions presque égales des deux types

sexuels (Fry *et al.*, 1992). Par conséquent, les populations existantes dans les champs mexicains sont surtout le résultat de la recombinaison sexuée (Tooley *et al.*, 1985).

En dehors du Mexique, tous les isolats récoltés avant les années quatre-vingt ont été déterminés de type sexuel A1. Mais, depuis les années 1980, la fréquence d'apparition des isolats A2 est devenue de plus en plus importante en Europe (Drenth *et al.*, 1995), aux Etats Unis (Dorrance *et al.*, 1999), au Canada (Petters et Platt, 1998; Daaf et Patt, 1999 cit Platt 2008) et en Afrique (Shaw *et al.*, 1985).

En Afrique du nord, El Ismaili (1994) a suggéré la présence du type de compatibilité sexuel A2 au Maroc, après avoir observé quelques oogones et anthéridies sur une culture pure de *P. infestans*. D'autres travaux ont confirmé la présence de ce type de compatibilité sexuel dans ce pays par Hammi, (2003) et Andrivon *et al.* (2007). En Tunisie, la présence de ce type a été montrée en 2006 par Jmour et Hamada (2006). En Algérie, l'existence du type sexuel A2 a été observée pour la première fois par Beninal *et al.* (2008).

Au Cameroun, la présence de ce type sexuel n'a pas encore été confirmée.

### **I.2.10. Épidémiologie**

Le mildiou est une maladie cryptogamique (ou fongique) qui s'attaque aux feuilles, aux tiges et aux tubercules de la pomme de terre. Dans les années 1840, *P. infestans* a provoqué la grande famine européenne marquée par la mort d'un million d'Irlandais et l'exil d'un autre million et demi (Mercure et Pam, 1998). Ces dernières années, des souches extrêmement virulentes de cette maladie, la plupart insensibles aux fongicides synthétiques courants ont fait leur apparition, créant de nouveaux défis pour les producteurs de pommes de terre et de tomates (George et Preston, 2004).

*P. infestans* a une reproduction à la fois sexuelle et asexuelle. Il donne naissance à des oospores qui sont des spores à la paroi épaisse pouvant survivre pendant des années dans le sol. Lors de leur germination, les oospores produisent des spores asexuelles appelées sporanges qui survivent seulement dans les tissus d'hôtes vivants, comme des pommes de terre rejetées. Ce sont souvent les sources originelles de l'infection qui précède une flambée épidémique de la maladie. Une fois libérés, les sporanges sont disséminés rapidement par les éclaboussures de la pluie et sur de longues distances par le vent (Williams *et al.*, 1994b). Des conditions humides favorisent la maladie et une humidité élevée (supérieure à 90 %) accélère le développement des sporanges qui germent rapidement sur des feuilles mouillées ; des plants entiers peuvent ainsi être tués dans un très court laps de temps. Le mildiou fait donc partie des quelques

maladies des végétaux susceptibles de détruire toute une récolte et de se traduire par une perte complète de rendement.

### **I.2.11. Facteurs affectant l'évolution de la maladie**

Lorsque les conditions du milieu sont favorables, l'évolution de l'épidémie dépend de l'agressivité de l'agent pathogène et du système de défense de la plante hôte (Pieterse *et al.*, 1992).

#### **I.2.11.1. Facteurs climatiques**

La période de latence et la croissance de la lésion dépendent essentiellement de la température alors que l'intensité de l'infection dépend de l'humidité (Crosier, 1934). La fructification est abondante pendant les périodes fraîches et humides (90 à 100 % d'humidité relative (HR) et une gamme de température de 10 à 25°C), alors qu'elle est limitée pendant les périodes chaudes et sèches (Conce et Duvauchelle, 1982). Pendant les périodes dont l'HR est modérée, les sporocystes de *P. infestans* persistent sur les sporangiophores ou sur les feuilles durant plusieurs heures (Hunter et Kunimoto, 1974 ; Rotem et Cohen, 1974). La durée d'humectation des feuilles affecte surtout la sévérité de la maladie (Van Oigen, 1991). Par contre, la température affecte tous les stades de développement de la maladie (Harrison, 1992). Selon cet auteur, des températures inférieures à 23°C sont plus favorables au développement de la maladie. Cependant, la dispersion des sporocystes est plus importante durant les jours chauds et secs que pendant les jours froids et humides (Kable et Mackenzie, 1980). En plus de l'HR, Harrison et Lowe (1989) et Harrison (1992) ont mentionné la vitesse du vent comme facteur déterminant de la dispersion des sporocystes. A des températures supérieures à 18°C, la germination des sporocystes est essentiellement directe. Tandis qu'à des températures inférieures à 15°C la germination est principalement indirecte (Henfling, 1987 ; Harrison *et al.*, 1990). En absence du film d'eau, les zoospores peuvent rapidement perdre leur viabilité (Pristou et Gallegly, 1954). De faibles précipitations (6 à 25 mm) peuvent être suffisantes pour causer l'infection des tubercules (Lapwood, 1977). En effet, la distribution temporelle des pluies et la durée d'humectation des feuilles sont plus déterminantes que les précipitations totales (Harrison, 1992).

### **I.2.11.2. Facteur du Sol**

Les sporocystes produits par les lésions développées sur tige sont souvent l'origine de l'infection des tubercules. L'importance de l'infection dépend de la texture du sol telle qu'une grande porosité qui facilite le déplacement des spores. *P. infestans* possède une faible capacité saprophytique dans le sol (Malajczuk, 1983). Cette persistance limitée dans le sol est attribuée à l'inactivation et la rapide détérioration des sporocystes et du mycélium par les micro-organismes du sol. Néanmoins, le sol contaminé par les sporocystes de *P. infestans* conserve son pouvoir infectieux vis à vis des tubercules pendant 15 à 77 jours selon le type du sol, l'humidité et le pH (Bogulavskaya et Filippov, 1977 ; Lapwood, 1977 ; Sato, 1979 ; Stewart *et al.*, 1993 ; Andrivon, 1994, 1995 ; Fairclough, 1995 ). Ainsi, les sols argileux et les sols dont la capacité de rétention de l'eau est de 20 à 25% conservent leur infectivité plus longtemps que les sols sableux et ceux saturés à 100 % (Zan, 1962). Sato (1979) a remarqué un faible taux d'infection des tubercules à des températures du sol supérieures à 18°C malgré l'importante infection du feuillage et les fortes précipitations. Selon Zan (1962), l'infection des tubercules ne dépend pas du pH du sol à une gamme de 4,8 et 8.

### **I.2.11.3. Prédilection de l'hôte**

Plusieurs études ont montré que la nutrition, la photopériode, l'intensité lumineuse et la présence d'autres agents pathogènes dans les plants sont impliqués dans la variabilité de la sensibilité des cultivars au mildiou (Thurston, 1971 ; Turkensteen, 1993). La croissance des lésions et l'intensité de sporulation dépendent de la nutrition azotée (Cohen et Rotem, 1987). En ce qui concerne l'effet de la lumière, l'application de certaines photopériodes et intensités lumineuses peut influencer la résistance de la plante au point que les différences entre les cultivars tendent à diminuer (Thurston, 1971). Quant à l'influence d'autres infections, la présence de la maladie elle-même et certains traitements avec des propagules de l'agent pathogène peuvent affecter les réactions de la plante (Doke *et al.*, 1987 ; Fischer *et al.*, 1988). Ainsi, la densité de l'inoculum et la méthode d'inoculation influencent remarquablement la résistance de la plante (Stewart *et al.*, 1983). L'utilisation des semences saines (surtout des infections virales) peut améliorer la résistance des cultivars vis-à-vis de l'agent pathogène (Turkensteen, 1993). Par ailleurs, des études ont montré que la sévérité de la maladie varie avec l'âge de la plante et des feuilles (Takase, 1968 ; Carnegie and Calhoun, 1983). Ainsi, le degré d'infection des tubercules en période de culture dépend de l'âge et de l'état de ces organes (Darsow et Meinl, 1981 ; Swizynski et Zimnoch-Guzowska, 2001). L'importance de l'infection

des tubercules dépend également des conditions de stockage et de croissance de ces organes (Bhatia et Young, 1985 ; Pathak et Clarke, 1987). Chez certains cultivars de pomme de terre, la couche externe du cortex est plus résistante à la colonisation de l'agent pathogène (Pathak et Clarke, 1987 ; Swizynski et Zimnoch-Guzowska, 2001).

### **I.2.12. Gamme d'hôtes**

En plus de la pomme de terre et de la tomate, plusieurs Solanacées constituent des hôtes préférés de l'espèce *P. infestans*. Cependant, cette pathogénicité ne se limite pas seulement aux grandes cultures naturelles. En effet, plusieurs autres cultures appartenant à d'autres genres et espèces d'arbres tropicaux et arbustes se sont révélées des hôtes pour cet agent pathogène (Vartanian et Endo, 1985). Erwin et Ribeiro (1996) ont rapporté que d'après des inoculations artificielles au laboratoire ou des observations en plein champ, l'agent pathogène *P. infestans* peut attaquer 89 espèces. Christine *et al.* (2000) ont conclu que la large apparition récemment de nouveaux génotypes de *P. infestans*, a contribué à l'élargissement de la gamme hôtes de ce pathogène. Aux Etats Unis, plusieurs investigations ont confirmé que la Morelle (*Solanum sarachioides*), *petunia* (*Petunia hybrida*) et l'aigre-doux (*Solanum bulbocamara*) constituent aussi des hôtes pour cet agent pathogène (Laing, 1998). Au Cameroun les principaux hôtes sont la pomme de terre, la tomate et le poivron (Fontem *et al.*, 2005).

## **I.3. Interaction *P. infestans* / pomme de terre**

### **I.3.1. Pouvoir pathogène**

#### **I.3.1.1. Protéines**

Pour l'étude du pouvoir pathogène, le compartiment extracytoplasmique, défini par l'espace extérieur au plasmalemme, incluant les surfaces cellulaires et le milieu extracellulaire, est particulièrement intéressant. En effet, il se trouve à l'interface hôte parasite et est un réservoir de molécules impliquées dans l'interaction. Diverses études ont montré que les champignons et les oomycètes pathogènes de plantes produisent une grande variété de protéines extracytoplasmiques pour initier et soutenir le processus infectieux (Dean *et al.*, 2005; Birch *et al.*, 2006). Réciproquement, les surfaces cellulaires et les protéines sécrétées du parasite sont une cible majeure des réponses de défense de l'hôte. Les données sur les protéines des surfaces cellulaires des Oomycètes sont encore peu nombreuses. Chez *P. parasitica*, une protéine CBEL (Cellulose Binding Elicitor Lectin) a été caractérisée pour son rôle d'adhésion

aux surfaces cellulosiques (Gaulin *et al.*, 2002). Chez *P. infestans*, des gènes codant des protéines de surface apparentées aux mucines, exprimées dans les kystes en cours de germination et les appressoria, mais pas dans les zoospores, ont été identifiés par hybridation soustractive (Gornhardt *et al.*, 2002). Une famille de gènes codant des transglutaminases avec des domaines de rétention aux surfaces cellulaires a également été caractérisée chez cet organisme (Fabritius et Judelson, 2003). Chez *P. ramorum*, cinq mucines et deux transglutaminases ont été identifiées par analyses en spectrométrie de masse de peptides produits après digestion trypsique de parois cellulaires de mycélium traitée par le sodium dodecyl sulfate (Meijer *et al.*, 2006). Toutes ces protéines sont potentiellement impliquées dans l'adhésion du parasite à son hôte. Tout Oomycète phytopathogène sécrète potentiellement un mélange d'hydrolases impliquées dans le remodelage de sa propre paroi (notamment les  $\beta$ -(1,4),  $\beta$ -(1,3)- et  $\beta$ -(1,6)- glucanases dégradant respectivement la cellulose, les  $\beta$ -(1,3)- et  $\beta$ -(1,6)- glucanes), et/ou dans son pouvoir pathogène, dégradant des composés pariétaux de sa plante hôte (protéines, cellulose, xyloxyanes, pectine et arabinanes) (Badreddine, 2008).

### **I.3.1.2. Motifs moléculaires associés au pathogène et effecteurs**

Les champignons et les Oomycètes phytopathogènes produisent des effecteurs (facteurs de virulence) et des motifs moléculaires associés au pathogène en anglais Pathogen Associated-Molecular Pattern (PAMP). Les effecteurs, reconnus spécifiquement par la plante lors d'une interaction gène-pour-gène, sont appelés protéines d'avidité AVR. Ce sont des facteurs d'adaptation du pathogène qui manipulent les mécanismes de défense de la plante. Les PAMPs ont un rôle majeur dans la pathogénicité et déclenchent le système immunitaire non-spécifique de la plante (Tör 2008) (Fig. 7). Les champignons phytopathogènes offrent une opportunité pour étudier la coévolution hôtes parasites : l'échantillonnage de ces parasites est grandement facilité par le caractère immobile de l'hôte végétal, et les symptômes sont souvent aisément observables. *Phytophthora infestans* se comporte dans la nature comme un hémibiotrophe qui commence par une phase biotrophe avant de devenir nécrotrophe (Sang-Jik et Jocelyn, 2010), mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture artificiel.

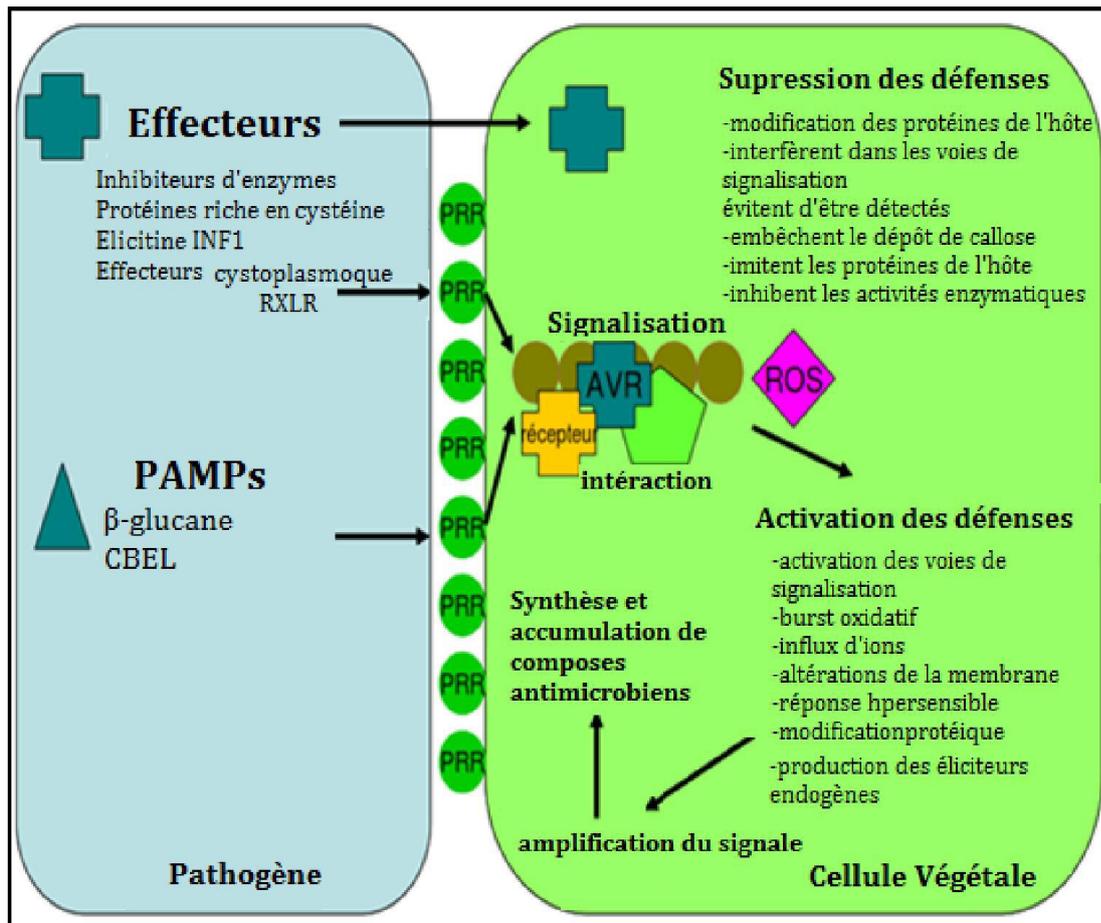


Fig. 7. Le dialogue moléculaire de l'interaction *Phytophthora infestans*/Pomme de terre (Tör, 2008).

### I.3.2. Composition de la paroi cellulaire

La paroi cellulaire chez les microorganismes est un élément essentiel dans la croissance et la survie cellulaires (Cabib *et al.*, 2001). Sans cette barrière, la cellule serait plus exposée aux changements environnementaux et aux stress osmotiques (Klis *et al.*, 2006). Chez les microorganismes eucaryotes, elle est principalement composée de polysides et de protéines. Chez les champignons supérieurs, la chitine et les  $\beta$ -glucanes en sont les polysaccharides structuraux majeurs. Les oomycètes, pour leur part, ont été considérés pendant longtemps comme des microorganismes cellulotiques (Badreddine, 2008).

#### I.3.2.1. Cellulose

La cellulose est la ressource biologique la plus abondante dans la nature (Lynd *et al.*, 2008 ; Zhang, 2009). Bien que les champignons soient considérés comme des organismes chitineux, des traces de cellulose ont parfois été détectées dans leurs parois cellulaires mais

aucun gène de cellulose synthase n'a été identifié. Chez les oomycètes cellulosiques la teneur en cellulose dans les parois cellulaires de différentes espèces de *Phytophthora* a été mesurée. Les parois des sporanges et des kystes de *P. palmivora* et *P. megaspermarum* contiennent respectivement 27 % et 30 % de cellulose. Dans les parois des oospores de *P. sojae* le contenu en cellulose est de seulement 7% (Lippman *et al.*, 1974).

### **I.3.2.2. Structure de la cellulose**

Dans la nature, la plupart de la cellulose produite est une cellulose cristalline définie comme cellulose I (Saxena et Brown, 2005). C'est un polymère de 8,000-10,000 monomères de glucose liés par des liaisons  $\beta$ 1-4. Les polymères individuels sont alignés en configuration parallèle et jusqu'à 90 % de la cellulose est cristalline. Les chaînes de glucose sont étendues et non repliées sur elles-mêmes grâce à la présence de liaisons hydrogènes intra-chaînes. L'existence de liaisons hydrogènes inter-chaînes entraîne la formation de fibres qui confèrent à la cellulose un rôle de squelette (Fig. 8) (Jarvis, 2003). Ce assemblage lui confère diverses propriétés physiques dont la possibilité de former deux structures cristallines  $I\alpha$  ou  $I\beta$  qui pourraient coexister dans des microfibrilles en rapport variable (Festucci-Buselli *et al.*, 2007). Généralement, la structure  $I\alpha$  est produite par des organismes primitifs comme des bactéries, des algues vertes, alors que la structure  $I\beta$  est présente chez les végétaux supérieurs, certains animaux (Brown, 1996), et seulement chez quelques procaryotes (Ross *et al.*, 1991). Quant aux oomycètes, ils produisent une cellulose  $I\beta$  faiblement cristalline (Johanna Fugelstad, 2011). L'assemblage des chaînes linéaires de glucose pour former une microfibrille dans le milieu extracellulaire. L'ensemble de plusieurs microfibrilles constitue les macrofibrilles, qui forment elles-mêmes les fibres de cellulose.

### **I.3.3. Dégradation enzymatique des parois**

Les parois végétales présentent une diversité telle qu'il n'est pas possible d'envisager un modèle unique de dégradation enzymatique. La majorité des études sur le sujet s'appuie sur des modèles de parois type «bois», ou encore sur des parois riches en lignine. Ces structures sont assez éloignées des parois retrouvées dans les sons de blé. Malgré leurs différences, les parois végétales ont en commun une complexité structurale, reposant sur un ensemble de macromolécules et de molécules simples, intimement associées par différentes liaisons covalentes ou non. L'assemblage de ces polymères conduit à un réseau dense, autorisant le

passage de certaines molécules. L'ensemble confère à la paroi sa rigidité et bien d'autres propriétés, en particulier une certaine résistance à la dégradation enzymatique.

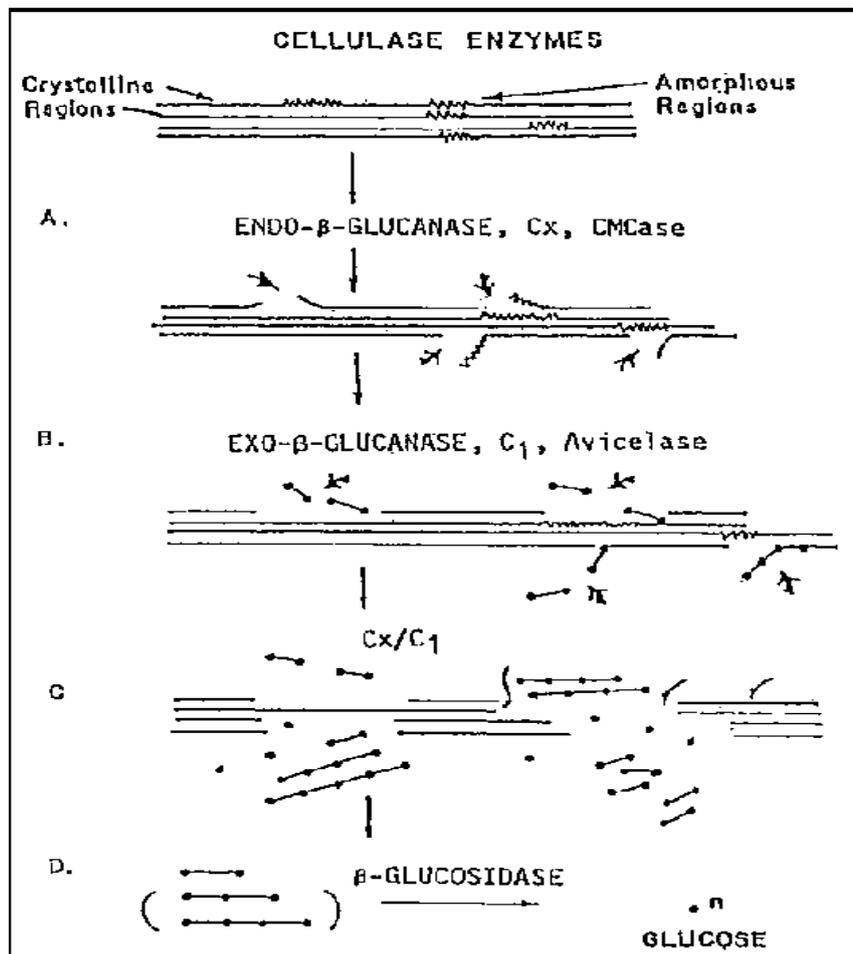


Fig. 8. Structure et étapes de la dégradation enzymatique de la cellulose (Gama et Mota, 1997)

La plupart des études sur la catalyse enzymatique en milieu solide concernent essentiellement la dégradation de la cellulose par les cellulases ; peu d'études s'adressent aux arabinoxylanes des parois. La décomposition du mécanisme conduisant à la dégradation par une enzyme d'un composé (substrat) appartenant à une paroi végétale peut s'établir en 5 étapes (Gama et Mota, 1997):

- le transfert de l'enzyme du milieu aqueux vers le substrat ;
- l'adsorption de l'enzyme sur le substrat et la formation du complexe enzyme-substrat ;
- l'hydrolyse du substrat ;
- le transfert des produits de réaction du substrat vers le milieu aqueux ;
- l'hydrolyse complémentaire des produits libérés dans le milieu aqueux.

### **I.3.3.1. Cellulases**

Les cellulases [1,4-(1,3 ; 1,4)- $\beta$ -D-Glucanohydrolase] se rapportent à un groupe d'enzymes qui, agissant ensemble, hydrolysent la cellulose en sucres simples (Korish, 2003 et Saraswati Bai *et al.*, 2012). Elle est l'une des principaux membres de la famille des glycosides hydrolases. C'est un système enzymatique complexe, composé de trois principaux types d'enzymes: Endo  $\beta$  (1-4)-glucanase ou endocellulase (EC 3.2.1.4), Exo  $\beta$  (1-4)- glucanase ou cellobiohydrolase (EC 3.2.1.91),  $\beta$  (1-4)-glucosidase ou cellobiase (EC 3.2.1.21) (Xu, 2002) : L'endo-cellulase (EC 3.2.1.4) casse les liaisons internes pour perturber la structure cristalline de la cellulose et pour exposer différentes chaînes de polysaccharide de cellulose, en diminuant rapidement le degré de polymérisation du substrat (Warren, 1996; Xu *et al.*, 2000). Les endoglucanases coupent la cellulose aléatoirement au niveau des zones amorphes de la cellulose, générant de nouvelles extrémités de chaînes. L'exoglucanase (EC 3.2.1.91) attaque les liaisons  $\beta$  (1-4) glycosidiques des chaînes de cellulose par les extrémités non réductrices et libère exclusivement du cellobiose (Xu, 2002). La cellobiase (EC 3.2.1.21) hydrolyse les liaisons  $\beta$  (1-4) glycosidiques du cellobiose, pour donner deux molécules de glucose (Onsori *et al.*, 2005).

### **I.3.3.2. Mécanisme d'action des cellulases**

Le mécanisme d'action est de type acide/base, exigeant un donneur de proton et une base nucléophile. Cette hydrolyse se fait avec rétention ou inversion de la configuration anomérique (Davies et Henrissat, 1995). Les produits d'hydrolyse sont ainsi libérés par conservation ou inversion globale de la configuration anomérique du carbone alpha à l'extrémité réductrice. L'hydrolyse enzymatique se fait en deux étapes réactionnelles : dans la première étape, la base nucléophile attaque le centre anomérique du substrat, d'autre part, le donneur de protons (un premier acide aminé de la cellulase) proton l'oxygène de la liaison osidique, provoquant ainsi la coupure de la liaison C1 – O et la libération du premier fragment du substrat. Cependant, l'autre fragment, fixé à l'enzyme de façon instable, sera stabilisé par un second acide aminé de l'enzyme chargé négativement, qui arrache un hydrogène à une molécule d'eau formant ainsi un groupement hydroxyle (OH-) qui agit comme un nucléophile sur un carbone d'une molécule de glucose. La liaison glycosidique se trouve ainsi rompue et libère l'autre fragment du substrat (Munoz *et al.*, 2001).

### **I.3.4. Mécanisme de défense chez la pomme de terre**

#### **I.3.4.1 Au niveau génétique**

##### **I.3.4.1.1. Gènes de résistance majeurs**

La plupart des variétés de pomme de terre cultivées sont autotétraploïdes ( $2n=4x=48$ ), fortement hétérozygotes et possèdent 12 chromosomes (Anonyme, 2011). Dans ce génome, de nombreux gènes de résistance R à *P. infestans* (Rpi), capable de reconnaître de façon spécifique des protéines d'avirulence ou effecteurs de *P. infestans*, ont été identifiés et/ou clonés. En particulier, les gènes Rpi de *S. demissum* (R1-R11) introduits dans la plupart des variétés de pomme de terre actuelles (Van der Vossen *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2009a). Cependant, ils ont été rapidement contournés par *P. infestans* lors de leur déploiement au champ (Hein *et al.*, 2009). Par conséquent, la sélection contemporaine de la pomme de terre explore en profondeur la richesse de la diversité des gènes Rpi chez les espèces *Solanum* afin de constituer une collection de gènes Rpi diversifiés (Hwang *et al.*, 2014). Des gènes comme Rpi-blb1 (allèle de RB), Rpi-blb2 et Rpi-blb3 (Song *et al.*, 2003; van der Vossen *et al.*, 2005) ont été identifiés chez *S. bulbocastanum* Dunal ( $2n = 2x = 24$ ) et pourraient conférer une résistance à large spectre contre le mildiou. D'autre part, les gènes Rpi-sto1 et Rpi-pta1, homologues de Rpi-blb1, ont été mis en évidence chez *S. stoloniferum* (tétraploïde) (Vleeshouwers *et al.*, 2008).

La plupart des gènes de résistance majeurs clonés chez les Solanacées codent des récepteurs NB-LRR, capables de reconnaître très spécifiquement des protéines Avr. Le séquençage du génome de *S. tuberosum* groupe Phureja en 2011 a permis d'identifier 408 gènes codant des NB-LRR. 57 contiennent un domaine N-terminal TIR et 351 ont un domaine N-terminal de type non TIR, c'est-à-dire un domaine 'coiled-col' (CC) ou pas de région N-terminale conservée (Thomas, 2019). Des homologues hautement apparentés des gènes de résistance majeurs R à *P. infestans* clonés ont été identifiés : R1, RB, R2, R3a, Rpi-blb2 et Rpi-vnt1.1. La comparaison des séquences des gènes R de la pomme de terre avec des gènes R fonctionnels indique que 39,4 % des gènes codant des NB-LRR sont des pseudogènes dus à des insertions ou des délétions, des mutations de décalage de trame ou des codons stop prématurés (Anonyme, 2011). Ainsi, les groupes de gènes R1, R3a et Rpi-vnt1.1 contiennent de vastes chimères et présentent un schéma évolutif des gènes R du type I (Kuang *et al.*, 2004). Couplé à une grande diversité d'haplotypes, la pomme de terre tétraploïde peut donc contenir des milliers d'analogues de gènes R (Anonyme, 2011). Quand ces gènes majeurs n'ont pas été contournés, la pomme de terre est capable de reconnaître des protéines d'avirulence de *P. infestans* ce qui conduit à l'induction de l'ETI et se traduit par une réaction de type HR bloquant l'agent pathogène (Gururani et Park, 2012).

#### **I.3.4.1.2. Locus de caractères quantitatifs**

Afin d'identifier des Locus de caractères quantitatifs (méta-QTLs) de résistance au mildiou et de maturité, Danan *et al.* (2011) ont construit une carte génétique consensus de la pomme de terre à partir de 2141 marqueurs (Fig. 9). Les QTLs de résistance au mildiou et de maturité identifiés lors de précédentes études (19 études pour la résistance au mildiou et 7 études pour la maturité) ont été projetés sur cette carte consensus. Une méta-analyse des QTLs a permis de les regrouper en 24 méta-QTLs de résistance au mildiou sur l'ensemble des chromosomes, et 8 méta-QTLs de maturité sur seulement 6 des 12 chromosomes. Cette étude a permis d'affiner les régions chromosomiques d'intérêt fréquemment décrites pour ces QTLs et de fournir les marqueurs flanquants correspondants. Ces travaux ont également permis de mettre en évidence la juxtaposition des méta-QTL de résistance au mildiou et de maturité sur les chromosomes IV, V et VIII. Ceci est en accord avec les travaux de Collins *et al.* (1999) qui ont mis en évidence que les QTL de résistance étaient fortement corrélés à la maturité et à la vigueur. Plus récemment, de nouveaux QTLs de résistance à *P. infestans* ont été identifiés chez la pomme de terre (Santa *et al.*, 2018).

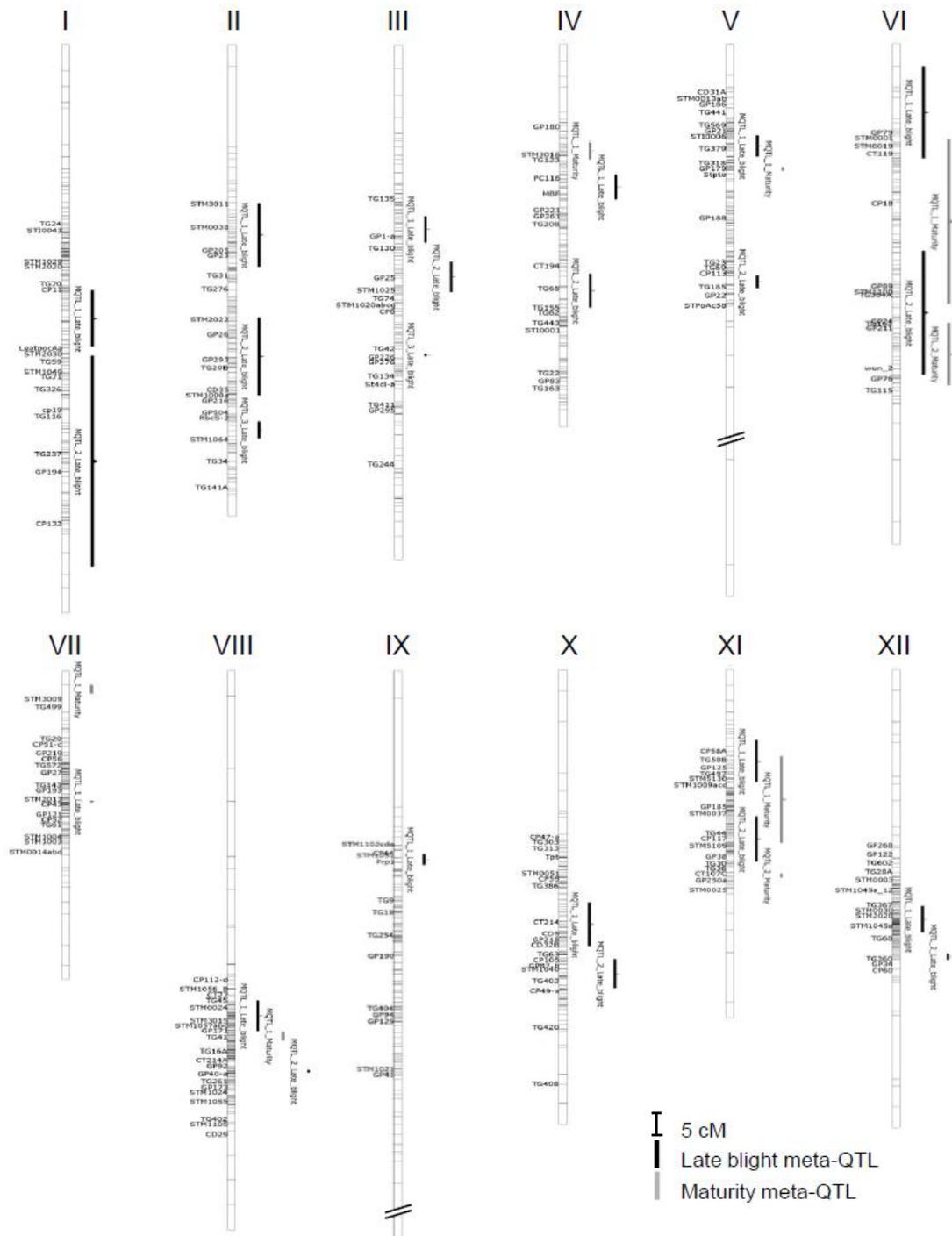


Fig. 9. Carte génétique consensus de la pomme de terre avec le positionnement des méta-QTLs de résistance au mildiou et de maturité, d'après Danan et *al.* (2011). Les chromosomes consensus de la pomme de terre sont numérotés de I à XII. Les traits (gris) sur les chromosomes indiquent la position des marqueurs. Seuls les marqueurs qui apparaissent sur au moins 4 cartes génétiques sur les 21 cartes individuelles compilées sont cités. Les barres verticales en gras à droite des chromosomes représentent les méta-QTL : en noir méta-QTL de résistance au mildiou (MQTL\_Late\_blight) et en gris méta-QTL de maturité (MQTL\_Maturity)

### **I.3.4.2. Au niveau moléculaire**

Les protéines PR induites par la reconnaissance de l'agent pathogène sont fortement impliquées dans les mécanismes de défense chez les plantes. Chez la pomme de terre des protéines PR constitutives contribuent à une résistance non spécifique de la pomme de terre à *P. infestans* ((Vleeshouwers *et al.*, 2000; Tonon *et al.*, 2002). Ainsi, l'expression constitutive du gène NmDef02, codant une défensine putative de la famille des PR-12, dans les plantes transgéniques de tabac et de pomme de terre, confère une résistance plus élevée vis-à-vis de *P. infestans* en serre et au champ. Par ailleurs, des essais *in vitro* ont démontré que l'osmotine, une protéine de la famille PR-5, avait une activité antifongique contre divers champignons et oomycètes, dont *P. infestans* (Woloshuk *et al.*, 1991). Le rôle majeur des PR dans la résistance à *P. infestans* a fait l'objet de différents travaux réalisés sur des pommes de terre transgéniques. Ainsi, le gène StPRp27 codant une protéine PR est fortement surexprimé chez la pomme de terre après inoculation par *P. infestans* (Tian *et al.*, 2003). Cette surexpression a conféré une résistance vis-à-vis de plusieurs souches de *P. infestans* en inhibant le développement de la maladie (Shi *et al.*, 2012). De la même façon, la surexpression des PR-2 et PR-3 augmentent la résistance à *P. infestans* (Gururani and Park, 2012).

D'autres molécules sont également impliquées dans la défense chez la pomme de terre, c'est le cas de l'osmotine pA13 dont la surexpression dans des plantes transgéniques induisait une tolérance accrue et très élevée vis-à-vis de *P. infestans*. Le gène OSM-1 codant cette protéine est exprimé plus tôt et à des concentrations plus élevées chez des variétés résistantes par rapport aux variétés sensibles pendant l'infection par *P. infestans*, suggérant un rôle dans les mécanismes de défense (El-Komy *et al.*, 2010).

L'expression de CYP1, une protéase de la pomme de terre orthologue à la protéase C14 de la tomate, est induite dans les variétés de pomme de terre résistantes au cours d'une infection précoce par *P. infestans*. Lorsque cette protéase est 'éteinte', la sensibilité à *P. infestans* augmente, ce qui suggère qu'elle joue un rôle dans la défense vis-à-vis de cet agent pathogène (Gururani and Park, 2012).

## **I.4. Moyens de lutte autre que la résistance des plantes**

### **I.4.1. Lutte prophylactique**

La lutte prophylactique face au mildiou de la pomme de terre consiste à limiter au maximum les sources d'inoculum primaire par rotations culturales et élimination des tas de déchets, issus de la récolte précédente, souvent laissés à proximité des parcelles. Les tas de déchets constituent, selon Boyd (1974), la source principale d'inoculum primaire. La culture

continue de la pomme de terre sur un même terrain favorise la multiplication sur place des champignons et des bactéries pathogènes, ainsi que des insectes. Pour éliminer ces dangers, ou du moins les atténuer, l'assolement est la meilleure solution (François et Michel, 2013). Les producteurs doivent détruire les tas de rebuts par compostage, congélation ou enfouissement et éliminer les repousses de pomme de terre dans les champs avoisinants à l'aide d'herbicides et de pratiques culturales adéquates. On doit détruire les fanes infectées deux semaines avant la récolte afin de réduire l'infection des tubercules et d'éviter de graves problèmes de maladie en entrepôt. Les pommes de terre qui proviennent de champs contaminés ne doivent pas servir de semence. La prévention des épidémies passe également par l'utilisation de tubercules de semences sains. Enfin, la destruction des fanes avant la récolte par des traitements thermiques, mécaniques ou chimiques permet de diminuer les risques de contamination des tubercules au moment de la récolte (Montarry, 2007).

#### **I.4.2. Lutte chimique**

La lutte chimique, avec l'utilisation de fongicides pénétrants ou systémiques, reste la principale mesure de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Sedláková *et al.*, 2011) (Randriantsalama *et al.*, 2014). Toutefois, l'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxadixyl) (Gisi *et Cohen*, 1996). De plus, les effets nocifs de l'emploi des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement amènent aujourd'hui à les utiliser d'une façon plus raisonnée. Ainsi, des systèmes de prévisions des risques ont été développés afin de rationaliser l'utilisation des traitements chimiques préventifs. Ils sont basés sur le développement de modèles de prévision du risque de développement du mildiou, tels Guntz-Divoux, utilisé en France, Blitecast, utilisé aux Etats-Unis, ou Milsol, issu de la fusion de Mildi-LIS et MilPV, permet de connaître à tout moment le "risque mildiou" de parcelles selon la météo, la variété, les dates de plantation et de levée, l'état sanitaire autour de la parcelle et les interventions réalisées (traitements et irrigations) (Arvalis, 2014).

#### **I.4.3. Lutte génétique**

La meilleure alternative à l'utilisation des fongicides est la lutte génétique. De nombreux programmes reposant sur l'introduction de gènes de résistance ont été engagés, avec pour but la sélection de variétés ayant une bonne valeur agronomique et une bonne résistance au mildiou. Ces programmes se sont longtemps basés sur l'introduction de résistances

spécifiques, à caractère monogénique. Actuellement, onze de ces gènes (R1-R11) ont été identifiés et introduits chez *Solanum tuberosum* à partir de *S. demissum* (Black *et al.*, 1953 ; Jo *et al.*, 2015). Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum*, telles *S. bulbocastanum* (Lokossou *et al.*, 2010 ; Orbegozo *et al.*, 2016), *S. berthaultii* (Parck *et al.*, 2009a), *S. phureja* (Śliwka *et al.*, 2006) ou *S. michoacanum*. (Śliwka *et al.*, 2012). Cependant, ces gènes, conférant à la plante une résistance totale, sont très rapidement contournés par les populations parasites et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent donc actuellement vers la recherche de résistances polygéniques. La gestion de ces résistances, pour éviter leur érosion, consiste à raisonner la lutte en associant différentes résistances (spécifiques et non spécifiques) ou une résistance partielle et une utilisation judicieuse des fongicides. À l'échelle d'une parcelle ou d'une région de production, les associations variétales semblent pouvoir être des moyens complémentaires de lutte (Montarry, 2007).

#### **I.4.4. Lutte biologique**

La lutte biologique a pour principe d'utiliser des agents biologiques capables d'entrer en compétition, antibiose et parasitisme avec les agents pathogènes et les ravageurs sans avoir d'activité néfaste pour la plante. Ces agents naturels sont réunis sous le concept de biopesticides. Leur disparition pourrait, en effet engendrer un déséquilibre qui favoriserait l'apparition ou la réapparition de certains agents pathogènes. Plusieurs extraits de plantes (Kurucheve, 1997 ; Gata-Gonçalves *et al.*, 2003 ; Ambang *et al.*, 2010 ; Mboussi, 2016) et de microorganismes du sol (Rahman *et al.*, 2007 ; Camps *et al.*, 2012 ; Rakotoarimanga *et al.*, 2014 ; Antoine *et al.*, 2015 ; Kerroum, 2019) ont été utilisés pour lutter contre les maladies des plantes.

##### **I.4.4.1. Mécanismes d'action des agents de lutte biologique**

Les agents de lutte biologique utilisent différents mécanismes pour lutter contre les agents phytopathogènes du sol, à savoir : l'antibiose ; la compétition ; le parasitisme et/ou l'induction des mécanismes de résistance de la plante (Fig. 10). Une meilleure application d'un agent efficace de la lutte biologique nécessite une bonne compréhension du/ des mécanismes qu'il utilise et la/les molécules qu'il sécrète pour inhiber les agents phytopathogènes (Bojanowski, 2011)

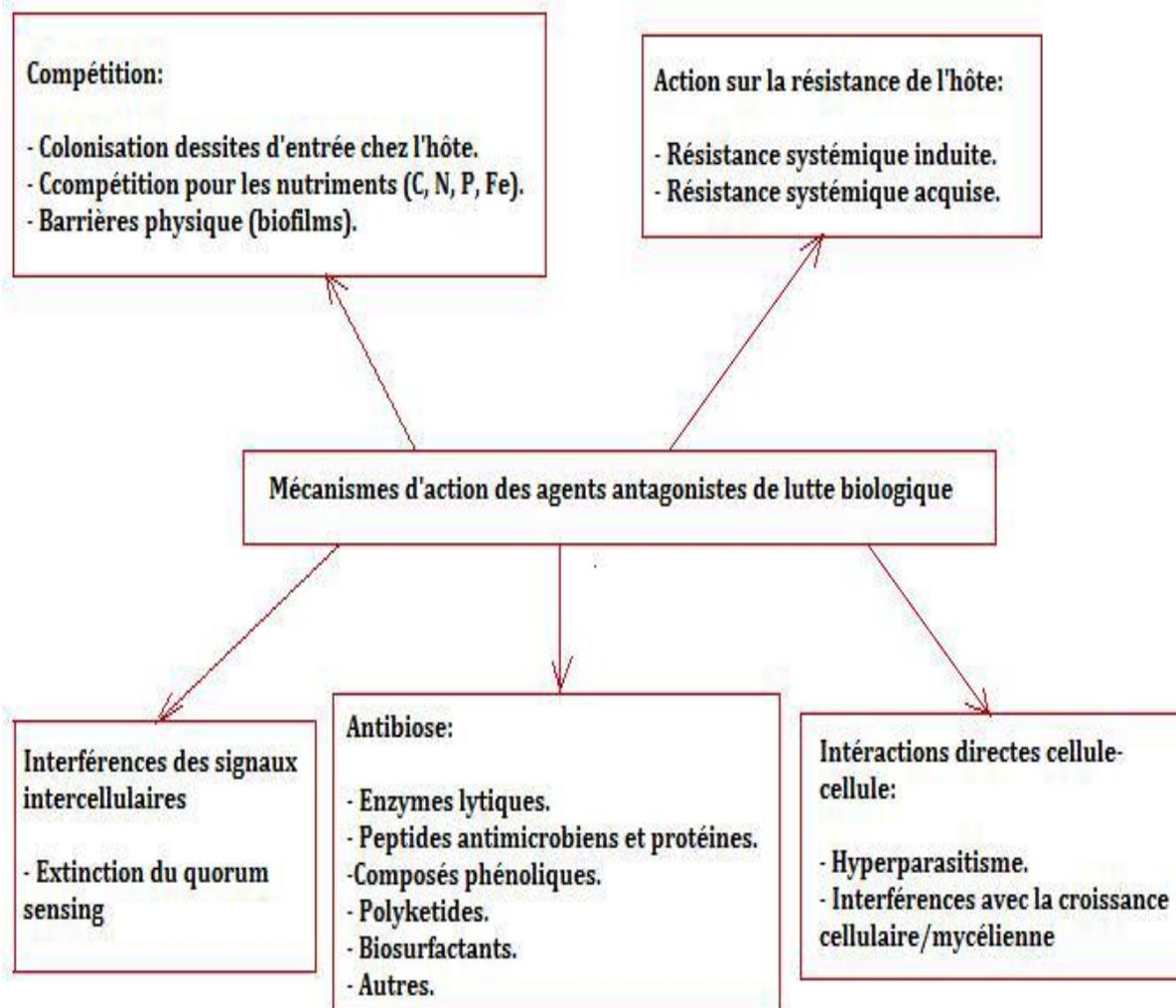


Fig. 10. Mécanismes d'action des agents de lutte biologique (Kerroum, 2019).

#### **I.4.4.1.1. L'antibiose et la production d'antibiotique**

L'antibiose par définition est l'inhibition de l'agent phytopathogène par la production des métabolites secondaires par un autre micro-organisme (Cook et Baker, 1983). En général ces métabolites sont des métabolites secondaires à faible poids moléculaire ayant une fonction antifongique et/ou antibactérienne (El-Tarabily et Sivasithamparam, 2006). Les produits métaboliques sont de différentes natures comme des enzymes lytiques, des peptides ou protéines antimicrobiens, des polyketides, des composés phénoliques, des biosurfactants etc (Bojanowski, 2011). Cette production est influencée par des facteurs abiotiques qui correspondent à la composition du sol en matière organique, l'humidité du sol, le pH et les facteurs biotiques qui sont surtout liés à l'interaction de l'agent antagoniste avec la plante et la microflore du sol, peuvent aussi influencer la production d'antibiotique (Loqman, 2009).

#### **I.4.4.1.2. Parasitisme et production des enzymes**

Le parasitisme consiste en l'interaction directe entre deux microorganismes où les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre (Helluy et Holmes, 2005). L'agent antagoniste sécrète des enzymes dégradant les parois cellulaires des agents pathogènes comme les protéases, les chitinases, les cellulases et les glucanases. Les agents de biocontrôle qui utilisent ce mode sont nombreux. *Bacillus subtilis* réduit les populations de *Pythiumultimum* et *Rhizoctania solani* par sécrétion de glucanases et de protéases (Paulitz et Bélanger, 2001).

#### **I.4.4.1.3. Promotion de la croissance de la plante et production des phytohormones**

Les auxines, comme l'AIA pour (Acide Indole Acétique), qui peuvent être produites par des microorganismes, jouent un rôle important dans les interactions hôte-parasite et en particulier la régulation de la croissance des plantes (Vassilev *et al.*, 2010). Le mécanisme d'action de l'AIA a été expliqué par deux hypothèses. Selon Brown et Hamilton (1993), l'AIA peut agir en inhibant la germination des spores et la croissance mycélienne de différents champignons phytopathogènes où l'AIA avec les glutathion S-transférases jouent un rôle dans les réactions de défenses de la plante (Young *et al.*, 2016). D'autres études ont montré, la production de l'AIA et/ou les seditrophores par d'autres bactéries telles *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter* spp. PSGB03 et *Serratia* spp. PRGB11 (Pandey *et al.*, 2006 ; Indiragandhi *et al.*, 2008).

#### **I.4.4.1.4. Renforcement de la capacité défensive de la plante**

D'autre part, certaines souches de PGPR peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par la stimulation de mécanismes de défense inductibles dans la plante, ce qui peut rendre l'hôte beaucoup plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes. Ce phénomène a été nommé «résistance systémique induite» (ISR, Induced Systemic Resistance) (Pieterse *et al.* 2002). L'induction d'une telle capacité de défense est systémique : le traitement des racines par des PGPR produit des effets protecteurs sur d'autres parties de la plante sans migration des bactéries induit l'ISR au travers du système vasculaire de la plante ou à travers les tissus (Adam, 2008). Les mécanismes développés par les plantes permettent de se protéger contre un large spectre de pathogènes pas seulement fongiques, bactériens et viraux, mais aussi vis-à-vis de maladies causées par certains insectes et nématodes (Benhamou et Rey, 2012).

## **I.5. Autres maladies et insectes ravageurs de la pomme de terre**

### **I.5.1. Bactérioses**

#### **I.5.1.1. Flétrissement bactérien causé par *Clavibacter michiganensis*.**

D'après, Lise et Michel (2005) et Anonyme (2014), *C. michiganensis* est une bactérie, responsable du flétrissement bactérien de la pomme de terre, elle se retrouve dans le système vasculaire de la tige et des tubercules. Sur les parties aériennes, elle engendre un flétrissement débutant sur les feuilles basales. Un jaunissement et des brûlures situées entre les nervures peuvent également être observés sur les feuilles. Ces symptômes peuvent affecter une seule tige ou un seul côté d'une tige. Les tubercules ne montrent pas obligatoirement de symptôme externe. Une coupe des tubercules permet de noter, dans la région de l'anneau vasculaire, une pourriture molle ayant une coloration jaunâtre à brunâtre. Dans les cas les plus graves, les tubercules peuvent présenter des zones brunes sur l'épiderme accompagnées de fendillements et crevasses.

#### **I.5.1.2. Gale de la pomme de terre**

Plusieurs espèces de Gale causent d'importants dommages à la pomme de terre. Il s'agit de : La gale acidiphile *Streptomyces acidiscabies*, la gale commune *Streptomyces scabies* et la gale superficielle *Streptomyces aureofaciens*. Bien que plusieurs espèces de *Streptomyces* aient été reconnues comme pouvant induire la gale commune, la plus répandue est *Streptomyces scabies* qui peut être retrouvée partout dans le monde (Goyer, 2007). Chez la pomme de terre, on ne peut différencier les symptômes de la gale acidiphile de ceux de la commune. Des lésions irrégulières et brunes qui mesurent généralement moins d'un cm de diamètre apparaissent à la surface des tubercules. Le maintien d'un niveau adéquat d'humidité dans le sol est une méthode importante dans la lutte contre la gale.

#### **I.5.1.3. Jambe noire causée par *Pectobacterium carotovorum***

Les termes «jambes noires», «pourritures aériennes» et «pourritures molles» englobent plusieurs symptômes associés à des maladies de la pomme de terre provoquées par des bactéries des genres *Dickeya* et *Pectobacterium*, autrefois connus et regroupés dans le genre *Erwinia*. Ces maladies ont une forte incidence économique, car elles sont particulièrement nuisibles au rendement et à la qualité de la pomme de terre (Santiago et Brice, 2010). En cas d'attaque précoce de jambe noire, on observe des manques à la levée. Les plantes émergées sont rabougries, jaunies et la partie basale des tiges noircit. Dans des conditions

d'attaque moins extrêmes, la pourriture migre du tubercule mère vers les tiges. Les parties souterraines des tiges, jusqu'au collet, noircissent. Les tubercules infectés deviennent molles et spongieuses, malodorantes, car les tissus décomposés sont souvent colonisés par des microorganismes saprophytes qui, en anaérobiose, produisent des substances nauséabondes. Il n'existe pas de cultivars de pomme de terre qui soient immuns aux Bactéries. Les moyens de lutte les plus efficaces sont de planter des tubercules de semence sains et certifiés exempts de maladies, et d'observer des mesures d'hygiène rigoureuses.

## **I.5.2. Mycoses**

### **I.5.2.1. Alternariose ou maladie des taches brunes causée par *Alternaria solani***

On trouve l'alternariose partout où l'on cultive la pomme de terre. Les pertes peuvent être importantes lorsque l'infection foliaire est grave avant ou peu après la floraison. Cette maladie touche aussi la tomate, le poivron, l'aubergine et plusieurs adventices de la famille des solanacées. Les premiers symptômes de l'alternariose apparaissent sous forme de petites taches brunes ponctuelles par la suite, ces taches deviennent brunes foncées, des lésions noires peuvent apparaître avec les anneaux concentriques sur des feuilles et on note une chlorose des feuilles à la base de la plante (Shuman, 1995 ; Shahbazi *et al.*, 2011). Ces lésions sont rondes, mesurent 3 à 10 mm de diamètre et sont composées d'anneaux concentriques de tissus morts qui les font ressembler à une cible. Les lésions prennent une forme anguleuse lorsque leur croissance est limitée par les nervures de la feuille. Le pourtour des lésions est souvent jaune et flou. Les feuilles infectées ne tombent habituellement pas.

### **I.5.2.2. Fusariose vasculaire de la pomme de terre**

Les *Fusarium spp.* sont parmi les champignons telluriques les plus agressifs causant des flétrissements et des pourritures racinaires de plusieurs espèces végétales (Hibar *et al.*, 2007). Les symptômes induits par les quatre espèces de *Fusarium* responsables de trachéomycoses sont semblables. Les tubercules présentent des taches superficielles, des nécroses, y compris le brunissement et la pourriture du talon, et un brunissement des tissus vasculaires. L'infection entraîne généralement le flétrissement et la mort prématurée des feuilles et des tiges, souvent une tige à la fois. Les producteurs doivent utiliser des pommes de terre de semence saines et cultiver ces plantes dans des sols où l'on pratique une rotation appropriée des cultures avec les céréales, les graminées et les fourrages. Le traitement des tubercules à l'aide de fongicides

contribue à réduire les niveaux d'inoculum sur les tubercules et à protéger les semences contre une infection provenant du sol.

#### **I.5.2.3. Gale argentée causée par *Helminthosporium solani***

La gale argentée n'affecte que la pomme de terre parmi les légumes. Elle cause selon Moule (1972), des taches rondes, brun pâle ou grisâtres et parcheminées apparaissent à la surface des tubercules. Ces lésions s'agrandissent et recouvrent presque toute la surface du tubercule. Les tubercules infectés qui sont humides ou mouillés ont un éclat argenté caractéristique. La formation des spores, surtout à la périphérie des jeunes lésions, donne aux tubercules une apparence charbonneuse. La gale argentée est très perceptible sur les pommes de terre à peau rouge parce qu'elle peut en masquer la couleur. L'infection cause une diminution de la qualité et fait perdre des quantités excessives d'eau aux tubercules et les fait se ratatiner pendant l'entreposage.

#### **I.5.2.4. Gale poudreuse causée par *Spongospora subterranea***

Cette maladie cause des lésions galeuses et verruqueuses à la surface des tubercules. Les lésions sont remplies de masses poudreuses de spores brun foncé. Les symptômes sur les tubercules et ceux de la gale commune peuvent être confondus, mais les lésions de la gale poudreuse sont plus petites et plus rondes que celles de la gale commune (Wastie *et al.*, 1988). Les épidémies sont sporadiques.

#### **I.5.2.5. Gale verruqueuse causée par *Synchytrium endobioticum***

D'après Hampson et Proudfoot (1974), la gale verruqueuse se trouve dans presque toutes les régions du monde où l'on cultive la pomme de terre ; c'est l'une des maladies les plus importantes de la pomme de terre qui causent le plus de dommages. L'agent pathogène de la maladie est un champignon tellurique qui attaque les points de croissance sur les plants de pommes de terre, comme les yeux, les bourgeons et l'extrémité des stolons (Putnam et Hampson 1989). *Synchytrium endobioticum* provoque la formation de gales et d'excroissances verruqueuses dont la taille varie de celle d'un pois à celle d'un poing. Les gales aériennes sont verdâtres, deviennent brunes, puis noires à maturité. Elles peuvent pourrir et se désagréger à l'intérieur du sol. Les gales se forment parfois sur les parties supérieures de la plante et même sur les parties florales, mais habituellement on trouve les gales à la base de la tige, à l'extrémité des stolons et dans les yeux.

#### **I.5.2.6. Pourriture aqueuse causée par *Pythium ultimum***

On trouve la pourriture aqueuse dans toutes les régions où on cultive la pomme de terre. Elle cause passablement de problèmes chez les tubercules récoltés avant maturité lorsque les sols sont chauds et humides. Les *Pythium* causent une pourriture des semences, une fonte des semis et une pourriture des racines chez plusieurs cultures légumières.

#### **I.5.2.7. Pourriture rose causée par *Phytophthora erythroseptica***

La pourriture rose est une pourriture spongieuse et molle des tubercules récoltés. Exposés à l'air, les tissus infectés prennent une coloration rose saumon. Le *P. erythroseptica* infecte les parties souterraines des plants de pommes de terre, surtout lorsque l'humidité du sol est élevée. Des symptômes de flétrissement peuvent apparaître sur le feuillage. Lorsque le tubercule est tranché, les tissus infectés prennent une teinte rosée après une exposition à l'air de 20 à 30 minutes. Ces tissus conservent une certaine fermeté et une texture qui s'apparente à celle d'une pomme de terre bouillie. Souvent, les tubercules contaminés sont envahis par les bactéries qui causent la pourriture molle bactérienne (Jean, 2000).

#### **I.5.2.8. Rhizoctonie causée par *Rhizoctonia solani***

Cette maladie est répandue partout où l'on cultive la pomme de terre. Elle est facilement identifiable par les croûtes noires (variole) qu'on trouve sur la peau du tubercule et qui ne s'enlèvent pas au lavage. Le *Rhizoctonia* cause des dommages particulièrement graves lorsque le sol est froid et humide et lorsque des cultures de pommes de terre se suivent de trop près dans la rotation. Le principal dommage est la dépréciation des tubercules. Le champignon cause toute une gamme de symptômes chez la pomme de terre tels que le manque à la levée, des nécroses brun rougeâtre sur les racines, les tiges et les stolons, allant jusqu'à la formation de chancres, au renflement des tiges, à la production de tubercules aériens, à l'enroulement, au flétrissement et au roussissement des feuilles ainsi que la mort prématurée des fanes et la difformité des tubercules (Soltner, 1979 ; Laure, 2013).

#### **I.5.2.9. Sclérotiniose de la pomme de terre**

La sclérotiniose, d'après Richard *et al.*, (1994) est une maladie fongique qui a deux agents causaux, principalement le *Sclerotinia sclerotiorum* causant la pourriture à sclérotites et le *Sclerotinia minor* causant la sclérotiniose mineure. Le *Sclerotinia sclerotiorum* s'attaque à

de nombreuses espèces de plantes, y compris de nombreuses solanacées, crucifères et légumineuses. La présence de mycélium blanc et de gros sclérotés noirs de forme irrégulière à l'intérieur ou à la surface des tissus infectés est un signe caractéristique de la maladie chez la pomme de terre. On peut lutter contre la sclérotiniose en pratiquant la rotation des cultures de pommes de terre avec des cultures non hôtes telles que les céréales ou les graminées fourragères et en les plantant dans des sols bien drainés.

### **I.5.3. Viroses et Mycoplasmoses**

Les principales viroses de la pomme de terre et les mosaïques, viennent en trois formes : simple, bénigne et rugueuse. Elles se chevauchent, mais chacune est causée par un virus spécifique ou une combinaison de virus. La mosaïque ou marbrure se manifeste surtout par temps frais et nuageux, ce qui est courant en début de saison. Si la plupart des mosaïques présentent des symptômes particuliers, certaines souches ont des signes faciles à confondre avec ceux d'autres virus de ce groupe.

#### **I.5.3.1. Mosaïque simple**

La mosaïque simple, la plus commune des viroses, est présente dans presque toutes les cultures de variétés sensibles de pommes de terre de table. Les plants infectés se marbrent de plages vert pâle et vert foncé, les unes très évidentes, les autres à peine perceptibles. La marbrure est plus marquée par temps frais et nuageux. Les feuilles ne sont pas ridées ni les plants rabougris (Moule, 1972). Les tubercules n'ont aucun défaut apparent.

#### **I.5.3.2. Mosaïque bénigne**

Cette maladie sévit dans la plupart des régions de culture de la pomme de terre. Parce qu'elle est plus évidente que la mosaïque simple, il est plus facile de la combattre par l'élimination des plants malades. Les feuilles des plants atteints de mosaïque bénigne présentent des mouchetures qui varient du vert pâle au vert jaunâtre. Les feuilles deviennent légèrement gaufrées et restent anormalement petites ; les plants sont légèrement rabougris. Les tubercules ne présentent généralement pas de défaut manifeste. Cette mosaïque est généralement causée par l'action combinée des virus A et X. Lorsqu'un plant devient infecté de l'un de ces virus, le deuxième s'installe et il en résulte la mosaïque bénigne (Anonyme, 2008).

### **I.5.3.3. Mosaïque rugueuse**

Les symptômes de la mosaïque rugueuse, (ou bigarrure) la plus grave des mosaïques, la distinguent facilement des deux autres formes. Des stries noires se forment sur les nervures, les pétioles et les tiges ; puis, les feuilles se dessèchent et demeurent suspendues à la tige par un filament de tissus morts ; le plant se défeuille alors jusqu'aux tiges qui ne portent plus qu'une touffe de feuilles au sommet, lui donnant un aspect de palmier. Le plant entier se nanifie ; la maladie doit son nom à l'aspect rugueux de la plante (Hodgson *et al.*, 1975).

### **I.5.3.4. Virus de l'enroulement des feuilles de la pomme de terre**

L'enroulement de la pomme de terre se trouve partout dans le monde et cause d'importantes pertes de rendement et de qualité. Les tubercules infectés par l'enroulement développent des symptômes caractéristiques. Les folioles au bas de la plante sont enroulées, raides, sèches, parcheminées, et peuvent cliqueter lorsqu'on les secoue. Les feuilles âgées chez certains cultivars deviennent roses ou jaunes, et gravement nécrosées ; les plantes sont souvent rabougries et rigides. L'intensité des symptômes dépend de la souche de virus, du cultivar de pomme de terre et des conditions de croissance (Kawchuk *et al.*, 1990).

### **I.5.3.5. Virus A de la pomme de terre**

Le virus A de la pomme de terre est un Potyvirus composé de particules filamenteuses est plutôt rare, surtout chez la semence sélectionnée. Il n'infecte que les plantes de la famille des solanacées. Il cause une marbrure ou mosaïque légère, un gaufrage et brillance des feuilles (Bartels, 1971).

### **I.5.3.6. Virus M de la pomme de terre**

Les symptômes foliaires sont une marbrure, une mosaïque, une frisolée ou un enroulement des feuilles, qui peuvent être discrets ou accentués, ainsi que le rabougrissement des tiges et la déformation des folioles. La gravité des symptômes dépend de la souche de virus, du cultivar de pomme de terre et des conditions climatiques. Des températures égales ou supérieures à 24°C tendent à masquer les symptômes. Agent pathogène Le virus M de la pomme de terre est un Carlavirus composé de bâtonnets filamenteux (Wetter, 1972).

### **I.5.3.7. Virus S de la pomme de terre**

Le virus S de la pomme de terre est le plus répandu des virus de la pomme de terre ; on le trouve même dans la semence Certifiée dans plusieurs régions. Les pertes de rendement causées par le virus S de la pomme de terre vont jusqu'à 20 %. Le virus S de la pomme de terre ne cause pas de symptômes visibles chez la plupart des cultivars de pomme de terre. Cependant, certaines souches causent une coloration plus accentuée des nervures, la marbrure, le bronzage et la rugosité du feuillage. Les tubercules ne présentent pas de symptômes. L'agent pathogène du virus S de la de terre est un Carlavirus (Wright, 1988 ; Rousselle *et al.*, 1996).

### **I.5.3.8. Virus X de la pomme de terre**

La diminution de rendement causée par ce virus chez de nombreux cultivars peut atteindre 15 % ou plus. Les symptômes sont particulièrement marqués par temps nuageux et frais. On observe des mosaïques limitées par les nervures, frisolées. Le virus X de la pomme de terre appartient au groupe des Potexvirus dont il est le type (Koenig et Leseman. 1989).

### **I.5.3.9. Virus Y de la pomme de terre**

Le virus y de la pomme de terre est l'un des virus de la pomme de terre les plus dommageables en termes de diminution de rendement. Combiné au virus X de la pomme de terre, il cause une maladie encore plus destructrice appelée mosaïque rugueuse de la pomme de terre ou frisolée-mosaïque. Chez la pomme de terre, les symptômes varient d'une marbrure légère à une nécrose grave du feuillage selon la souche de virus et le cultivar de pomme de terre. (Singh, 1992).

## **I.5.4. Maladies non parasitaires**

De nombreux accidents non parasitaires peuvent affecter les pommes de terre. Ils sont le résultat de stress tels que les bris mécaniques, les désordres nutritionnels, les effets de la température et de l'humidité, une mauvaise aération du sol, des dommages dus aux pesticides et à la pollution de l'air. Les problèmes les plus communs sont traités ci-dessous.

### **I.5.4.1. Cœur noir de la pomme de terre**

Le centre des tubercules atteints par le Cœur noir prend une couleur noirâtre, foncée et irrégulière. Les tissus noircis sont d'abord fermes, puis ramollissent et se gorgent d'eau. Les tissus se ratatinent et forment des cavités (Hodgson *et al.*, 1975).

#### **I.5.4.2. Crevasses de croissance**

De nombreux types de crevasses de croissance peuvent se trouver sur les tubercules et réduire leur valeur marchande. Les gerçures en coup d'ongle sont le résultat de manipulations brutales et de l'assèchement du péri derme pendant ou après l'arrachage (Jetferies et Mackerron, 1987). Ce problème est aggravé par un entreposage à sec. Les crevasses peuvent aussi résulter d'une pression mécanique ou d'impacts durant la récolte.

#### **I.5.4.3. Anomalies génétiques**

Les causes sont des anomalies génétiques chez la pomme de terre sont généralement inconnues, et on se prémunie contre cet accident en éliminant ces plantes pendant le processus de certification de la semence.

#### **I.5.5. Nématodes**

Les nématodes qui attaquent la pomme de terre sont très diversifiés.

##### **I.5.5.1. Nématode de la pourriture des racines (*Ditylenchus destructor*)**

Selon Ferris (1962), ce nématode est un ravageur important de la pomme de terre dans plusieurs pays. Les plantes touchées se présentent sous forme d'îlots, s'étendant habituellement le long des rangs ou dans le sens du travail du sol. Par temps très chaud, les plantes flétrissent facilement et les feuilles jaunissent lentement. Les petites lésions sur les poils absorbants et une pourriture noire sont des indices de dommages causés par le nématode des lésions racinaires, mais ne constitue pas une preuve suffisante pour conclure que les nématodes sont les seuls en cause.

##### **I.5.5.2. Nématodes à kyste de la pomme de terre (*Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*)**

Selon Evans et Stone (1977), Les feuilles des plantes affectées sont pâles et, par temps sec, elles flétrissent. Les nématodes, lorsqu'ils sont en grand nombre, peuvent causer du rabougrissement, une sénescence précoce et une prolifération des radicelles. Lors de fortes infestations, les plantes semblent subir un stress hydrique ou souffrir d'une carence minérale. Les pertes de rendement varient en fonction de la densité des nématodes et de la résistance du cultivar de pomme de terre. En champ, lorsqu'on soupçonne la présence de nématodes à kyste,

l'amateur cherchera sur les racines de pomme de terre des kystes sphériques blancs ou jaune doré d'environ 1 mm de diamètre. Le kyste peut adhérer aux racines ou être libéré dans le sol.

### **I.5.5.3. Nématodes ectoparasites (*Paratrichodorus spp.* et *Trichodorus spp.*)**

Les nématodes ectoparasites (ordre des Dorylaimida, famille des Trichodoridées) sont des nématodes courts et épais avec un stylet dorsal non axial et recourbé. L'extraction et l'identification d'échantillons de sol et de racines sont nécessaires pour confirmer que ces nématodes sont bel et bien à l'origine de la maladie (Ferris, 1962). Chez la pomme de terre, il y a peu de dommages directs ; cependant, de grandes nécroses se forment à l'intérieur des tubercules infestés par ces nématodes vecteurs du virus du brunissement du tabac qui cause la nécrose annulaire chez la pomme de terre. Sur de petites zones, la solarisation est efficace pour réduire le nombre de nématodes ectoparasites qui ont tendance à se nourrir près de la surface.

### **I.5.6. Insectes de la pomme de terre**

De nombreux insectes créent d'importants dégâts chez la pomme de terre et sont généralement vecteurs de maladies.

#### **I.5.6.1. Altise de la pomme de terre (*Epitrix cucumeris*)**

L'adulte de l'altise de la pomme de terre (*Chrysomelidae*) mesure 1,7 mm de longueur sur 1 mm de largeur. Il est noir et muni de pattes et d'antennes brunes. Le fémur des pattes postérieures est plus robuste et plus sombre que les autres segments. Lorsque les adultes se nourrissent sur les feuilles, ils provoquent l'apparition de cicatrices rondes de 0,1 à 5 mm de diamètre qui finissent souvent par former des trous. Les adultes peuvent aussi propager des maladies lorsqu'ils émergent du sol (Jean, 2000). Les maladies fongiques transmises par l'altise de la pomme de terre sont la gale commune, la fusariose, la rhizoctonie et la verticilliose. De plus, elle peut transmettre mécaniquement des maladies bactériennes et la filosité du tubercule. Il n'existe présentement aucun agent de lutte biologique sur le marché. Les insecticides utilisés contre d'autres insectes nuisibles de la pomme de terre sont généralement aussi efficaces contre les altises (Soltner, 1979).

#### **I.5.6.2. Cicadelle de la pomme de terre (*Empoasca fabae*)**

Les cicadelles (*Cicadellidae*) sont cunéiformes et cette caractéristique permet de les distinguer d'autres insectes. L'adulte de la cicadelle de la pomme de terre mesure 3 à mm de

long, est d'un jaune verdâtre luisant. Il est très rapide et s'envole rapidement lorsqu'on s'en approche. Les larves sont aussi jaune verdâtres. Elles demeurent habituellement sur les feuilles et se déplacent vers le côté opposé de la feuille lorsqu'on les dérange. Les adultes et les nymphes se nourrissent de la sève des feuilles et des tiges. Ce faisant elles inoculent aux plants de pomme de terre une toxine qui cause la « brûlure de la cicadelle ». Les plants atteints présentent un type d'enroulement de la pointe et de la marge des folioles qui tournent au jaune, puis au brun et deviennent cassantes. Les fanes meurent tôt et le rendement en est diminué (Hodgson *et al.*, 1975). Il n'existe pas de pratiques culturales efficaces contre la cicadelle de la pomme de terre. Les insecticides sont utilisés.

### **I.5.6.3. Doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*)**

Le doryphore de la pomme de terre est un ravageur spécifique des espèces de la famille des Solanacées. Le doryphore (*Chrysomelidae*) adulte (Fig. 11) mesure environ 10 mm de longueur sur 7 mm de largeur et est bombé. La tête et la partie antérieure du thorax (pronotum) sont brun orangé à jaunes et couvertes de taches noires de formes variées. Les ailes antérieures (élytres) jaunes sont ornées sur toutes leurs 10 rayures noires. Les larves et les adultes se nourrissent des feuilles de la pomme de terre (Richard et Thomas, 2015). Si l'on ne lutte pas contre eux, ils dépouillent rapidement les plants, ceux-ci meurent et les tubercules ne se développent pas, d'où diminution marquée des rendements. Cet insecte est un des vecteurs présumés de la filosite des tubercules et de la flétrissure bactérienne (Boiteau et Le Blanc, 1992). À part l'utilisation d'insecticides, la rotation des cultures est présentement l'une des rares techniques de lutte courante à la portée des producteurs de pommes de terre.



Fig. 11. Doryphores de la pomme de terre (Richard et Thomas, 2015)

#### **I.5.6.4. Pucerons de la pomme de terre**

Les pucerons de la pomme de terre se trouvent partout dans le monde ; C'est le plus gros puceron qui infeste les plants de pomme de terre. Généralement d'une teinte verte, il peut aussi être rouge, brun, jaune, orangé et même pourpre. Ce puceron s'observe généralement au niveau des points de croissance mais, s'il y en a beaucoup, ils envahissent aussi les tiges florales. Ils véhiculent l'enroulement, la mosaïque bénigne et la mosaïque rugueuse. Ils recouvrent les feuilles du sommet d'un miellat gommeux. Les toxines qu'ils inoculent peuvent provoquer l'enroulement, la marbrure, le ridement, les rayures, la mort des folioles et, si leur nombre est assez grand, la destruction des plants et le rendement en souffre (Hodgson *et al.*, 1973).

#### **I.5.6.5. Criquets**

Les criquets peuvent causer des dommages. On trouve plusieurs espèces dans une même région. Chez la pomme de terre, ils causent des dommages particulièrement aux feuilles et transmettent le viroïde de la filosité de la pomme de terre et probablement d'autres agents pathogènes. La transmission des maladies est essentiellement mécanique, et toutes les espèces de criquets transmettent facilement des agents pathogènes. Si les prévisions indiquent que les œufs de criquet sont abondants, les producteurs doivent mettre en jachère les champs déchaumés.

#### **I.5.6.6. Punaise terne (*Lygus lineolaris*)**

La punaise terne se nourrit en perçant les tissus de la plante et en suçant la sève. Sur la pomme de terre, en se nourrissant, elle détruit les fleurs et cause l'enroulement des feuilles et le flétrissement des pousses. Cet insecte transmet aussi le viroïde de la filosité de la pomme de terre. L'élimination des mauvaises herbes après la récolte contribue à réduire le nombre de punaises ternes en détruisant les aires d'hibernation.

#### **I.5.6.7. Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*)**

La pyrale du maïs cause des baisses de rendement dans les cultures de pommes de terre en se nourrissant des fans. Cependant, la probabilité d'une infestation est faible et des mesures de lutte sont rarement nécessaires (Stewart, 1992).

## **I.6. Laurier jaune (*Thevetia peruviana*)**

### **I.6.1. Positon systématique**

La position systématique du laurier jaune est (Anonyme, 2003 ; Singh *et al.*, 2012) :

Règne : Végétal

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnotopsida

Ordre : Gentianales

Famille : Apocynacées

Genre : *Thevetia*

Espèce : *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum.

### **I.6.2. Description botanique et biologie**

Le laurier jaune est un arbuste décoratif originaire de l'Amérique tropicale (Pérou) pouvant atteindre 2 à 7 m (Fig. 12). C'est une plante à écorce grisâtre contenant une sève laiteuse blanchâtre, à port ramifié et dressé en forme de buisson. Les Feuilles sont persistantes, brillantes sur la partie supérieure, subsessiles, lancéolées, pointues, à nervure centrale marquée, longues et étroites. Les fleurs sont de couleur jaune, odorante en cymes subterminales. Elles sont hermaphrodites, spiralées, évasées, à corolle étalée en forme d'entonnoir, avec 5 pétales à bord ondulé se recouvrant nettement. Les fruits sont des drupes subglobuleuses, marrons à maturité, à péricarpe ligneux, composé de deux carpelles séparés par une cloison ligneuse ailée, le noyau est très dur et contient 1 ou 2 graines à cotylédons huileux. Les graines oléagineuses sont des sources principales des protéines végétales et huiles pour l'alimentation animale humaine (Usman *et al.*, 2009)

*T. peruviana* a une croissance rapide et se multiplie par semis ou par bouture. À maturité, les fruits tombés au sol s'ouvrent parfois et germes aboutissant souvent ainsi à de nouveaux plants.

De nombreux travaux montrent que, les graines de *T. peruviana* renferment 35,5 à 57 % d'huile (boulay, 1985 ; Atteh *et al.*, 1990 ; Oderinde et Oladimeji, 1990 ; Ibiyemi *et al.*, 2002). Cette huile serait incolore non siccative, de saveur agréable pouvant contenir jusqu'à 53 % de protéine (Ibiyemi *et al.*, 2002).

Toutes les parties de la plante contiennent un latex blanc laiteux toxique constitué d'hétérosides cardiotoniques (Berhaut, 1971 ; Usman *et al.*, 2009 ; Raoufou *et kouami*, 2013). Ce latex est insoluble dans l'alcool mais soluble dans l'eau froide.



Fig. 12. Plante adulte de laurier jaune (Mboussi, 2016)

### **I.6.3. Principales propriétés**

#### **I.6.3.1. Propriétés médicinales**

Un grand nombre d'espèces de la famille des Apocynacées sont utilisées en médecine traditionnelle parmi lesquelles *Thevetia peruviana*. Constituée principalement d'hétérosides cardiotoniques, de thévétine, de thévérisine et de peruvoside, les fruits, le latex, les racines et les feuilles du laurier jaune sont utilisés comme purgatif et émétique contre le rhumatisme, l'hydropisie (graines toxiques), les fièvres intermittentes, l'empoisonnement (écorce), et la tachycardie (Gata conçalves *et al.*, 2003 ; raoufou et kouami, 2013). Il soutient le cœur en faible dose, le tétanise en forte dose. C'est un poison fort, une teinture, et un puissant aphrodisiaque. Il est recommandé pour le traitement de la gale et la lèpre, un mélange formé par le latex et l'huile de cotonnier (Berhaut, 1971).

En médecine moderne, cette plante est utilisée comme cardiotonique pour le traitement des défaillances cardiaques (Petelot, 1953). Des flavones et des flavonoïdes gluconiques, isolés des feuilles de *T. peruviana*, auraient des propriétés inhibitrices contre la transcriptase reverse et l'intégrase du virus du sida (Tewtrakul *et al.*, 2002).

#### **I.6.3.2. Propriétés rodenticides**

Dans certaines régions du Cameroun, les graines du laurier jaune seraient utilisées pour tuer les rongeurs qui nuisent aux plantations. De nombreux travaux ont montré cette efficacité rodenticide du laurier jaune (Oji *et al.*, 1993 ; Dounias, 1995 ; Oji et Okafor, 2000).

#### **I.6.3.3. Propriétés bactéricides**

L'efficacité de l'huile des graines de *Thevetia peruviana* comme agent anti-bactérien a été démontré par des travaux scientifiques (Saxena et Jain, 1990 ; Obasi et Igboechi, 1991).

#### **I.6.3.4. Propriétés insecticides**

Les travaux de Berhaut, (1971), ont montrées que les solutions préparées à partir des noyaux broyés constituent un bon insecticide. Des substances extraites du feuillage (aucubine) auraient des propriétés insecticides efficaces entre autre sur la mouche domestique (Reed *et al.*, 1982).

#### **I.6.3.5. Propriétés fongicides**

Les extraits des différents organes (graines, feuilles) du laurier jaune sont utilisés dans la lutte biologique contre plusieurs espèces de champignons. L'efficacité fongicide de cette plante a été démontrée contre *Rhizoctonia solani* et *Cladosporium cucumerinum* (Kurucheva, 1997 ; Gata-Gonçalves *et al.*, 2003), *Phytophthora megakarya* (Ambang *et al.*, 2010 ; Ngoh Dooh *et al.*, 2014a), *Cercospora sp.* (Ambang *et al.*, 2007), *Colletotrichum gloeosporioides* (Ngoh Dooh *et al.*, 2014b).

**CHAPITRE II.**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## **II. MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **II.1. MATÉRIEL**

#### **II.1.1. Zones d'étude**

Les prospections et la collecte des isolats ont été effectuées dans les 03 principaux bassins de production de la pomme de terre que sont : le bassin de la Mezam dans la région du Nord-Ouest, les bassins de Bamboutos et de la Menoua dans la région de l'ouest. Dans ces différents bassins de production, un total de 12 localités ont été sélectionnées (Fig. 13). Il s'agit des localités de : Abonghen 1 (642162 N et 670778 E) ; Abonghen 2 (642177 N et 670810 E) ; Bambui (634890 N et 666313 E) ; Ntah (637642 N et 658081 E) ; Lingan (620728 N et 615672 E) ; Melo (619354 N et 615559 E) ; Ndoh (617728 N et 614572 E) ; Ngui (619432 N et 615637 E) ; Tiamekie (632401 N et 622517 E) ; Tola (623307 N et 628303 E) ; Tsela (630267 N et 620544 R) et Bamaka (625185 N et 624901 E). Cette zone d'étude, comprise entre 1647 m (localité de Tiamékié) et 2202 m (localité de Ntah) d'altitude est située dans la zone agroécologique III à pluviométrie monomodale plus précisément dans les hauts plateaux de l'Ouest. Dans ces hauts plateaux de l'Ouest, le climat est de type "caméronien d'altitude" (Anonyme, 2008), marqué par deux saisons d'inégales longueurs : une saison des pluies qui s'étend de la mi-mars à la mi-novembre et une saison sèche qui dure de la mi-novembre à la mi-mars. Les températures moyennes sont basses (19 °C) et les pluies abondantes (1500 -2000 mm) tombent suivant une configuration monomodale. Les paysages présentent par endroits une végétation de savane, des plateaux étagés, des bassins déprimés et des plaines traversées par des galeries forestières. Les sols sont très fertiles et toutes sortes de cultures y sont pratiquées parmi lesquels la pomme de terre (Anonyme, 2008).

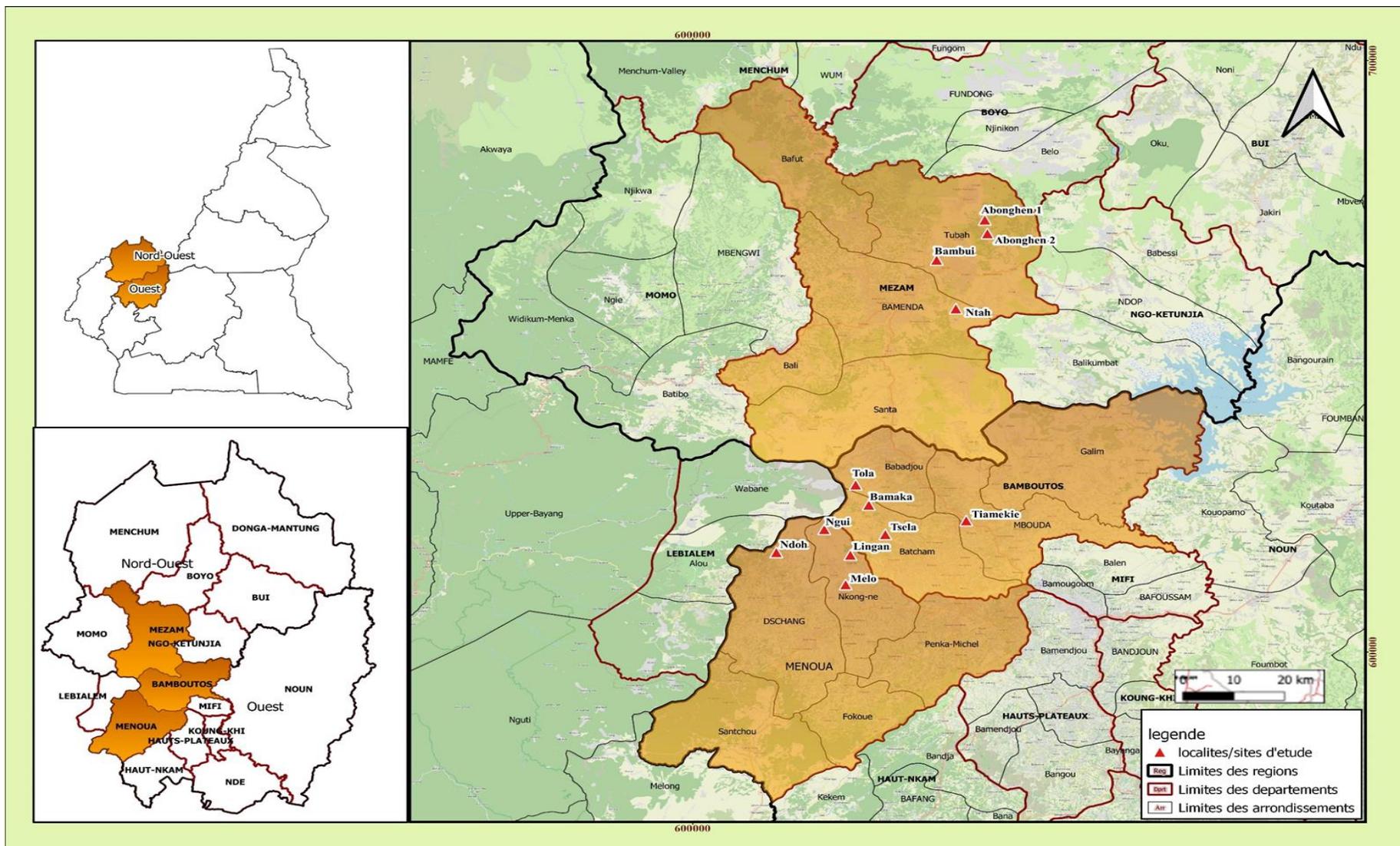


Fig. 13. Localisation de la zone d'étude

### II.1.2. Matériel végétal

Pour la réalisation de cette étude, deux variétés de pomme de terre et les graines de *Thevetia peruviana* (Fig. 16b) ont été utilisées. Les caractéristiques de ces variétés sont représentées dans le tableau II.

Tableau II. Caractéristiques des variétés de pomme de terre utilisées.

Variétés	Origine	Cycle (jours)	Couleur des fleurs	Port	Sensibilité Aux maladies	Rendements (t/ha)
CIPIRA	IRAD	120	Violette	Dressé	Plus ou moins résistante	30-40
Locale (MANATE)	Marché local	90	Blanche	Dressé	Rustique	15-20

### II.1.3. Matériel technique

Le matériel technique utilisé en champ était constitué d'un GPS pour géoréférencier tous les sites d'études, des machettes pour le défrichage du site, des houes pour le sarclage et le labour, un bloc note, un crayon pour les prises des paramètres de la maladie, une balance de précision, un pulvérisateur avec buse à pesticide de 15 l pour l'épandage des produits pesticides, un appareil photo numérique pour les prises de vue, une ficelle, un décimètre pour délimiter les parcelles, des piquets étiquetés et des seaux.

### II.1.4. Produits phytosanitaires

Les produits suivants ont été utilisés : un fongicide homologué de nom commercial "Bravo 720" avec comme matière active le chlorothalonil ; un insecticide de nom commercial "décis 5 CE" avec pour matière active la deltaméthrine ; L'extrait aqueux de *T. peruviana* ; l'extrait au méthanol de *T. peruviana* et un mélange d'engrais (urée + superphosphate triple + sulfate de potasse).

### II.1.5. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire était constitué essentiellement d'un microscope photonique, d'un réfrigérateur, d'un incubateur, d'une hotte à flux laminaire, d'une balance à précision, de l'alcool à 90<sup>0</sup>, de l'eau distillée, des boîtes de Pétri pour la mise en culture de l'agent

pathogène, des pinces, des lames et lamelles ainsi qu' une trousse à dissection contenant des lames de bistouri.

## **II.2. Méthodes**

### **II.2.1. États des lieux du mildiou dans la zone d'étude**

Plusieurs prospections ont été réalisées dans trois principaux bassins de production de la pomme de terre pendant la campagne agricole 2017. Dans le but d'évaluer l'importance de la maladie, trois parcelles de plus de 400 m<sup>2</sup> cultivées en pomme de terre dans chacune des 12 localités ont été sélectionnées, soit un total de 36 parcelles. Ces parcelles ont été prospectées durant la campagne 2017 entre le 9 Avril et le 22 mai 2017. L'estimation de l'importance du mildiou s'est effectuée en choisissant au hasard et en diagonales 100 plants infectés par parcelle (Abdelhadi Hammi, 2003). Les paramètres déterminés au cours de ces prospections sont :

- sévérité = Pourcentage de tissus infectés par plant qui représente une estimation du taux de la surface des lésions développées sur les feuilles et les tiges par rapport à la surface totale de la plante ;
- incidence = Pourcentage de plants mildioués par parcelle. Un plant ayant une feuille ou une tige portant une seule lésion est considérée comme le «seuil minimum» pour juger qu'un plant est mildioué ;
- fréquence = Pourcentage de parcelles attaquées par le mildiou dans chacune des localités visitées.

### **II.2.2. Description des caractères phénotypiques des isolats issus des différentes localités**

#### **II.2.2.1. Collecte des échantillons et dénomination des isolats**

Les feuilles, les tiges, les fruits ou les tubercules de pomme de terre présentant des symptômes typiques du mildiou ont été collectés dans les 36 parcelles prospectées. La variété hôte sur laquelle le mildiou a été détecté, la taille de la parcelle et les fongicides utilisés ont également été notés. Sur chaque site de collecte, la latitude, l'altitude et la longitude ont été enregistrées à l'aide d'un GPS (GPS Map 76S, Garmin). Les échantillons collectés dans chaque site ont été introduits dans des enveloppes et placés dans une glacière contenant de la glace puis ramenés en laboratoire pour isolement. Les noms et les origines de chaque isolat sont consignés dans le tableau III.

Tableau III. Dénomination et origine des isolats de *Phytophthora infestans*

Bassins de production	Localités	Champs/Parcelles/ Isolats	Variété	Organes prélevés	
Bamboutos	Tsela	P1	CIPIRA	Feuilles, tiges et tubercules	
		P2	MANATE	Feuilles	
		P3	MANATE	Feuilles	
		P4	MANATE	Feuilles	
		Tiamekié	P5	PANAMIRA	Feuilles
			P6	DOSA	Feuilles, tiges et tubercules
			P7	CIPIRA	Feuilles
			P8	CIPIRA	Feuilles
			P9	CIPIRA	Feuilles, tiges et tubercules
			P10	Panamira	Feuilles
		P11	CIPIRA	Feuilles, tiges et tubercules	
	Bamaka	P12	CIPIRA	Feuilles et tiges	
		P13	DOSA	Feuilles	
		P14	DOSA	Feuilles	
		Tola	P15	Désiré	Feuilles
Menoua	Lingan	P16	DOSA	Feuilles	
		Ngui	P17	DOSA	Feuilles
		P18	DOSA	Feuilles	
		P19	Désiré	Feuilles	
		P20	CIPIRA	Feuilles	
		P21	Désiré	Feuilles	
		P22	CIPIRA	Feuilles, tiges et tubercules	
	Melo	P23	DOSA	Feuilles et tiges	
		P24	DOSA	Feuilles	
	Ndoh	P25	DOSA	Feuilles	
		P26	DOSA	Feuilles	
		P27	DESIRE	Feuilles	
Mezam	Abonghen	P28	CIPIRA	Feuilles	
		P29	CIPIRA	Feuilles	
	Bambui	P30	DOSA	Feuilles	
		P31	CIPIRA	Feuilles, tiges et tubercules	
		P32	JACOB	Feuilles, tiges et tubercules	
		P33	JACOB	Feuilles	
		P34	DESIRE	Feuilles	
	Ntah	P35	CIPIRA	Feuilles	
		P36	JACOB	Feuilles	

## **II.2.2.2. Culture et isolement de *Phytophthora infestans***

### **II.2.2.2.1. Préparation des milieux de culture**

Plusieurs milieux de culture sont utilisés pour cultiver *P. infestans* en laboratoire. Dans le cadre de notre étude, 04 milieux de culture ont été utilisés. Notons également que 03 antibiotiques que sont la nystatine, la rifampicine et l'ampicilline ont été ajoutés respectivement aux doses de 19 mg/ml ; 20 mg/ml et 200 mg/ml pour 1000 ml de milieu avant le coulage du milieu dans les boîtes de Pétri pour limiter les contaminations bactériennes (Beninal, 2011). Ces milieux de cultures sont préparés comme suit :

- milieu Agar : 15 g de gélose ont été ajouté dans 1000 ml d'eau distillé stérile. La solution obtenue est portée à ébullition à l'autoclave pendant 20 min à 120 °C et conservée au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la fructification des spores de *P. infestans* ;
- milieu à base de petits pois : 140 g de petits pois sont bouillis dans 600 ml d'eau distillée pendant 20 à 30 min. Le produit obtenu est filtré à travers une mousseline et 16 g d'agar sont ajouté au filtra obtenu. Le mélange est complété à 1000 ml avec de l'eau distillée avant d'être stérilisé à l'autoclave pendant 20 min à 120 °C et conservé au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la culture des souches pures ;
- milieu PDA : l'infusion de pomme de terre se prépare en faisant bouillir dans l'eau 200 g de pommes de terre tranchées (lavées mais non pelées) pendant 30 min à 1h puis en filtrant le bouillon obtenu à travers un tissu de mousseline. Cette infusion est ensuite diluée en ajoutant de l'eau distillée pour un volume final d'un litre. 15 g de dextrose et autant d'agar-agar en poudre y sont par la suite ajoutés avant une stérilisation par autoclave à 120 °C pendant 20 minutes et conservée au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la fructification des spores de *P. infestans* ;
- milieu V8 : 200 ml de jus V8 sont mesurés et complétés à 1000 ml avec de l'eau distillé. Ensuite, 15 g d'agar-agar et 2 g de poudre d'anhydride (CaCO<sub>3</sub>) sont ajoutés avant une stérilisation à l'autoclave pendant 20 mn à 120 °C. Ce milieu a servi à la purification des souches et aux tests d'inhibition de la croissance.

## **II.2.2.2.2. Techniques d'isolements des différents isolats de *Phytophthora infestans***

### **II.2.2.2.2.1. Techniques d'isolements directs**

Pour les isolements directs, deux techniques ont été utilisées :

- technique 1 : les fragments de feuilles, de tiges ou de tubercules infectés de pommes de terre sont lavés à l'eau du robinet et désinfectés dans une solution d'hypochlorite de

sodium à 1% pendant 1 à 2 minutes. Ils sont ensuite lavés avec de l'eau distillée stérile deux à trois fois puis séchés pendant 2 à 3 minutes. Ils sont ensuite placés dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture petit pois et incubés à 20°C et à l'obscurité. L'observation est effectuée quotidiennement jusqu'à apparition du mycélium caractéristique de l'agent pathogène. Celui-ci est repiqué plusieurs fois jusqu'à purification de l'isolat ;

- technique 2 : Les organes infectés sont incubés dans des boîtes de Pétri humidifiées à 18-20°C à l'obscurité pendant 24h pour favoriser la fructification du champignon. L'isolement de cet agent pathogène consiste à repiquer des sporocystes prélevés dans des conditions aseptiques à la surface du tissu infecté à l'aide d'une aiguille stérile dont l'extrémité contient un fragment de la gélose. Ce dernier ne doit toucher que les sporocystes attachés à l'extrémité du mycélium. Ce prélèvement est effectué, de préférence, au front d'avancement de la lésion. Les fragments de gélose inoculés sont placés dans des boîtes de Pétri de 90 mm contenant le milieu de culture, à raison de 2 ou 4 fragments par boîte. L'incubation est effectuée à l'obscurité à 20°C. Des repiquages successifs du mycélium, issu de la germination directe des sporocystes sont réalisés après 3 à 4 jours d'incubation jusqu'à purification de l'isolat.

#### **II.2.2.2.2. Techniques d'isolements indirects (par appât)**

De même, pour les isolements indirects, deux techniques ont été utilisées :

- à partir du matériel végétal : des fragments d'organes infectés de 4 à 6 mm de diamètre sont prélevés au front d'avancement de la lésion et sont lavés et désinfectés comme décrit précédemment. Ces fragments sont placés sous des rondelles de la pomme de terre (variété saine et sensible) de 20 mm de diamètre et 5 mm d'épaisseur qui sont préalablement désinfectés à l'hypochlorite de sodium à 1 % et lavés à l'eau distillée stérile. Le test est conduit dans des boîtes de Pétri stériles contenant du papier filtre imbibé d'eau. L'incubation est réalisée à 20 °C et à l'obscurité jusqu'à apparition de la fructification. Ensuite, l'isolement du pathogène est pratiqué selon la technique précédente ;
- à partir du sol : des échantillons de sols infectés ont été prélevés. Après tamisage et séchage du sol, une quantité de 1000 ml par échantillon est placée dans une bassine de 40 x 40 cm. Elle est ensuite couverte de 400 ml d'eau distillée stérile de manière à obtenir juste un film d'eau à la surface du sol. Des tubercules sains de pomme de terre sont lavés à l'eau du robinet et épluchés. Des rondelles de 20 mm de diamètre et 5 mm

d'épaisseur sont prélevés à l'aide d'un emporte-pièce et désinfectées par trempage dans une solution d'hypochlorite de sodium à 1 % pendant 1 minute puis lavées avec de l'eau distillée stérile. Deux manipulations sont ensuite utilisées dans cette partie : la première consiste à déposer les rondelles de pomme de terre directement sur le sol humidifié à raison de 40 à 50 rondelles par bassine. L'incubation est réalisée à 20° à l'obscurité pendant 3 à 4 jours. Les rondelles sont ensuite transférées dans des boîtes de Pétri de 90 mm stériles contenant du papier filtre humidifié. Ces boîtes sont incubées à 18-20°C et à l'obscurité pendant 48h. La deuxième manipulation consiste à incuber les bassines contenant le sol humidifié à 20°C pendant 24 à 48 h avant d'y mettre les rondelles de pomme de terre et à procéder ensuite comme décrit précédemment.

#### **II.2.2.3. Identification de l'agent pathogène**

L'identification de l'agent pathogène est basée sur les caractères morphologiques décrits par Thurston et Shultz (1981) et les températures cardinales favorables à la croissance mycélienne ont été de 4°C pour la température minimale, 20°C pour la température optimale et 25°C pour la température maximale (Waterhouse, 1963).

#### **II.2.2.3. Maintenance de la pathogénicité des isolats**

Pour maintenir la pathogénicité des isolats, ceux - ci ont été conservés pendant de courtes durées dans des tubes à essai contenant 10 ml d'eau distillée. Avant de procéder au repiquage pour une conservation suivante, l'isolat est mis en culture pour être inoculé à des folioles ou des fragments de tubercules préalablement désinfectés (Abdelhadi, 2003). Après apparition de la lésion, le réisolement de l'isolat est effectué selon l'une des méthodes précédente. Cette manipulation est répétée tous les 2 à 4 mois pour maintenir la pathogénicité des isolats.

#### **II.2.2.4. Morphologies et morphométries des sporocystes issus des différents isolats**

Pour effectuer la caractérisation morphologique et morphométrique des isolats, les structures phénotypiques des différents sporocystes issus des filaments mycéliens prélevées dans les boites de Pétri et montées sur lame et lamelle ont été observées à l'aide d'un microscope. Les formes de chaque sporocyste ont été déterminées et une moyenne des tailles obtenues a été déterminée pour chaque localité. Un microscope optique composé d'un micromètre (Fig. 14) a été utilisé pour mesurer la longueur (L) et la largeur (l) des sporocystes.

Le rapport longueur/largeur (L/l) a été calculé pour chaque localité (Duan *et al.*, 2008). Ensuite, une classification des isolats a été effectuée à l'aide d'un dendrogramme.

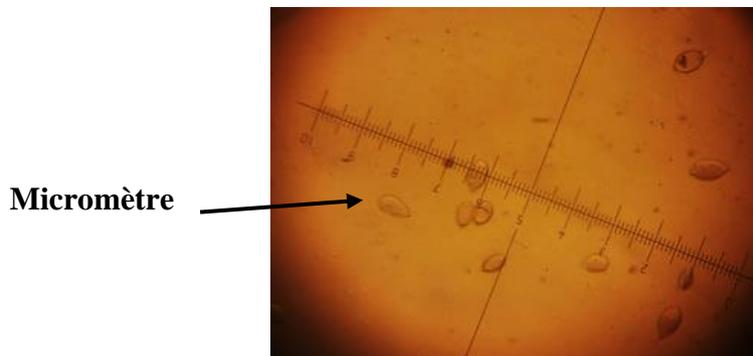


Fig. 14. Mesure de la longueur et de la largeur des sporocystes au microscope photonique (Grossissement X20)

#### II.2.2.5. Détermination de la présence des différents types sexuels A1 et A2

Pour déterminer la présence du type sexuel, deux isolats de différents bassins de production ont été choisis au hasard. Les disques de mycélium obtenus à l'aide d'un emporte-pièce de 7 mm de diamètre et prélevés dans des cultures de 7 à 10 jours de *P. infestans* ont été déposés au centre distant de 2 à 3 cm dans chaque boîte de Pétri contenant le milieu V8. Ensuite, les boîtes ont été incubées à 20 °C à l'obscurité (Fig. 15). L'opération a été répétée ainsi en confrontant tous les isolats de chaque bassin de production entre eux pour vérifier la présence des différents types sexuels. Après confrontation des isolats, le mycélium développé a été prélevé aseptiquement au niveau des zones de confrontation pour effectuer des observations microscopiques. L'on considère donc qu'il y a présence de ces deux types A1 et A2 lorsqu'il y a production des oospores.

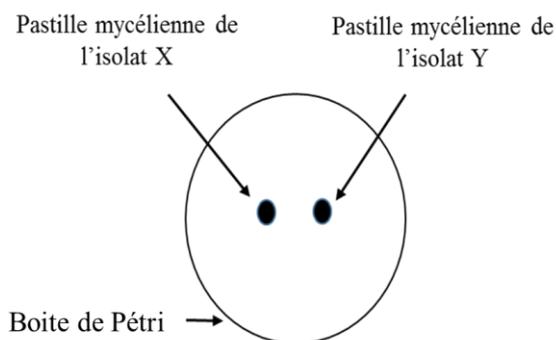


Fig. 15. Test de confrontation des isolats de *Phytophthora infestans*

### **II.2.2.6. Pathogénicité des différents isolats de *Phytophthora infestans* sur des folioles détachées de pomme de terre**

Afin d'évaluer la pathogénicité et le degré d'agressivité des différents isolats, des folioles apparemment saines ont été détachées de deux variétés de pommes de terre (CIPIRA et MANATE), lavées avec de l'eau distillée stérile et séchées avant d'être placées à l'envers dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre contenant du papier filtre humidifié pour former une chambre humide. Un fongicide synthétique (Bravo 720) a été appliqué sur les folioles détachées à l'aide d'une seringue. Une fois les folioles séchées (1 h), elles ont été ensuite inoculées avec une seule goutte (50 µl,  $2 \times 10^4$  sporocystes / ml) de suspension de sporocyste appliquée au centre supposé de la foliole à l'aide d'une pipette. Les traitements de contrôle contenaient une goutte d'eau distillée stérilisée contenant 0,05 % de Tween 20 comme contrôle négatif et une goutte de suspension de sporocyste pour le contrôle positif. Les boîtes de Pétri ont été conservées dans un incubateur à 20 °C. Après 7 jours d'incubation, la longueur (L) et la largeur (l) de la lésion ont été mesurées pour chaque foliole et la taille de la lésion (S en cm<sup>2</sup>) a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$S = [\pi (L + l) 2] / 4 \text{ (Fontem } et al., 2004 \text{ b)}$$

### **II.2.3. Évaluation *in vitro* de l'effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* sur le développement du mildiou**

#### **II.2.3.1. Obtention des extraits des graines *Thevetia peruviana* et screening phytochimique**

##### **II.2.3.1.1. Extrait au méthanol de *Thevetia peruviana***

Les fruits de *T. peruviana* ont été récoltés et concassés (Fig. 16a). Les graines (Fig. 16b) obtenues ont été séchées à la température du laboratoire ( $25 \pm 2$  °C) pendant 14 jours, puis broyées à l'aide d'une machine à main. La poudre obtenue est pesée avec une balance de précision «Sartorius» de précision 1 g, puis ajoutée à une quantité saturée de solvant à base de méthanol (500g / l). Le mélange est mis à macérer pendant 48 heures dans un récipient de 5 litres (Kumar 2003). La macération est répétée deux fois. Après chaque macération, le solvant, maintenant saturé en composés extractibles, est filtré sur papier filtre. Pour éliminer le solvant, le filtrat sera évaporé à l'aide d'un évaporateur «Buchi-R-200» à 60 °C sous vide.

##### **II.2.3.1.2. Extrait aqueux de *Thevetia peruviana***

Pour obtenir les extraits aqueux, la pâte obtenue après broyage des graines est pesée à l'aide d'une balance de précision de marque Sartorius et emballée dans un tissu de mousseline.

Ensuite, elle est trempée durant la nuit (pendant 12 h) dans de l'eau tiède pour macération (500 g/L). Le lendemain, le tissu contenant la pâte est délicatement essoré pour en extraire le maximum de liquide. Le filtrat recueilli est conservé à 4 °C dans un réfrigérateur pour utilisation en laboratoire.



Fig. 16. Fruit et graines de *Thevetia peruviana*. a) Fruits ; b) Graines

#### II.2.3.1.3. Rendement d'extraction des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Les rendements d'extraction (Rdt) en pourcentage des extraits ont été calculés par rapport aux poids du matériel végétal suivant la formule utilisée par Ambang *et al.*, (2011) ci-dessous :

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

#### II.2.3.1.4. Screening phytochimique des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Les grandes familles de métabolites secondaires ont été recherchées dans la plante suivant les méthodes classiques de caractérisation (Sofowara, 1993 ; Edeoga *et al.* 2005 ; Sahuvinod *et al.* 2010) (tableau IV). Les tanins et polyphénols ont été identifiés par le test au FeCl<sub>3</sub> et le réactif de Stiasny ; les flavonoïdes par la réaction à la cyanidine ; les saponosides par le test de mousse ; les quinones par le test de Borntträger ; les triterpènes et stéroïdes par le test de Liebermann-Burchard et enfin les alcaloïdes par les tests de Mayer et Dragendorf (Wong *et al.*, 2006) (tableau IV).

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

Famille	Mode opératoire	Caractéristiques
Huiles essentielles	Evaporation de 2 mL d'extrait dans l'eau	
Huiles saponifiables	2 gouttes d'extrait sur du papier filtrent	Tache translucide sur papier
Coumarine	3 mL d'extrait + eau chaude + 10 % NH <sub>4</sub> OH	Fluorescence
Alcaloïdes	4 mL d'extrait + 2 mL de réactif de Meyer + agitation	Un précipité beige (jaune pâle)
Stérols	2 mL d'extrait + 4 mL d'anhydride acétique + 1 mL CHCl <sub>3</sub> + quelques gouttes H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Coloration bleu vert
Triterpénoïdes	2 mL d'extrait + 4 mL d'anhydride acétique + 1 mL CHCl <sub>3</sub> + quelques gouttes de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentré	Coloration jaune marron
Flavonoïdes	2 mL d'extrait + 3 mL HCl concentré + 3 mL tournures de magnésium	Coloration rose
Anthraquinones	2 mL d'extrait + 1 mL de CHCl <sub>3</sub> + 1 mL NHOH ou NaOH	Coloration bleu vert
Tannis catéchiques	1 mL d'extrait + 1 mL d'eau + 3 gouttes de chlorure ferrique à 5 %	Vert marron ou bleu noire
Saponine	1 mL d'extrait + 1 mL d'eau + agitation vigoureuse	Formation d'une mousse persistante indiquant leur présence
Anthocyanes	2 mL d'extrait + 1 mL de NaOH + 2 mL de HCl à 10 % + papier pH	Couleur rouge sur milieu acide, violette sur milieu neutre, vert sur milieu basique
Phénol	4 mL d'extrait + 2 mL d'éthanol + 2 mL de solution d'acétate	Apparition d'un précipité blanc

### II.2.3.2. Inhibition *in vitro* de la croissance des isolats de *Phytophthora infestans* par les extraits des graines de *Thevetia peruviana*

Des disques de mycélium obtenus à l'aide d'un emporte-pièce de 7 mm de diamètre et prélevés dans des cultures de 7 à 10 jours de culture de *P. infestans* ont été déposés au centre de chaque boîte de Pétri contenant un milieu V8 enrichi en 03 doses différentes d'extrait aqueux (CE) d'une part et d'extrait au méthanol (CM) d'autre part. Il s'agit de : 25 ; 12,5 et 6,25 µl/ml.

Pour ce faire, une solution mère de 500 µl/ml de chaque extrait a été préparée en introduisant 50 ml de chaque d'extrait dans 100 ml de solvant. Ensuite 3 ; 1,5 et 0,75 ml de chaque solution mère ont été additionnés respectivement à 57 ; 58,5 ; et 59,25 ml de milieu de culture, pour un volume finale de 60 ml, qui est coulé dans des boîtes de Pétri de 90 ml a raison de 10 ml par boîte.

Un contrôle négatif non enrichi en extrait a été préparé (milieu de culture V8 uniquement). Le témoin positif considéré a été le Bravo 720 fongicide homologué contre le mildiou de la pomme au Cameroun contenant 720 g de chlorotalonil (matière active) par litre. Ce fongicide a été utilisé à la dose homologué de 80 ml pour 15 L d'eau (2 kg / ha) soit 5,33 µl/ml.

Chaque traitement est répété 3 fois dans chacun des deux tests. Les traitements ont été incubés à 20 °C et les mesures ont été prises tous les 2 jours à partir du deuxième jour après incubation. L'expérience est arrêtée lorsque les boîtes de Pétri contiennent les souches mycéliennes sont complètement recouvertes par le champignon.

La croissance radiale des souches testées a été évaluée en mesurant quotidiennement après l'inoculation et en même temps les deux diamètres perpendiculaires des pistes au dos de la boîte de Pétri (Fig. 17). La moyenne de deux mesures perpendiculaires du diamètre moins le diamètre des explants représente la mesure de la croissance radiale du champignon, selon la formule (Singh *et al.*, 1993):

$$D = [(d1 + d2) / 2] - d0$$

Où  $d_0$  = diamètre de l'explant,  $d_1$  et  $d_2$  = diamètres de culture mesurés dans deux directions perpendiculaires.

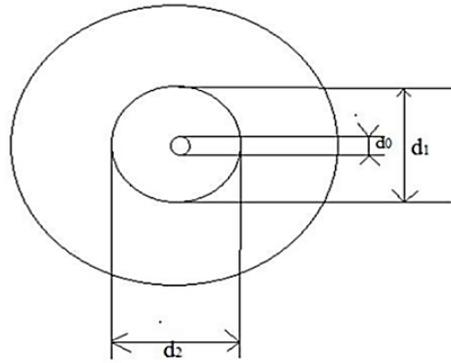


Fig. 17. Principe de mesure de la croissance radiale en boîte de Pétri (Singh *et al.*, 1993)

Le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne lié au témoin a été calculé pour toutes les concentrations de chaque fongicide en utilisant la formule de Opara et Wokocho (2008) :

$$PI (\%) = (Dt - Dx / Dt) \times 100$$

Où : PI = pourcentage d'inhibition ; Dt = Diamètre de croissance estimé sur milieu témoin ; Dx= Diamètre de croissance estimé en présence de l'extrait ou du fongicide à tester.

### II.2.3.3. Évaluation de l'activité fongicide ou fongistatique des extraits des graines de *Thevetia peruviana*

À la fin de chaque essai, les explants de mycélium issus des boîtes où la croissance était totalement inhibée, ont été prélevés et déposés aseptiquement sur milieu Petit Pois ne contenant pas de fongicide. Après 2 à 6 jours d'attente, selon qu'il y ait reprise de croissance ou pas du champignon, le fongicide de départ a été qualifié comme étant respectivement fongistatique ou fongicide (Kishore *et al.*, 1993).

### II.2.3.4. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI)

Les concentrations minimales inhibant 50 et 90 % de la croissance mycélienne (CMI<sub>50</sub> et CMI<sub>90</sub>) des différents fongicides vis-à-vis des souches de champignons ont été déterminées en confrontant les valeurs du pourcentage d'inhibition (PI) à celles du logarithme népérien des concentrations correspondantes (Ci) :  $PI = f(\ln Ci)$ .

La droite de régression linéaire de type  $Y = ax + b$  issue de la fonction  $PI = f(\ln Ci)$  a ainsi permis de déterminer les CMI<sub>50</sub> et CMI<sub>90</sub>, où Y = Pourcentage d'inhibition, a = pente de la droite, b = constante et  $CMI_{50} = e^x$ . D'autre part, cette droite de régression a permis de mettre en évidence l'existence d'une corrélation ou non, entre le Pourcentage d'Inhibition et les

concentrations appliquées, selon que le coefficient de corrélation ( $r$ ) de la droite soit proche de l'unité (compris entre 0,8 et 1) ou non (Dohou *et al.*, 2004). Ainsi, si  $a < 0$ , la relation est inversement proportionnelle et la corrélation est négative ; si  $a > 0$ , alors la pente est positive ; si  $r$  est compris entre 0,8 et 1, alors la corrélation est parfaite et positive ; si  $r$  est compris entre -0,8 et -1, alors la corrélation est parfaite et négative. Si  $r < 0,8$  alors la corrélation est positive, et imparfaite ; si  $r > -0,8$ , alors la corrélation est négative, et imparfaite (Heu, 2013).

### **II.2.3.5. Évaluation de l'effet des extraits des graines de *Thevetia peruviana* sur la germination des sporocystes de *Phytophthora infestans***

Pour évaluer l'effet des extraits sur la germination des sporocystes de *P. infestans* par rapport à un fongicide synthétique, des préparations de milieu de culture supplémentées à différentes doses d'extraits précédemment utilisés ont été coulées sur les lames. Ensuite, 50  $\mu\text{L}$  de solution de suspension de sporocystes de *P. infestans* calibré à  $2 \times 10^4$  sporocystes/mL a été déposée et étalée à l'aide d'une micropipette sur les préparations. 20  $\mu\text{L}$  d'eau distillée stérilisée et 20  $\mu\text{L}$  de suspension de sporocystes ont servi de traitement témoin négatif c'est-à-dire sans produit phytosanitaire. Chaque dose est répétée trois fois (soit 03 lames par traitements) et l'essai une seule fois. L'ensemble des préparations est placé à l'obscurité à 20 °C. Au bout de 24 h, le comptage du nombre de sporocystes germés et non germés est effectué sur un total de 100 sporocystes/lames au microscope ordinaire. L'effet inhibiteur des extraits contre *P. infestans* a été estimé sur la base du taux de germination et calculé selon la formule

$$\%G = (Gg/Gt) \times 100 \text{ (Goufo } et al., 2010)$$

Où Gg est le nombre de sporocystes germés et Gt le nombre total de sporocystes

## **II.2.4. Évaluation du potentiel antifongique des extraits des graines de *Thevetia peruviana* en champ**

### **II.2.4.1. Site d'étude et préparation du terrain**

L'étude a été effectuée dans la localité de Tola (623307 N et 628303 E) située dans l'arrondissement de Babadjou du département de Bamboutos dans la région de l'Ouest au Cameroun (Fig. 13) durant deux campagnes de cultures. Une campagne durant la saison de pluie (SP) qui va de Mars à Juin 2018 et une autre campagne en saison sèche (SS) qui va de Novembre à Février 2019. La préparation de la surface à utiliser a consisté à la délimiter à

l'aide d'un décamètre et après défrichage du site à l'aide d'une machette, les herbes ont été entassées dans une parcelle mise en jachère. Par la suite à l'aide des houes, le dispositif expérimental a été mis en place (Fig. 18).

#### II.2.4.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un split-plot bifactoriel en blocs complètement randomisés (Fig. 16). Il est disposé en 03 blocs de 10 parcelles, chaque bloc comporte deux variétés (V1 et V2) en facteur principal et cinq traitements (T0, T1, T2, T3 et T4) en facteur secondaire. Ces parcelles représentent les différents traitements testés. Il s'agit de : T0 = témoin absolu ; T1 = extrait aqueux des graines ; T2 = fongicide + insecticide ; T3 = fongicide ; T4 = extrait au méthanol. Les blocs sont espacés de 1,5 m et les parcelles élémentaires de 1 m.

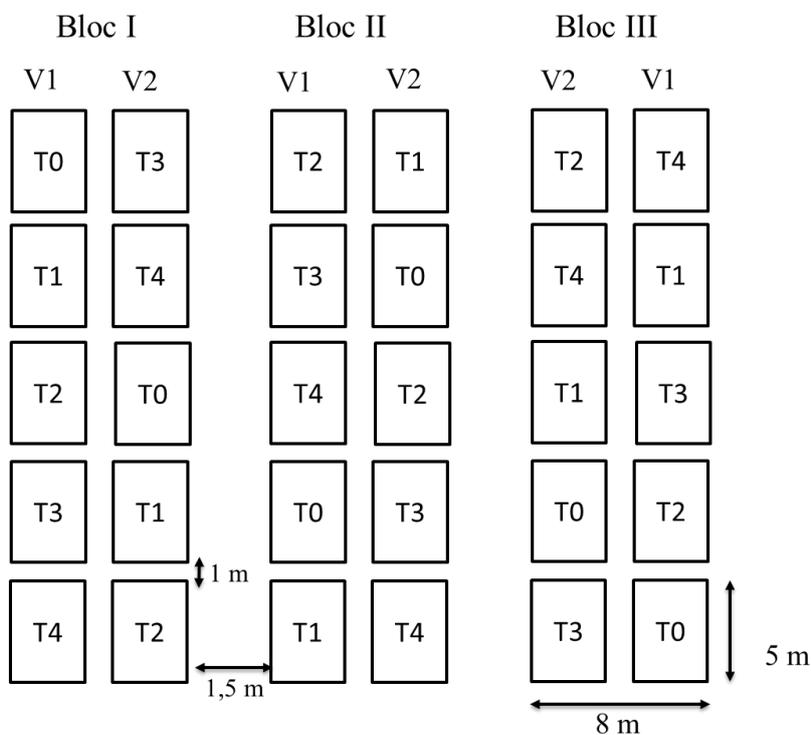


Fig. 18. Dispositif expérimental. V1 = variété locale "MANATE" V2 = variété CIPIRA.

#### II.2.4.3. Semis et entretien

La plantation a été effectuée manuellement avec une dose de semis équivalent de 1,2 t/ha et pour une densité moyenne de 50 000 plants par hectare. Les écartements étaient de : 50 cm entre rangs et 25 cm entre plants, et la profondeur de plantation de 7 à 10 cm (Fig. 19). Le précédent cultural étant la pomme de terre, un mélange d'engrais (urée 130 kg/ha, superphosphate triple 400 kg/ha et sulfate de potasse 200 kg/ha) a été épandu sur le sol 2 jours

avant le semis afin de reconstituer sa fertilité. Un désherbage manuel était effectué toutes les deux semaines à partir de 21 jours après semis. Le désherbage manuel ayant pour but d'éviter la concurrence des adventices en ce qui concerne la lumière, l'eau et les éléments nutritifs. Dans la culture de la pomme de terre, un désherbage de qualité permet aussi de supprimer d'éventuels réservoirs d'agents pathogènes (nématodes, bactéries, virus, insectes), et également de faciliter la récolte.



Fig. 19. Mis en place du dispositif expérimental et semis

#### II.2.4.4. Application des substances antiparasitaires

À partir de l'apparition des premiers symptômes de la maladie, un total de 12 applications a été fait tout au long de l'étude avec une fréquence hebdomadaire durant la grande saison de culture (saison de pluie). Du savon en poudre était utilisé comme agent mouillant ; lequel fait adhérer le produit sur les parties de la plantule. 20 g de détergent ont été ajouté avant application dans 15 l de d'extrait de *T. peruviana*.

Quatre solutions phytosanitaires correspondant chacune aux traitements T1, T2, T3 et T4 ont été appliquées sur les plants de pomme de terre à l'aide d'un pulvérisateur à dos à plat d'une capacité de 15 l. Il s'agit de :

- une solution d'extrait aqueux de graines de laurier jaune (T1) de concentration 16,66 g/l (filtrat obtenu à raison de 250 g de pâte pour 15 l d'eau);
- une solution de fongicide de contact (Bravo 720) + insecticide (Décis 5 CE) (T2) à raison de 100 ml + 20 ml dans 15 l d'eau soit 2,5 l/ha ;
- une solution de fongicide de contact (T3) (Bravo 720) à raison de 100 ml dans 15 l d'eau ;
- une solution d'extraits au méthanol (T4) de graines de laurier jaune (25 ml) dans 15 l d'eau.

Les mêmes doses ont été appliquées durant l'expérimentation lors de la deuxième campagne (saison sèche) mais seulement, les applications ont été effectuées toutes les deux semaines soit un total de 6 applications.

#### **II.2.4.5. Évaluation de l'incidence et la sévérité de la maladie dans les champs expérimentaux**

L'évaluation de l'infection de la plante par la maladie a été axée sur l'incidence et la gravité (sévérité) évaluée à la 6<sup>ème</sup> ; 8<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> semaines après le semis durant les deux périodes de cultures.

- L'incidence (I) ou taux d'expansion de la maladie est la fréquence d'apparition de la maladie sur les plantes dans une parcelle ; elle a été déterminée et exprimée en pourcentage selon la formule :

$$I = \frac{n}{N} \times 100 \quad (\text{Tchoumakov et Zaharova, 1990})$$

I = Incidence de la maladie

n = Nombre de plantes infectées dans la parcelle

N = Nombre total de plantes dans la parcelle

- La sévérité (S) de la maladie ou l'intensité de l'infection de la maladie sur les plantes pour chaque parcelle. Elle est estimée en fonction de la proportion occupée par les symptômes caractéristiques de la maladie sur la partie aérienne des plantes. Elle a été déterminé également à 6 ; 8 et 9 SAS puis calculée en pourcentage (%) selon la formule :

$$S = \frac{\sum(ab)}{N} \times 100 \quad (\text{Tchoumakov et Zaharova, 1990})$$

S = Sévérité de l'infection

$\sum ab$  = Somme des multiplications du nombre de plantes malades (a) correspondant au degré d'infection (b)

N = Nombre total de plantes malades

Le degré d'infection (b) (proportion de la surface foliaire infectée, estimée en %) a été noté pour la plante entière selon l'échelle d'évaluation Horsfall-Barratt de 1 à 12 (1 = 0%, 12 = 100% de gravité de la maladie) (Berger, 1980).

Une fois ces deux paramètres calculés, les valeurs moyennes ont été comparées entre les traitements, par rapport au témoin absolu T0.

#### II.2.4.6. Évaluation de l'effet des produits phytosanitaires testés sur le rendement

Pour évaluer l'effet des produits phytosanitaires testés sur le rendement, les rendements commerciaux et non commerciaux en tonne par hectare ainsi que le nombre de tubercule par plant ont été déterminés à 120 jours après semis (JAS) pour les deux périodes de cultures.

Le nombre des tubercules par plant a été évalué par le comptage exhaustif des tubercules apparemment sains (Fig. 20A) de chaque plante par parcelle et une moyenne a été attribuée pour chaque traitement. Ces tubercules apparemment sains ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance et la masse moyenne estimée à l'hectare selon la règle de trois a représenté le rendement commercial. Le rendement non commercial quant à lui a été effectué en pesant les tubercules présentant des signes d'infection du mildiou (Fig. 20B) selon la même démarche décrit précédemment (Habtamu *et al.*, 2012).

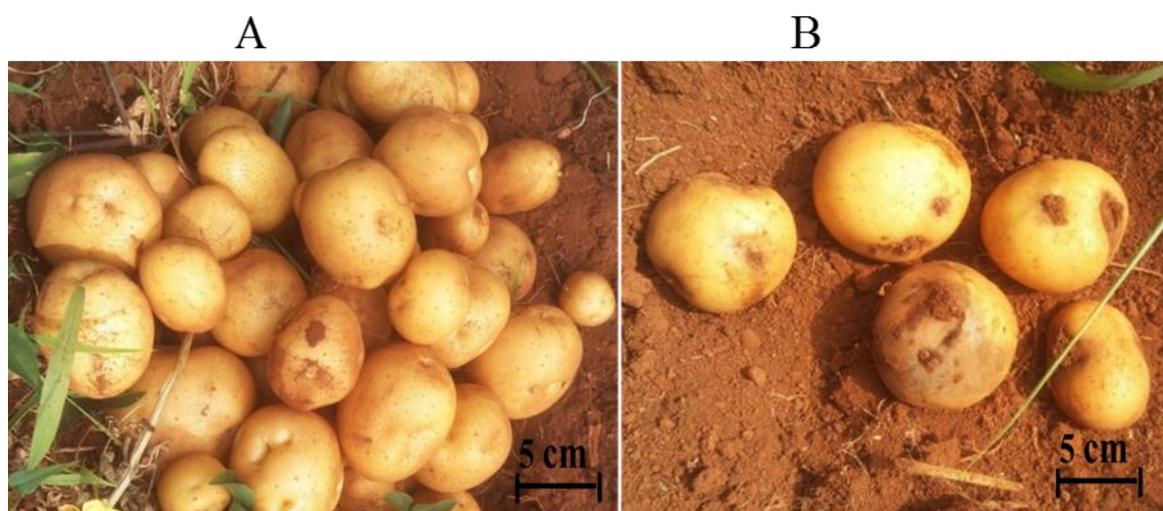


Fig. 20. Aspect sanitaire des tubercules de pomme de terre récoltés. (A) Tubercules apparemment sains ; (B) tubercules probablement infectés

#### II.2.7. Analyses statistiques

Les données collectés sur les croissances radiales des souches sur milieux de cultures supplémentés à différentes doses d'extraits des graines de *T. peruviana*, les pourcentages d'inhibition des différents extraits sur la croissance des souches, les taux de germination des sporocystes issus des différents isolats, les paramètres épidémiologiques (incidence et sévérité) et les rendements ont été saisis, traités et calculés avec le tableur Excel 2013 pour chaque

traitements et pour chaque variétés. Les données obtenus par la suite ont été importées et analysées avec le logiciel R version 3.6.2 qui utilise la méthode d'analyse standard de la variance (ANOVA) grâce à l'interface R Studio. Le test de comparaison multiple des moyennes de Tukey au seuil de 5 % fait suite à l'analyse de variance lorsque, des différences significatives ( $P < 0,05$ ) pour un des facteurs ont été décelées. Les résultats obtenus de l'analyse sous formes de moyenne  $\pm$  écart type d'un minimum de trois répétitions correspondant ( $n= 3$ ) sont saisies de nouveaux dans le tableur Excel 2013 pour réaliser des courbes, histogrammes et tableaux. Pour ressortir les différents groupes d'isolats en fonction des tailles des sporocystes (rapport Longueur/largeur), un dendrogramme a été réalisé grâce au logiciel R version 3.6.2. La droite de régression linéaire de type  $Y = ax + b$  issue de la fonction  $PI = f(\ln Ci)$  a été obtenu à partir du tableur Excel 2013 pour déterminer les  $CMI_{50}$  et  $CMI_{90}$ , où  $Y =$  Pourcentage d'inhibition,  $a =$  pente de la droite,  $b =$  constante et  $CMI_{50} = e^x$ . D'autre part, cette droite de régression a permis de mettre en évidence l'existence d'une corrélation ou non, entre le Pourcentage d'Inhibition, les taux de germination et les concentrations appliquées, selon que le coefficient de corrélation ( $r$ ) de la droite soit proche de l'unité (compris entre 0,8 et 1) ou non. Les corrélations de Pearson entre les différents paramètres épidémiologiques étudiés et les rendements ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS version 20.0. L'analyse en composantes principales (ACP) et le dendrogramme ont été réalisé grâce au logiciel R version 3.6.2 entre les variétés, les traitements, les paramètres épidémiologiques (incidence et sévérité), et le rendement en vue de déceler le rapprochement entre les variétés et les traitements moins susceptibles au mildiou.

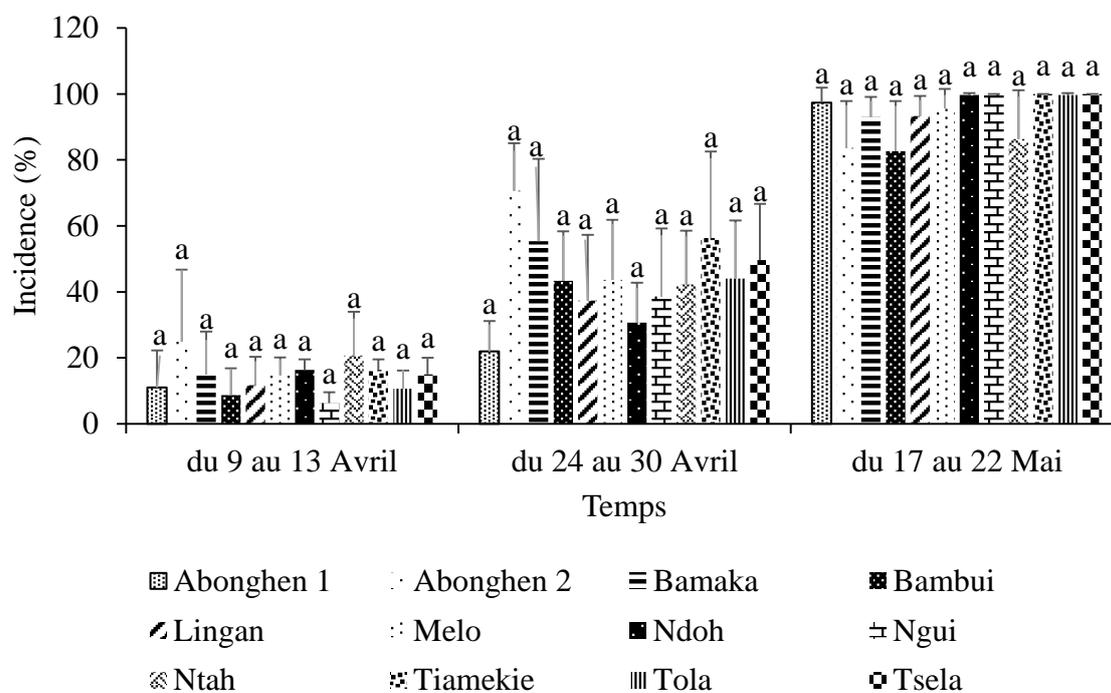
**CHAPITRE III**  
**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### III.1. RÉSULTATS

#### III.1.1. État des lieux du mildiou dans les différentes localités étudiées

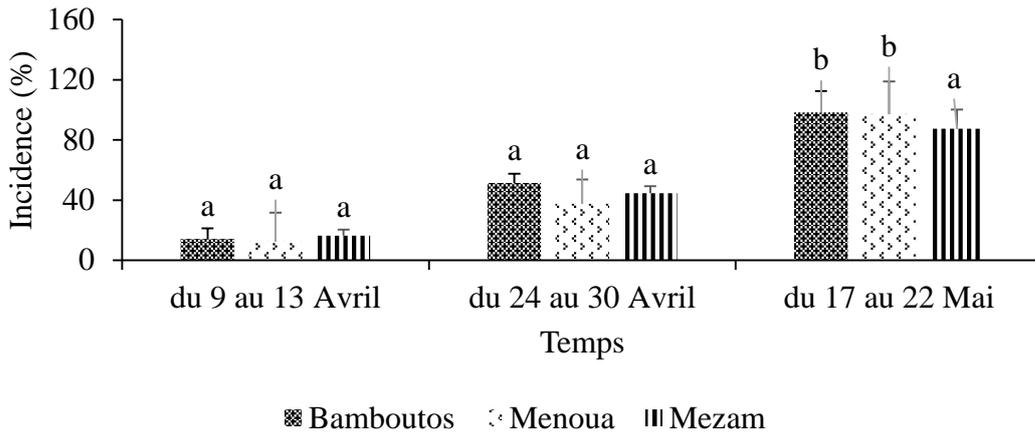
Les prospections réalisées entre le 9 Avril et le 22 Mai 2017 dans les 12 localités étudiées que sont, Tsela, Tiamekie, Bamaka, Tola, Abonghen 1, Abonghen 2, Bambui, Ntah, Lingan, Ngui, Melo et NDoh ont permis de montrer que les incidences et la sévérité du mildiou sont très élevées dans les principaux bassin de production de pomme de terre. Toutes (100 %) les parcelles visitées dans les différentes localités au cours des prospections ont présentées les symptômes typiques du mildiou. La figure 15 montre (Fig. 21) l'évolution de l'incidence moyenne du mildiou dans les différentes localités. Les incidences ont varié de 6,33 à 100 % dans l'ensemble des localités du 9 Avril au 22 Mai. Néanmoins, aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'est observée entre les incidences des différentes localités pour chaque temps.



Les incidences suivies de la même lettre dans le même temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 21. Évolution de l'incidence moyenne du mildiou dans les différentes localités en 2017

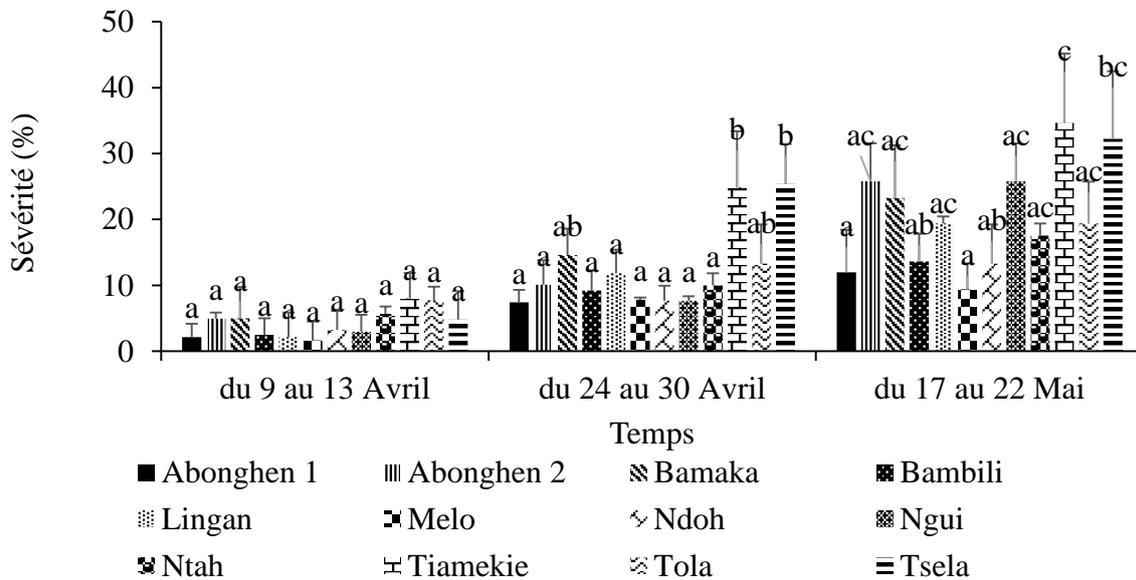
Toutefois, les incidences moyennes obtenues dans chaque bassin de production (Fig. 22) présentent des différences significatives ( $P < 0,05$ ) avec la plus faible incidence (87,5 %) dans le bassin de la Mezam entre le 17 et le 22 Mai 2017



Les incidences suivies de la même lettre dans le même temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 22. Évolution de l'incidence moyenne du mildiou dans les différents bassins de production

L'évolution de la sévérité moyenne du mildiou présente des différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre le 24 Avril et le 22 Mai (Fig. 23). Les sévérités les plus faibles ont été enregistrées dans les localités d'Abonghen 1, de Bamboui et de Melo ; où elles progressent de 2,16 à 11,96 ; de 2,5 à 13,66 et de 1,66 à 9,42 % respectivement. Quant aux sévérités les plus élevées, elles sont enregistrées dans les localités de Tiamékié et de Tsela ; où elles évoluent de 8,01 à 34,67 et de 4,82 à 32,25 %.

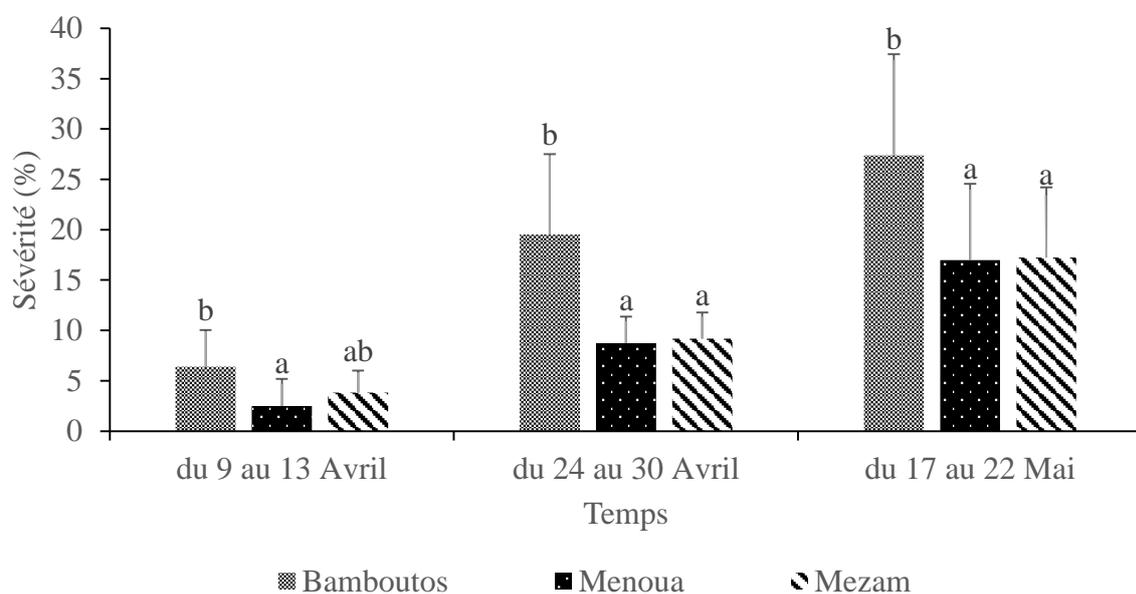


Les sévérités suivies de la même lettre dans le même temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 23. Évolution de la sévérité moyenne du mildiou dans les différentes localités en 2017

Globalement ; dans les bassins étudiés, l'évolution de la sévérité moyenne du mildiou est élevée. Les taux de sévérité ont variés de 2,5 à 16,97 et de 3,82 à 17,23 % respectivement dans le Bassin de la Menoua et de la Mezam (Fig. 24). Le bassin de Bamboutos enregistre les taux de sévérités les plus élevés avec des taux qui ont varié de 6,39 à 27,38 % durant toutes la période de prospection par rapport aux autres bassins de productions.

De façon générale, l'incidence et la sévérité du mildiou dans les 03 principaux bassins de production de la pomme de terre sont élevés et les écarts types des différents pourcentages obtenus montrent que les parcelles étudiées sont très hétérogènes.



Les sévérités suivies de la même lettre dans le même temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 24. Évolution de la sévérité moyenne du mildiou dans les différents bassins en 2017

### III.1.2. Caractères phénotypiques des différents isolats collectés

#### III.1.2.1. Identification de l'agent pathogène et nombre d'isolats obtenus

Les techniques d'obtention directe et indirecte des isolats à partir du mycélium développé sur les rondelles de pommes de terre et des feuilles ont permis d'obtenir 36 isolats. Les caractères macroscopiques (Fig. 25A) et microscopiques (Fig. 25B et 25C) des souches pures provenant des trois principaux bassins de production de la pomme de terre ont été observés en laboratoire. Les souches pures laissent voir à l'œil nu des courts filaments

mycéliens aériens quelques fois dense de couleur blanchâtre. Observés au microscope photonique au grossissement X100, ces filaments mycéliens sont non cloisonnés et présentent des sporocystes terminaux (Fig. 25B) qui se différencient après un choc thermique en zoospores (Fig. 25C) caractéristique typique des *P.infestans*.

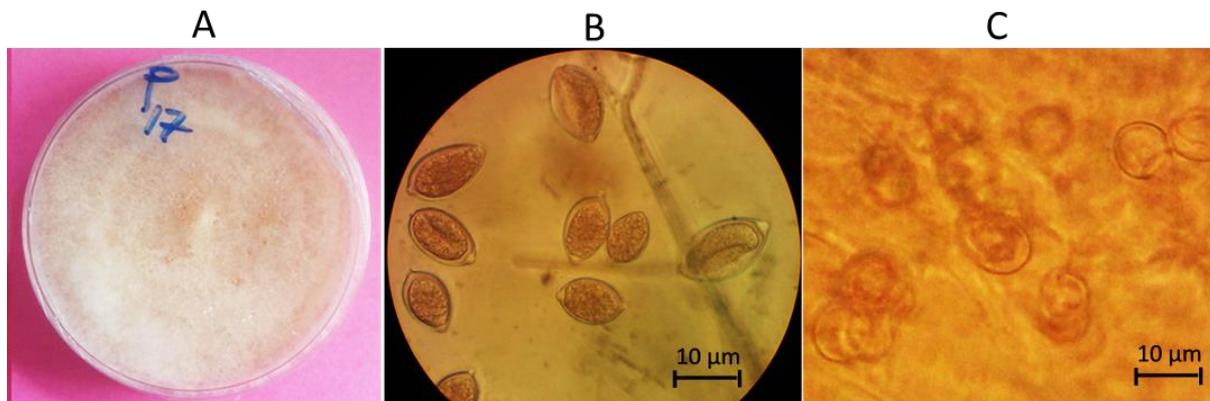


Fig. 25. Caractères macroscopiques et microscopiques des souches pures de *Phytophthora infestans* obtenues dans les différentes localités. A- souche pure âgée de 14 jours sur milieu V8. B- Sporocystes vues au microscope photonique ; C- Zoospores vue au microscope photonique (grossissement X 100)

### III.1.2.2. Morphologies des sporocystes issus des différents isolats de *Phytophthora infestans*

Les formes des sporocystes ont été très diverses. Un total de 08 formes est observé. Il s'agit des formes ovale à ellipsoïde (Fig. 26A) ; ellipsoïde (Fig. 26B) ; pépiniforme (Fig. 26C); elliptique (Fig. 26D) ; ovoïde (Fig. 26E); citriforme (Fig. 26F) ; subglobose (Fig. 26G) ; globose (Fig. 26H). Ces sporocystes sont caduces et présentent des papilles et des courts pédicelles caractéristiques typiques des *Phytophthora* (Fig. 26). Certains sporocystes sont sans papille avec un très fin épaissement apical et une large ouverture (Fig. 26E). Ces morphologies révèlent la présence de deux formes nouvelles lesquelles sont ovale à ellipsoïde et pépiniforme.

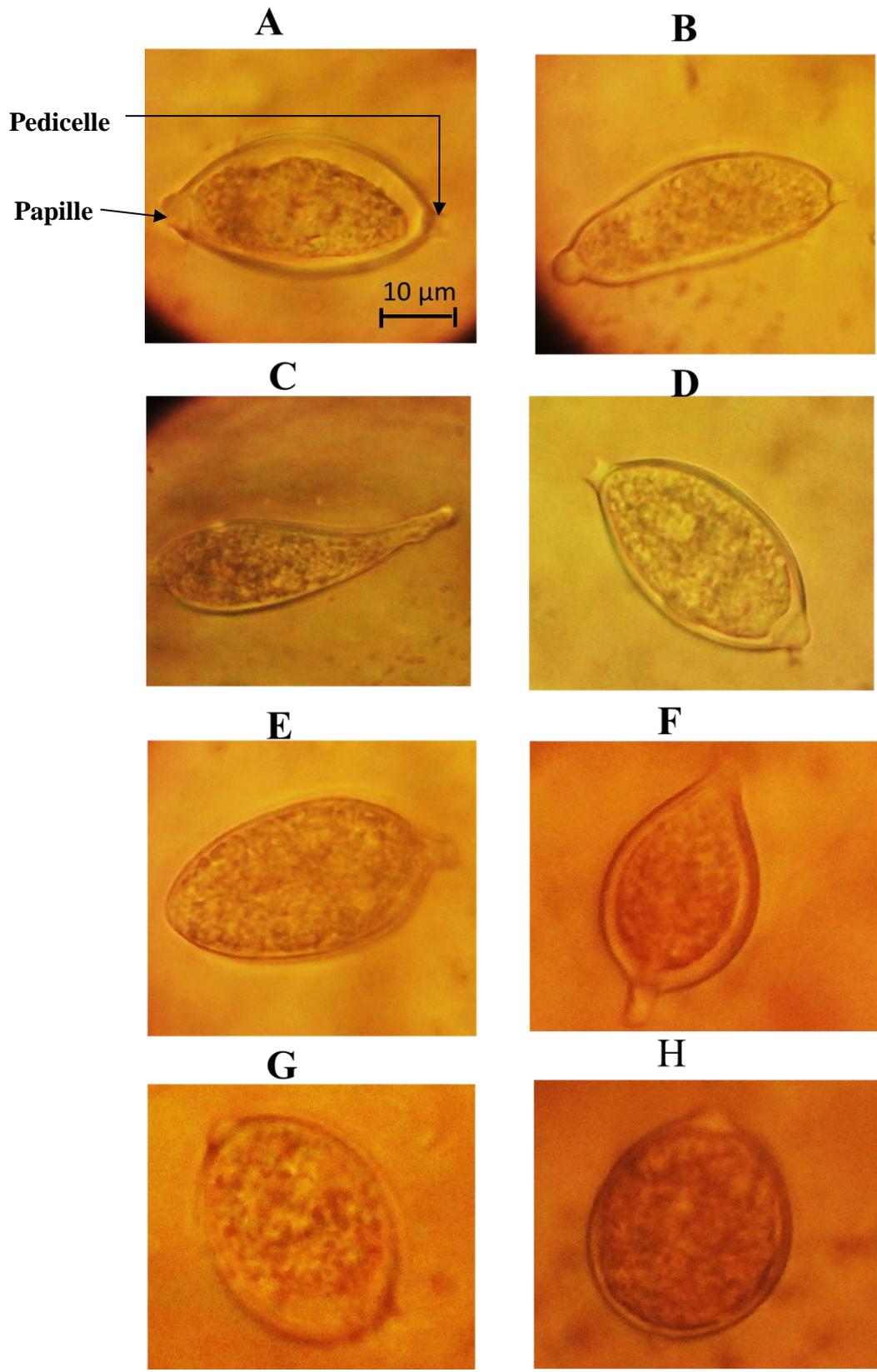


Fig. 26. Caractéristiques morphologiques des isolats de *Phytophthora infestans* au Cameroun (grossissement X 100). Forme des sporocystes : A- Ovale à ellipsoïde ; B- Ellipsoïde ; C- Pépiniforme ; D- Elliptique ; E- ovoïde ; F- Citrifforme ; G- Subglobose ; H- Globose

### III.1.2.3. Morphométries des sporocystes issus des différents isolats de *Phytophthora infestans*

Les plus faibles longueurs moyenne (L) des sporocystes se situent entre  $0,63 \pm 0,05$  et  $0,96 \pm 0,05$   $\mu\text{m}$  entre les différents isolats tandis que les largeurs moyenne (l) situent entre  $0,36 \pm 0,05$  et  $0,50 \pm 0,00$   $\mu\text{m}$ . Le rapport longueur/largeur de l'ensemble des isolats de *Phytophthora* étudiés se situe entre 1,58 et 2,18 avec un rapport moyen de  $1,62 \pm 0,52$  ;  $1,81 \pm 0,23$  et  $1,83 \pm 0,35$   $\mu\text{m}$  respectivement dans les trois bassins (Mezam, Menoua et bamboutos) de production de pomme de terre (Tableau V).

Tableau V. Caractères morphométriques des sporocystes issus des isolats de *Phytophthora infestans* étudiés

Bassins de production	Localités/isolats	Longueur moyenne des sporocystes (L) en $\mu\text{m}$	Largeur moyenne des sporocystes (l) en $\mu\text{m}$	Rapport (L/l)
Bamboutos	Tsela	$0,96 \pm 0,05$ a	$0,50 \pm 0,00$ a	$1,93 \pm 0,11$ a
	Tiamekie	$0,83 \pm 0,11$ a	$0,46 \pm 0,15$ a	$1,87 \pm 0,42$ a
	Bamaka	$0,73 \pm 0,11$ a	$0,40 \pm 0,00$ a	$1,83 \pm 0,14$ a
	Tola	$0,76 \pm 0,15$ a	$0,46 \pm 0,05$ a	$1,63 \pm 0,15$ a
Moyenne		$0,82 \pm 0,12$ a	$0,45 \pm 0,79$ a	$1,81 \pm 0,23$ a
Menoua	Lingan	$0,93 \pm 0,05$ a	$0,43 \pm 0,05$ a	$2,18 \pm 0,35$ a
	Ngui	$0,63 \pm 0,05$ a	$0,40 \pm 0,00$ a	$1,58 \pm 0,14$ a
	Melo	$0,70 \pm 0,17$ a	$0,40 \pm 0,00$ a	$1,75 \pm 0,43$ a
	Ndoh	$0,66 \pm 0,11$ a	$0,36 \pm 0,05$ a	$1,83 \pm 0,28$ a
Moyenne		$0,73 \pm 0,15$ a	$0,40 \pm 0,04$ a	$1,83 \pm 0,35$ a
Mezam	Abonghen 1	$0,70 \pm 0,26$ a	$0,40 \pm 0,00$ a	$1,75 \pm 0,66$ a
	Abonghen 2	$0,73 \pm 0,11$ a	$0,43 \pm 0,11$ a	$1,73 \pm 0,23$ a
	Bambili	$0,73 \pm 0,20$ a	$0,40 \pm 0,00$ a	$1,83 \pm 0,52$ a
	Ntah	$0,66 \pm 0,11$ a	$0,40 \pm 0,10$ a	$1,70 \pm 0,27$ a
Moyenne		$0,68 \pm 0,19$ a	$0,43 \pm 0,07$ a	$1,62 \pm 0,52$ a

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Aucune différence significative n'est enregistrée entre les tailles moyennes des sporocystes issus des différents bassins de productions et localités (Tableau V). Toutes fois, la

classification des sporocystes des 36 isolats à partir d'un dendrogramme en fonction des différentes tailles (rapport L/l) révèle la présence de 2 grands groupes de tailles de sporocystes avec pour moyenne respective 1,47 (Groupe 1) et 2,01 (Groupe 2) (Fig. 27)

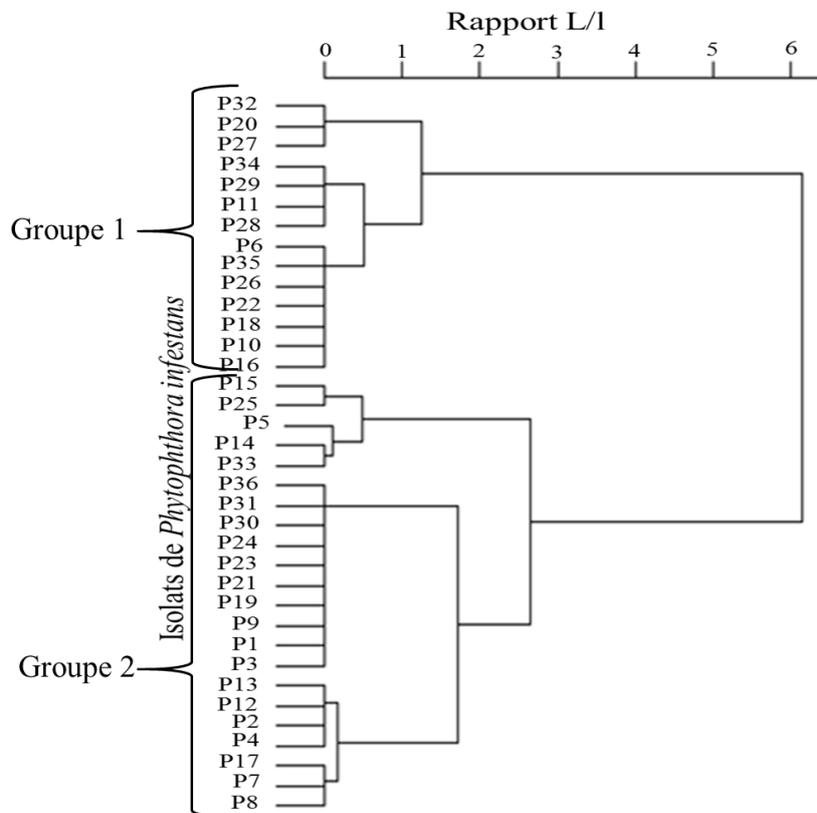


Fig. 27. Cluster de classification des tailles des sporocystes en fonction de leur rapport Longueur/largeur

#### III.1.2.4. Présence des différents types sexuels chez les isolats de *Phytophthora infestans*

L'observation quotidienne des filaments mycéliens issus des zones de confrontation entre les différents isolats laisse voir deux formes de reproductions chez *P. infestans*. Il s'agit de la reproduction sexuée et de la reproduction asexuée (Fig. 28). Le mode de reproduction sexuée est l'oogamie siphonogame, l'anthéridie se situe sur l'oogone de façon amphigyne (Fig. 28A et 28B). Après la fécondation c'est la partie centrale de l'oogone qui devient zygote, appelé oospores qui vont germer plus tard lorsque les conditions de vie seront favorables pour engendrer de nouvelles générations. La présence de ces oospores révèle ainsi que les deux isolats croisés sont de type sexuel différents à savoir A1 et A2. Par ailleurs, à l'issue d'autres confrontations, les observations microscopiques révèlent la présence de deux isolats de types sexuels identiques (A1 et A1 ou A2 et A2) à travers une reproduction asexuée (Fig. 28C et

28D) ou une absence de production des oospores. Les sporocystes vont émettre dans ce cas soit, directement un tube germinatif (Fig. 28C) soit s'enkyster avant d'émettre un tube germinatif (Fig. 28D).

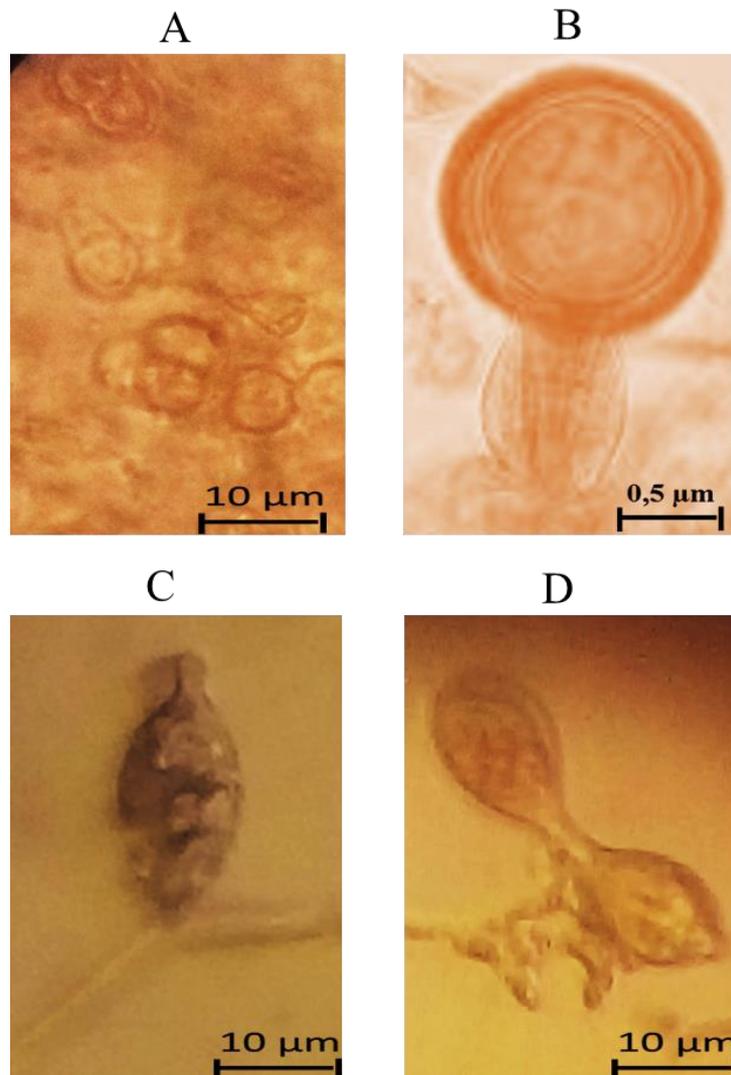


Fig. 28. Caractéristiques montrant les différents modes de reproduction chez *Phytophthora infestans*. A- Oospores issues de la reproduction sexuée ; B- Anthéridie situé sur l'oogone de façon amphigyne ; C- Germination directe des sporocystes ; D- Germination indirecte des sporocystes.

### III.1.2.5. Tests de pathogénicité des isolats de *Phytophthora infestans* sur des folioles détachées de pomme de terre

Tous les isolats testés se sont révélés pathogènes. Les folioles de pomme de terre inoculées par des suspensions sporocystiales ont développé des lésions typiques du mildiou. Le niveau d'agressivité de trois isolats (P2 ; P17 et P30) montre que les surfaces des lésions 7

jours après inoculation ont été de  $5,21 \pm 1,13$  ;  $6,01 \pm 0,56$  et  $8,02 \pm 1,14$  cm<sup>2</sup> respectivement pour les 03 isolats dans les témoins positifs chez les folioles de la variété CIPIRA tandis que, les surfaces des lésions ont été nulles pour les trois isolats chez les témoins négatifs (Tableau VI). Un effet significatif ( $P < 0,05$ ) est enregistré entre les traitements chez les trois isolats testés. En comparaison avec les surfaces des lésions des folioles préalablement traitées au Bravo 720, les surfaces des folioles ont été réduites de façon significative avec pour moyenne  $1,6 \pm 0,25$  ;  $2,06 \pm 0,46$  et  $4,3 \pm 1,93$  cm<sup>2</sup> respectivement pour les trois isolats. L'isolat P2 de la localité de Tsela présente les plus grandes surfaces de lésions contrairement aux isolats P17 et P30 qui ne présentent aucune différence significative entre eux dans les différents traitements chez les deux variétés. Un effet significatif ( $P < 0,05$ ) est enregistré entre les variétés chez les isolats P17 et P30.

Tableau VI. Surface des lésions sur les folioles détachées de deux variétés de pommes de terre après 7 jours d'incubation

Variétés	Traitements	surface de la lésion en cm <sup>2</sup>		
		Isolats		
		P2	P17	P30
CIPIRA	Témoin négatif	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c
	Témoin positif	8,02 ± 1,14 ab	6,01 ± 0,56 b	5,21 ± 1,13 b
	Bravo 720	4,3 ± 1,93 bc	2,06 ± 0,46 c	1,6 ± 0,25 c
MANATE	Témoin négatif	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c
	Témoin positif	12,53 ± 3,56 a	8,42 ± 1,67 a	8,82 ± 1,32 a
	Bravo 720	4,67 ± 0,3 bc	1,51 ± 0,35 c	2,15 ± 1,06 c
Interaction		ns	*	**
Variétés		ns	Ns	**
Traitements		***	***	***

P : 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de tukey.

### III.1.3. Effet des extraits de *Thevetia peruviana* sur le développement *in vitro* du mildiou

#### III.1.3.1. Rendement d'extraction des extraits de *Thevetia peruviana*

Les rendements d'extraction ainsi que les aspects physiques de chaque extrait sont présentés dans le tableau VII. L'extrait aqueux de couleur blanchâtre enregistre un rendement inférieur à celui de l'extrait au méthanol de couleur marron clair très dense et très visqueux.

Tableau VII. Rendement d'extraction (%) pour 1000 g de poudre de graines

Extraits	Masse de l'extrait (g)	de masse végétal (g)	du matériel	Rendements (%)	Aspects physique
Aqueux	333	1000		33,3	Laiteux et blanchâtre
Méthanol	460	1000		46	Marron clair et très visqueux

### III.1.3.2. Screening phytochimique des extraits obtenus

Le screening réalisé à l'aide de certains produits chimiques a permis de révéler l'existence de plusieurs familles de composés telles que les huiles essentielles, les coumarines, les alcaloïdes, les stérols et les saponines entre autre (Tableau VIII). L'extrait aqueux est plus riche en familles chimiques de composés avec une abondance des stérols et les sucres tandis que, les tanins (composés phénoliques) sont présents en trace dans l'extrait au Méthanol. Les composés tels que les flavonoïdes et les Glycosides cardiotoniques sont absents dans les extraits des graines de *Thevetia peruviana*.

Tableau VIII. Famille de composés des différents extraits

'-' indique l'absence du produit, '+' indique la présence du produit, '+++' indique la présence abondante du produit

Famille des composés	Résultats	
	aqueux	Méthanol
essentielles	+	+
Huiles saponifiables	+	-
Coumarines	+	+
Phénols	-	-
Flavonoïdes	-	-
Saponines	+	+
Tannins galliques	-	-
(molécules catéchiques phénoliques)	-	+
Anthraquinones	+	-
Terpénoïdes	-	-
Stérols	+++	+
Alcaloïdes	+	+
Sucres	+++	-
Glycosides cardiotoniques	-	-

### III.1.3.3. Effet des extraits sur la croissance des isolats de *Phytophthora infestans*

Les extraits ont eu un effet significatif à toutes les doses sur la croissance des isolats issus des trois bassins de production de la pomme de terre. Les diamètres moyens de la croissance mycélienne de chaque isolat en fonction des traitements pour chaque jour de mensuration sont présentés dans le tableau IX.

Au jour 1 (Tableaux IXA), c'est-à-dire 02 jours après ensemencement, les diamètres se situent entre 0 et 0,73 ; 0 et 0,05 Cm et de 0,01 et 0,31 Cm respectivement pour les isolats P2, P17 et P30. Les plus grands diamètres ont été obtenus dans les traitements témoins négatif (T) avec la plus grande valeur chez la souche P2 (0,73 Cm). Des différences significatives sont enregistrées entre les traitements à la dose de CE1 et CM1 (6,25 µl/ml) et les autres traitements (T+ ; CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3).

4 jours après incubation (jour 2), les diamètres sont relativement stables dans les traitements T+ ; CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3 avec des valeurs qui se situent entre 0 et 0,23 Cm et ne diffèrent pas de façon significative (Tableaux IXB).

Au jour 3 (Tableaux IXC), les diamètres de croissance mycélienne des souches ont été de 0 à 5,95 ; de 0 à 5,25 et de 0 à 5,03 Cm. Les diamètres des croissances des souches dans les traitements T restent supérieurs avec le plus grand diamètre (5,95) chez la souche P2.

8 jours après ensemencement, les diamètres ont été de 0 à 8,0 ; de 0 à 7,13 et de 0 à 6,95 dans les traitements respectivement pour les isolats P2, P17 et P30 (Tableaux IXD). Aucune différence statistique n'existe entre les diamètres (de 0 à 0,36 Cm) issus des traitements T+ ; CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3 et entre les isolats pour les mêmes traitements. Par contre, les différences significatives sont observées tout comme aux jours 1 ; 2 et 3 dans les traitements T ; CE1 et CM1 entre les diamètres de l'isolat P2 ( $8,08 \pm 0,10$  ;  $4,56 \pm 0,18$  et  $3,43 \pm 0,10$  Cm) respectivement pour T et CE1 et CM1) et ceux des isolats P17 ( $7,13 \pm 0,10$  ;  $2,96 \pm 0,07$  et  $2,71 \pm 0,20$  Cm) et P30 ( $6,95 \pm 0,18$  ;  $2,91 \pm 0,07$  et  $2,65 \pm 0,18$  Cm).

L'aspect de la croissance mycélienne des souches pures de l'isolat P2 peut-être observé dans les traitements aux extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) de *Thevetia peruviana* à différente dose (C1, C2, C3) et dans les traitements témoins (T et T+) (Fig. 29)

Les différents pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne des 03 isolats en fonction des traitements présentent des différences significatives (Fig. 30). Les extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) à la dose CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3 ont réduit à 100 % la croissance mycélienne au même titre que le traitement au fongicide chimique chez tous les isolats testés. Les extraits à la dose CE1 et CM1 quant à eux ont réduit pratiquement de moitié la croissance.

Tableau IX .Évolution des diamètres de la croissance mycélienne des isolats de *P. infestans* en fonction des traitements. A = diamètres de croissance ; B = diamètres de croissance au jour 2 ; C = diamètres de croissance au jour 3 ; D = diamètres de croissance au jour 4

A				B			
Traitements	Diamètre moyen en Cm			Traitements	Diamètre moyen en Cm		
	Isolats				Isolats		
	P2	P17	P30		P2	P17	P30
T	0,73 ± 0,07 h	0,50 ± 0,10 g	0,31 ± 0,02 f	T	3,05 ± 0,15 e	2,95 ± 0,21 e	2,96 ± 0,05 e
T+	0,05 ± 0,05 abcd	0,00 ± 0,00 a	0,01 ± 0,02 ab	T+	0,03 ± 0,02 a	0,01 ± 0,02 a	0,00 ± 0,00 a
CE1	0,26 ± 0,05 ef	0,2 ± 0,05 def	0,16 ± 0,05 bf	CE1	1,98 ± 0,12 d	1,30 ± 0,10 bc	1,51 ± 0,07 c
CE2	0,18 ± 0,05 ce	0,21 ± 0,05 ef	0,11 ± 0,05 abe	CE2	0,23 ± 0,07 a	0,18 ± 0,02 a	0,15 ± 0,05 a
CE3	0,00 ± 0,00 a	0,03 ± 0,02 abc	0,01 ± 0,02 ab	CE3	0,13 ± 0,05 a	0,01 ± 0,02 a	0,01 ± 0,02 a
CM1	0,21 ± 0,02 ef	0,18 ± 0,07 cef	0,25 ± 0,05 ef	CM1	1,28 ± 0,12 bc	1,20 ± 0,10 b	1,20 ± 0,05 b
CM2	0,05 ± 0,05 abcd	0,05 ± 0,05 abcd	0,11 ± 0,02 abe	CM2	0,23 ± 0,05 a	0,13 ± 0,07 a	0,16 ± 0,11 a
CM3	0,01 ± 0,02 ab	0,00 ± 0,00 a	0,01 ± 0,02 ab	CM3	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a

C				D			
Traitements	Diamètre moyen en Cm			Traitements	Diamètre moyen en Cm		
	Isolats				Isolats		
	P2	P17	P30		P2	P17	P30
T	5,95 ± 0,13 g	5,25 ± 0,10 f	5,03 ± 0,15 f	T	8,08 ± 0,10 g	7,13 ± 0,10 f	6,95 ± 0,18 f
T+	0,00 ± 0,00 a	0,03 ± 0,05 ab	0,00 ± 0,00 a	T+	0,00 ± 0,00 a	0,03 ± 0,05 ab	0,00 ± 0,00 a
CE1	2,90 ± 0,15 e	2,11 ± 0,10 d	2,21 ± 0,10 d	CE1	4,56 ± 0,18 e	2,96 ± 0,07 c	2,91 ± 0,07 c
CE2	0,30 ± 0,15 ab	0,23 ± 0,05 ab	0,31 ± 0,20 b	CE2	0,36 ± 0,07 b	0,31 ± 0,05 ab	0,33 ± 0,20 ab
CE3	0,15 ± 0,05 ab	0,01 ± 0,02 ab	0,01 ± 0,02 ab	CE3	0,15 ± 0,05 ab	0,01 ± 0,02 a	0,01 ± 0,02 a
CM1	2,35 ± 0,15 d	1,78 ± 0,05 c	2,18 ± 0,07 d	CM1	3,43 ± 0,10 d	2,71 ± 0,20 c	2,65 ± 0,18 c
CM2	0,28 ± 0,07 ab	0,26 ± 0,12 ab	0,21 ± 0,07 ab	CM2	0,28 ± 0,07 ab	0,26 ± 0,12 ab	0,23 ± 0,10 ab
CM3	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	CM3	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a

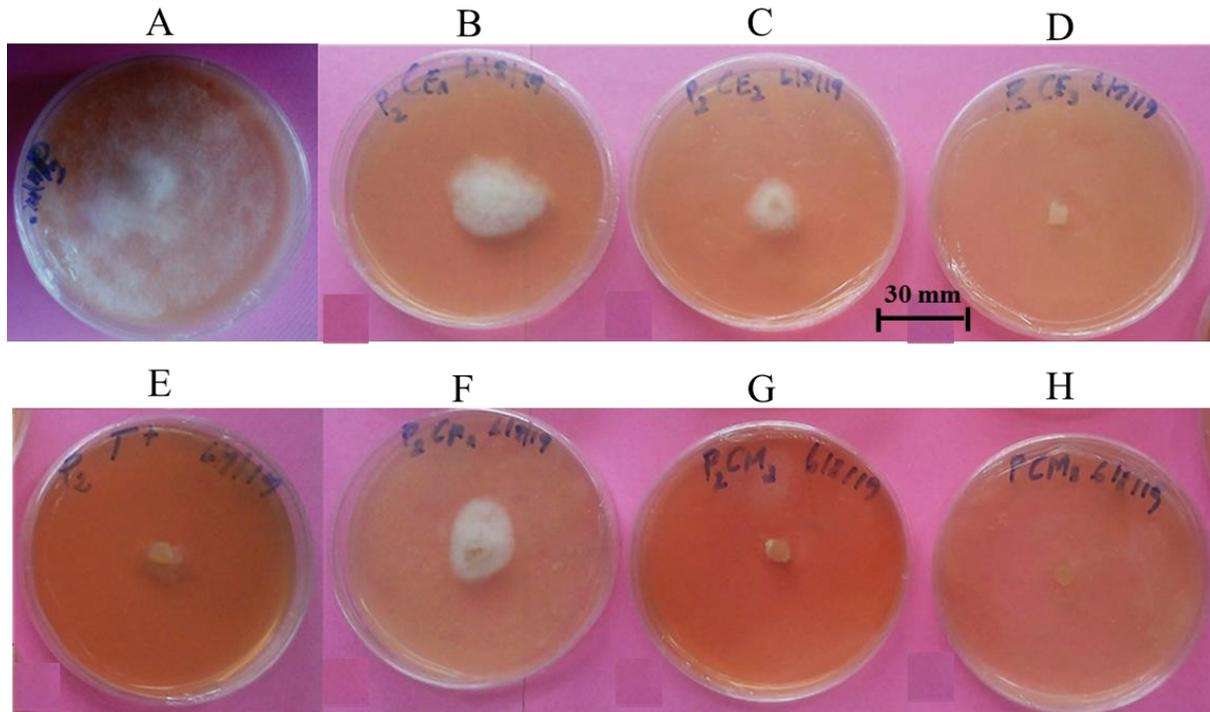
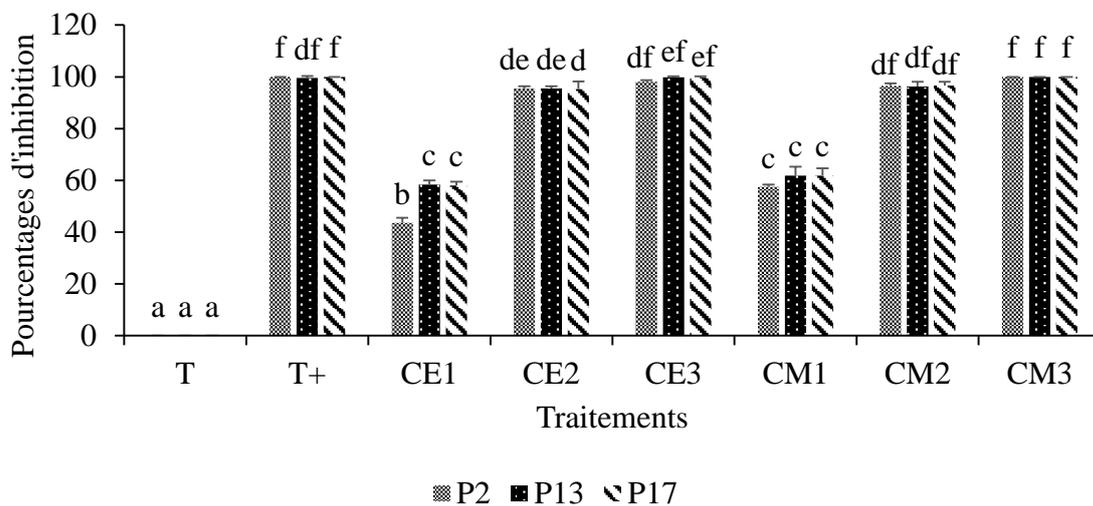


Fig. 29. Croissance de l'isolat P2 de la localité de Tsela au jour 4 sur milieu V8 supplémenté à l'extrait au méthanol et aqueux. A) témoin (0 µl/ml) ; B) CE1 (6,25 µl/ml) ; C) CE2 (12,5 µl/ml) ; D) CE3 (25 µl/ml) ; E) Témoin positif (5,33 µl/ml) ; F) CM1 (6,25 µl/ml) ; G) CM2 (12,5 µl/ml) ; H) CM3 (25 µl/ml)



Les pourcentages d'inhibition suivis de la même lettre dans le même traitement ne sont pas significativement différents au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 30. Effet des extraits sur la croissance des différents isolats de *Phytophthora infestans*

### III.1.3.4. Corrélation entre les différentes concentrations et les pourcentages d'inhibition de la croissance de *Phytophthora infestans*

Les droites de régression obtenues ( $y = 39,407x - 20,495$  ;  $y = 30,636x + 7,296$  ;  $y = 29,842x + 9,1968$  ;  $y = 27,498x + 16,591$  ;  $y = 30,109x + 8,2794$  et  $y = 27,519x + 16,663$ ) avec nos deux extraits à différentes concentrations ont montré toutes des pentes positives (Fig. 31). Les isolats P2, P17 et P30 présentent tous des coefficients de corrélation supérieurs à 0,8 (Tableau X) ceci pour les deux extraits. Ainsi, une forte relation linéaire croissante est notée entre les pourcentages d'inhibition obtenus avec les deux extraits et les différentes doses utilisées (C1 ; C2 ; et C3). La corrélation est donc parfaite et positive entre les concentrations des extraits et les pourcentages d'inhibition de la croissance des 03 isolats testés de *P. infestans* pour les deux types d'extraits.

Tableau X. Corrélation entre les pourcentages d'inhibition et les concentrations sur les différents isolats testés avec les extraits de *Thevetia peruviana*

Extrait	Isolats	Coefficient de corrélation	Interprétation
Aqueux	P2	0,88	Fortement corrélé
	P17	0,90	Fortement corrélé
	P30	0,91	Fortement corrélé
Méthanol	P2	0,90	Fortement corrélé
	P17	0,91	Fortement corrélé
	P30	0,90	Fortement corrélé

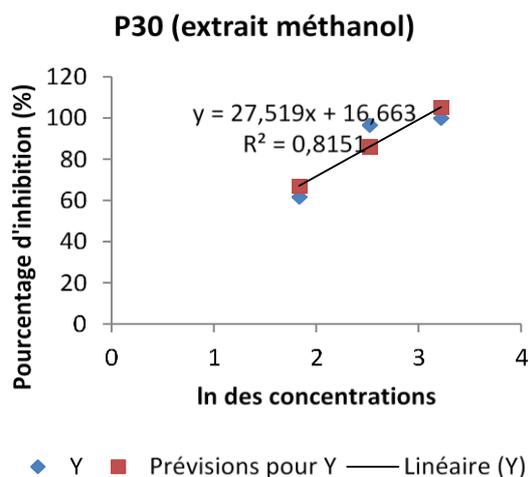
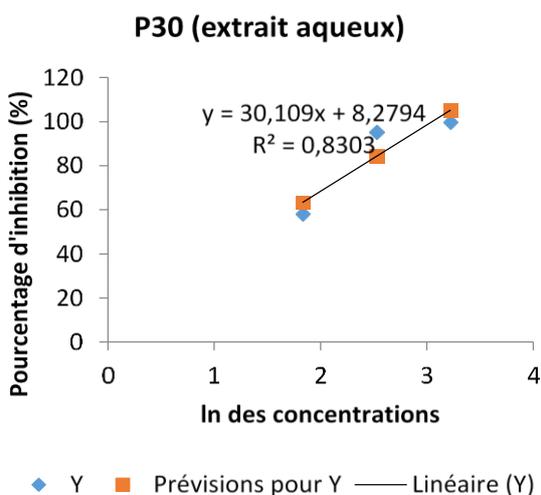
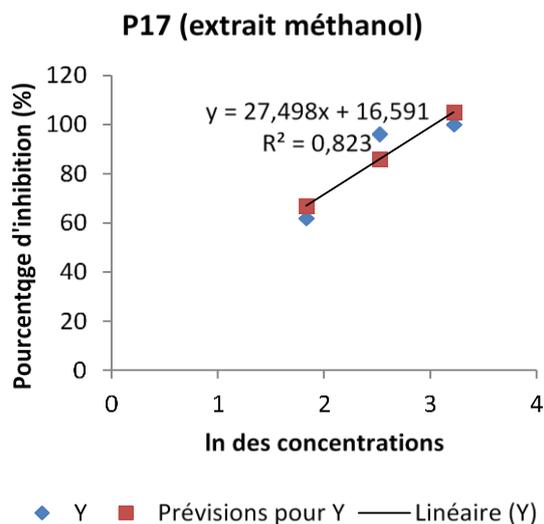
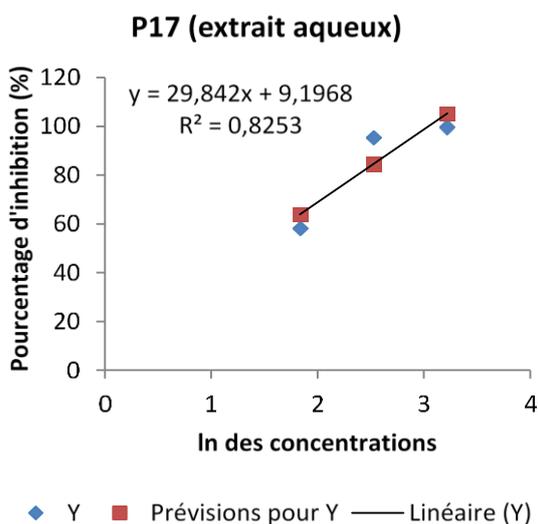
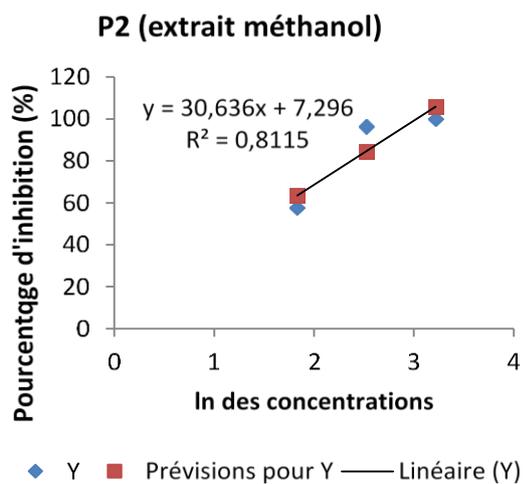
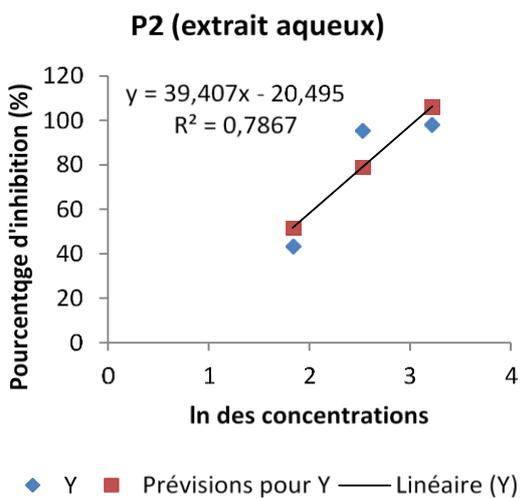


Fig. 31. Droites de régression entre le pourcentage d'inhibition et le logarithme népérien (ln) des concentrations utilisées pour chaque isolat testé.

### III.1.3.5. Concentrations minimales inhibitrices CMI<sub>50</sub> et CMI<sub>90</sub> de la croissance des isolats de *Phytophthora infestans*

Les CMI de la croissance des souches de *P. infestans* ont été relativement faibles chez les 03 isolats testés. L'extrait au méthanol enregistre les CMI les plus faibles. Les moyennes obtenues ont été de 3,35 à 4,01 µl/ml et de 14,29 à 14,73 µl/ml respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub> (Tableau XI). Quant à l'extrait aqueux, les CMI ont été de 3,90 à 5,93 et de 14,44 à 16,44 µl/ml respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub>. L'isolat P2 enregistre les CMI les plus élevés (4,01 ; 5,93 pour les CMI<sub>50</sub> et 14,73 ; 16,44 pour les CMI<sub>90</sub>).

Tableau XI. Concentrations (µl/ml) minimales inhibitrices de *Phytophthora infestans*

Isolats	Extraits	CMI <sub>50</sub>	CMI <sub>90</sub>
P2	Aqueux	5,93	16,44
	Méthanol	4,01	14,73
P17	Aqueux	3,90	14,87
	Méthanol	3,35	14,44
P30	Aqueux	3,97	15,03
	Méthanol	3,35	14,29

### III.1.3.6. Activité fongicide ou fongistatique des extraits aux différentes concentrations

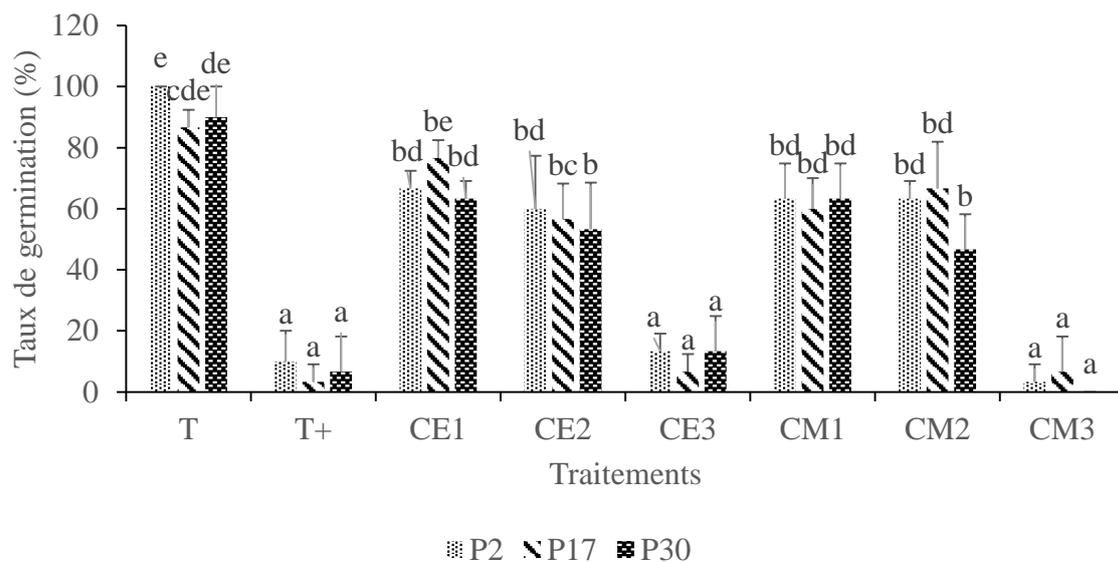
Les souches testées se sont montrées très sensibles aux différentes doses d'extraits appliquées aux milieux de cultures. Elles ont montré des comportements presque similaires vis-à-vis des extraits aux différentes concentrations. Seuls les extraits à la concentration C1 présentent un effet fongistatique chez les Isolats testés. Néanmoins, l'extrait au méthanol à la concentration C1 a montré une activité fongicide chez l'isolat P17 (Tableau. XII). Les pastilles mycéliennes de tous les différents isolats issues des trois principaux départements de production de la pomme de terre aux concentrations C2 et C3 n'ont pas pu reprendre leur croissance dans les boîtes de Pétri sur milieu neutre.

Tableau XII. Activité fongicide ou fongistatique des extraits de *Thevetia peruviana*

Localités/Isolats	Extraits	Concentrations en µl/ml	Effet
Tsela/P2	Bravo 720	T+	Fongicide
	Aqueux	CE1	Fongistatique
		CE2	Fongicide
		CE3	Fongicide
	Méthanol	CM1	Fongistatique
		CM2	Fongicide
CM3		Fongicide	
Ngui/P17	Aqueux	CE1	Fongistatique
		CE2	Fongicide
		CE3	Fongicide
	Méthanol	CM1	Fongicide
		CM2	Fongicide
		CM3	Fongicide
Abonghen/P30	Aqueux	CE1	Fongistatique
		CE2	Fongicide
		CE3	Fongicide
	Méthanol	CM1	Fongistatique
		CM2	Fongicide
		CM3	Fongicide

### III.1.3.7. Effet des extraits de *Thevetia peruviana* sur la germination des sporocystes de *Phytophthora infestans*

Les extraits se sont révélés efficaces sur l'inhibition de la germination des sporocystes. Des différences significatives ont été enregistrées entre les différents traitements (Fig. 32). Les extraits aqueux ainsi que les extraits au méthanol à la dose C3 (CE3 et CM3) ont réduit les taux de germination au même titre que le traitement au fongicide chimique (T+). Les taux de germination ont été très faibles voir nuls (de 0 à 13,33 %) dans les traitements aux extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) à la dose C3 comparativement au témoin (T) où les taux se situent entre 86,66 à 100 %. Des taux relativement similaires ont été obtenus entre les traitements à la dose C1 et C2 et sont compris entre 46,66 et 76,66 %.



Les taux de germination suivis de la même lettre dans le même traitement ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de turkey.

Fig. 32. Effet des extraits de *Thevetia peruviana* sur la germination des sporocystes de trois isolats (P2, P17 et P30) de *Phytophthora infestans*

L'observation microscopique des sporanges après 24 h d'incubation présente des sporocystes germés et des sporocystes non germés sur milieu de culture supplémenté ou non par des extraits (Fig. 33).

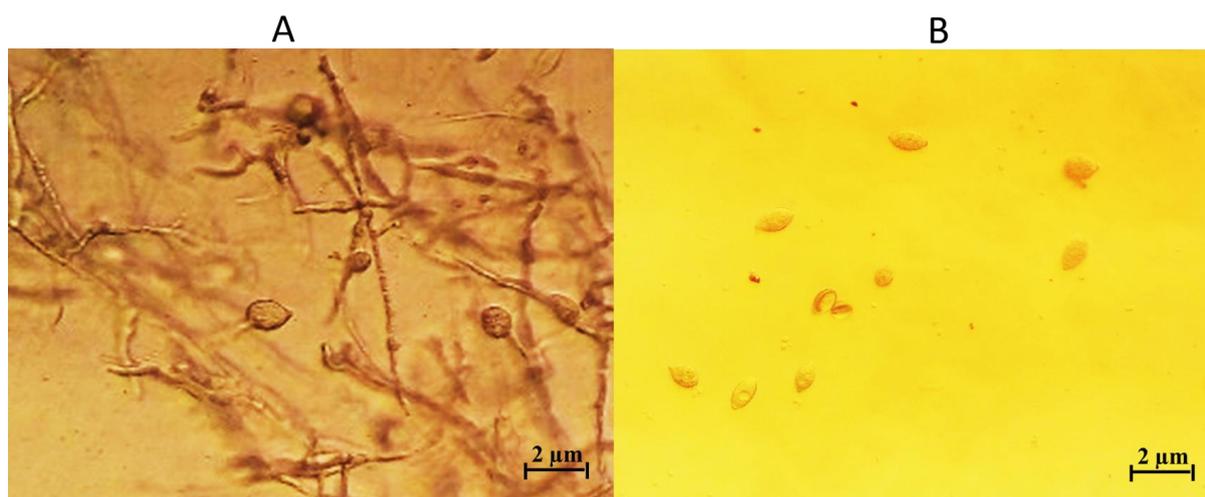


Fig. 33. Effet des extraits sur la germination des sporocystes de l'isolat P17 de la localité de Ngui (grossissement x20). A : germination des sporocystes de *P. infestans* sur milieu témoin ; B : absence de germination des sporocystes sur milieu amendé à l'extrait aqueux a la dose C3 (25 µl/ml)

### III.1.3.8. Corrélation entre les différentes concentrations et les taux de germination des isolats de *Phytophthora infestans*

Les courbes de régression obtenues des taux de germination en fonction des concentrations avec nos deux extraits ont montré des relations linéaires décroissantes. Tous les isolats testés présentent des équations de droites avec pentes négatives. Il s'agit de :  $y = -38,469x + 143,83$  ;  $y = -50,494x + 174,19$  et  $y = -36,067x + 134,43$  respectivement pour P2, P17 et P30 avec l'extrait aqueux et de  $y = -43,281x + 152,65$  ;  $y = -38,477x + 141,62$  et  $y = -45,683x + 152,05$  respectivement pour P2, P17 et P30 avec l'extrait au méthanol (Fig. 34).

Les isolats P2, P17 et P30 présentent presque tous des coefficients de corrélation supérieurs à 0,8 (Tableau XIII) ceci pour les deux extraits. Ainsi, une forte corrélation parfaite et négative est notée entre les taux de germination obtenus avec les deux extraits et les différentes doses utilisées (C1 ; C2 ; et C3).

Tableau XIII. Corrélation entre les taux de germination et les concentrations sur les différents isolats testés avec les extraits de *Thevetia peruviana*

Extraits	Isolats	Coefficient de corrélation	Observations
Aqueux	P2	0,92	Fortement corrélé
	P17	0,97	Fortement corrélé
	P30	0,94	Fortement corrélé
Méthanol	P2	0,87	Fortement corrélé
	P17	0,81	Fortement corrélé
	P30	0,96	Fortement corrélé

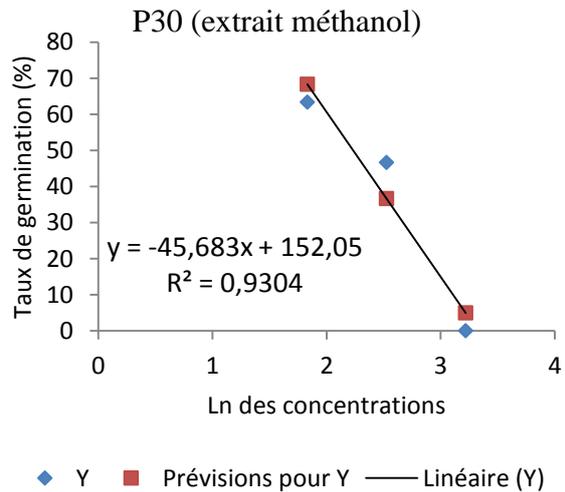
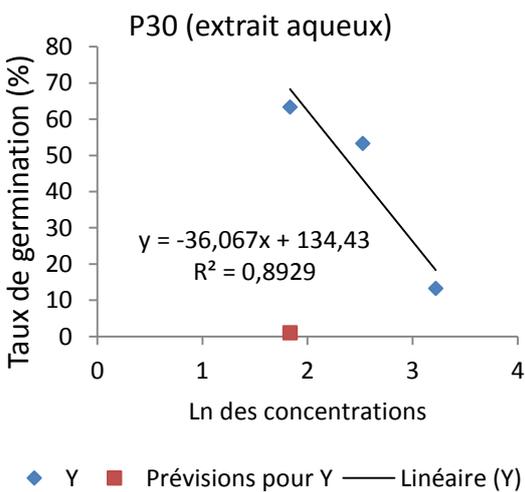
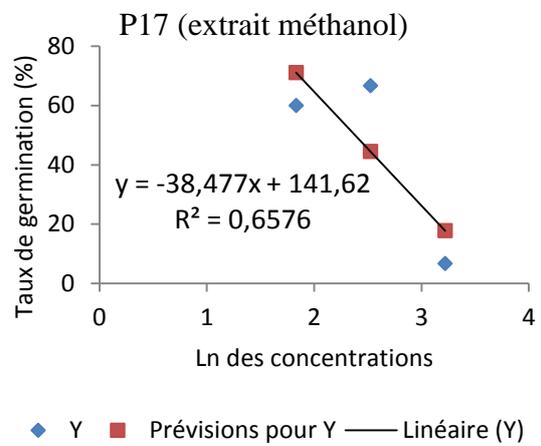
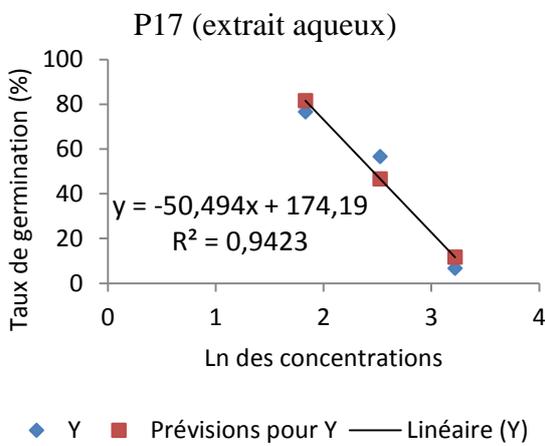
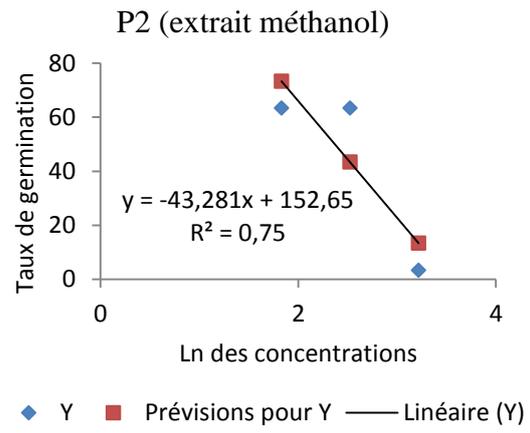
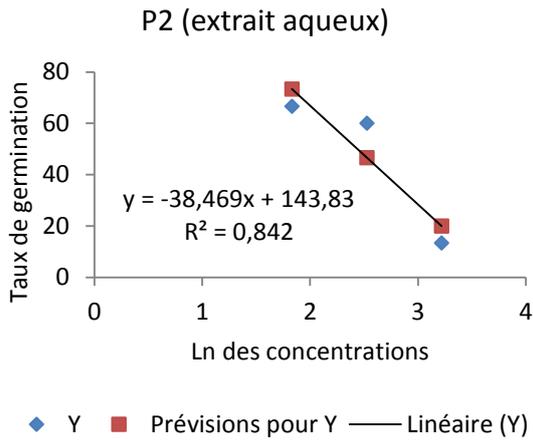


Fig 34. Droites de régression entre le taux de germination et le logarithme népérien (ln) des concentrations utilisées pour chaque isolat.

### **III.1.4. Effet des extraits de *Thevetia peruviana* sur le développement du mildiou en champ durant deux saisons de culture**

#### **III.1.4.1. Incidence du mildiou dans les différentes parcelles traitées aux extraits de *Thevetia peruviana***

Les différents taux d'expansion de la maladie déterminés pour chaque variété dans chaque traitement ont varié de façon significative ( $P < 0,05$ ) entre les traitements au cours du temps (Semaines Après Semis (SAS)) et durant les deux campagnes de cultures (Tableau XIV). Ces taux ont été très élevés dans les parcelles durant la campagne de Mars à Juin 2018 (Saison de pluie (SP)).

A 6 SAS, l'incidence du mildiou se situe entre 10,33 et 53,00 % durant la saison de pluie (SP) tandis qu'elle se situe entre 1,66 et 28,33 % durant la saison sèche (SS). Les parcelles témoin (T0) enregistrent les plus grands taux d'expansion ( $53,00 \pm 12,48$  ;  $38,33 \pm 3,21$  % respectivement pour V1 et V2 durant la SP et  $28,33 \pm 2,88$  ;  $20,00 \pm 5,00$  respectivement pour V1 et V2 durant la SS) contrairement aux parcelles ayant reçues des traitements phytosanitaires (T1 ; T2 ; T3 et T4).

Les observations faites 8 SAS durant la SP montrent que l'infection fongique s'est accentuée sur les plantes. Plus de 1/4 des plantes sont infectées dans les traitements avec des taux supérieurs à 75 % dans les parcelles témoins.

A 10 SAS, les taux d'expansion du mildiou ont varié de 57,33 à 100 % durant la SP tandis qu'elle a varié de 51,66 à 100 % durant la SS. Les parcelles témoins enregistrent des taux similaires (100 %) durant les deux campagnes de cultures.. Les produits phytosanitaires appliqués (T1, T2, T3 et T4) ont réduit l'incidence de la maladie d'environ 30 % en moyenne durant les deux campagnes de culture comparativement au témoin T0.

De façon globale, l'analyse statistique révèle que, les interactions entre les variétés et les traitements sont non significatives ( $P > 0,05$ ) durant toutes les deux saisons de cultures. L'effet traitements est significatif durant toutes les périodes d'observations (6 ; 8 et 10 semaines après semis) tandis que l'effet variétés est significatif à 10 SAS durant la saison des pluies. L'incidence du mildiou a été plus élevée durant la saison de pluie (SP) par rapport à la saison sèche (SS). Les extraits aqueux (T1) et au méthanol (T4) de *Thevetia peruviana* ont réduit l'incidence du mildiou au même titre que le traitement au fongicide (T3) synthétique comparativement au témoin (T0). L'incidence du mildiou s'est avérée identique chez les deux variétés.

Tableau XIV. Évolution de l'incidence du mildiou (%) sur les plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés

SAS = semaines après semis ; SP = saison de pluie et SS = saison sèche

Variétés	Traitements	Incidence (%)					
		6 SAS		8 SAS		10 SAS	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS
V1	T0	53,00 ± 12,48 c	28,33 ± 2,88 d	76,66 ± 7,09 c	65,00 ± 13,22 b	100,00 ± 0,00 f	100,00 ± 0,00 d
	T1	14,66 ± 2,08 a	15,00 ± 5,00 bc	34,00 ± 5,00 ab	21,66 ± 7,63 a	79,66 ± 3,51 cde	68,33 ± 7,63 ab
	T2	11,66 ± 2,51 a	1,66 ± 2,88 a	24,66 ± 5,77 a	13,33 ± 5,77 a	62,00 ± 5,56 ab	51,66 ± 2,88 a
	T3	18,66 ± 4,61 a	5,00 ± 5,00 ab	33,33 ± 5,50 ab	16,66 ± 2,88 a	76,66 ± 6,65 bd	66,66 ± 10,40 ab
	T4	18,66 ± 5,03 a	15,00 ± 5,00 bc	45,66 ± 5,13 b	21,66 ± 2,88 a	94,00 ± 5,29 ef	76,66 ± 5,77 bc
V2	T0	38,33 ± 3,21 bc	20,00 ± 5,00 cd	78,33 ± 2,88 c	63,33 ± 7,63 b	100,00 ± 0,00 f	91,66 ± 7,63 cd
	T1	20,00 ± 1,00 a	6,66 ± 2,88 ab	32,33 ± 2,30 ab	23,33 ± 2,88 a	71,33 ± 5,50 ad	68,33 ± 7,63 ab
	T2	10,00 ± 2,64 a	3,33 ± 5,77 ab	21,66 ± 4,5 a	10,00 ± 5,00 a	57,33 ± 6,65 a	53,33 ± 10,40 a
	T3	16,33 ± 5,03 a	3,33 ± 5,77 ab	37,33 ± 4,16 ab	13,33 ± 5,77 a	69,33 ± 5,50 abc	65,00 ± 5,00 ab
	T4	22,33 ± 8,62 ab	6,66 ± 2,88 ab	44,66 ± 14,84 b	20,00 ± 5,00 a	84,66 ± 6,42 de	70,00 ± 8,66 ab
Interactions		*	ns	ns	ns	ns	ns
Variétés		ns	**	ns	ns	**	ns
Traitements		***	***	***	***	***	***

P : 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne pour chaque temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de tukey.

### **III.1.4.2. Sévérité de la maladie dans les différentes parcelles traitées aux extraits de *Thevetia peruviana***

L'intensité de l'infection de la maladie a varié selon le temps d'observation, les campagnes de cultures, des traitements et les variétés (Tableau. XV).

A 6 SAS, une différence significative ( $P < 0,05$ ) est observée entre les parcelles ayant reçues des traitements phytosanitaires (T1 ; T2 ; T3 et T4) et les témoins T0 durant la saison de pluie contrairement à la saison sèche où aucune différence significative n'est observée. Les parcelles T0 durant la SP possèdent les plus fortes sévérités ( $29,37 \pm 4,64$  et  $24,91 \pm 4,28$  respectivement pour V1 et V2) contrairement aux autres parcelles où la sévérité est inférieure à 10 %. Les sévérités du mildiou sont élevées dans les parcelles durant la SP et se situent entre 5,36 et 29,37 % contrairement à la SS où elles se situent entre 1,66 et 6,11 %.

8 SAS, la sévérité de la maladie augmente de façon considérable dans les parcelles et se situe entre  $8,04 \pm 1,34$  et  $78,53 \pm 6,39$  % et entre  $3,33 \pm 2,88$  et  $29,65 \pm 4,68$  % respectivement pour les périodes SP et SS avec la plus grande intensité dans les parcelles témoins (T0). Des différences significatives sont observées cette fois ci durant la SS entre les parcelles T0 et les autres parcelles.

A10 SAS, l'intensité de la maladie double dans presque tous les traitements durant la SP. La sévérité se situe cette fois entre  $18,22 \pm 2,50$  et 100 % dans les traitements. Des différences significatives sont observées entre les parcelles témoins (T0) et les parcelles T1, T2, T3, et T4 ainsi que entre la parcelle T4 et les trois autres (T1, T2, T3). Par contre, durant la SS, la sévérité du mildiou se situe entre  $7,39 \pm 0,43$  et  $58,16 \pm 6,00$  % dans les parcelles avec des taux les plus élevés dans les parcelles témoins mais qui reste très faibles par rapport aux sévérités enregistré dans les parcelles témoins durant la SP. Durant cette campagne (SS) aucune différence significative n'existe entre les parcelles T1, T2, T3, et T4

De façon générale, ces résultats obtenues de l'analyse statistique révèle que toutes les interactions entre les variétés et les traitements sont non significatives ( $P > 0,05$ ) durant toutes les périodes d'observations (6 ; 8 et 10 SAS). L'effet traitements et l'effet variétés sont significatifs durant toutes les deux saisons de cultures. Les extraits aqueux (T1) et au méthanol (T4) ont fortement réduit la sévérité de la maladie au même titre que les traitements aux fongicides chimiques par rapport au témoin T0 dans toutes les périodes d'observations (6 ; 8 et 10 SAS) et durant les deux campagnes de culture (SP et SS). La variété V2 semble plus tolérante que la variété V1 aux différents traitements antifongiques.

Tableau XV. Évolution de la sévérité du mildiou sur les plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés

SAS = semaine après semis ; SP = saison de pluie et SS = saison sèche

Variétés	Traitements	Sévérité (%)					
		6 SAS		8 SAS		10 SAS	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS
V1	T0	29,37 ± 4,64 c	6,11 ± 1,92 a	78,53 ± 6,39 b	29,65 ± 4,68 d	100,00 ± 0,00 d	58,16 ± 6,00 d
	T1	8,58 ± 1,29 ab	5,83 ± 0,72 a	12,11 ± 1,74 a	8,88 ± 1,73 ac	24,36 ± 3,40 ab	14,47 ± 1,18 ab
	T2	6,47 ± 0,97 ab	1,66 ± 2,88 a	8,21 ± 0,66 a	5,83 ± 1,44 ab	20,39 ± 2,15 a	8,21 ± 0,36 a
	T3	8,60 ± 0,63 ab	5,41 ± 0,72 a	12,09 ± 2,55 a	8,05 ± 0,47 ac	23,00 ± 2,38 ab	9,94 ± 2,02 ab
	T4	12,34 ± 1,38 b	7,52 ± 2,14 a	15,39 ± 3,60 a	12,66 ± 0,28 c	30,77 ± 2,83 c	16,90 ± 1,73 b
V2	T0	24,91 ± 4,28 c	5,66 ± 1,15 a	68,43 ± 2,83 c	25,08 ± 3,13 d	100,00 ± 0,00 d	50,48 ± 3,92 c
	T1	9,08 ± 1,10 ab	2,50 ± 2,50 a	11,30 ± 1,57 a	8,16 ± 0,76 ac	23,52 ± 0,83 ab	12,52 ± 0,46 ab
	T2	5,36 ± 1,50 a	1,66 ± 2,88 a	8,04 ± 1,34 a	3,33 ± 2,88 a	18,22 ± 2,50 a	7,39 ± 0,43 a
	T3	6,84 ± 1,57 ab	1,66 ± 2,88 a	10,55 ± 0,65 a	6,25 ± 1,25 ac	21,82 ± 2,59 a	8,98 ± 1,56 a
	T4	9,77 ± 0,48 ab	3,33 ± 5,77 a	15,26 ± 0,28 a	11,55 ± 1,50 bc	28,50 ± 2,06 bc	14,49 ± 0,44 ab
Interactions		ns	ns	*	ns	ns	ns
Variétés		*	**	*	*	ns	**
Traitements		***	*	***	***	***	***

P : 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ; ns : non significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne pour chaque temps ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de tukey.

L'aspect physique des parcelles dans le champ 10 semaines après semis (SAS) et traitements montre des plants totalement détruits par le mildiou dans certaines parcelles (Fig. 35). Les jeunes plants de pomme de terre sont totalement détruits par le mildiou dans les parcelles T0 durant la saison des pluies (Fig. 35A) tandis durant la saison sèche, les parcelles T0 ne sont pas totalement détruites (Fig. 35C). Par contre, les plants ayant reçus les traitements aux extraits (Fig. 35B et 35D) apparemment sains.

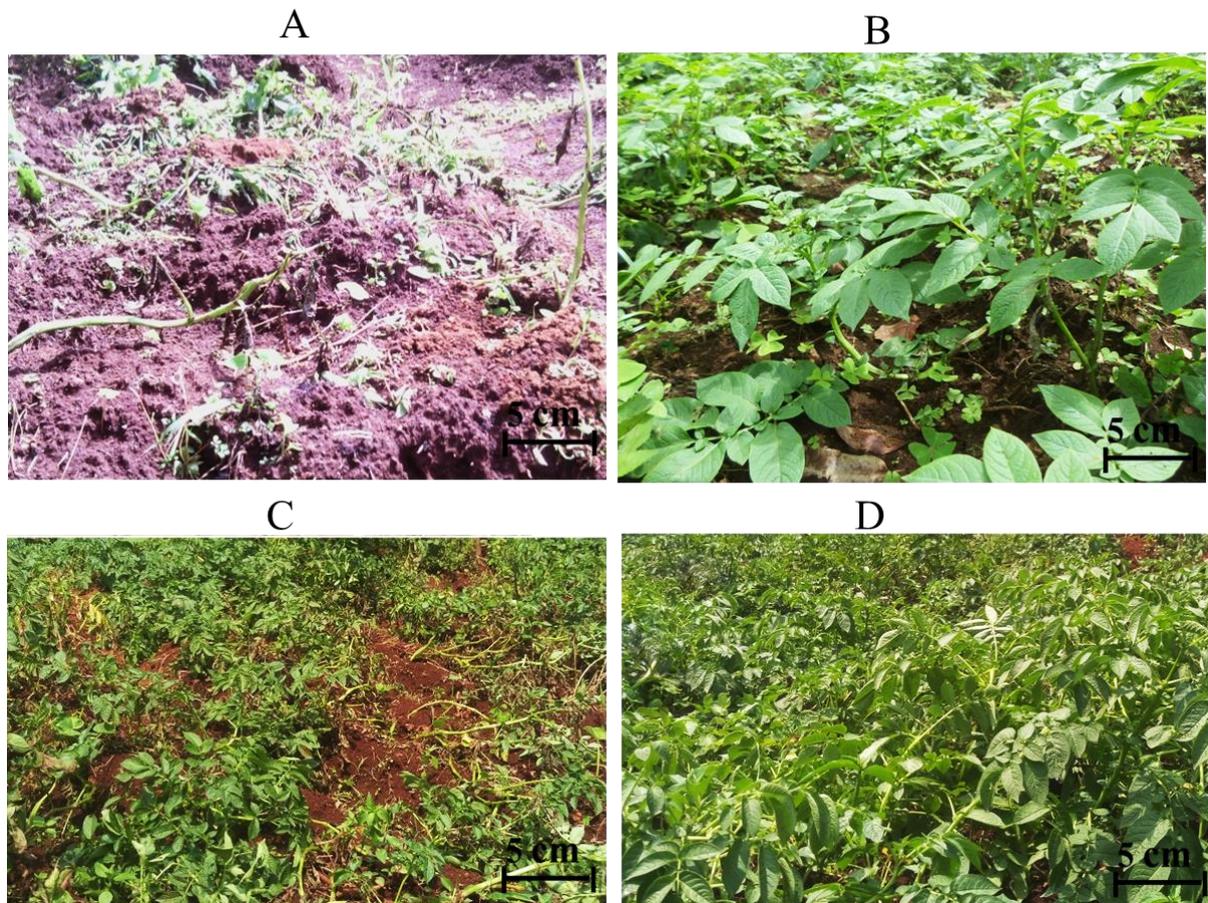


Fig. 35. Aspect phytosanitaire des parcelles T0 et T1 dix semaines après semis durant les deux saisons de culture. A: parcelle témoin (T0) durant la saison des pluies ; B : parcelle traitée aux extraits aqueux (T1) durant la saison des pluies ; C: Parcelle témoin (T0) durant la saison sèche ; B : parcelle traitée aux extraits aqueux (T1) durant la saison sèche

### III.1.4.3. Effet des extraits de *Thevetia peruviana* sur le rendement en tubercules de pomme de terre

Le rendement en nombre de tubercules par plant (Tableau XVI) ainsi que le rendement en poids des tubercules commercial et non commercial en tonne par hectare (Tableau XVII)

ont été déterminés afin d'évaluer l'effet des extraits aqueux de graines sur le gain en rendement comparé aux fongicides de synthèse et au témoin absolu.

Pour ce qui est des résultats obtenus du paramètre nombre de tubercules par plant, les parcelles T0 enregistrent les nombres de tubercules apparemment sains par plant les plus faibles avec un nombre nul durant la saison de pluie pour les deux variétés (Tableau XVI). Les parcelles ayant reçues les traitements phytosanitaires (T1, T2, T3 et T4) ont des nombres de tubercules largement supérieurs aux parcelles témoins (T0). Les nombres de tubercules apparemment sains par plant ont été relativement faibles durant la SP et sont compris entre 0 et 12,73 contre 4,55 et 13,99 durant la SS. Seul l'effet traitements est significatif ( $P < 0,05$ ) pour le paramètre nombre de tubercules par plant durant toutes les deux saisons de cultures et durant toutes les périodes d'observations.

Tableau XVI. Rendement en nombre de tubercules par plant en fonction des traitements et des variétés. SP = saison de pluie et SS = saison sèche

Variétés	Traitements	Nombre de tubercules/Plant	
		SP	SS
V1	T0	0,00 ± 0,00 a	3,11 ± 0,84 a
	T1	9,22 ± 1,29 b	10,11 ± 1,16 b
	T2	12,19 ± 1,24 c	13,44 ± 1,01 b
	T3	9,38 ± 1,30 b	13,99 ± 2,96 b
	T4	9,43 ± 0,55 b	11,33 ± 1,45 b
Moyenne	V1	8,04 ± 4,40 A	10,39 ± 4,28 A
V2	T0	0,00 ± 0,00 a	3,21 ± 1,28 a
	T1	10,20 ± 0,35 bc	12,66 ± 0,57 b
	T2	12,73 ± 0,42 c	12,33 ± 4,48 b
	T3	11,16 ± 0,38 bc	13,33 ± 2,02 b
	T4	9,15 ± 1,43 b	11,77 ± 0,50 b
Moyenne	V2	8,65 ± 4,67 A	10,76 ± 4,34 A
Interaction		ns	ns
Variétés		ns	ns
Traitements		***	***

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

Quant aux rendements en tonne par hectare, l'analyse statistique révèle que les interactions entre les variétés et les traitements sont non significatives ( $P > 0,05$ ) durant toutes les périodes d'observations (6 ; 8 et 10 SAS). L'effet traitements est significatif ( $P < 0,05$ ) durant toutes les deux saisons de cultures tandis que l'effet variétés est significatif sur les

rendements commerciaux uniquement durant la saison des pluies. Les rendements commerciaux ont été globalement faibles dans les parcelles durant la saison de pluie par rapport à la saison sèche (Tableau XVII). Les rendements commerciaux se situent entre 0 et 13,93 t/ha durant la SP contre 4,98 et 16,97 t/ha durant la SS. Les parcelles T0 enregistrent les rendements commerciaux les plus faibles (0 t/ha durant la SP et 4,98 ; 5,50 t/ha durant la SS respectivement pour les variétés V1 et V2) comparativement aux parcelles T1, T2, T3 et T4. Les extraits ont augmenté de façon significative le rendement commercial par rapport aux témoins durant les deux campagnes de culture. Les extraits aqueux enregistrent des rendements commerciaux relativement supérieurs aux extraits au méthanol. Toutes fois, les deux extraits (T1 et T2) ont augmenté (jusqu'à 100 %) les rendements commerciaux de façon significative au même titre que les traitements aux fongicides chimiques par rapport au témoin.

Les rendements non commerciaux ont été enregistrés dans toutes les parcelles. Ces rendements ont été faibles dans les parcelles durant la SP et sont compris entre 0,51 et 1,97 t/ha contre 1,31 à 3,26 t/ha durant la SS.

Tableau XVII. Rendement de la pomme de terre en fonction des traitements et des variétés  
SP = saison de pluie et SS = saison sèche

Variétés	Traitements	Rendements en t/ha			
		SP		SS	
		commercial	Non commercial	commercial	Non commercial
V1	T0	0,00 ± 0,00 a	0,51 ± 0,14 a	4,98 ± 1,78 a	2,10 ± 0,67 ab
	T1	10,99 ± 0,40 bd	0,97 ± 0,25 ad	12,73 ± 0,41 bc	2,67 ± 0,83 ab
	T2	12,47 ± 0,49 de	0,81 ± 0,22 ac	15,08 ± 0,35 bd	1,31 ± 0,54 a
	T3	9,52 ± 1,25 b	1,36 ± 0,17 d	13,39 ± 1,25 bc	2,34 ± 0,43 ab
	T4	9,49 ± 0,72 b	1,45 ± 0,17 d	12,23 ± 0,53 b	2,45 ± 0,10 ab
Moyenne V1		8,49 ± 4,58 A	1,02 ± 0,39 A	11,68 ± 3,71 A	2,17 ± 0,68 A
V2	T0	0,00 ± 0,00 a	0,66 ± 0,05 ab	5,50 ± 1,11 a	3,04 ± 0,88 ab
	T1	11,81 ± 0,55 d	1,05 ± 0,07 bcd	15,57 ± 1,77 cd	2,11 ± 0,35 ab
	T2	13,93 ± 0,70 e	0,77 ± 0,16 ac	16,97 ± 0,80 d	1,39 ± 0,16 a
	T3	11,37 ± 0,65 cd	1,19 ± 0,21 cd	14,43 ± 0,46 bd	2,85 ± 0,90 ab
	T4	9,97 ± 0,50 bc	1,97 ± 0,17 e	12,98 ± 0,75 bc	3,26 ± 0,65 b
Moyenne V2		9,41 ± 5,07 A	1,13 ± 0,49 A	13,09 ± 4,25 A	2,53 ± 0,90 A
Interaction		ns	*	ns	ns
Variétés		***	ns	**	ns
Traitements		***	***	***	**

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

### III.1.4.4. Analyse de la matrice de corrélation entre les différents paramètres étudiés en champs

Une matrice de corrélation de Pearson entre certains paramètres étudiés en champs a permis de montrer l'existence ou non des corrélations entre les paramètres épidémiologiques et les paramètres de rendements étudiés (Tableau XVIII). Des corrélations positives (\*\*) sont observées entre les incidences (I 10 SP et I 10 SS) et les sévérités (S 10 SP et I 10 SS) de la maladie respectivement durant les deux saisons de culture. Toutes fois de fortes corrélation négatives (-,861\*\* ; -,941\*\* -,980\*\* ; -,975\*\*) sont enregistrées entre ces deux paramètres épidémiologiques et les rendements commerciaux obtenus (NTP SP, NTP SS, RC SP et RC SS) respectivement durant les deux saisons de cultures. Ainsi l'incidence et la sévérité augmentent de façon proportionnelle et sont inversement proportionnel aux rendements en tubercules de pomme de terre. Néanmoins, aucune corrélation n'existe entre ces paramètres épidémiologiques et les rendements non commerciaux obtenus (RNC SP et RNC SS).

Tableau XVIII. Corrélation entre les différents paramètres étudiés en champs

	I 10 SP	I 10 SS	S 10 SP	S 10 SS	NTP SP	NTP SS	RC SP	RNC SP	RC SS	RNC SS
I 10 SP	1									
I 10 SS	,934**	1								
S 10 SP	,787**	,904**	1							
S 10 SS	,810**	,929**	,992**	1						
NTP SP	-,858**	-,948**	-,980**	-,981**	1					
NTP SS	-,784**	-,887**	-,970**	-,976**	,955**	1				
RC SP	-,861**	-,941**	-,980**	-,975**	,992**	,933**	1			
RNC SP	-0,007	-0,25	-0,519	-0,511	0,415	0,545	0,395	1		
RC SS	-,895**	-,944**	-,961**	-,966**	,982**	,940**	,987**	0,368	1	
RNC SS	0,585	0,46	0,246	0,235	-0,367	-0,255	-0,356	0,513	-0,391	1

\*\* La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral). I 10 SP = incidence 10 semaines après semis en saison des pluies ; I 10 SS = incidence 10 semaines après semis en saison sèche ; S 10 SP = sévérité 10 semaines après semis en saison des pluies ; S 10 SS = sévérité 10 semaines après semis en saison sèche ; NTP SP = nombre de tubercule par plant en saison des pluies ; NTP SS = nombre de tubercule par plant en saison sèche ; RC SP = rendement commercial en saison des pluies ; RNC SP = rendement non commercial en saison des pluies ; RC SS = rendement commercial en saison sèche ; RNC SS = rendement non commercial en saison sèche.

### III.1.4.6. Analyse en composante principale et classification des traitements en fonction des différents paramètres étudiés en champs

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de grouper selon leur proximité sur les axes les différents traitements pour chaque variétés de pommes de terre (T0V1, T1V1, T2V1, T3V1, T4V1, T0V2, T1V2, T2V2, T3V2 et T4V2) sur la base de trois variables notamment l'incidence (I) la sévérité (S) et le rendement (R) à trois périodes d'observations (6, 8 et 10 semaines après semis) (Fig. 36). Durant les deux campagnes (SP et SS), le système restitue une information assez fiable avec un bon taux de restitution de l'information sur la variabilité totale sur l'axe 1 et 2 (93,15 %). Les traitements T2V1 et T2V2 et des traitements T1V1, T3V1, T4V1, T1V2, T3V2 et T4V2 sont plus proche des rendements (RC SP et RSS) avec une tendance très proche des traitements T1V1, T3V1, T4V1, T1V2, T3V2 et T4V2 pour les rendements non commerciaux (RNC SP et RNC SS). Par contre, les traitements témoin T0V1 et T0V2 sont très proches des paramètres épidémiologiques étudiés pendant les trois périodes d'observation (I 6 SP, I 6 SS, I 8 SP, I 8 SS, I 10 SP, I 10 SS, S 6 SP, S 6 SS, S 8 SP, S 8 SS, S 10 SP et S 10 SS). Cette analyse révèle également que la variété V1 est plus proche de la sévérité par rapport à la V2.

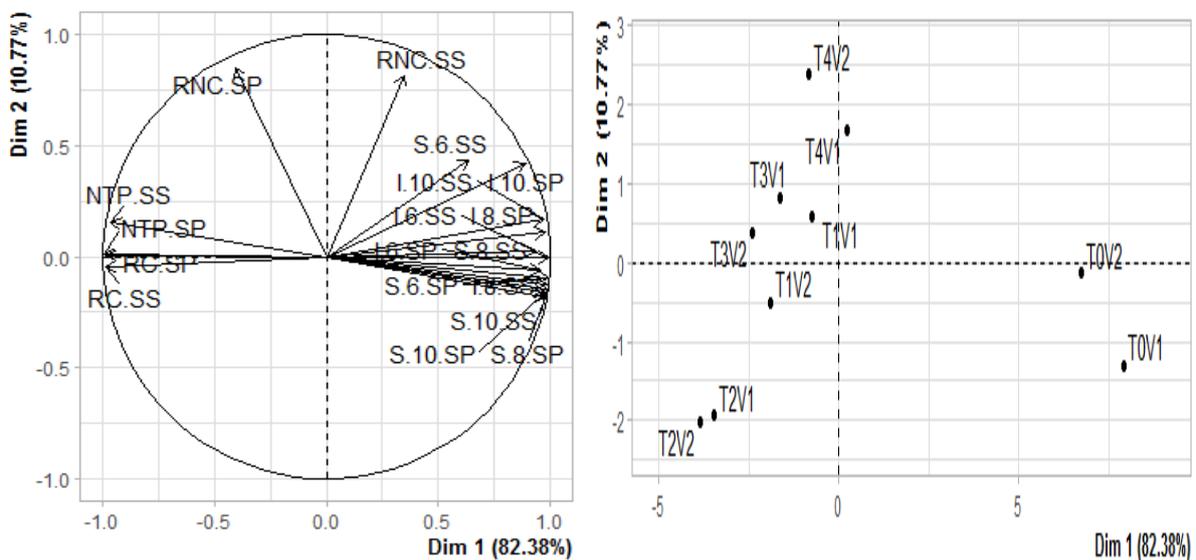


Fig. 36. Analyse en composante principale des différents paramètres étudiés en champs

I 10 SP = incidence 10 semaines après semis en saison des pluies ; I 10 SS = incidence 10 semaines après semis en saison sèche ; S 10 SP = sévérité 10 semaines après semis en saison des pluies ; S 10 SS = sévérité 10 semaines après semis en saison sèche ; NTP SP = nombre de tubercule par plant en saison des pluies ; NTP SS = nombre de tubercule par plant en saison sèche ; RC SP = rendement commercial en saison des pluies ; RNC SP = rendement non commercial en saison des pluies ; RC SS = rendement commercial en saison sèche ; RNC SS = rendement non commercial en saison sèche ; T0V1, T1V1, T2V1, T3V1, T4V1, T0V2, T1V2, T2V2, T3V2 et T4V2 = différents traitements (T0, T1, T2, T3 et T4) pour chaque variété (V1 et V2)

La classification de ces différents traitements en fonction de ces différents paramètres étudiés à l'aide d'un dendrogramme (dissimilarité de 5%) laisse voir trois groupes de traitements (Fig. 37). Le premier groupe est constitué des traitements T2V1 et T2V2, le deuxième est composé des traitements T1V1, T3V1, T4V1, T1V2, T3V2 et T4V2 et le troisième groupe des traitements témoin T0V1 et T0V2.

De façon général, ces analyses révèlent que les traitements aux extraits de *Thevetia peruviana* (T1 et T4) ont réduit l'incidence et la sévérité du mildiou en augmentant les rendements au même titre que le traitement au fongicide chimique (T3) durant les deux saisons de culture.

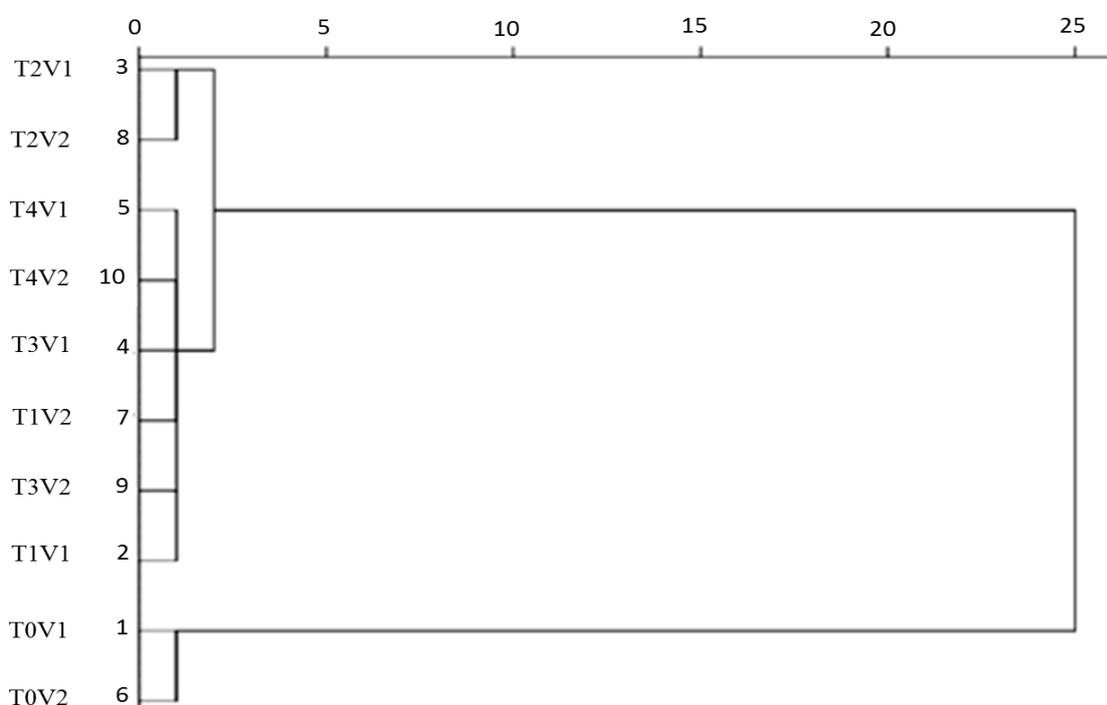


Fig. 37. Cluster de classification des différents traitements en fonction de leurs effets  
. T0V1 ; T1V1 ; T2V1 ; T3V1 ; T4V1 ; T0V2 ; T1V2 ; T2V2 ; T3V2 et T4V2 = différents traitements (T0, T1, T2, T3 et T4) pour chaque variété (V1 et V2)

### III.2. Discussion

Le suivi de l'évolution de l'infection de *Phytophthora infestans* entre le 9 Avril et le 22 Mai 2017 répartis dans les 12 localités étudiées que sont, Tsela, Tiamekie, Bamaka, Tola, Abonghen 1, Abonghen 2, Bambui, Ntah, Lingan, Ngui, Melo et Doh a permis de montrer l'importance du mildiou dans les 03 principaux bassins de production de la pomme de terre

(Bamboutos, Menoua et Mezam) au Cameroun. En effet, les conditions climatiques qui ont caractérisé cette période (des heures d'humectage prolongées, des températures journalières moyennes) ont favorisé l'apparition de l'infection. Les trois paramètres étudiés durant cette période à savoir la fréquence, l'incidence et la sévérité ont été très élevés dans les parcelles. Ceci peut être dû entre autre à plusieurs facteurs. Certaines parcelles visitées ne sont pas bien entretenues ; dans une même localité, les parcelles de pomme de terre ne sont pas assez éloignées ce qui rend l'infection des parcelles plus facile ; le manque de moyen financier pour acheter des fongicides et traiter convenablement sa parcelle. La plupart des parcelles ont pour précédent cultural la pomme de terre c'est-à-dire que les mesures prophylactiques telle que les rotations culturales sont de moins en moins pratiquées. En effet, selon François et Michel (2013), la culture continue de la pomme de terre sur un même terrain favorise la multiplication sur place des champignons et des bactéries phytopathogènes et des insectes ravageurs.

Durant cette campagne agricole, la distribution des incidences et des sévérités de la maladie dans les parcelles prospectées s'est révélée très hétérogène. Cette hétérogénéité peut s'expliquer entre autre par le fait que les cultivateurs ne pulvérisent pas les fongicides à la même fréquence. Certains pulvérisent constamment et par temps chaud avec une fréquence moyenne de 2 pulvérisations par semaines tandis que certains sont parfois indisponibles et vont ainsi laisser leur parcelle être totalement envahi par le mildiou. Le non-respect de certaines mesures prophylactiques telles que les rotations culturales par certains planteurs pour limiter l'inoculum primaire (Montarry, 2007). L'importance spatiale de la culture pourrait aussi être un facteur influençant l'importance de la maladie dans les parcelles tel que montré par Hammi (2003) dans la région du Sais lorsqu'il travaillait sur la caractérisation de populations de *P. infestans*. En effet, dans les localités de d'Abonghen 1, de Bambui et de Melo où les incidences (inférieures à 85 %) et les sévérités (inférieures à 14 %) les plus faibles ont été enregistrées, les superficies cultivées sont plus importante que celles des autres localités.

Toutes les parcelles visitées dans les différentes localités au cours des prospections ont été infectées par le mildiou ce qui pourrait s'expliquer par l'agressivité, la diversité et l'adaptabilité de ce pathogène comme l'avaient signalé Fontem *et al.* (2005) et Dorn *et al.* (2007) dans des recherches similaires sur l'efficacité réduite du méthalaxyl contre les populations de *P. infestans*.

Les prospections réalisées dans 12 localités des principaux bassins de production de la pomme de terre a permis d'obtenir 36 isolats. Ce nombre d'isolats n'est certainement pas représentatif de la totalité de la population existante au Cameroun comparativement aux 245 isolats collectés par Fontem *et al.* (2005) lorsqu'ils travaillaient sur l'étude de la sensibilité des

isolats de *P. infestans* au métalaxyl. Néanmoins, cette investigation constitue une preuve de la nature très hétérogène de la structure de la population de *P. infestans* présente au Cameroun de par les caractères phénotypiques observés. L'obtention des souches pures de *P. infestans* sur milieu de culture, reste et demeure une grosse difficulté. D'ailleurs, Beninal, (2011) a souligné cette difficulté lors de la caractérisation des populations de *Phytophthora infestans* en Algérie. En effet ceci pourrait s'expliquer par la faible compétitivité de *P. infestans* vis-à-vis des champignons saprophytes.

Les résultats des caractères morphologiques et morphométriques, des isolats de *P. infestans* ont montré une variation significative au niveau des caractères morphologiques. Ces caractères morphologiques sont semblables à celles décrit par Gallegly et Hong (2008) lorsqu'ils travaillaient sur l'identification morphologique des espèces du genre *Phytophthora*. Plusieurs formes (08) parmi lesquelles deux nouvelles formes de sporocystes des isolats de *P. infestans* ont été identifiées dans cette étude montrant ainsi une grande diversité de cet agent pathogène. Ces formes sont supérieures à celles obtenues par Kerroum (2019) qui a observé et identifié 03 formes de sporocystes sur 38 isolats collectés lorsqu'il travaillait sur l'identification et la caractérisation de *P. infestans* en Algérie. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il y aurait une forte diversité des populations de *P. infestans* au Cameroun. Toutefois, on peut noter aussi que l'environnement et les milieux de culture influenceraient ces différentes formes. En effet, Coulibaly *et al.* (2013) l'avaient déjà signalé lorsqu'ils travaillaient sur la caractérisation des isolats de *Phytophthora spp* du verger cacaoyers de Côte d'Ivoire.

Les tailles (rapport L/l) moyennes des sporocystes se situent entre 1,58 et 2,18 ce qui serait certainement lié à leurs différentes formes. Ce résultat est proche de celui de Coulibaly *et al.* (2013) qui ont montré que le rapport L/l des sporocystes de l'ensemble des isolats de *Phytophthora* étudiés se situait entre 1,23 et 1,94 avec un rapport moyen de  $1,72 \pm 0,25$ . Ces sporocystes de tailles très variables sont également une preuve de la diversité des populations de *P. infestans* au Cameroun.

Les tests de compatibilité sexuels ont révélé la coexistence des deux types sexuels A1 et A2 au sein des populations de *P. infestans* au Cameroun. La présence des oospores produites au niveau de la zone de confrontation entre certains isolats justifient ainsi la présence de ces types sexuels tels que observés également par Rekad (2018) dans ses travaux sur la caractérisation phénotypique et génotypique de *P. infestans* (Mont) de Barry agent causal du mildiou de la pomme de terre et la tomate dans la région du Nord-Ouest de l'Algérie. Miller (2001) a montré que la reproduction sexuée n'est réalisable qu'après confrontation entre deux

mycélia de types sexuels différents A1 et A2. De récents travaux ont révélé la présence de ce nouveau type sexuel (A2) en Afrique du Nord (Jmour et Hamada 2006 ; Pule *et al* 2013 ; Harbaoui *et al.*, 2013) en Europe (Savazzini et Galletti, 2015) en Asie (Tian *et al.*, 2015). La présence de ces types sexuels dans les bassins de production de la pomme de terre justifierait la diversité importante de *P. infestans* au Cameroun. En effet, la diversité génétique élevée, observée dans les populations de *P. infestans* en Europe du Nord et de l'Estonie a été attribuée à l'implication de la reproduction sexuée (Runno-Paurson *et al.*, 2016). La présence de ces morphotypes dans les trois principaux bassins de production de la pomme de terre, résulterait de la différence des origines des semences de pomme de terre utilisées dans les zones de culture (Rekad *et al.*, 2017). Ces semences seraient infectées par des souches de types sexuels différents. En effet d'autres facteurs pourraient expliquer la présence du type sexuel A2 tels que sa virulence vis à vis des variétés utilisées. La présence des deux types sexuels, soit dans la même parcelle soit dans des parcelles différentes engendrerait la formation des oospores dans le tissu végétal ou dans le sol (Harrison *et al.*, 1990). Ces propagules sexués constitueront une autre source d'inoculum et de variabilité génétique (Drenth *et al.*, 1994).

Les tests de pathogénicité se sont révélés positifs chez les 36 isolats obtenus. Les folioles de pomme de terre, inoculées par des suspensions de sporocystes ont toutes développé des lésions typiques du mildiou à partir du 3<sup>ème</sup> jour d'incubation se rapprochant ainsi des travaux de Kerroum (2019) qui a obtenu des tests de pathogénicités positifs chez tous les 38 isolats obtenus lors de ces travaux sur l'identification et la caractérisation du *P. infestans* agent pathogène du mildiou de la pomme de terre et essai de lutte biologique. Cette pathogénicité de tous les isolats obtenus peut s'expliquer par la présence des deux types sexuels A1 et A2 au Cameroun et par le fait que, les populations des isolats de *P. infestans* sont très complexes et peuvent contourner plusieurs gènes de résistance (4 à 5 gène) comme l'avaient montré Niks *et al.* (2011).

La comparaison du niveau d'agressivité de 03 isolats montre que l'isolat P2 de la localité de Tsela est le plus agressif dans tous les traitements et sur les deux variétés de pomme de terre utilisées. Cette forte agressivité serait certainement liée au fait que l'isolat P2 serait de type sexuel A2. En effet, selon Chowdappa *et al.* (2015), les isolats de type sexuel A2 sont plus agressifs et ont été responsable de sévères épidémies sur la pomme de terre en Inde du Sud. Les surfaces des lésions varient de façon significative entre les folioles préalablement traitées avec une substance antifongique et les folioles non traitées. Les substances fongiques réduiraient ainsi l'agressivité des isolats testés sur les folioles comme l'avaient démontré Goufo *et al.*, (2008) lorsqu'ils travaillaient sur l'efficacité des extraits de plantes contre le mildiou de

la tomate. Selon ces auteurs, les surfaces les folioles détachées de tomates préalablement traitées au Plantineb et au Ridomil Plus ont été de 0 à 1 cm<sup>2</sup> respectivement comparativement à 23 cm<sup>2</sup> chez les témoins non traités. Les folioles de pomme de terre de la variété sensible (MANATE) ont développé également des tailles de lésions supérieures à celles de la variété tolérante (CIPIRA). Ceci pourrait s'expliquer par la capacité du gène de résistance que possède CIPIRA (variété tolérante) à résister contre l'agressivité du pathogène.

L'extraction de 1 Kg de graine de *Thevetia peruviana* a produit un rendement de 46 % et de 33,3 % respectivement pour l'extrait au méthanol et l'extrait aqueux. Ces rendements sont supérieurs à ceux de Ngoh Dooh *et al.* (2014a) et ceux de Mboussi *et al.* (2018) qui ont obtenu respectivement des rendements de 7,44 % avec le méthanol et de 27 % avec l'eau lorsqu'ils travaillaient sur l'effet de ces extractions sur la croissance de *Phytophthora megakarya*. Ces rendements restent néanmoins faibles par rapport à ceux obtenus par Chougourou *et al.* (2012) (jusqu'à 68,4 %) lorsqu'ils travaillaient sur la toxicité et effets répulsifs de certaines huiles extraites des plantes locales Béninoises sur la mouche domestique. Ces différences pourraient s'expliquer par l'origine (lieu de collecte) ainsi qu'à l'état du matériel végétal au moment de la cueillette.

Le screening réalisé a permis de révéler l'existence de plusieurs familles de composés telles que les huiles essentielles, les coumarines, les triterpènes, les saponines et les coumarines avec une abondance des stérols et les sucres tel que obtenu par Mboussi *et al.* (2016).

Les propriétés antifongiques des extraits de *T. peruviana* ont été testées à différentes doses (6,25 µl/ml ; 12,5 µl/ml et 25 µl/ml correspondant respectivement à CE1, CE2 et CE3 pour l'extrait aqueux et CM1, CM2 et CM3 pour les extraits au méthanol) et comparées à un fongicide chimique (5,33 µl/ml) et un témoin sans produit phytosanitaire (0 µl/ml). Les extraits de *T. peruviana* testés ont inhibé (de 50 à 100 %) de façon significative l'évolution du diamètre de croissance mycélienne de toutes les souches par rapport au témoin négatif (sans produit phytosanitaire). Les extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) aux doses CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3 ont réduit à 100 % la croissance mycélienne au même titre que le traitement au fongicide chimique chez tous les isolats testés tandis que, les extraits aux doses CE1 et CM1 quant à eux ont réduit pratiquement de moitié la croissance. Cette forte inhibition à faibles doses vis à vis des isolats testés serait du non seulement à la sensibilité du pathogène vis-à-vis des extraits mais aussi au fait que *P. infestans* se développe difficilement en milieu artificielle. D'ailleurs, Beninal *et al.* (2011) ont signalé que *P. infestans* ne pousse pas sur milieu PDA synthétique lorsqu'ils travaillaient sur la diversité génétique de *P. infestans* en Algérie.

L'extrait au méthanol de *T. peruviana* semble être plus efficace par rapport à l'extrait aqueux sur l'inhibition de la croissance mycélienne de *P. infestans*. Ceci pourrait s'expliquer par la présence des composés phénoliques tels que les tanins qui sont absents dans l'extrait aqueux.

L'efficacité des différents extraits sur la croissance mycélienne de *P. infestans* serait due à la présence des composés bioactifs révélés par le Screening phytochimique tels que les huiles essentielles, les sucres les tannins, anthocyanines, saponines, stérols, les phénols, les alcaloïdes et les terpènes. En effet, Cowan (1999); Lapornik *et al.* (2005) ainsi que Johann *et al.* (2007) ont démontré que des molécules telles que les coumarines notamment les phytoalexines contiennent de grande propriété antifongique. Phan *et al.* (2020) ont montré également la présence et l'activité cytotoxique de certaines de ces molécules dans leurs travaux sur l'étude de la composition chimique et l'activité cytotoxique des huiles essentielles de *T. peruviana* au Vietnam. Ce résultat se rapproche de ceux de Turóczi *et al.* (2020) qui ont montré que les extraits de *Populus nigra* ont réduit de façon significative la croissance mycélienne de *P. infestans* après applications de 3 et 4% v/v lorsqu'ils travaillaient sur l'effet *in vitro* et *in vivo* de cette plante sur le développement de *P. infestans*.

Une forte relation linéaire croissante entre les pourcentages d'inhibition a été obtenu avec les deux extraits et les différentes doses utilisées (C1 ; C2 ; et C3). Ceci montre que les pourcentages d'inhibitions augmentent proportionnellement avec les concentrations des extraits. En effet, une forte concentration augmenterait davantage la quantité de composés bioactifs et de ce fait les propriétés fongicides des extraits.

Les CMI sont compris entre 3,35 et 4,01  $\mu\text{l/ml}$  et entre 14,29 et 14,73  $\mu\text{l/ml}$  respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub> de l'extrait au méthanol et compris entre 3,90 et 5,93 et entre 14,44 et 16,44  $\mu\text{l/ml}$  respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub> de l'extrait aqueux. Ces CMI sont largement supérieures à celles obtenues par Djeugap *et al.* (2011). Travaillant sur l'efficacité *in vitro* des extraits de plantes contre le mildiou (*Phytophthora infestans*), ils ont obtenus des CMI de 10,02 et 27,80  $\mu\text{g/ml}$  (soit 0,10 et 0,27  $\mu\text{l/ml}$ ) avec l'extrait à l'acétone de *Syzygium aromaticum* et 14,71 et 34,02  $\mu\text{g/ml}$  (soit 0,14 et 0,34  $\mu\text{l/ml}$ ) avec l'extrait au méthanol de *Citrus citratus* respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et CMI<sub>90</sub>. Cette différence, pourrait s'expliquer par l'abondance des composés bioactifs chez les plantes ainsi que la forte sensibilité des isolats utilisées par ces auteurs. L'extrait au méthanol enregistre les CMI les plus faibles (de 3,35 à 4,01  $\mu\text{l/ml}$  et de 14,29 à 14,73 respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub>) par rapport aux extraits aqueux mettant ainsi en évidence l'efficacité de extraits organiques au même titre que les extraits aqueux tel que observé également par Ngoh Ndooh,

2015 lorsqu'il travaillait sur l'effet des extraits de cette même plante sur trois champignons phytopathogènes parmi lesquels *P. megakarya*. L'isolat P2 du département de Bamboutos enregistre les CMI les plus élevés ce qui traduit ainsi la résistance de cette souche par rapport aux autres. Par ailleurs, Kerroum (2019) a montré au cours de ses travaux que l'isolat P13 était le plus sensible lorsqu'il travaillait sur l'identification et la caractérisation du *P. infestans* agent pathogène du mildiou de la pomme de terre et essai de lutte biologique.

Les pastilles mycéliennes de toutes les différentes souches issues des trois principaux départements de production de la pomme de terre aux concentrations C1, C2 et C3 n'ont pas pu reprendre leur croissance dans les boîtes de Pétri sur milieu neutre confirmant ainsi l'effet fongicide des extraits de *T. peruviana*. Néanmoins, certains extraits à la concentration C1 ont montré une activité fongistatique montrant ainsi que les isolats testés ne réagissent pas de la même manière vis-à-vis des extraits. Des résultats similaires ont été obtenus par Galani *et al.*, (2013) lorsqu'ils travaillaient sur le potentiel antifongique de sept plantes Camerounaises contre le mildiou mais avec de très faibles concentrations (jusqu'à 0,3 et 0,4 µg/mL) respectivement avec les huiles essentielles de *Citrus citratus* et de *Ocimum gratissimum*.

Les extraits se sont révélés efficaces sur l'inhibition de la germination des sporanges. Des différences significatives ont été enregistrées entre les différents traitements. Les extraits aqueux ainsi que les extraits au méthanol à la dose C3 (CE3 et CM3) ont réduit les taux de germination au même titre que le traitement au fongicide chimique (T+). Les taux de germination ont été très faibles voir nuls (de 0 à 13,33 %) dans les traitements aux extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) à la dose C3 comparativement au témoin (T) où les taux ont varié de 86,66 à 100 %. Ces résultats sont différents de ceux de Goufo *et al.* (2010) qui travaillant sur l'efficacité des extraits de 07 plantes (*Lantana camara*, *Dracaena deisteliana*, *Erigeron floribundus*, *Vetiveria zizanioides*, *Croton macrostachyus*, *Hymenodictyon floribundum*, *Bryophyllum pinnatum*) contre le mildiou de la tomate ont montré que les extraits n'ont pas été efficaces au même titre que les fongicides de synthèse qui ont enregistré de très forts taux de germination (entre 23 et 30 %). Cette différence pourrait s'expliquer par la plus grande efficacité des extraits de *T. peruviana* par rapport à ces plantes ainsi que la plus grande efficacité du fongicide synthétique utilisée (Bravo 720) dont la matière active est le chlorothalonil comparativement au méthalexyl et au manèbe utilisés par ces auteurs.

En champs, le mildiou est apparu très tôt dans les différentes parcelles (23 jours après semis durant la saison de pluie et 27 jours après semis durant la saison sèche) sur les jeunes plants de pomme de terre. Ce qui montrerait que les conditions climatiques pendant la période d'expérimentation influencent le développement de la maladie. De plus, le précédent cultural

étant une culture associée de haricot et de pomme de terre, le site expérimental serait susceptible d'être plus favorable au développement des bioagresseurs comme l'avaient montré François et Michel (2013) dans une étude sur les successions culturales. En effet, Schaafsma *et al.* (2001) ont montré que, le précédent cultural (source de l'inoculum) ainsi que le climat ont expliqué respectivement 21 et 48 % de la variation des concentrations de désoxynivalénol (DON) produites par *Fusarium graminearum* dans leur étude similaire faite sur le blé.

Les résultats obtenus en champs sur les taux d'expansion (incidence) de la maladie ainsi que sur l'intensité de l'infection (sévérité) de la maladie montrent que les extraits aqueux (T1) et au méthanol (T4) ont fortement réduit la sévérité de la maladie au même titre que les traitements aux fongicides chimiques par rapport au témoin T0 dans toutes les périodes d'observations (6 ; 8 et 10 SAS) et durant les deux campagnes de cultures (saison de pluie et saison sèche). Le fort pouvoir antifongique de cette substance naturelle se rapproche ainsi des résultats obtenus par Ambang *et al.* (2007) qui ont démontré que, ces extraits ont réduit environ de 32,61 % à 37,25 % l'incidence et la sévérité de la Cercosporiose chez l'arachide en champs comparativement au témoin.

De façon générale, tous les produits phytosanitaires testés ont réduit l'expansion et l'intensité de la maladie se rapprochant ainsi des travaux de Habtamu *et al.* (2012) et de Mekonen et Tadesse (2018) qui avaient montré que, les pesticides synthétiques combinés aux capacités génétiques des variétés ont réduit significativement la sévérité du mildiou dans des essais similaires sur la pomme de terre. Toutefois, à la dernière observation c'est-à-dire 10 semaines après semis, de forts taux ont été enregistrés dans toutes les parcelles. Les parcelles témoins ont présenté une incidence de 100 % chez les deux variétés pendant les deux saisons de culture. L'importance de la contamination des plantes dans l'essai serait due au vent et à la pluviométrie élevée favorisant la dissémination des sporanges et des spores durant la saison des pluies. Le voisinage des plantes malades, la présence des insectes ravageurs et l'agressivité du pathogène durant les deux saisons de culture peuvent aussi expliquer ce résultat comme l'avaient démontré Williams *et al.* (1994) dans des recherches similaires sur l'épidémiologie du mildiou.

Les taux de sévérités ont été faibles dans les parcelles témoins (inférieur à 55 %) durant la saison sèche comparativement aux taux enregistrés dans les parcelles témoin (100 %) durant la saison de pluie. De même, les produits appliqués (T1, T2, T3 et T4) ont réduit la sévérité du mildiou de 90 % en moyenne durant la saison sèche comparativement à 75 % de réduction en moyenne de la sévérité durant la saison de pluie. Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que les conditions climatiques défavorables durant la saison sèche augmenteraient

l'efficacité des produits phytosanitaires testés ainsi que la résistance de la plante vis-à-vis de *P. infestans* dans les parcelles témoins. Les parties aériennes des plants (feuilles tiges) dans les parcelles témoins sont complètement détruites par le mildiou 10 SAS (100 % de sévérité) durant la SP contrairement à la SS. Shrestha *et al.* (2019) ont obtenu des résultats similaires 58 jours après semis sur la variété de pomme de terre Kufri Jyoti dans leurs travaux sur l'évaluation de la résistance de 07 variétés locales de pommes de terre contre le mildiou au Népal. En effet, (Harrison, 1992) a montré que les conditions humides favorisent la maladie (le mildiou) et une humidité élevée (supérieure à 90 %) accélère le développement des sporanges qui germent rapidement sur des feuilles mouillées ; ainsi, des plants entiers peuvent être tués dans un très court laps de temps. Toutefois, ce niveau de sévérité incluant la variété améliorée (Cipira) dite tolérante pourrait confirmer ainsi les émergences de nouvelles souches de *P. infestans* telles que révélé par la caractérisation phénotypique (présence des deux types sexuels). George et Preston (2004) l'avaient d'ailleurs signalé au cours de ces dernières années dans leurs travaux sur la recherche des moyens de lutte contre le mildiou.

Les extraits de *T. peruviana* testés ont augmenté largement le rendement en nombre de tubercules par plant ainsi que le rendement commercial en tonnes par hectare au même titre que le Bravo 720 comparativement au témoin ceci durant les deux campagnes de cultures. Ces rendements élevés dans les différents traitements sont certainement liés à la réduction des maladies assurée par les extraits aqueux des graines de laurier jaune et les pesticides synthétiques combinés aux capacités génétiques des variétés testées se rapprochant ainsi des résultats de Fontem *et al.* (2007), Siddique *et al.* (2016) dans les recherches similaires sur la formulation des fongicides efficaces dans la lutte contre le mildiou.

Des rendements nuls ont été obtenus dans les parcelles témoins ainsi que des faibles rendements (moins de 11 t/ha) dans les parcelles traitées aux produits phytosanitaires durant la saison de pluie contrairement aux parcelles témoins durant la saison sèche ( $4,98 \pm 1,78$  à  $5,50 \pm 1,11$  t/ha respectivement pour V1 et V2). La forte agressivité du pathogène ainsi que les conditions climatiques favorables au pathogène ont détruit complètement les plants de pomme de terre avant la fin du cycle végétatif des deux variétés de pomme de terre durant la saison de pluie ce qui n'est pas le cas durant la saison sèche où les conditions climatiques favorables ainsi que les capacités de résistance de la plante ont limité l'agressivité du pathogène. Ces rendements nuls observés chez les deux variétés dans les parcelles témoins confirment l'effet dévastateur du mildiou pouvant aller jusqu'à la perte totale de rendement comme l'avaient affirmé Fontem *et al.* (2005) dans les recherches similaires sur le mildiou de la pomme de terre.

Ce résultat est contraire à ceux de Habtamu *et al.* (2012) qui, malgré des fortes sévérités enregistrées dans les parcelles durant la saison de pluie (jusqu'à 71 %), ont obtenu des rendements commerciaux bien plus élevés dans les parcelles témoins qui, ont varié de 16,7 à 19,8 t/ha avec une moyenne de 21 t/ha dans les parcelles ayant reçues des produits phytosanitaires en Éthiopie dans le site d'Hawassa. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence des sites d'études, des variétés utilisées, des matières actives des fongicides utilisées et la fréquence de pulvérisation ainsi que les différents niveaux d'agressivité du pathogène. La variété CIPIRA a enregistré un bon rendement par rapport à la variété locale. Ceci serait dû aux capacités génétiques améliorées de cette variété à produire plus de tubercule contrairement aux variétés locales tel que décrit par le sélectionneur.

**CHAPITRE IV. CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

## CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

### IV.1. CONCLUSION

L'importance du mildiou de la pomme de terre a été montrée dans les principaux bassins de production de la pomme de terre dans le but de caractériser les populations de *P. infestans* et de trouver une alternative à la lutte chimique par l'utilisation des extraits des graines de laurier jaune (*Thevetia peruviana*). Les prospections réalisées entre le 9 Avril et le 22 Mai 2017 dans les 12 localités étudiées que sont, Tsela, Tiamekie, Bamaka, Tola, Abonghen 1, Abonghen 2, Bambui, Ntah, Lingan, Ngui, Melo et Ndoh ont permis de montrer que, la fréquence, l'incidence et la sévérité du mildiou sont très élevées dans les principaux bassin de production de pomme de terre. Durant cette campagne agricole, la distribution des incidences et des sévérités du mildiou dans les localités étudiées s'est révélée hétérogène.

Les techniques d'isolation directe à partir des folioles et indirecte à partir des rondelles de pomme de terre sur sol infecté ont permis d'obtenir 36 isolats dans les différentes localités étudiées. Les formes de sporocystes de *P. infestans* sont très diversifiées et varient de la forme ellipsoïde à la forme globuleuse passant par les formes elliptique, ovoïde et critriforme. Les tailles de sporocystes sont également très variables mais, elles peuvent être regroupées en deux grandes tailles avec pour moyennes 2,01 et 1,47 en fonction du rapport longueur/largeur. Les tests de compatibilité sexuelle ont révélé la coexistence des deux types sexuels A1 et A2 au sein des populations de *P. infestans* au Cameroun et sont tous présents dans les trois principaux bassins de production la pomme de terre. Les tests de pathogénicités se sont révélés positifs chez les 36 isolats obtenus. La comparaison du niveau d'agressivité de 03 isolats montre que l'isolat P2 de la localité de Tsela est le plus agressif.

Les extraits aqueux de *T. peruviana* ont réduit de façon significative l'évolution du mildiou en laboratoire (croissance mycélienne) comme en champs (incidence et sévérité) par rapport au témoin (To) qui ne contenait aucune application de produit phytosanitaire. Les extraits aqueux (CE) et au méthanol (CM) à la dose CE2 ; CE3 ; CM2 et CM3 ont réduit à 100 % la croissance mycélienne au même titre que le traitement au fongicide chimique chez tous les isolats testés. Les pourcentages d'inhibitions augmentent proportionnellement avec les concentrations des extraits. Les CMI les plus faibles ont été de 3,35 et 14,29 µl/ml respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub> de l'extrait au méthanol et de 3,90 et 14,44 µl/ml respectivement pour les CMI<sub>50</sub> et les CMI<sub>90</sub> de l'extrait aqueux. Les doses d'extraits C2 et C3 se sont révélées tous fongicides et très efficace sur l'inhibition de la germination des sporocystes.

Les produits appliqués (T1, T2, T3 et T4) ont réduit la sévérité du mildiou de 90 % en moyenne durant la contre saison comparativement à 75 % de réduction en moyenne de la sévérité durant la saison de pluie. Les extraits ont augmenté le rendement par rapport à T0 démontrant ainsi leur potentiel fongicide contre les nuisances chez les plantes cultivées.

Les rendements nuls observés même chez la variété Cipira qui est une variété dite résistante au mildiou, montrerait l'émergence de nouvelles souches extrêmement virulentes de mildiou au cours des dernières années. Ceci représente donc un défi sérieux pour les producteurs de pommes de terre ainsi que pour les sélectionneurs. Il convient donc d'intensifier les options biologiques pour lutter contre cette maladie, notamment, des variétés tolérantes et les pesticides d'origine végétale tels que le laurier jaune. Cette étude marque ainsi un début des travaux et fournissent donc des informations sur les caractéristiques phénotypiques des populations de *P. infestans*, principalement collectées entre 2017-2019, et est de ce fait un point de référence pour les futures études de plus grandes populations de cet agent pathogène au Cameroun et dans la sous-région. Pour mieux contrôler cette redoutable maladie et éviter des conséquences néfastes sur l'environnement, les extraits de *Thevetia peruviana* peuvent être utilisées dans le cadre d'une démarche intégrée ou d'une lutte biologique.

## IV.2. PERSPECTIVES

Dans le but d'améliorer et d'intensifier la protection biologique des cultures, les recherches futures pourraient consister à :

- faire une étude sur l'épidémiologie de *Phytophthora infestans* au Cameroun ;
- créer des variétés et des vitro plants de pomme de terre susceptibles d'être plus efficaces dans la lutte contre le mildiou ;
- faire une caractérisation biochimique et moléculaire des différents isolats de *P. infestans* au Cameroun ;
- identifier les différents types sexuels (A1 et A2) des différents isolats au Cameroun ;
- créer des variétés de laurier jaune susceptibles d'être plus efficaces dans la lutte biologique ;
- Fractionner et identifier les molécules qui agissent comme matière active pour une production à grande échelle des phytocides de laurier jaune ;
- évaluer l'effet de ces extraits sur la qualité organoleptique des produits récoltés chez les plantes testées ;

## BIBLIOGRAPHIE

- Abbas M., Lafta et Jamett., 1995. Effet of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. *Pl. physiol.*, 109 : 637-643.
- Abdelhadi Hammi, 2003. Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (mont.) Debary dans la region de saïs. Thèse, University of Sidi Mohammed Ibn Abdallah. 223 p.
- Adam A. 2008. Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes. Thèse de doctorat, Université de Liège. 166 p.
- Agrios, 2005. Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press. 922 p.
- Alkher H., Islam M. R., Wijekoon C., Kalischuk M., Kawchuk L. M., Peters R. D., Al-Mughrabi K. I., Conn K. L., Dobinson K. F., Waterer D. and Daayf F., 2015. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in Canada during 2012. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37:3, 305-314
- Ambang Z., 1996. Efficacité des nouveaux pesticides contre le mildiou et le doryphore de la pomme de terre, leur action sur les tissus la plante. Thèse de Ph.D. Université de Russie de l'Amitié des Peuples., Moscou. 128 p.
- Ambang Z. Ngoh Dooh J. P., Essono G., Ndong B. Chewachong G. et Asseng C., C., 2010. Effect of *Thevetia peruviana* seeds extraction in vitro growth of four strains of *phytophthora megakarya*. *Plant omics journal*, 3 (3) : 70-76.
- Ambang Z., Ndong B., Petga E., Ngoh Dooh J. P. et Asanga A., 2007. Effect of crude extract of *Thevetia peruviana* seeds on development of leaf spot disease of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) caused by *Cercospora* sp. *Afri. crop sci. Société*, 8 : 797-800.
- Andrison, D. 1994. Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. *Soil Biologie and biochemistry* 26 : 945-952.
- Andrison, D. 1995. Biology, ecology and epidemiology of late blight potato pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology* 85: 1053-1056.
- Andrison, D. 1996. The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1840s : a critical review of historical and scientific evidence. *Plant Pathology* 45: 1028-1036.
- Andrison, D. et Lebreton, L. 1998. Mildiou de la pomme de terre, ou en sommes-nous après 150 ans ?. *Phytoma*, 494 : 24-27.

- Andrison, D., Pilet, F., Montarry, J., Hafidi, M., Corbière, R., Achbani, E. H., Pellé, R. et Ellissèche, D. 2007. Adaptation of *Phytophthora infestans* to partial resistance in potato: Evidence from French and Moroccan populations. *Phytopathology* 97: 338-343.
- Anonyme, 2021. FAOSTAT Statistics databases; annual production of tuber crops in Africa. Available at <http://www.fao.org/faostat/en> (Accessed February 2021).
- Anonyme, 2017. Annuaire des Statistiques du Secteur Agricole Campagnes 2013 et 2016. Agri-Stat Cameroun. 123 p.
- Anonyme, 2014. *Clavibacter michiganensis* subsp *sepedonicus* « le flétrissement bactérien de la pomme de terre ». Ministère de l’Agriculture de l’Agroalimentaire et de la Forêt. France. 11 p.
- Anonyme, 2011. The Potato Genome Sequencing Consortium. Genome sequence and analysis of the tuber crop potato. *Nature*. 475: 189–195.
- Anonyme, 2008. Année internationale de la pomme de terre : Eclairage sur un trésor enfoui. Compte rendu de fin d’année. Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture, Rome. 148 p.
- Anonyme, 2008. Rapport national sur l’état des ressources phytogénétiques pour l’alimentation et l’agriculture, Cameroun. 83 p.
- Anonyme, 2008. Maladies, ravageurs et désordre de la pomme de terre : Guide pratique Québec. 192 p.
- Anonyme, 2003. *Thevetia peruviana*. Société des gens de lettre. ONPV de hongrie. 4 p.
- Antoine B.B.B., Hilaire K.T., Koffi K.G., Fernand, K., Seydou T., Mamadou, C., Bomisso, L., Daouda K. 2015. Inhibition de *Sclerotium rolfsii* sacc. (corticaceae), agent causal de la pourriture du collet de la tige de la tomate (solanaceae), par *Xylopiia aethiopica* (dunal) a. Rich (annonaceae) et *Trichoderma* sp. *European Scientific Journal*. 11(12): 1857 – 7881.
- Arakawa T., Yu J., Lamgridge W. H., 1999. Food plant-delivered cholera toxin B it for vaccination and immunotolerization. *Adv. Exp. Med. Bio. I.* 464 : 161-168.
- Atteh J. O., Ibiyemi S. A., Onadepo F. A., Ugboma O. O., 1990. Replacement of palm oil by *thevetia* oil in broiler chick diets. *J. Agric. Sci.* 115 : 141-143.
- Badreddine I., Lafitte C., Heux L., Skandalis N., Spanou Z., Martinez Y., Esquerre-Tugaye M.T., Bulone V., Dumas B. and Bottin A. 2008. Cell wall chitosaccharides are essential components and exposed patterns of the phytopathogenic Oomycete *Aphanomyces euteiches*. *Eukaryot Cell* 7 : 1980-1993.

- Bagnall R.H. 1981. Potato virus S. Pages 75-77 dans W.J. Hooker, ed, Compendium of Patata Diseases. *APS Press*, St. Paul, Minnesota. 125 p.
- Bamouh H., 1999. Technique de production de la pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTA. 58 : 1-15.
- Bartels. R., 1971. Potato Virus A. CMI/ AAB Descriptions of Plant Vimses. *Mycol. Inst. Assoc. App. Biol. Kew. Surrey*. Angleterre. 4 p.
- Benhamou N. et Rey P. 2012. Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. *Phytoprotection*. 92 : 1-23.
- Beninal L., Corbière R., Kedad A., Andrivon D., Bouznad Z., 2009. A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some *Phytophthora infestans* isolates from Algeria. *Proceeding of the Eleventh Euroblight Workshop*, 28-31 Octobre 2008, Hamar, Norway. In *PPO Special Report 13*: 237- 241.
- Beninal L., Corbière R., Kedad A., Andrivon D., Bouznad Z., 2008. A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some *Phytophthora infestans* isolates from Algeria. *Proceeding of the Eleventh Euroblight Workshop*. Hamar, Norway. In *PPO Special Report 13*: 237- 241.
- Beninal L., 2011. Diversité génétique de *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie. Thèse de Magister. E.N.S.A. El Harrach. 92p.
- Berger R.D., 1980. Measuring disease intensity, in: Berger R.D. (Ed.), *Proceedings of E.C. Stakman commemorative symposium on crop loss assessment*, Publication 7, University of Minnesota, St Paul, USA, pp. 28–31.
- Berhaut J., 1971. *Flore illustrée du Sénégal*. Tome 1. Edition Claire Afrique, Dakar, 626 p.
- Bhatia, S. K., and Young, R. J. 1985. Reaction of potato tubers slices to *Phytophthora infestans* in relation to physiological age. *American Potato Journal* 62 : 471-478.
- Binyam T., Temam H., Tekalign T., 2014. Efficacy of Reduced Dose of Fungicide Sprays in the Management of Late Blight (*Phytophthora infestans*) Disease on Selected Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties Haramaya, Eastern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4 (20) : 2224-3208.
- Birch P.R.J., Rehmany A.P; Pritchard L., Kamoun, S., Beynon J.L., 2006. Trafficking arms: oomycete effectors enter host plant cells. . *Trends Microbiol*. 14, 8-11.
- Black W., Mastenbroek C., Mills W.R., Peterson L.C., 1953. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica* 2:173–178.

- Bogulavskaya N. V. et Filippov, A. V. 1977. Survival rates of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in different soils. *Mycology and Phytopathology* (Russie) 11: 239-241.
- Boiteau. G.J. et Le Blanc P.R., 1992. Stade du cycle vital du doryphore de la pomme de terre. *Agri Can. Publ.* 14 p.
- Bojanowski A., 2011. Molécules antifongiques et activité antagoniste de deux souches de *Pseudomonas* envers *Helminthosporium solani*, agent responsable de la tache Argentée de la pomme de terre. Mémoire de l'Université Laval. 59 p.
- Boulay A., 1985. *Thevetia nerifolia*. Contribution à l'étude des apocynacées toxiques. Thèse de doctorat, Faculté de Pharmacie de Paris, 175 p.
- Boyd A.E.W. 1974. Sources of potato blight (*Phytophthora infestans*) in the east of Scotland. *Plant Pathol.* 23: 30-36.
- Brown A.E. and Hamilton J.T.G. 1993. Indole-3-ethanol produced by *Zygorrhynchusmoeller*, and indole-3-acetic acid analogue with antifungal activity. *Mycol Res.* 96:71–74
- Brown R.M.J.R., 1996. The biosynthesis of cellulose. *J.M.S. APPL. CHEM.* 33(10): 1345-1373.
- Cabib E., Roh D.H., Schmidt M., Crotti L.B., Varma A. 2001. The yeast cell wall and septum as paradigms of cell growth and morphogenesis. *J Biol Chem.* 23 : 19679-82.
- Camps C., Michel V., Martinez C., 2012. Souche de *Lactobacillus* utilisée comme agent de lutte biologique contre *Pythium ultimum* sur tomate. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture.* 44 (6): 344–348.
- Carnegie S. F., and Calhoun J., 1983. Effects of plant nutrition on susceptibility of potato leaves to *Phytophthora infestans*. *Phytopathologische Zeitschrift.* 108: 242-250.
- Carpenter, 1957. Mineral accumulation in potato plants. *Agr. Exp. Sta. Bull*, 634 p.
- Chougourou C. D., Dellouh P. L., Agbaka A., N'guessan K. R., Gbenou J. D., 2012. Toxicité et effets répulsifs de certaines huiles extraites des plantes locales Béninoises sur la mouche domestique *Musca domestica* L. (*Diptera muscidae*). *J. Appl. Biosci.* 55: 3953– 3961.
- Chowdappa P., Kumar N.B.J., Madhura S., Kumar M.S.P., Myers K.L, Fry W.E., Cooke D.E.L., 2015. Severe outbreaks of late blight on potato and tomato in south India caused by recent changes in the *Phytophthora infestans* population. *Plant Pathology.* 12 (4): 564-582
- Christine D. S., Roberts, W. S., Fry, W. E.. 2000. Molecular Techniques and the mystery of the potato late blight, in *Potato Late Blight Pathogen.* pp: 21-42.

- Cohen Y. et Rotem J., 1987. Sporulation of foliar pathogens, in Pegg, G. F. And Ayres ; P. G. (Eds), *Fungal Infection of Plants*. Cambridge University Press, Cambridge : 314-333.
- Cohen Y., Farkash S., Reshit Z., Baider, A. 1997. Oospore production of *Phytophthora infestans* in potato and tomato leaves. *Phytopathology* 73: 925-927.
- Collins A., Milbourne D., Ramsay L., Meyer R., Chatot-Balandras C., Oberhagemann P., De Jong W, Gebhardt C., Bonnel E., Waugh R. 1999. QTL for field resistance to late blight in potato are strongly correlated with maturity and vigour. *Molecular Breeding* 5: 387–398.
- Conce G. et Duvauchelle S. 1982. Le mildiou : biologie et méthodes de lutte. *Phytoma* 337 : 31-34.
- Cook R.J. et Baker, K.F. 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. Hardcover, 539 p.
- Cooke D.E.L., Cano L.M., Raffaele S., Bain R.A., Cooke L.R., Etherington G.J., Deahl K.L., Birch P.R.J., Lees A.K., Kamoun S., 2012. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. *PLOS Pathogens*, 8(10): 2929-2940.
- Cooke D., Drenth A., Duncan J. M., Wagels G., Brasier C. M. 2000. A molecular phylogeny of *phytophthora* and related mycetes. *Fungal Genetics and Biology*, 30 : 17-32.
- Cooke L. R., Schepers H. T. A. M., Hermansen A., Bain, R. A., Bradshaw N. J., Ritchie F., Shaw D. S., Evenhuis A., Kessel G. J.T., Wander J. G. N., Andersson, B., Hansen J. G., Hannukkala A., Nørstad R., Nielsen B. J., 2011. Epidemiology and Integrated Control of Potato Late Blight in Europe. *Potato Research*. 54: 183–222. doi: 10.1007/s11540-011-9187-0.
- Coulibaly K., Kebe B. I, Koffi K. N., Mpika J., Kone D., 2013. Caractérisation des isolats de *Phytophthora spp* du verger cacaoyers de Cote d’Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 70: 5567– 5579.
- Cowan M., 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.* 12 (4): 564-582.
- Crosier W. 1934. *Studies in the biology of Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Cornell University Agricultural Experiment Station Memoir. 155p.
- Daaf F., et Platt W. H. 1999. Assessment of mating types and resistance to metalaxyl of Canadian populations of *Phytophthora infestans* in 1997. *American Journal of Potato Research*. 76: 287-295.

- Danan S., Veyrieras J-B., Lefebvre V. 2011. Construction of a potato consensus map and QTL meta-analysis offer new insights into the genetic architecture of late blight resistance and plant maturity traits. *BMC Plant Biology* 11: 16.
- Darpoux R., 1967. *Les plantes sarclées*. Edition JB Paris, maisons rustiques. 399 p.
- Davidse L. C. D. Looijen, L. K. Turkensteen, D., and Van der Wal, D. 1981. Occurrence of metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. European Plant Protection Organisation Bulletin. 15: 403-409.
- Davidse. L.C., Daniel, D. L., and Van Westen, C. J. 1983. Resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 89 : 1-20.
- Davies G., Henrissat B. 1995. Structures and mechanisms of glycosyl hydrolases. *Structure*. 3: 853- 859.
- Deahl K.L., Inglis, D.A., Demuth, S.P., 1993. Testing for resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* isolates from northwestern Washington. *Am. Potato J.* 70, 779–795.
- Dean R.A., Talbot N.J., Ebbole D.J., Farman M.L., Mitchell T.K., Orbach M.J., Thon M., Kulkarni R., Xu J.R., Pan H., Read N.D; Lee Y.H., Carbone, I.D; Oh, Y.Y; Donofrio N., Jeong, J.S; Soanes D.M., Djonovic S; Kolomiets E; Rehmeier C.L., Harding, M., Kim S., Lebrun M.H., Bohnert H., Coughlan S; Bulter J., Calvo S., Ma L.J., Nicol R., Purcel S., Nusbaum C., Galagan J.E., Birren M.B. 2005. The genome sequence of the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Nature*. 434 : 980-986.
- Delaplace P., 2007. Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Thèse, Académie Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 211 p.
- Djeugap J. F., Fontem D. A. et Tapondjou A. L., 2011. Efficacité in vitro et in vivo des extraits de plantes contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) de la morelle noire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(6): 2205-2213.
- Dohou N., Yamni K., Badoc A. et Douira A., 2004. Activité antifongique d'extraits de *Thymelaea lythroides* sur trois champignons pathogènes du riz. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 2014; 143. 31-38.
- Doke N. Ramirez A.V., Tomiyama K., 1987. Systemic induction of resistance in potato plants against *Phytophthora infestans* by local treatment with hyphal cell wall components of fungus. *Journal of Phytopathology* 119: 232-239.

- Dominique B., Laterrot H., Marchoux G. Candresse T. 2009. Les maladies de la tomate : identifier, connaître et maîtriser. Ed : Quae, Paris. 690 p.
- Dorn B., T. Musa H. Krebs P.M., Forrer H.R., 2007. Control of late blight in organic potato production: evaluation of copper free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 119: 217-240.
- Dorrance A. E., Inglis, A. A., Brown, C. R., Goodwin, S. B. et Fry, W. E. 1999. Characterization of *Phytophthora infestans* population in western Washington. *Plant Disease* 83: 423-428.
- Dounias E., 1995. Comment les pygmées du Sud-Cameroun forestier modèlent la forêt à l'usage de leur vie nomade. *Le flamboyant*. 58 p.
- Drenth A., Janssen E.M, Govers F. 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under naturel conditions. *Plant pathology* 44: 86-94.
- Drenth A., Taq, I. C. Q., Govers, F.1994. DNA Fingerprinting uncovers a new sexually reproducing population of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*. 100: 97-107.
- Drenth A., Turkensteen L. J. and Govers F. 1993. The Occurrence of the A2 Mating Type of *Phytophthora infestans* in the Netherlands; Significance and consequences. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. 99: 57-67.
- Duan C.H., Riley M.B., Jeffers, S.N. 2008. Characterization of *Phytophthora cinnamomi* populations from ornamental plants in South Carolina, USA. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 41(1):14-30.
- Edeoga H.O, Okwu DE, Mbaebie BO. 2005. Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. Department of biological and chemicals sciences, Michael Okpara University of agriculture. *African Journal of Biotechnology*. 4(7):685-688.
- El-Komy M., Abou-taleb E., Aboshosha S, El-Sherif E. 2010. Differential expression of potato pathogenesis-related proteins upon infection with late blight pathogen: a case study expression of potato osmotin-like protein. *International Journal of Agriculture and Biology*. 12: 179–186.
- Ellisèche D., 2008. Production de pomme de terre. Quels défis pour aujourd'hui et pour demain. 6 p.
- El Ismaili, A. 1994. Le mildiou de la pomme de terre : Epidémiologie dans le périmètre de la base Moulouya et niveaux de sensibilité au métalaxyl. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle. ENA Meknès. 129 p.

- El-Tarabily K.A., Sivasithamparam K. 2006. Potential of yeasts as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Mycoscience*. 47:25–35.
- Erwin D. C. And Ribeiro O. K. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS press. ST. Paul, MN. USA. 248-256.
- Erwin D.C., Bartnicki-Garcia S., Tsao P.H. 1983. *Phytophthora*, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p.
- Evans K. et Stone A. R., 1977. A review of the distribution and biology of the *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Pans*. 23 : 178-189.
- Fabritius A.L., Judelson, H.S. 2003. A mating-induced protein of *Phytophthora infestans* is a member of family of elicitors with divergent structures and stage-specific patterns of expression. . *Mol Plan Microbe Interact*. 16: 962-935.
- Fairclough R. W. 1995. An investigation of factors influencing the incidence of potato tuber blight caused by *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. PhD Thesis, University of Glasgow. 197p.
- Fay J. et Fry W., 1997. Effects of hot and cold temperatures on the survival of oospores produced by United States strains of *phytophthora infestans*. *Am. J. of Potato Reseach*, 74 : 315-323.
- Ferris M. 1962. Some observations on the number of root lesion nematodes necessary to cause injury to seedling onions. *Plant Dis. Rep.* 46 : 484-485.
- Festucci-Buselli, R.A; Otoni, W.C; Joshi, C.P. 2007. Structure, organization, and functions of cellulose synthase complexes in higher plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(1):1-13.
- Fischer W., Schweizer, P., Christ, U, Mozinger, E., Kovats, K, Baer, G., and Binder, A. 1988. Mechanisms in systemic induced resistance. *Phytoparasitica* 16: 211.
- Flier W.G., Kessel G.J.T., Shepers H.T.A.M., 2004. The impact of oospores of *Phytophthora infestans* on late blight epidemics. *Plant Breeding and seed science* 50: 5-13.
- Fontem D. A., Nana S. F., Njualement D. K. and Demo P., 2007. Effect of co-formulated fungicides on late blight management in seed and ware potatoes. Proceedings of the 13th ISTRC Symposium. pp. 345 – 354.
- Fontem D.A., Olanya O.M., Njualement B.F., 2004b. Reaction of certain Solanaceous and Asteraceous plant species to inoculation with *Phytophthora infestans* in Cameroon. *J. Phytopathol.* 152: 331-336.

- Fontem D.A., Olanya O.M., Tsopmbeng G.R., Owona M.A.P., 2005. Pathogenicity and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. *Crop Protection*, 24 : 449–456.
- Fontem D.A., Younyi P.C., Suh M.N. 2004a. Effects of Crop Sanitation and Ridomil MZ Applications on Late Blight Severity and Tomato Yields in Cameroon. *Tropicultura*, 22 (3) : 122-126.
- François H. et Michel D. P., 2013. Impact des successions culturales (y compris intercultures) sur l'utilisation de produits phytosanitaires. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17 : 292-296.
- Fry W. E., Birch P. R. J., Judelson H. S., Gruenwald N. J., Danies G., Everts, K. L., Gevens A. J., Gugino B. K., Johnson D. A., Johnson S. B., McGrath M. T., Myers K. L., Ristaino J. B., Roberts, P. D., Secor G., Smart C. D. 2015. Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a reemerging pathogen. *Phytopathology*, 105 (7): 966–981.
- Fry W. E et Goodwin S. D., 1997. Re-emergence of potato and tomato late blight in the United States. *Plant Disease* 81: 1349-1357.
- Fry W.E, Goodwin S.D., Matuszak J. M., Spielman L. J., Milgroom M.G., 1992. Population genetics and intercontinental migration of *Phytophthora infestans*. *Annual. Review of Phytopathology* 30 : 107-129.
- Galani Y.J.H., Nguefack J., Dakole D.C., Fotio D., Petchayo T.S., Fouelefack F. R., and Amvam Z.P.H., 2013. Antifungal potential and phytochemical analysis of extracts from seven Cameroonian plants against late blight pathogen *Phytophthora infestans*. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 2(5): 140-154
- Gallegly, M. E., and Galindo, J. 1958. Mating types and oospores of *Phytophthora infestans* in nature in Mexico. *Phytopathology*. 48, 274-277.
- Gallegly M.C., Hong C. 2008. *Phytophthora*: Identifying Species by Morphology and DNA Fingerprints. APS Press –The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 158 p.
- Gama F.M; Mota M. 1997. Enzymatic hydrolysis of cellulose (I): Relationship between kinetics and physico-chemical parameters. *Biocatalyse and biotransformation*. 15: 221-236.
- Gata-gonçalves L., Nogueira J. M. F., Matos O. and Bruno de Sousa A., 2003. Photoactive extract from *Thevetia peruviana* with antifungal properties against *Cladosporium cucumerinum*. *Journal of photochemistry and photobiology*, 70 (1) : 51-54.
- Gaucher D., Duvauchelle S., Andrivon D., 1998. Mildiou de la pomme de terre – le champignon évolue, la lutte aussi ! *Perspectives Agricoles* 236: 1-20.

- Gaulin E., Jacquet C., Bottin A., Dumas B., 2007. Root rot disease of legumes caused by *Aphanomyces euteiches*. *Mol. Plant. Pathol.* 8: 539-548.
- Gaulin E., Jauneau A., Villalba F., Rickauer M., Esquerré-Tugayé M.T., Bottin A., 2002. The CBEL glycoprotein of *Phytophthora parasitica* var-*nicotianae* is involved in cell wall deposition and adhesion to cellulosic substrates. *J Cell Sci.* 115, 4565-75.
- George K. et Preston S., 2004. Solutions biologiques de lutte contre le mildiou de la pomme de terre. *National Sustainable Agriculture Information Service.* 12 p.
- Girma F., Amare A., Nigussie D., 2013. Management of late blight (*phytophthora infestans*) of potato (*solanum tuberosum*) through potato cultivars and fungicides in Hararghe Highlands, Ethiopia. *Int. J. of Life Sci.*, 2 (3) : 130-138.
- Gisi U., Cohen Y., 1996. Resistance to Phenylamide Fungicides: a case study with *phytophthora infestans* involving mating type and race structure. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34:549-72.
- Goodwin S.B., Cohen, B.A., Deahl K. L., Fry W.E. 1993. Migration from Northern Mexico as the probable cause of recent genetic changes in populations of *Phytophthora infestans* in the United States and Canada. *Phytopathology* 84:553-558.
- Gornhardt B., Rouhara, I; Schmelzer, E. 2002. Cyst germination proteins of the potato pathogen *Phytophthora infestans* share homology with human mucins. *Mol Plant Microbe Interact.* 13, 32–42
- Goufo P., Fontem D.A. and Ngnokam D., 2010. Evaluation of plant extracts for tomato late blight control in Cameroon. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38 (3): 171 — 176.
- Goufo P., Teugwa M.C., Fontem D.A., Ngnokam D., 2008. High efficacy of extracts of Cameroon plants against tomato late blight disease. *Agron. Sustain. Dev.* 28: 567-573.
- Goyer C., 2007. Gale commune, stratégies de lutte. In : Colloque sur la pomme de terre : Changeons nos façons de faire. Québec. 7 p.
- Gregory D.S., 1983. Some major epidemics caused by *Phytophthora*. In : Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S., and Tsao, P. H.(eds); *Phytophthora* , Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. pp. 9-40.
- Grewal J. et Panag S.T., 2015. Design and testing of a software tool for prediction of late blight in potato crop. *International Journal of Engineering Development and Research.* 3 (3) : 2321-9939.

- Grünwald N.J, Rubio-Covarrubias O.A, Fry W.E. 2000. Potato Late-Blight Management in the Toluca Valley: Forecasts and Resistant Cultivars. *Plant Disease*, The American Phytopathological Society, 84 (4): 410-416.
- Gururani M.A. et Park S.W., 2012. Engineered resistance against filamentous pathogens in *Solanum tuberosum*. *Journal of General Plant Pathology*. 78: 377–388.
- Habtamu K., Alemayehu C., Bekele K., Pananjay K.T., 2012. Evaluation of different potato variety and fungicide combinations for the management of potato late blight (*Phytophthora infestans*) in Southern Ethiopia. *Int. J. of Life Sci.*, 1(1) : 8-15.
- Hammi A. 2003. Caractérisation de populations de *phytophthora infestans* (mont.) De bary dans la région de saïs. Thèse de doctorat nationale en biologie. Spécialité : phytopathologie. 272 P.
- Hampson M.C. et Proudfoot K.G., 1974. Potata wart disease, its introduction to North America, distribution and control problems in Newfoundland. *FAO Plant Prat. Bull.* 22:53-64.
- Harbaoui K., Lee van der Theo, Vleeshouwers G.A.A.V., Khammassy N., Harrabi M., Hamada W., 2013. Characterisation of *Phytophthora infestans* isolates collected from potato and tomato crops in Tunisia during 2006–2008. *Potato Research*. 56:11–29. DOI 10.1007/s11540-012-9228-3
- Harris D. C., 1978. The occurrence of *Phytophthora syringae* in fallen apple leaves. *Annals of Applied Biology*. 91: 309-312.
- Harrison J.G., Barker H., Lowe R., Rees P.A. 1990. Estimation of amounts of *Phytophthora infestans* mycelium in leaf tissue by enzyme linked immunosorbent assay. *Plant Pathology* 39: 274-277.
- Harrison J. G., 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage. *Plant Pathology* 41 : 384-416.
- Harrison J. G. et Lowe R. 1989. Effects of humidity and air speed on sporulation of *Phytophthora infestans* on potato leaves. *Plant Pathology* 38 : 585-591.
- Haverkort A.J., Struik P.C., Visser R.G.F., 2008. Jacobsen, E. (s.d.). Applied Biotechnology to Combat Late Blight in Potato Caused by *Phytophthora infestans* Applied Biotechnology to Combat Late Blight in Potato Caused by *Phytophthora Infestans*. *Potato Research*. 52 (3) : 249–264.
- Henfling, J. W. 1987. Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information technique, C. I. P, Lima Pérou. pp: 23-30.

- Hein I., Gilroy EM., Armstrong MR., Birch PRJ. 2009. The zig-zag-zig in oomycete–plant interactions. *Molecular Plant Pathology*. 10: 547–562.
- Helluy S. et Holmes J.C. 2005. Parasitic manipulation: further considerations. *Behav. Process.* 68 : 205–210.
- Heu A., Effet des extraits de graines de *Thevetia peruviana* sur la germination des spores de *Phytophthora megakarya* et de *Colletotrichum gloeosporioides in vitro*. Mémoire de Master. Université de Yaoundé I. 2013 ; 52 p.
- Hibar K., Mejda D. R., Mahjoub M. E., 2007 Effets de certains fongicides de synthèse et biologique sur la croissance mycélienne et l’agressivité de *Fusarium oxysporium*, *F. sp. Radicus-lycopersicum*. *Tropicultura*, 25 (3) : 146-152
- Hijmans R. J., Forbes G. A., Walker T. S., 2000. Estimating the global severity of late blight with gislinked disease forecast models. *Plant Pathology*. 49 : 694-705.
- Hodgson W. A., Pond D. D., et Munro J., 1975. Maladies et ennemis de la pomme de terre. Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa. 76 p.
- Hodgson. W. A. Pond D.D. et Munro L., 1973. Maladies et ennemis de la pomme de terre. *Can. Dep. Agric. Publ.* 78 pp.
- Houidi H. et Ahmadi I., 2007. Contribution à l’étude de l’effet de la fertilisation azotée potassique sur la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L. var. Condor) dans la région du souf. Memoire, Université Kasdi Merbah Ouagla. 192 p.
- Hunter J.E. et Kuminoto R. K. 1974. Dispersal of *Phytophthora palmivora* sporangia by wind-blown rain. *Phytopathology*. 64: 202-206.
- Hwang YT., Wijekoon C., Kalischuk M., Johnson D., Howard R., Prüfer D., Kawchuk L. 2014. Evolution and Management of the Irish Potato Famine Pathogen *Phytophthora infestans* in Canada and the United States. *American Journal of Potato Research* 91: 579–593.
- Ibiyemi S. A., Fadipe V. O., Akinvemi O. O. and Bako S. S., 2002. Variation in oil composition *Thevetia peruviana* juss “yellow oleander” fruit seed. *Journal of Applied Science and enviroment management*, 6 (2) : 61-66.
- Indiragandhi P., Anandham R., Madhaiyan M., Sa T.M. 2008. Characterization of plant growth promoting traits of bacteria isolated from larval guts of diamondback moth *Plutellaxylostella* (Lepidoptera: Putellidae). *Curr. Microbiol.* DOI 10.1007/s00284-007-90864.

- Jagadeesh D. P., Rajesh Y., Abdulmunaf S. B., 2014. Neuro-kNN classification system for detecting fungal disease on vegetable crops using local binary patterns 16 (4) :
- Jarvis M. 2003. Chemistry: cellulose stacks up. *Nature* 426 : 611-612.
- Jean C., 2000. Maladies, insectes nuisibles et utiles de la pomme de terre : Guide d'identification. Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA). Sainte-foy, Quebec, 32 p.
- Jetferies R.A., et Mackerron D.K.L., 1987. Observations on the incidence of tuber growth cracking in relation to weather patterns. *Potato Res.* 30: 613-623.
- Jmour, W. et Hamada, W. 2006. First report of A2 mating type of *Phytophthora infestans* in Tunisia using molecular markers and some observation on its métalaxyl resistance. *Tunisian Journal of Plant protection* 1: 85-91.
- Jo K.R., Visser R.G.F., Jacobsen E., Vossen J.H., 2015. Characterisation of the late blight resistance in potato differential MaR9 reveals a qualitative resistance gene, R9a, residing in a cluster of Tm-22 homologs on chromosome IX. *Theor Appl Gen.* 128(5): 931–941.
- Johann S., Pizzolatti M.G., Donnici C.L., De Resende M.A. 2007. Antifungal properties of plants used in Brazilian traditional medicine against clinically relevant fungal pathogens. *Brasilian Journal of Microbiology* 38 (4): 632-637.
- Johanna Fugelstad. 2011. Functional characterization of cellulose and chitin synthase genes in Oomycetes. Doctoral thesis in Biotechnology. Royal Institute of Technology (KTH), Division of Glycoscience, Stockholm, Sweden. 96 p.
- Kable P.E., et Mackenzie, D. R. 1980. Survival of *Phytophthora infestans* in potato stem lesions at high temperatures and implications of disease forecasting. *Plant Disease* 64 : 165-167.
- Kawchuk L.M., Martin R.R., Pherson J. M. 1990. Resistance in transgenic potato expressing the potato leaf roll virus coat protein gene. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 3:301-307.
- Kerroum Fatima, 2019. Identification et caractérisation du *Phytophthora infestans* agent pathogène du mildiou de la pomme de terre et essai de lutte biologique. Thèse de Doctorat. Université d'Oran1 'Ahmed Ben Bella'. 132 p.
- Kishore N., Mishra A.K., Cham Souria J.P.N., 1993. Fungitoxicity of *Thevetia peruviana* (Yellow oleander) and *Pulmeria alba* (White frangipani) Riv. Ital. Sostanza Grasse 67: 635-637.
- Kleinkopf G. E., 1983. Potato in crop-water relation. TEAREID : 287-305 p.

- Klis F.M., Boorsma A., De Groot P.W. 2006. Cell wall construction in *Saccharomyces cerevisiae* yeast. 23: 185-202.
- Koenig R. et Leseman D.E., 1989. Potato virus X. AAB Descriptions of Plant Viruses, No. 354. *Assoc. Appl. Biol., Inst. Hort. Res.* Wellesbourne, Warwick. U.K. 5 p.
- Korish M. 2003. Production, Purification, Properties and Application of the Cellulase from a Wild type Strain of a Yeast isolate. Faculty of Biology, Johannes Gutenberg-University, Mainz, Germany. 88 p.
- Ko W. H. 1988. Hormonal heterothallism and homothallism in *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology* 26 : 57-73.
- Kuang H., Woo S-S, Meyers BC., Nevo E., Michelmore RW. 2004. Multiple Genetic Processes Result in Heterogeneous Rates of Evolution within the Major Cluster Disease Resistance Genes in Lettuce. *The Plant Cell*. 16: 2870–2894
- Kumar R., 2003. La lutte contre les insectes ravageurs et champignons pathogènes. In : La situation de l'agriculture africaine. Ed. Paris. pp. 314-344.
- Kurucheve V., Echilan J. G. and Jayaraj J., 1997. Screening of higher plants for fungi toxicity against *Ralstonia solani* in vitro. *Indian phytopathology* 50 (20) : 235-245.
- Lacey J., 1965. The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*. *Annals of Applied Biology* 59 : 363-380.
- Laing C, 1998. Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information de la Division de la Gestion des Demandes d'Homologation et de l'Information, Agence de Réglementation de la Lutte Parasitaire, Canada, juin 1996.
- Lapornik B., M. Pros k et Wondra, A. G., 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *J. Food Eng.* 71: 214-222.
- Lapwood D.H. 1977. Factors influencing the field infection of potato tubers of different cultivars by blight (*Phytophthora infestans*). *Annals of Applied Biology* 85 : 23-45.
- Laure B., 2013. Réseau d'avertissements phytosanitaires – Bulletin d'information No 03 – Pomme de terre. 4 p.
- Lippman, E; Erwin, D.C; Bartnicki-Garcia, S. 1974. Isolation and Chemical Composition of Oospore-Oogonium Walls of *Phytophthora megasperma* var. *sojae*. *Journal of General Microbiology*, 80,131-141.
- Lise V. et Michel V., 2005. Immunofluorescence (*Clavibacter Nychiganensis* subsp. *Sepedonicus*). Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Quebec. 3 p.

- Loqman S., 2009. La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne : Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine. Thèse de Doctorat de l'Université de REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE. 204p.
- Lokossou A.A., Rietman H., Wang M., Krenek P., Van der Schoot H., Henken B., Hoekstra R; Vleeshouwers, V.G., Van der Vossen E.A; Visser, R.G; Jacobsen E., Vosman, B. 2010. Diversity, distribution, and evolution of *Solanum bulbocastanum* late blight resistance genes. *Mol. Plant Microbe Interact.* 23(9):1206-1216.
- Lynd L.R; Laser, M.S; Bransby, D; Dale, B.E; Davison, B; Hamilton, R; Himmel, M; Keller, M; McMillan, J.D; Sheehan, J; Wyman, C.E. 2008. How biotech can transform biofuel. *Nat. Biotechnol.* 26 : 169 – 172 .
- Malajczuk N., 1983. Microbial antagonism to *Phytophthora*. pp 197-218. In Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S., and Tsao, P. H.(eds); *Phytophthora*, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. pp392.
- Marschner., 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> Ed. *Academic press London*.
- Mboussi S.B., Ambang Z., Ndogho P., Ngoh Dooh J.P. and Manga Essouma F. 2016. *In vitro* antifungal potential of aqueous seeds extracts of *Azadirachta indica* and *Thevetia peruviana* against *Phytophthora megakarya* in Cameroon. *J. of Appl. Life Sci. Int.*, 4 (4): 1-12.
- Mboussi S.B., Ambang Z., Kakam S., Beilbe B.L., 2018. Control of cocoa mirids using aqueous extracts of *Thevetia puriviana* and *Azadirachta indica*. *Cogent Food and Agriculture*, 4 : 1430470.
- Mccollum, 1978. Analysis of potatoes on coarse-textured soils in southeastern Idaho. *Am. potato J.* 55 : 161-170.
- Meijer H.J., Van de Vondervoort P.J., Yin Q.Y., de Koster C.G., Klis F.M., Govers F., de Groot P.W., 2006. Identification of cell wall-associated proteins from *Phytophthora ramorum*. *Mol Plant Microbe Interact.* 19 : 1348-58
- Mekonen S., Tadesse T., 2018. Effect of Varieties and Fungicides on Potato Late Blight (*Phytophthora infestans*, (Mont.) de Bary) Management. *Agrotechnology* 7:182. doi: 10.4172/2168-9881.1000182
- Mercure et Pam. 1998. Early Blight and Late Blight of Potato. University of Connecticut, Integrated Pest Management. 2 p.

- Miller J. 2001. The significance of sexual reproduction in *Phytophthora infestans* epidemiology. Global initiative on late blight. *Gilb Newsletter* august 2001 (14): 1-3.
- Mollah J. U., Islam W. 2007. Toxicity of *Thevetia peruviana* (Pers) Schum extract to adults of *Callosobruchus maculatus* F. (*Coleoptera: Bruchidae*). *J. Agric. Rural Dev.*, 5: 105-109.
- Montarry J. 2007. Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum*. Thèse de doctorat. 192 p.
- Moule C., 1972. Plantes sarclées et diverse. J-B Ballière et Fils, Editeur paris. 246 p.
- Muchiri F.N., Narla R.D., Olanya O.M., Nyankanga R.O., and Ariga E.S., 2009. Efficacy of fungicide mixtures for the management of *Phytophthora infestans* (US-1) on potato *Phytoprotection*, 90 : 19-29.
- Munoz I.G; Ubhaayasekera, W; Henriksson, H; Szabo, I; Pettersson, G; Johansson, G; Mowbray, S .L; Stahlberg, J. 2001. Family 7 cellobiohydrolases from *Phanerochaete chrysosporium*: Crystal structure of the catalytic module of Cel7D (CBH 58) at 1.32Å resolution and homology models of the isozymes. *J. Mol. Biol.* 314: 1097-1111.
- Ndogho P. A., Ambang Z., Makamté P. E. D., Tchadjoko N. R., Gbaporo G. F. C., Mvondo N. D., Koné N. N. A., 2018. Effect of aqueous extracts of neem seeds (*Azadirachta indica*) on the development of Asian Rust of soybean in the Center Region of Cameroon. *IJEAB*, 3(3) : 956-964.
- Nelson S. C. 2008. Late blight of Tomato (*Phytophthora infestans*). College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii at Manoa Cooperative Extension Service PD-45. 10 p.
- Ngoh Dooh N. J. P., Ambang Z., Ndongo B., HEU A. et Tueguem K. W., 2014a. Effect 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.
- Ngoh Dooh J. P., Ambang Z., Ewola A. T., Heu A., Kosma P., Yalen M. J. E. And Goghomu T. R., 2014b. Screening and the effect of extracts of *Thevetia peruviana* on the development of *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of cassava anthracnose disease. *J. of Agri. Res. And Dev.* 4 (4) : 054-065.

- Ngoh Dooh J.P., 2015. Evaluation de l'effet des extraits de *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. sur trois champignons phytopathogènes : *Phytophthora megakarya* Bras. et Grif., *Colletotrichum gloesporioides* Penz f. sp. *Manihotis* HENN et *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Thèse de Doctorat Ph/D Université de Yaoundé I, 190 p.
- Niks R. E., Parlevliet J. E., Lindhout P., Bai Z. 2011. Breeding crops with resistance to diseases and pests. *The Netherlands: Wageningen Academic Publishers*. P. 198
- Njualem, D.K., Demo, P., Mendoza, H.A., Koi, J.T. and S.F. Nana. 2001. Reaction of some potato genotypes to late blight in Cameroon. *African Crop Science Journal* 9 : 209-213.
- Obasi N. B. et Igboechi A. C., 1991. Seed-oil distillates of *Thevetia peruviana* (Syn. *T. nerifolia*) : analysis and antibacterial activity. *Fitoterapia*. 62 (2) : 159-162.
- Oderinde R. A. et Oladimedji G. R., 1990. Oil characteristics of *Thevetia peruviana* (yellow oleander) and *Pulmeria alba* (white frangipani). *Riv. Ital. Sostanza Grasse* 67 : 635-637.
- Oji O. et Okafor Q. E., 2000. Toxicological studies on steam bark, leaf and seed Kernel of yellow oleander (*Thevetia peruviana*). *Phyto. Ther. Res.* 14 : 133-135.
- Oji O., Madubuike F. N. and Nwalozie M. C., 1993. Mortality in rats following dietary inclusion of the *Thevetia nerifolia*. *Seeds phytother.* 64 : 133-139.
- Omolara O. O., Ibiyemi A. S., Lamidi A.U., 2007. Effect of detoxification on nutrient content of *Thevetia peruviana* seed cake. *Research Journal of Applied Sciences* 2 : 188-191.
- Onsori H., Zamani, M.R., Motallbei M., Zarghami N. 2005. Identification of over producing strain of endo- $\beta$ -1, 4-glucanase in *Aspergillus* species: characterization of crude carboxymethyl cellulose. *African Jour. Biotechnol.* 4 (1) : 26-30.
- Orbegozo J., Roman M.L., Rivera C., Gamboa S., Tovar J.C., Forbes, A.G., Lindqvist-Kreuze H., Kreuze J.F., Ghislain M., 2016. Rpi-blb2 gene from *Solanum bulbocastanum* confers extreme resistance to late blight disease in potato. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* DOI 10.1007/s11240-016- 0947-z.
- Opara E. U., Wokocha 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.
- Paitier G. 1980. Le mildiou de la pomme de terre. *Phytoma*. p: 23-27.

- Pandey A., Trivedi P., Kumar B., Palni L.M.S., 2006. Characterization of a phosphate solubilizing and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a sub-alpine location in the Indian central Himalaya. *Curr. Microbiology* 53 : 102-107.
- Park T.H., Foster S., Brigneti G., Jones J.D.G. 2009a. Two distinct potato late blight resistance genes from *Solanum berthaultii* are located on chromosome 10. *Euphytica*. 165:269–278.
- Park T-H., Vleeshouwers V.G. Jacobsen E., Vossen E.V.D., Visser R.G.F., 2009b. Molecular breeding for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in potato (*Solanum tuberosum* L.): a perspective of cisgenesis. *Plant Breeding*. 128: 109–117.
- Pathak, N., and Clarke, D. D. 1987. Studies on the resistance of the outer cortical tissues of the tubers of some potato cultivars to *Phytophthora infestans*. *Physiological and Molecular of Plant Pathology* 31 : 57-73.
- Paulitz T.C. et Bélanger R.R. 2001. Biological control in greenhouse systems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39:103–33.
- Petelot A., 1953. *Plantes médicinales du Cambodge, du Laos et du Vietnam*. Tome II. Caprifoliacées à Plantaginacées. 277 p.
- Peters. R. D. and Platt H. W. 1998. Characterization of changes in populations of *Phytophthora infestans* in Canada using mating type and metalaxyl sensitivity markers. *Canadian Journal of Plant Pathology* 20 : 259-273.
- Pham V. K., Xuan T. M., Hiep H. P., Sy D. T., Shen S., 2020. Extraction, chemical compositions and cytotoxic activities of essential oils of *Thevetia peruviana* in Vietnam, *Toxicological & Environmental Chemistry*, DOI: 10.1080/02772248.2020.1770255
- Pieterse C. M. J., Dewit, P. J. G. M., and Govers, F. P. M. 1992. Molecular aspects of the potato - *Phytophthora infestans* interaction. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. 98 : 85-92.
- Pieterse C.M.J., Van Wees S.C.M., Ton J., Van Pelt J.A., Van Loon L.C. 2002. Signaling in rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biol* 4: 535-544.
- Platt R. 2008. Maladies de la pomme de terre causées par des oomycètes. *Cahiers agricultures* 17: 361-367.

- Pristou R., et Gallegly, M. E. 1954. Leaf penetration by *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 44 : 81-86.
- Pule B. B., Meitz J. C., Thompson A. H., Linde C. C., Fry W. E., Langenhoven S. D., Meyers K. L., Kandolo D. S., van Rije N. C. and McLeod A. 2013. *Phytophthora infestans* populations in central, eastern and southern African countries consist of two major clonal lineages
- Putnam, M.L., et M.C. Hampson. 1989. Rediscovery of *Synchytrium endobioticum* in Maryland. *Am. Potato j.* 66:495-501.
- Radtke W. et W. Rieckmann. 1991. Maladies et ravageurs de la pomme de terre. Éditions Th. Mann/Gelsenkirchen-Buer. pp. 32-33.
- Rahman M.S., Ano T., Shoda M., 2007. Biofilm fermentation of iturin A by a recombinant strain of *Bacillus subtilis* 168. *J. Biotechnol.* 127(3):503-507.
- Rakotoarimanga N., Zananirina J; Ramamonjisoa D., Ramanankierana H., 2014. Lutte biologique antifongique : actinomycètes du sol rhizosphérique antagonistes de *Fusarium* isolé du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum* L., 1753) pourri. *Afrique Science.* 10(3) : 243 - 255
- Randriantsalama A.R., Randrianaivorivony J.M., Ramalanjaona V.L., 2014. L'utilisation de la lutte chimique et de la résistance variétale. *African Crop Science Journal.* 22 (4) pp. 959 - 968.
- Raoufou R. et Kouami K., 2013. Classification et valeurs thérapeutiques des plantes ornementales du Togo. *La revue électronique en science de l'environnement.* 13 (3) : 1492-8442.
- Rekad Z. F., 2018. Caractérisation phénotypique et géotypique de *P. infestans* (Mont) de Barry agent causal du mildiou de la pomme de terre et la tomate dans la région du Nord-Ouest de l'Algérie. Thèse, Algérie, Université de Abdelhamid IBN Badis. 136 p.
- Rekad Z. F., Cooke L. E. D., Puglisi I., Randall E., Guenaoui Y., Bouznad Z., Evoli M., Pane A., Schena L, Magnano Di San Lio G., Cacciola O. S., 2017. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in northwestern Algeria during 2008-2014. *fungus biology.* 121: 467 - 477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2017.01.004>
- Reed D. K., Freedman B. and Ladd T. L., 1982. Insecticidal and antifeedant activity of nerifolin against codling moth, striped cucumber beetle and Japanese beetle. *J. Econ. Entomol.* 75 (6) : 1093-1097.

- Reis A., Smart C.D., Fry W.E., Maffia L.A., Mizubuti E.S.G. 2003. Characterization of isolates of *Phytophthora infestans* from southern and southeastern Brazil from 1998 to 2000. *Plant Dis.* 87:896-900.
- Richard C., G. Boivin, R.J. Howard, J.A. Garland et W.L. Seaman. 1994. Tomate, aubergine, poivron. Maladies et Ravageurs des Cultures Légumières au Canada. La Société Canadienne de Phytopathologie et la Société d'Entomologie du Canada, Ottawa, pp. 296-318.
- Richard L. et Thomas RF. 2015. Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), and False Potato Beetle, *Leptinotarsa juncta* (Germar) (Insecta : Coleoptera : Chrysomelidae). <http://entnemdept.ifas.ufl.edu/creatures/>. 6 p.
- Rolot J.L., Vanderhofstadt B., 2014. Culture de la pomme de terre en République Démocratique du Congo. Centre pour le Développement de l'Entreprise. Congo. 104 p.
- Ross P., Mayer R., Benziman M., 1991. Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiol Rev* 55, 35–58.
- Rotem J. et Cohen Y., 1974. Epidemiological patterns of *Phytophthora infestans* under semi-arid conditions. *Phytopathology* 64 : 711-714.
- Rousselle P., Robert Y., Grosnier J. C., 1996. La pomme de terre production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation. 1 ed. Paris. 607 p.
- Runno-Paurson E., Kiiiker R., Joutsjoki T., Hannukkala A. 2016. High genotypic diversity found among population of *Phytophthora infestans* collected in Estonia. *Fungal Biology*, 120: 385–392. Doi 10.1016/j.funbio.2015.11.008.
- Sahuvinod K, Irehhaiya R, Shashi A, Gujar H 2010. Phytochemical investigation and chromatographic evaluation of the ethanolic extract of whole plant extract of *Dendrophthoe falcata* (L.F) Ettingsh. *International Journal of Pharmaceutical sciences and Research* 1(1): 39-45.
- Sang-Jik L., Jocelyn, K.C.R. 2010. Mediation of the transition from biotrophy to necrotrophy in hemibiotrophic plant pathogens by secreted effector proteins. *Plant Signaling and Behavior*. 5(6): 769-772.
- Santa J.D, Berdugo-Cely J., Cely-Pardo L., Soto-Suárez M., Mosquera T., 2018. QTL analysis reveals quantitative resistant loci for *Phytophthora infestans* and *Tecia solanivora* in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *Public Library of Science One* 13: 0199716

- Santiago S. et Brice D., 2010. Nouvelles pratiques pour contrer la Jambe noire. *Agroscope Changins Wadens Wil.* 2 p.
- Saraswati B., Ravi kumar M., Mukesh kumar D.J., Balashanmugam P., Balakumaran M.D., Kalaichelvan P.T., 2012. Cellulase Production by *Bacillus subtilis* isolated from Cow Dung. *Archives of Applied Science Research*, 4 (1): 269-279.
- Sato, N. 1979. Effect of soil temperature on the field infection of potato tubers by *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 69 : 989-993.
- Savazzini F. et Galletti S., 2015. Phenotypic and genotypic characterization of Italian *Phytophthora infestans* isolates. *Phytopathologia Mediterranea*. 54(3): 524–530. DOI: 10.14601/Phytopathol. Mediterr-16057.
- Saxena, I.M; Brown, R.M. 2005. Cellulose biosynthesis: current views and evolving concepts. *Annals of Botany*. 96: 9–21.
- Saxena V. K. and Jain S. K., 1990. *Thevetia peruviana* Kermel oil : a potential bactericidal agent. *Fitoterapia*. 61 (4) : 348-349.
- Schaafsma A.W., Tamburic-Ilinic L., Miller J.D. et Hooker D.C., 2001. Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain. *Canadian journal of plant pathology*. 23 : 279-285.
- Schuman J. L., 1995. Integrating a Host resistance factor into a potato early blight for vasting models. M. Sc. Thésis, Pennsylvania State University.
- Shahbazi H., Aminia H., Sahebani N. and Halterman D., 2011. Effect of *Alternaria solani* Exudates on resistant and susceptible potato cultivars from two different pathogen isolates. *Pl. Pathol. J.* 27 (1) : 14-19.
- Shaw D. S. 1987. The breeding system of *Phytophthora infestans* : the role of the A2 mating type. In *Genetics and Plant Pathogenesis*. Day, P. R., and Jellis, G. J. Eds, Boston, Blackwell Scientific Publications, 161-174.
- Shaw D. S., Fyfe, A. M. et Hibberd, P. G. 1985. Occurrence of the race A2 mating type of *Phytophthora infestans* on imported Egyptian potatoes and the production of sexual progeny with A1 mating types from the UK. *Plant Pathology* 34: 552-556.
- Sediqui M., Carroll, R. B. and Morehart, A. L. 1997. First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance. *Plant Disease*. 81 : 831.
- Sedláková, V; Dejmalová, J; Hausvater, E; Sedlák, P; Doležal, P; Mazáková, J. 2011. Effect of *Phytophthora infestans* on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. *Plant Soil Environ.* 57:486–491.

- Shi X., Tian Z., Liu J., van der Vossen EAG., Xie C. 2012. A potato pathogenesis-related protein gene, StPRp27, contributes to race-nonspecific resistance against *Phytophthora infestans*. *Mol Biol Rep.* 39: 1909–1916
- Shrestha S., Manandhar HK., Shrestha S.M and Karkee A, 2019. Response of local potato cultivars to late blight disease (*Phytophthora infestans* (mont.) De bary) under field and laboratory conditions at Pakhribas, Dhankuta, Nepal. *Adv Cytol Pathol.* 4(1):10–13. DOI: 10.15406/acp.2019.04.00072
- Siddique NA., Aktar MS., Swapon N.H., 2016. Comparative Efficacy of Different Fungicides against Late Blight Diseases of Potato incited by *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary and its Management. *J Plant Pathol Microbiol* 7: 364. doi: 10.4172/2157-7471.1000364
- Singh R.P. 1992. Incidence of the tobacco vein necrotic strain of potato virus Y (PVY<sup>TM</sup>) in Canada in 1990 and 1991 and scientific basis for eradication of the disease. *Can. Plant Dis. Surv.* 72: 113-119.
- Singh K., Agrawal k., Mishra V., Uddin S. M. and Shukla A., 2012. A review on: *Thevetia peruviana*. *Int. Res. J.* 3 (4) : 2230 – 8407.
- Singh. G., Padvay R. K., Narayanam C. S., Padmhurmeri K. P. and Rao G. P., 1993. Chemical and fungistatic investigation out the essential oil citrus. *Pers. Z. dentshe zeeits Halft fur Pflanzenfranken und flanzenschutz.*100: 69-74.
- Śliwka, J; Jakuczum, H; Lebecka, R; Marczewski, W; Gebhardt, C; Zimnoch-Guzowska, E. 2006. The novel, major locus Rpi-phu1 for late blight resistance maps to potato chromosome IX and is not correlated with long vegetation period. *Theor Appl Genet* 113:685–695.
- Śliwka J., Jakuczun H., Chmielarz M., Hara-Skrzypiec A., Tomczyńska I., Kilian A., Zimnoch Guzowska E., 2012. A resistance gene against potato late blight originating from *Solanum michoacanum* maps to potato chromosome VII. *Theor Appl Genet.* 124(2): 397–406.
- Smoot, J. J., Gough, F. J., Lamey, H. A., Eichenmuller, J. J. and Gallegly, M. E. 1958. Production and germination of oospores of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology.* 48: 165-171.
- Sofowara A. 1993. Medicinal plants and traditional medicine in Africa. Spectrum books Ltd, *Ibadan, Nigeria.* 289 p.
- Soltanpour, 1969. Effect of nitrogen, phosphorus and zinc placement yield and composition of potatoes. *Agron. J.*, 61 : 288-289.

- Soltner D., 2005. Les grandes productions végétales, phytotechnie spéciale céréales-plantes sarclées-prairies .Collection Sciences et Techniques Agricoles 20<sup>ème</sup> édition. 472 p.
- Soltner, 1979. *Les grandes productions végétales*, phytochimie spéciale. 427 p.
- Song J., Bradeen J.M., Naess S.K., Raasch J.A., Wielgus SM., Haberlach GT., Liu J., Kuang H., Austin-Phillips S, Buell CR., 2003. Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. Proceedings of the National Academy of Sciences 100: 9128–9133.
- Spielman L. J., Drenth A., Davidse L.C., Sujowski L.S., Gu W. K., Tooley P. W., Fry W. E. 1991. A second world-wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*? *Plant Pathology*. 40 :422-430
- Stoll, 1994. Protection naturelle des végétaux en zone tropicale. CTA. *Agrecol*.pp.95-99
- Stewart J. G., 1992. The European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera : Pyralidae): a potential pest of potatoes grown on Prince. Edward Island. *Phytoprotection*. 73: 25-29.
- Stewart H. E., McCalmont D. C., Wastie R. L. 1983. The effect of harvest date and the interval between harvest and inoculation on the assessment of the resistance of potato tubers to late blight. *Potato Research*. 26: 101-107.
- Strange R.N., 2003. Introduction to plant pathology, John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK. 464 p.
- Swiezynski K. M. et Zimonoch-Guzowska E., 2001. Breeding potato cultivars with tubers resistant to *Phytophthora infestans*. *Potato Research*. 44: 97-117.
- Takase N., 1968. Studies in breeding potatoes for resistance to *Phytophthora infestans* with special reference to laboratory assessment of resistance. Hokaido National Agricultural. Experiment Station Report. 118 p.
- Tchumakov A. E. et Zaharova I. I., 1990. Influence et statistique du développement des maladies. In : Agronome (eds). *Dommages causés par les maladies aux cultures agricoles*. Moscou. P 5-60.
- Tesfaye B., 2009. Effet of phosphorus nutrition growth of potato genotypes with contrasting phosphorus efficiency. *Afri. Crop Sci. J.*, 17 (4) : 199-212.
- Tewtrakul S., Nakamura N., Hattori M., Fugiwara T. and 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 (5) : 630-635.

- Thomas C., 2019. Interactions entre résistance induite chez *Solanum tuberosum* et traits d'histoire de vie et effecteurs de *Phytophthora infestans*. Thèse de Doctorat, Rennes. 82 p.
- Thurston H. D. 1971. Relationship of general resistance to late blight of potato. *Phytopathology* 75: 982-988.
- Thurston, H. D., Schltz, O. 1981. Late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan (USA). pp 40-42.
- Tian Y.E., Sun JP, Li H.P. 2015. Dominance of a single clonallineage in the *Phytophthora infestans* population from northern Shaanxi, China revealed by genetic and phenotypic diversity analysis. *Plant Pathology*. 64: 200–6.
- Tian Z., Liu J., Xie C., Song B. 2003. Cloning of potato POTH1 gene and its expression in response to infection by *Phytophthora infestans* and other abiotic stimuli. *Acta Botanica Sinica*. 45: 959–965
- Tonón C., Guevara G., Oliva C., Daleo G. 2002. Isolation of a Potato Acidic 39 kDa  $\beta$ -1,3-glucanase with Antifungal Activity against *Phytophthora infestans* and Analysis of its Expression in Potato Cultivars Differing in their Degrees of Field Resistance. *Journal of Phytopathology*. 150 : 189–195
- Tooley P.W., Fry, W.E., Villarreal G.M.J., 1985. Isozyme characterization of sexual and asexual *Phytophthora infestans* populations. *Journal of Heredity* 76 : 431- 435.
- Tooley, P. W., Sweigard, J. A. and Fry, W. E. 1986. Fitness and virulence of *Phytophthora infestans* isolates from sexual and asexual population. *Phytopathology*. 76 : 1029-1212.
- Tör M. 2008. Tapping into molecular conversation between oomycete plant pathogens and their hosts. *European Journal of Plant Pathology* 122: 57-69
- Turkensteen, L. J. 1993. Durable resistance of potatoes against *Phytophthora infestans*. In Jacobs, Th., and Parleviliet (eds), Durability of Disease Resistance, pp: 115-124.
- Turóczi B., Bakonyi J., Szabó K. A., Bálint J, Máthé I., Lányi S., Balog A., 2020. In vitro and In Vivo Effect of Poplar Bud Extracts on *Phytophthora infestans*: A New Effective Biological Method in Potato Late Blight Control. *Plants*. 11p. doi:10.3390/plants9020217.
- Usman L. A., Oluwaniyi O. O., Ibiyemi S. A., Muhammad N. O. and Ameen O. M., 2009. The potencial of oleander (*Thevetia peruviana*) in african agricultural and industrial development: Acase study of Nigeria *J. Appl. Biosci.*, 24: 1477-1487.

- Vanderhofstadt B. et Jouan B., 2009. Guide technique de la culture de pomme de terre en Afrique de l'ouest. Centre pour le développement de l'entreprise. Union Européenne. Belgium. 82 p.
- Van der Vossen E.A.G., Gros J., Sikkema A., Muskens M., Wouters D., Wolters P., Pereira A, Allefs S., 2005. The Rpi-blb2 gene from *Solanum bulbocastanum* is an Mi-1 gene homolog conferring broad-spectrum late blight resistance in potato. *The Plant Journal*. 44: 208–222.
- Van Oigen, M. 1991. Identification of the major characteristics of potato cultivars, which affect yield loss caused by late blight. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. 116 p.
- Vartanian V. G., et Endo, R. N. 1985. Overwintering hosts, compatibility types, and races of *Phytophthora infestans* on tomato in Southern California. *Plant Disease* 69 : 516-519.
- Vassileva M., Serrano M., Bravo V., Jurado E., Nikolaeva I., Martos V, Vassilev N. 2010. Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agroindustrial wastes in fermentation and soil conditions. *Appl Microbiol Biotechnol*. 85:1287–1299.
- Viva Patata, 2014. L'expo pomme de terre. Paris. 20 p.
- Vleeshouwers VGAA., Rietman H., Krenk P., Champouret N., Young C., Oh S-K., Wang M., Bouwmeester K., Vosman B., Visser RGF. 2008. Effector Genomics Accelerates Discovery and Functional Profiling of Potato Disease Resistance and *Phytophthora infestans* Avirulence Genes. *Public Library of Science One* 3: 2875
- Vleeshouwers VGAA., Van Dooijeweert W., Govers F., Kamoun S., Colon LT. 2000. Does basal PR gene expression in *Solanum* species contribute to non-specific resistance to *Phytophthora infestans* ? *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 57: 35–42.
- Walmsley-Woodward D.J., Lewis B.G., 1977. Laboratory studies of potato tubers resistance to infection by *Phytophthora infestans*. *Annual of Applied Biology*, 85 : 43-49.
- Warren R.A.J. 1996. Microbial hydrolysis of polysaccharides. *Annu Rev Microbiol*. 50: 183-212.
- Wastie R.L., Caligari P.O.S., Wale SJ., 1988. Assessing the resistance of potatoes to powdery scab (*Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh.). *Potato Res*. 31: 167 -171.
- Waterhouse M.G., 1963. Key of the species of *Phytophthora* de Bary. *Mycological papers* N° 92. Commonwealth Mycological Institute.

- Weste G., 1983. Population dynamics and survival of *Phytophthora*. In : Erwin, D. C., Bartnicki-Garcia, S., and Tsao, P. H.(eds); *Phytophthora*, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. pp 237-257.
- Wetter C., 1972. Potato virus M. AAB Descriptions of Plant Viruses. No. 87. *Commonw. Mycol. Inst. Assoc. Appl. Biol., Kew, Surrey, Angleterre*. 4 p.
- Williams Greg et Pat W., 1994b. More on late blight of potatoes. HortIdeas. 103 p.
- Williams Greg et Pat W., 1994c. Still more on late blight of potatoes. HortIdeas. 111 p.
- Woloshuk CP., Meulenhoff JS., Sela-Buurlage M., Elzen PJ van den., Cornelissen BJ. 1991. Pathogen-induced proteins with inhibitory activity toward *Phytophthora infestans*. *The Plant Cell* 3: 619–628.
- Wong C.C., Li H.B., Cheng K.W., Chen F. 2006. A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food chem.* 97 (4): 705-711.
- Wright N.S. 1988. Assembly, quality control and use of a potato cultivar collection rendered virus-free by heat therapy and tissue culture. *Am. Patata J.* 65: 181-198.
- Wu Y; Jiang, J; Gui, C. 2012. Low genetic diversity of *Phytophthora infestans* population in potato in north China. . *African Journal of Biotechnology* 11(90), 15636-15642.
- Xu B., 2002. Endoglucanase and Mannanase from Blue Mussel, *Mytilus edulis*: Purification, Characterization, Gene and Three Dimensional Structure. Thèse de doctorat. Faculty of Science and Technology, Uppsala University, Sweden. 59 p.
- Xu B., Hellman U., Ersson B., Janson J.C. 2000. Purification, characterization and amino- acid sequence analysis of a thermostable, low molecular mass endo- $\beta$ -1,4-glucanase from Blue Mussel, *Mytilus edulis*. *Euro J Biochem.* 267: 4970-4977.
- Young Ahn S, Ae Kim S., Keun Yun H. 2016. Glutathione S-Transferase Genes Differently Expressed by Pathogen-Infection in *Vitis flexuosa*. *Plant. Breaed. Biotech.* 4 (1): 61-70.
- Zan K., 1962. Activity of *Phytophthora infestans* in soil in relation to tuber infection. *Transactions of the British Mycological Society* 45 : 205-208.
- Zhang Y-HP., 2009. A sweet out-of-the-box solution to the hydrogen economy: Is the sugar powered car science fiction? *Energy Environ. . Sci.* 2 : 272 – 282 .

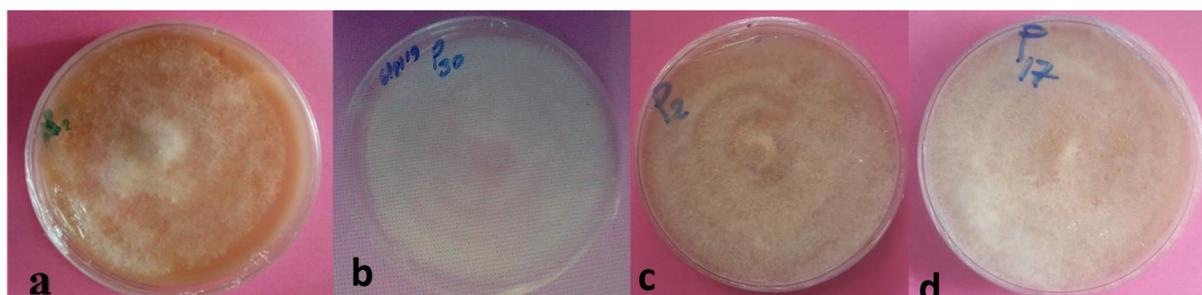
# **ANNEXES**

## ANNEXE

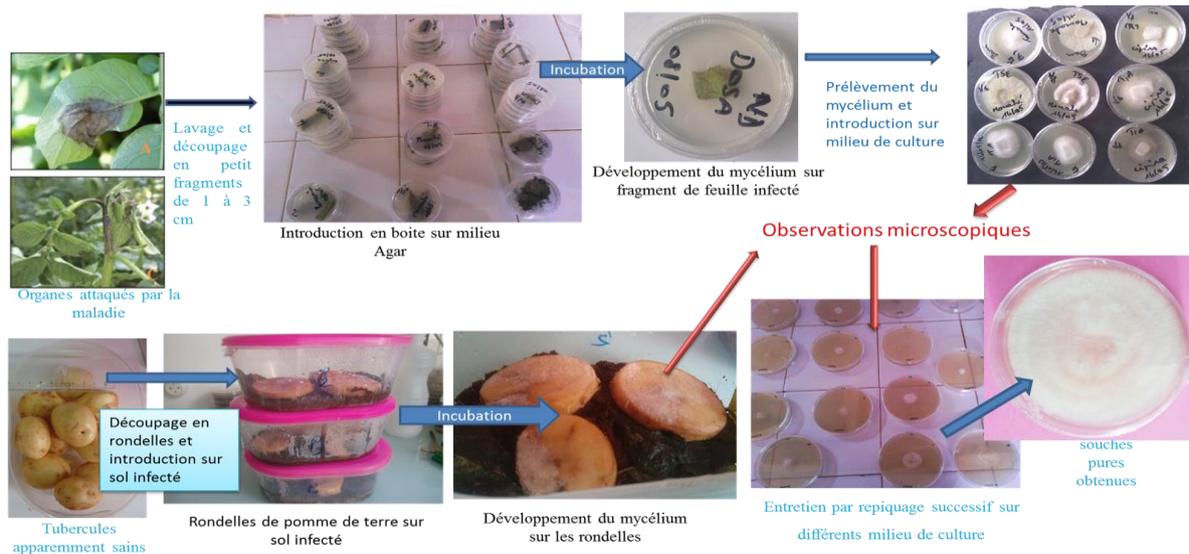
Annexe 1. 64 morpho-espèces de *Phytophthora* présentés par Erwin et Ribeiro (1996)

<i>P. arecae</i> (1913)	<i>P. insolita</i> (1980)	<i>P. megasperma</i> (1931)
<i>P. boehmeriae</i> (1927)	<i>P. fragariae</i> v. <i>rubi</i> (1993)	<i>P. melonis</i> (1976)
<i>P. botryose</i> (1969)	<i>P. gonapodyides</i> (1927)	<i>P. Mexicana</i> (1923)
<i>P. cactorum</i> (1886)	<i>P. heveae</i> (1929)	<i>P. mirabilis</i> (1985)
<i>P. cajani</i> (1978)	<i>P. hibernalis</i> (1925)	<i>P. nicotianae</i> (1896)
<i>P. cambivora</i> (1927)	<i>P. humicola</i> (1985)	<i>P. palmivora</i> v. <i>palmivora</i> (1919)
<i>P. fragariae</i> v. <i>fragariae</i> (1940)	<i>P. cinnamomi</i> v. <i>parvispora</i> (1993)	<i>P. palmivora</i> v. <i>heterocysta</i> (1983)
<i>P. cinnamomi</i> (1922)	<i>P. ilicis</i> (1957)	<i>P. phaseoli</i> (1889)
<i>P. idaei</i> (1995)	<b><i>P. infestans</i> (1876)</b>	<i>P. porri</i> (1931)
<i>P. citricola</i> (1927)	<i>P. inflata</i> (1949)	<i>P. primulae</i> (1952)
<i>P. citrophthora</i> (1925)	<i>P. fragariae</i> v. <i>oryzobladis</i> (1978)	<i>P. pseudotsugae</i> (1983)
<i>P. clandestina</i> (1985)	<i>P. iranica</i> (1971)	<i>P. quininea</i> (1947)
<i>P. colocasiae</i> (1900)	<i>P. italic</i> (1996)	<i>P. richardiae</i> (1927)
<i>P. cryptogea</i> (1919)	<i>P. japonica</i> (1974)	<i>P. sinensis</i> (1982)
<i>P. cyperi</i> (1935)	<i>P. katsurae</i> (1979)	<i>P. sojiae</i> (1958)
<i>P. cyperibulbosi</i> (1953)	<i>P. lateralis</i> (1942)	<i>P. syringae</i> (1909)
<i>P. drechsleri</i> (1931)	<i>P. lepironiae</i> (1919)	<i>P. tentaculata</i> (1993)
<i>P. eriugena</i> (1977)	<i>P. macrochlamydospora</i> (1991)	<i>P. trifolii</i> (1991)
<i>P. erythroseptica</i> v. <i>erythroseptica</i> (1913)	<i>P. meadii</i> (1918)	<i>P. erythroseptica</i> v. <i>pisi</i> (1959)
<i>P. undulate</i> (1989)	<i>P. medicaginis</i> (1991)	<i>P. verrucosa</i> (1940)
<i>P. capsici</i> (1922)	<i>P. megakary</i> (1979)	<i>P. vignae</i> (1957)

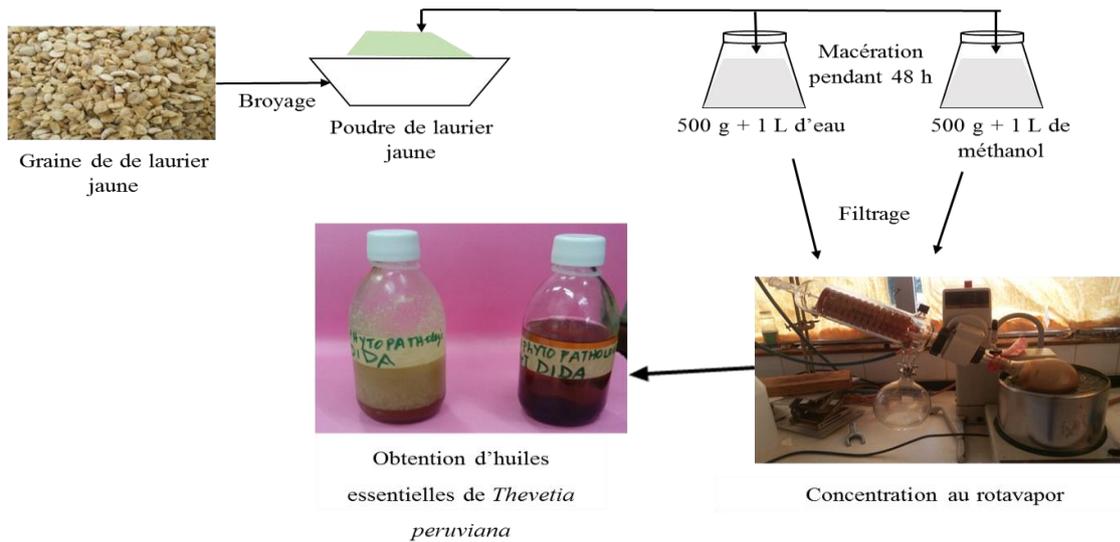
Annexe 2. Aspect de quelques souches pures de *P. infestans* sur milieu de culture



### Annexe 3. Protocole d'obtention des souches pures de *Phytophthora infestans*



### Annexe 4. Protocole d'extraction des graines de laurier jaune

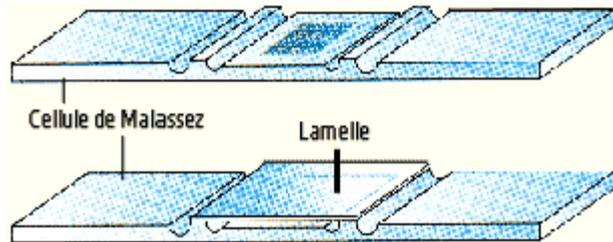


### Annexe 5. Dispositif d'arrosage des parcelles durant la saison sèche



## Annexe 6. Utilisation de la cellule de Malassez

Une cellule de Malassez est une lame spéciale quadrillée qui permet le comptage de différents types de cellules.



### • Mode opératoire

Pour réaliser le remplissage de la cellule, il faut :

- Humidifier les glissières latérales sur lesquelles va reposer la lamelle ;
- Déposer la lamelle sur les rebords, celle-ci doit adhérer par un "effet ventouse" ;
- Placer l'extrémité de la pipette contre la lamelle et délivrer par capillarité le liquide en évitant tout débordement vers les rigoles.

### • Principe de comptage :

- La totalité de la cellule est composée de 100 rectangles dont les dimensions sont:  
Long.= 0,25 mm / larg.= 0,20 mm / Prof. = 0,20 mm,
  - Le volume total de la cellule est de 1 mm<sup>3</sup>
  - Le quadrillage est donc constitué de 10 bandes verticales (0,25 mm) et de 10 bandes horizontales (0,20 mm) formant ainsi 100 rectangles, (100 x 2,5x 0,2 x 0,20).
  - On ne compte les cellules que dans 10 des 25 rectangles non contigus pris au hasard dans la cellule.
  - On totalise le nombre de cellules présentes dans chaque rectangle.
- Arbitrairement, il est convenu de ne tenir compte que les cellules positionnées sur les côtés droits et inférieurs !
- On calcule le nombre moyen de cellules par rectangle (total des cellules observées dans 10 rectangles divisé par le nombre de rectangles comptés).
  - On multiplie le nombre obtenu par 100 pour connaître le nombre d'entités cellulaires par mm<sup>3</sup>

- Exemple de calcul :

Rectangle compté	Nombre de cellules comptabilisées	Calculs
Rectangle 1	20 cellules	<p><u>Moyenne par rectangle :</u></p> $(20+14+10+23+16+8+19+14+21+15)/10 = 16 \text{ cellules}$ <p><u>Nombre de cellules dans 1 mm<sup>2</sup> :</u></p> $16 \times 100 = 1,6.10^3 .\text{mm}^{-3}$
Rectangle 2	14 cellules	
Rectangle 3	10 cellules	
Rectangle 4	23 cellules	
Rectangle 5	16 cellules	
Rectangle 6	8 cellules	
Rectangle 7	19 cellules	
Rectangle 8	14 cellules	
Rectangle 9	21 cellules	
Rectangle 10	15 cellules	

Si la solution a été diluée :  $N = (n / V) \times f$  ou f représente le facteur de dilution

#### Annexe 7. Autres maladies diagnostiquées visuellement

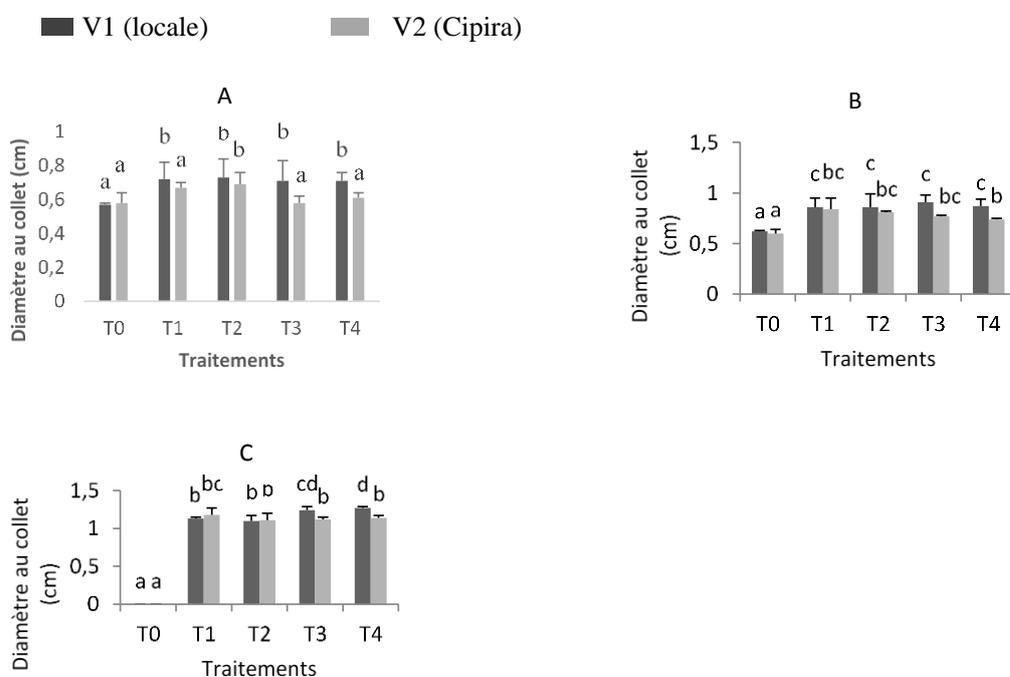
Autres maladies identifiées	Nom scientifique	Famille
Les bactérioses	Le Flétrissement bactérien <i>Clavibacter michiganensis</i>	Microbacteriacées
	La jambe noire <i>Pectobacterium carotovorum</i>	Enterobacteriacées
Les mycoses	L'alternariose <i>Alternaria solani</i>	Pleosporacées
	La fusariose <i>Fusarium sp.</i>	Nectriacées
	La rhizoctonie <i>Rhizoctonia solani</i>	Ceratobasidiacées
Virus	Le virus de l'enroulement <i>Potato leaf roll virus (PLRV)</i>	Luteoviridées

### Annexe 8. Évolution du taux de levée (%) des tubercules de pomme de terre

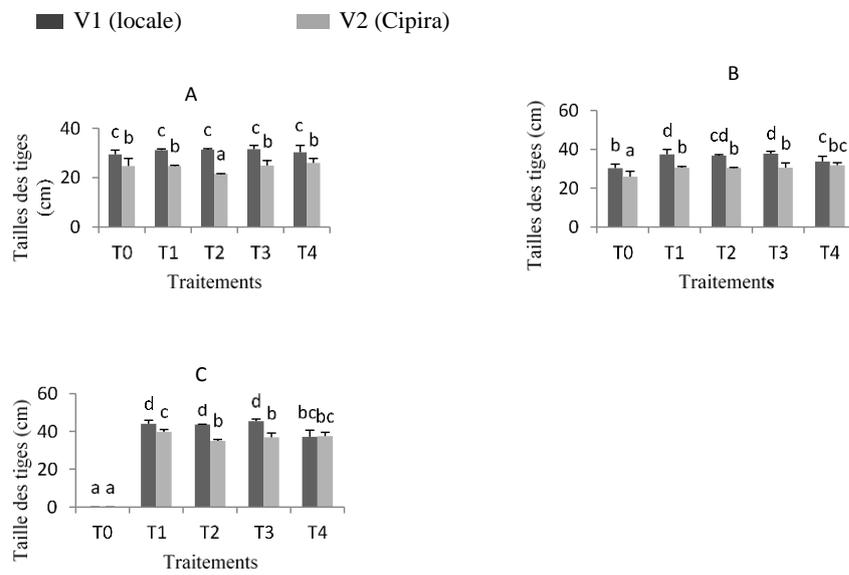
Traitements	Variétés	Temps (jours)		
		10 JAS	12 JAS	14 JAS
T0	V1	41,83 ± 3,91 a	63,88 ± 6,36 a	83,33 ± 8,33 ab
	V2	36,11 ± 4,81 a	59,72 ± 8,67 a	69,66 ± 10,23 a
T1	V1	46,39 ± 5,54 a	86,44 ± 2,69 b	97,22 ± 4,80 bc
	V2	42,00 ± 7,48 a	65,28 ± 2,40 a	83,33 ± 11,02 ab
T2	V1	43,89 ± 4,59 a	75,00 ± 11,02 ab	97,22 ± 4,80 bc
	V2	44,50 ± 6,94 a	66,60 ± 14,43 a	83,33 ± 18,16 ab
T3	V1	51,05 ± 4,67 a	86,27 ± 2,56 b	100,00 ± 0,00 c
	V2	46,66 ± 7,12 a	65,27 ± 12,03 a	83,33 ± 8,33 ab
T4	V1	50,00 ± 2,83 a	73,61 ± 8,67 ab	94,44 ± 9,62 bc
	V2	45,83 ± 17,34 a	69,39 ± 8,57 a	84,94 ± 12,69 ab

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-keuls.

### Annexe 9. Évolution du diamètre au collet (cm) des plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés. A : 6 SAS ; B : 8 SAS ; C : 10 SAS.



Annexe 10. Évolution de la taille des tiges (cm) des plants de pomme de terre en fonction des traitements et des variétés. A : 6 SAS ; B : 8 SAS ; C : 10 SAS.



## **PUBLICATIONS**