REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix – Travail – Patrie
****
UNIVERSITE DE YAOUNDE I
FACULTÉ DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES
****

REPUBLIC OF CAMEROUN
Peace – Work – Fatherland
****
UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY
****

Effet fertilisant et phytosanitaire du compost des dechets ménagers et de la fumure à base des parches de café dans l'amélioration de la culture du maïs (Zea mays L.) en zone forestière du Cameroun

Thèse
Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D. en Biologie des organismes Végétaux

Par : **KUTNJEM Daouda**
Master ès Sciences

Sous la direction de
NDONGO BEKOLO
Maître de Conférences
AMBANG ZACHEE
Professeur

Année Académique : 2020

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE UYI

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET DE PHYSIOLOGIE VEGETALES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

ATTESTATION DE CORRECTION

.....

Nous Soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Végétaux option Biotechnologies Végétales de l'étudiant **KUTNJEM Daouda**, Matricule **99S187**, soutenue publiquement le 21 Décembre 2020 sur le sujet « **Effet fertilisant et phytosanitaire du compost des déchets ménagers et de la fumure à base des parches de café dans l'amélioration de la culture du maïs (*Zea mays* L.)** » attestons que les corrections, conformément aux remarques et recommandations du jury lors de la soutenance de ladite thèse de Doctorat/Ph.D ont été effectuées par le candidat

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

Président

Bell Joseph Martin
PROFESSEUR

Rapporteurs

Elame Fezoh Elame

AMBANG Zachée
Professeur

Membres

Ngonkeu M.E.L

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

Rapport de soutenance de la thèse de Doctorat/Ph.D de Monsieur KUTNJEM Daouda
Matricule : 99S187

Suite à l'autorisation de soutenance N°202900/UYI/VREPDTIC/DAAC/DEPE/SPD/CB-AP du 1er décembre 2020 de Monsieur le Recteur de l'Université de Yaoundé I, Monsieur KUTNJEM Daouda Matricule 99S187, a soutenu publiquement ce lundi 21 décembre 2020 à partir de 10 heures, dans la salle S01/02 du Bloc pédagogique de la Faculté des Sciences une thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Végétaux sur le thème « Effet fertilisant et phytosanitaire du compost des déchets ménagers et de la fumure à base des parches de café dans l'amélioration de la culture du maïs (*Zea mays* L.) en zone forestière du Cameroun » devant le Jury constitué ainsi qu'il suit :

Président : BELL Joseph Martin, Professeur, Université de Yaoundé I
Rapporteurs : AMBANG Zachée, Professeur, Université de Yaoundé I
NDONGO BEKOLO, Maître de Conférences, Université de Yaoundé I
ESOH ELAME, Professeur, Université de Padoue (Italie)
Membres : NGONKEU MAGAPCHE Eddy L., Maître de Conférences, Université de Yaoundé I
NGAKOU Albert, Professeur, Université de Ngaoundéré

Cette étude menée dans les localités de Yaoundé (Nkolfon) et d'Akonolinga (Megana) s'inscrit dans la problématique de recherche des alternatives aux engrais et pesticides chimiques dans la culture du maïs (*Zea mays* L.) via l'utilisation du compost des déchets ménagers et de la fumure à base des parches de café comme biofertilisant à vertu phytosanitaire.

L'effet des types de fumure sur les paramètres de croissance a montré que le compost des déchets ménagers, la fumure à base des parches de café et l'engrais minéral NPK (20-10-10) ont significativement amélioré les paramètres de croissance du maïs et augmenté le rendement en grain par rapport au témoin dans les deux sites d'études et pendant les quatre saisons de culture durant deux années d'expérimentations. De même, L'effet phytosanitaire des types de fumure sur les maladies parasitaires d'origine fongique a révélé que le compost dispose d'un potentiel antifongique suite à la réduction de l'attaque et de la propagation de l'Helminthosporiose détectée en champs. En revanche, les traitements à base des parches de café et à l'engrais minéral NPK (20-10-10) n'ont pas influencé l'évolution de l'Helminthosporiose. L'étude *in vitro* a confirmé le potentiel antifongique du compost. L'extrait aqueux (stérilisé ou non stérilisé) du compost a inhibé la croissance radiale *d'Helminthosporim turcicum*, agent causal de l'Helminthosporiose du maïs pris comme champignon modèle. Le test de rentabilité économique montre que le compost des déchets ménagers est le traitement le plus économiquement viable en raison des faibles coûts d'exploitation et des retours sur investissement plus élevés.

Dans un exposé clair, didactique, fait en vidéo-projection en 40 min, le candidat a présenté les principaux résultats de ses travaux et a donné des réponses satisfaisantes aux questions des différents membres du jury, montrant ainsi la parfaite maîtrise de son sujet.

Le jury après avoir délibéré, accepte à l'unanimité la Thèse présentée et décerne à Monsieur KUTNJEM Daouda le titre de Docteur/Ph.D en Biologie des Organismes Végétaux Option : Biotechnologies Végétales, avec la mention Très Honorable.

Fait à Yaoundé, le 21 décembre 2020

Président — Rapporteurs — Membres

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

Effet fertilisant et phytosanitaire du compost des dechets ménagers et de la fumure à base des parches de café dans l'amélioration de la culture du maïs (*Zea mays L.*) en zone forestière du Cameroun

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D. en Biologie des organismes Végétaux

Option : Biotechnologies végétales

Spécialité : Phytopathologie

Par

KUTNJEM Daouda

Matricule: 99S187

Master ès Sciences

Sous la Co-direction de

NDONGO BEKOLO
Maître de Conférences

ESOH ELAME
Professeur

AMBANG ZACHEE
Professeur

Année académique 2020

LISTE PROTOCOLAIRE

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

ANNÉE ACADEMIQUE 2019/2020

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION : 19 Février 2020

ADMINISTRATION

DOYEN : TCHOUANKEU JEAN CLAUDE, *Maître de Conférences*

VICE-DOYEN / DPSAA : DONGO Etienne, *Professeur*

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*

MEVA'A Luc Léonard, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)			
N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DIAGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	**Chef de Département**
7	NINTCHOM PENLAP V. épse 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 GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste

17	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
18	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
19	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
20	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur Serv MINESUP
21	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
22	AKINDEH MBUH NJI	Chargée de Cours	En poste
23	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Chargée de Cours	En poste
24	DAKOLE DABOY Charles	Chargée de Cours	En poste
25	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
26	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
27	EWANE Cécile Anne	Chargée de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
30	KOTUE KAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
31	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
32	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	0WONA AYISSI Vincent Brice	Assistante	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste
2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (43)			
1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	*VICE-DOYEN / DSSE*
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	*VDoyen/FMSB/UYI*
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	*Coord. Progr. MINSANTE*
13	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
14	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
16	DZEUFIET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
17	JATSA Hermine épse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
18	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	MONY Ruth épse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
21	NGUEGUIM TSOFACK Florence	Maître de Conférences	En poste
22	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
23	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
24	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
25	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste

26	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
27	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
28	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
29	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
30	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG LucianeMarlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	***CD/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) (34)			
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	**Chef de Département**
6	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
7	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
9	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	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	MBOLO Marie	Maître de Conférences	En poste
13	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	*CE / MINRESI*
14	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
15	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
16	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
17	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
18	DJEUANI Astride Carole	Chargée de Cours	En poste
19	GOMANDJE Christelle	Chargée 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 épse PIAL	Chargéee de Cours	*Expert national /UNESCO*
24	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
25	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargée de Cours	En poste
26	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargée de Cours	En poste

27	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargée de Cours	En poste
28	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
29	KABELONG BANAHO Louis-Paul-R.	Assistant	En poste
30	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
31	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
32	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
33	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
34	TEMEGNE NONO Carine	Assistante	En poste
4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (35)			
1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	*Vice-Recteur Univ Bamenda*
2	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	*RECTEUR Univ.Ngaoundere*
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	*Ministre Chargé deMiss.PR*
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	*CT MINRESI/**Chef de Département***
7	NGOMO Horace MANGA	Professeur	*Vice Chancelor/UB*
8	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	*Vice-Doyen Univ Bamenda*
9	NENWA Justin	Professeur	En poste
10	NGAMENI Emmanuel	Professeur	*DOYEN FS UDs*
11	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	*Chargée Mission P.R.*
12	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
13	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
20	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
21	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	*CS/ ENS Bertoua*
22	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
23	EMADACK Alphonse	Chargé de Cours	En poste
24	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
25	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
26	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
27	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
28	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
29	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	*I.P de Service MINFEM*
30	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	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
35	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En poste
5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (35)			
1	DONGO Etienne	Professeur	***Vice-Doyen / DPSAA***
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	*Dir. IBAF/UDS*

3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	En poste
4	NKENGFACK Augustin Ephreïm	Professeur	**Chef de Département**
5	NYASSE Barthélemy	Professeur	*Directeur/UN*
6	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	*Directeur/ MINESUP*
7	WANDJI Jean	Professeur	En poste
8	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	*DEPE/ Rectorat/UYI*
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	*Chef Service DPER*
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	*Chef Service/Minesup*
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINRESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
20	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
21	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
22	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	*Doyen /FS/ UYI*
23	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
24	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
25	AMBASSA Pantaléon	Chargé de Cours	En poste
26	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
27	MVOT AKAK CARINE	Chargé de Cours	En poste
28	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
29	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
30	OUAHOUO WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
31	SIELINOU TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
32	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
33	ZONDENDEGOUMBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
34	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
35	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste
6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (26)			
1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	*Chef Div.MINESUP*
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	**Chef de Département** *ENS/ChefIGA.MINESUP*
3	NDOUNDAM Réné	Maître de Conférences	En poste
4	AMINOU Halidou	Chargé de Cours	En poste
5	DJAM Xaviera YOUH-KIMBI	Chargé de Cours	En poste
6	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
7	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
8	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
9	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
11	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
12	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
13	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste

14	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
15	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
16	KAMGUEU Patrick Olivier	Chargé de Cours	En poste
17	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	*C/D Enset. Ebolowa*
18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
20	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
22	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
23	MAKEMBE S. Oswald	Assistant	En poste
24	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
25	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistant	En poste
26	NKONDOCK MI BAHANACK N.	Assistant	En poste
7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)			
1	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	***CD Info****/ CD/ MINESUP*
2	AYISSI Raoult Domingo	Maître de Conférences	**Chef de Département**
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	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	*Chef Cellule MINPLAMAT*
8	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
9	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
10	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
11	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
12	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
13	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
14	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
15	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
16	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Chargé de Cours	En poste
17	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
18	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
19	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
20	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
21	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
22	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
23	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargée de Cours	En poste
24	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
25	NIMPA PEFOUNKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
26	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
27	BITYEMVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
29	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
30	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)			
1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	*DRV/IMPM*
2	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste

4	NYEGUE Maximilienne Ascension	Maître de Conférences	En poste
5	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
6	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
7	ASSAM ASSAM Jean Paul	Chargé de Cours	En poste
8	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
9	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
11	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
13	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
14	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
15	MEYIN A EBONG Solange	Assistant	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAI Richard	Assistant	En poste
9- DEPARTEMENT DE PYSIQUE (PHY) (40)			
1	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
2	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
3	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	**Chef de Département**
4	NJOMO Donatien	Professeur	En poste
5	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
6	TABOD Charles TABOD	Professeur	*Doyen Univ/Bda*
7	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
8	WOAFO Paul	Professeur	En poste
9	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
10	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	*Sous-Directeur/ MINRESI*
11	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	*Director/Students/Affairs.UB*
12	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	***DG/HYDRO Mekin***
13	BODO Bernard	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE KENMOE épse ALOYEM	Maître de Conférences	En poste
15	EKOBENA FOUDA Henri Paul	Maître de Conférences	*Chef Division. UN*
16	EYEBE FOUDA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
17	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
18	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
19	MBANE BIOUELE	Maître de Conférences	En poste
20	NANA NBENDJO Blaise	Maître de Conférences	En poste
21	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
22	SAIDOU	Maître de Conférences	*Sous-Directeur/Minresi*
23	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
24	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
25	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
26	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	*Sous-Directeur/MINESUP*
27	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
28	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
29	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
30	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Chargée de Cours	En poste
31	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
32	MBINACK Clément	Chargé de Cours	En poste

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	*DA/Univ Inter Etat/Sangmélima*
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
38	AYISSI EYEBE Guy François Valerie	Assistant	En poste
39	CHAMANI Roméo	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	*Doyen / FASA / UDs*
2	KAMGANG Pierre	Professeur	En poste
3	NGOS III Simon	Professeur	DAAC/Uma
4	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
5	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	**Chef de Département**
6	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
7	FOUATEU Rose épse YONGUE	Professeur	En poste
8	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
9	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	*Vice-Doyen / DRC*
10	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	*CD/UMa*
11	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	*CT/ MINIMDT*
12	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
13	ONANA Vincent	Maître de Conférences	En poste
14	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	*Directeur/Projet Barrage Memve'ele*
15	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
16	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
17	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
18	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
19	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
20	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	*Chef Div. /MINTP*
21	NGUETCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	*CEA/MINRESI*
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	*DG/ART*
23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	FUH Calistus Gentry	Chargé de cours	*Sec. D'Etat/MINMIDT*
28	LAMILEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
29	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de cours	En poste
30	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
31	METANG Victor	Chargé de cours	En poste
32	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	*CD/Uma*
33	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
34	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
35	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de cours	En poste
36	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de cours	En poste
37	TCHAKOUNTE J. épse NOUMBEM	Chargée de Cours	*Chef.cell / MINRESI*
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de cours	En poste

39	TEHNA Nathanaël	Chargé de cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de cours	En poste
41	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de cours	En poste
42	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
43	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

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

	NOMBRE D'ENSEIGNANTS				
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	9 (1)	13 (9)	14 (5)	3 (1)	39 (16)
BPA	13 (1)	9 (6)	19 (5)	5 (0)	46 (13)
BPV	6 (0)	10 (2)	9 (4)	7 (0)	31 (9)
CI	10 (1)	9 (2)	13 (2)	2 (0)	35 (5)
CO	7 (0)	17 (4)	9 (3)	3 (0)	35 (7)
IN	2 (0)	1 (0)	14 (1)	10 (3)	26 (3)
MA	1 (0)	5 (0)	19 (1)	5 (0)	30 (2)
MB	1 (0)	5 (2)	6 (1)	6 (0)	17 (5)
PH	11 (0)	16 (1)	10 (3)	3 (0)	40 (4)
ST	8 (1)	14 (1)	19 (4)	2 (0)	43 (6)
Total	68 (4)	99 (27)	132 (29)	45 (10)	344 (70)

Soit un total de 344 (70) dont :

- Professeurs 68 (4)
- Maîtres de Conferences 99 (27)
- Chargés de Cours 132 (29)
- Assistants 46 (10)
- ( ) = Nombre de Femmes 45

DEDICACE

A

La famille Kutnjem

REMERCIEMENTS

Le présent travail est le fruit d'énormes sacrifices et de courage. Il n'aura pas abouti sans le soutien d'un certain nombre de personne. Je tiens à remercier :

- Professeur Youmbi Emanuel, Chef du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I, pour sa rigueur et son objectivité dans l'organisation pédagogique et la recherche ;
- Professeur Ambang Zachée, pour avoir accepté de superviser ce travail en dépit de ses multiples occupations. Professeur, votre disponibilité, votre rigueur scientifique et vos conseils ont été une source d'inspiration pour moi;
- Professeur Ndongo Bekolo et Professeur Esoh Elamé, co-directeurs de cette thèse, pour avoir cru en moi et ont manifesté leurs volontés inébranlables de me faire arriver à bon port malgré leurs multiples occupations ;
- Corps enseignant du Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I, pour toutes les connaissances qu'il nous a transmises durant notre parcours universitaire ;
- Mr. Njipit Mamadou, Mr. Ngatsi Patrice et tous mes camarades doctorants, pour leur aide dans la réalisation des essais en champ et au Laboratoire ;
- toute ma famille et mes amis pour leurs soutiens moral, affectif et financier ;
- tous ceux qui, de près ou de loin ont apporté leur soutien et leur collaboration à la réalisation de ce travail et dont les noms ne sont pas cités ici, qu'ils trouvent à travers cette thèse le témoignage de ma parfaite gratitude.

TABLE DE MATIERE

DEDICACE xiii
REMERCIEMENTS xiv
TABLE DE MATIERE xv
LISTE DES FIGURES xix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS xxiv
RESUME xxvi
ABSTRACT xxviii
INTRODUCTION 1
QUESTIONS DE RECHERCHE 3
HYPOTHESE PRINCIPALE 4
OBJECTIFS DE L'ETUDE 4
CHAPITRE 1. REVUE DE LA LITTERATURE 6
1.1. GENERALITES SUR LE MAÏS 7
1.1.1. Origine et répartition géographique de la plante 7
1.1.2. Systématique du maïs 8
1.1.3. Anatomie du maïs 8
1.1.3.1. Racines 8
1.1.3.2. Tige 8
1.1.3.3. Feuilles 8
1.1.3.4. Inflorescences et fleurs 9
1.1.3.5. Epis 9
1.1.4. Biologie, croissance et mode de reproduction du maïs 10
1.1.4.1. Biologie 10
1.1.4.2. Croissance 11
1.1.4.3. Mode de reproduction 12
1.1.5. Physiologie, développement et résistance naturelle 12
1.2. MAÏSICULTURE AU CAMEROUN 13
1.2.1. Agronomie du maïs 14
1.2.1.1. Préparation des sols 14
1.2.1.2. Semis et germination du maïs 14

1.2.1.3. Entretien 16
1.2.1.4. Fertilisation du maïs avec des principaux éléments nutritifs majeurs 16
1.2.1.5. Fertilisants minéraux 18
1.2.1.6. Fertilisants organiques 18
1.2.1.7. Fertilisants organo-minéreaux 19
1.2.2. Maladies et ravageurs du maïs 19
1.2.3. Récolte et rendement 20
1.2.3.1. Récolte 20
1.2.3.2. Rendement 20
1.3. COMPOSTAGE DES DECHETS 20
1.3.1. Principe du compostage 21
1.3.2. Paramètres du compostage 22
1.3.2.1. Micro-organismes 22
1.3.2.2. Paramètres physico-chimiques et biologiques 23
1.3.2.3. Maturité et stabilité du compost 28
1.3.3. Composition du compost 32
1.3.3.1. Amendements et effets du compost sur les caractéristiques globales des sols 33
1.3.3.2. Avantages du compost 34
1.3.3.2.2. Amélioration de la porosité du sol et de la capacité de rétention d'eau 35
1.3.4. Influence de l'utilisation du compost sur la santé des plantes 37
1.3.4.1. Influence du compost sur les maladies telluriques 38
1.3.4.2. Facteurs influençant les caractéristiques suppressives des composts 40
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES 43
2.1. MATERIEL 44
2.1.1. Présentation des sites d'expérimentation 44
2.1.1.1. Localisation géographique des sites de Megana (Akonolinga) et de Nkolfon (Yaoundé) 44
2.1.1.2. Climat des sites d'expérimentation 46
2.1.2. Matériel biologique 49
2.1.3. Matériel chimique 50
2.1.4. Matériel fongique 51
2.1.5. Autres matériels 51

2.2. METHODES 52

2.2.1. Caractérisation physico-chimique des sols des sites d'expérimentation et des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées dans l'étude 52

2.2.1.1. Caractérisation physico-chimique des sols de Megana et de Nkolfon 52

2.2.1.2. Caractérisation physico-chimique des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café 54

2.2.2. Évaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de croissance et de rendement des trois variétés du maïs cultivées en champs 59

2.2.2.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif expérimental 59

2.2.2.2. Dispositif expérimental 59

2.2.2.3. Semis 60

2.2.2.4. Application des traitements fertilisants 60

2.2.2.5. Entretien du champ d'expérimentation 62

2.2.2.6. Evaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de croissance des trois variétés du maïs cultivées en champs 62

2.2.2.7. Evaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de rendement des trois variétés du maïs cultivées en champs 63

2.2.2.8. Correction de l'absence du traitement de base (engrais de base) par le test de covariance entre le témoin et les traitements fertilisants 64

2.2.3. Évaluation de l'effet phytosanitaire des types de fumure utilisés sur les maladies parasitaires des trois variétés du maïs cultivées en champs 65

2.2.3.1. Evaluation du taux d'incidence 65

2.2.3.2. Evaluation du taux de sévérité 66

2.2.4. Détermination du potentiel inhibiteur in vitro de l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers sur le développement d'*Helminthosporium turcicum* 66

2.2.4.1. Préparation du milieu de culture PDA 66

2.2.4.2. Obtention de la souche pure d'*Helminthosporium turcicum* 66

2.2.4.3. Postulat de Koch 67

2.2.4.4. Obtention d'extrait aqueux de compost 68

2.2.4.5. Protocole expérimental de l'essai in vitro 69

2.2.4.6. Evaluation de la croissance mycélienne 69

2.2.4.7. Corrélation entre concentration et inhibition 70

2.2.5. Analyses statistiques 70
CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION 71
3.1. RESULTATS 72
3.1.1. Caractéristiques des sols des sites d'expérimentation et des fumures utilisées dans l'étude 72
3.1.1.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols de sites d'expérimentation 72
3.1.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des fertilisants organiques 73
3.1.2. Effet fertilisant des types de fumure utilisés et des variétés sur les paramètres de croissance et de rendement du maïs cultivé dans les sites de Megana et de Nkolfon 74
3.1.2.1. Effet fertilisant des types de fumure et des variétés sur les paramètres de croissance du maïs en fonction du temps 75
3.1.2.2. Effet fertilisant des types de fumure utilisés et des variétés sur les paramètres de rendement du maïs 93
3.1.3. Effet phytosanitaire des types de fumure et des variétés sur les maladies parasitaires d'origine fongique de la culture du maïs dans la zone forestière humide du Sud Cameroun 105
3.1.3.1. Inventaire des maladies parasitaires dans les unités expérimentales 105
3.1.3.2. Evolution des maladies parasitaires sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées 106
3.1.3.3. Sensibilité des variétés de maïs aux maladies fongiques 115
3.1.4. Potentiel inhibiteur *in vitro* de l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers sur le développement d'*Helminthosporium turcicum*, agent causal d'Helminthosporiose du maïs 121
3.1.4.1. Influence du mode de production de l'extrait de compost sur sa capacité à inhiber la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum* 121
3.1.4.2. Effet de l'extrait aqueux stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum* 122
3.1.4.3. Effet de l'extrait aqueux non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum* 123
3.1.4.4. Effet comparatif de l'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum* 124
3.1.4.5. Corrélation entre les concentrations et les pourcentages d'inhibition obtenus avec les différents extraits 125
3.1.4.6. Concentration Minimale d'inhibition (CMI_{50}) 126
3.2. DISCUSSIONS 127
CONCLUSION ET PERSPECTIVES 141
CONCLUSION 142
PERSPECTIVES 144
BIBLIOGRAPHIE 145
ANNEXES 160

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Présentation des caractéristiques morphologiques du maïs. 9

Fig. 2. Présentation de la graine du maïs. 10

Fig. 3. Stade de germination du grain de maïs. 13

Fig. 4. Schéma simplifié du processus de compostage. 22

Fig. 5. Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage. 24

Fig. 6: Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost. 36

Fig. 7. Situation géographique de la localité d'Akonolinga. 45

Fig. 8. Carte de localisation de la localité Nkolfon. 46

Fig. 9. Précipitations enregistrées au cours des saisons culturales dans la localité de Megana du mars 2014 à décembre 2015. 47

Fig. 10. Précipitations enregistrées au cours des saisons culturales dans la localité de Nkolfon du mars 2016 à Août 2017. 48

Fig. 11. Courbe ombro-thermique de la localité de Megana entre 2013 et 2016. 48

Fig. 12. Courbe ombro-thermique de la localité de Nkolfon entre entre 2015 et 2018. 49

Fig. 13. Trois variétés de maïs utilisées. 49

Fig. 14. Fragments de feuilles du maïs portant le symptôme d'attaque d'Helminthosporium turcicum. 50

Fig. 15. Fongicide de synthèse : Ridomil Gold plus 66WP 51

Fig. 16. Engrais chimique NPK (20-10-10). 51

Fig. 17. Processus du compostage des déchets ménagers en andain amélioré. 56

Fig. 18. Prélèvement des parches de café au centre de décorticage à Akonolinga pour les essais en champs. 57

Fig. 19. Dispositif expérimental. 60

Fig. 20. Densité de semis par sous-parcelle. 60

Fig. 21. Obtention de la souche pure d*'Helminthosporium turcicum* 67

Fig.22 . Test de pathogénicité sur feuille de maïs en boîte de Petri. 68

Fig. 23: Schéma de mesure de la croissance mycélienne en boîte de Pétri sur milieu PDA. 70

Fig.24. Effet des traitements fertilisants sur le taux de levée du maïs en fonction du nombre de jours après semis : 75

Fig.25. Effet variétal sur le taux de levée en fonction du nombre de jours après semis : 88

Fig. 26. Droites de régression du diamètre au collet aux différents traitements. 78

Fig. 27. Droites de régression du nombre de feuilles aux différents traitements 80

Fig. 28. Droites de régression de la surface foliaire aux différents traitements 83

Fig. 29. Droites de régression de la hauteur de la plante de maïs aux différents traitements..... 85

Fig.30. Influence du traitement fertilisant sur le nombre d'épi par plante du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 94

Fig.31. Influence du traitement fertilisant sur la longueur d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 96

Fig. 32. Influence du traitement fertilisant sur le diamètre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 97

Fig.33. Influence du traitement fertilisant sur le poids de grains par épi du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 98

Fig.34. Influence du traitement fertilisant sur le rendement en grains du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 99

Fig.35. Influence des variétés sur le nombre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 101

Fig.36. Influence des variétés sur la longueur d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 102

Fig.37. Influence des variétés sur le diamètre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 103

Fig.38. Influence des variétés sur le poids de grains par épi du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 104

Fig.39. Influence des variétés sur le rendement en grains du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 105

Fig. 40. Charbon d'épi observé en champ :..... 106

Fig. 41. Examen microscopique de la poudre noire du charbon d'épi 107

Fig.42. Evolution de l'incidence du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 108

Fig.43. Evolution de la sévérité du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 109

Fig. 44. Quelques images de la fusariose d'épi collectées dans les sites d'expérimentation : 110

Fig. 45. Examen microscopique de la graine du maïs infectée par le *Fusarium monoliforme*..... 111

Fig.46. Evaluation de l'incidence de Fusariose d'épi à 16 SAS sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et dans le site de Nkolfon (B) 112

Fig. 47. Evaluation de la sévérité de Fusariose d'épi à 16 SAS sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et dans le site de Nkolfon (B) 113

Fig. 48. Helminthosporiose sur la feuille de maïs identifiée dans les sites d'expérimentation. 113

Fig.49. Evolution de l'incidence du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 116

Fig.50. Evolution de la sévérité du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 117

Fig.51. Evolution de l'incidence de la Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 118

Fig.52. Evolution de la sévérité de Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 119

Fig. 53. Influence du mode de production d'extrait aqueux de compost sur leur capacité à inhiber la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum* à la concentration de 2ml. 122

Fig. 54: Croissance de la souche d'*Helminthosporium turcicum* sous l'effet d'extrait de compost stérilisé au 8ème jour après incubation..... 123

Fig.55: Evolution des diamètres de la souche de l'*Helminthosporium turcicum* sous l'effet de l'extrait de compost stérilisé. 123

Fig.56. Croissance de la souche d'*Helminthosporium turcicum* sous l'effet d'extrait de compost non stérilisé au 8ème jour après incubation..... 124

Fig.57. Evolution des diamètres de la souche de l'*Helminthosporium turcicum* sous l'effet de l'extrait de compost non stérilisé. 124

Fig. 58. Illustration de l'effet comparatif de l'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum*..... 125

Fig. 59. Droites de régression de la croissance mycélienne aux différents traitements. 126

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Composition chimique des principales parties des grains de maïs..... 10

Tableau II. Paramètres de contrôle et de suivi du procédé de compostage 27

Tableau III. Rapport C/N de divers substrats. 28

Tableau IV. Récapitulatif des différents critères de stabilité et de maturité d'un compost 31

Tableau V. Normes de classes de compost dans plusieurs pays 32

Tableau VI. Composition de quelques composts en métaux et nutriments..... 33

Tableau VII. Caractéristiques des trois variétés de maïs utilisées..... 50

Tableau VIII. Caractéristiques physiques des sols des sites étudiés. 72

Tableau IX. Caractéristiques Chimiques des sols des sites étudiés..... 73

Tableau X. Composition physico-chimique des différents fertilisants organiques. 74

Tableau XI. Influence du traitement fertilisant sur le diamètre au collet du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 77

Tableau XII. Influence du traitement fertilisant sur le nombre de feuilles des trois variétés du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 79

Tableau XIII. Influence du traitement fertilisant sur la surface foliaire de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).... 81

Tableau XIV. Influence du traitement fertilisant sur la hauteur de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 86

Tableau XV. Influence des variétés sur le diamètre au collet du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 89

Tableau XVI. Influence des variétés sur le nombre de feuilles de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B)..... 90

Tableau XVII. Influence des variétés sur la surface foliaire de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 91

Tableau XVIII. Influence des variétés sur la hauteur de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B). 92

Tableau XIX. Analyse économique des différents traitements utilisés dans le site de Megana (A) et de Nkolfon (B) 99

Tableau XX. Taxonomie des maladies fongiques du maïs observées lors de l'expérimentation..... 106

Tableau XXI. Taux d'incidence (%) d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon..... 114

Tableau XXII. Taux sévérité (%) d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et de Nkolfon (B). 115

Tableau XXIII. Taux d'incidence (%) d'Helminthosporiose sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon 120

Tableau XXIV. Taux de sévérité (%) d'Helminthosporiose sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon 121

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADEC	:	Appui pour le Développement Communautaire du Cameroun
ADEME	:	Agence de l'Environement et de la Maîtrise de l'Energie
AGRI-STAT	:	Annuaire des statistiques du secteur agricole
ANAFOR	:	Agence Nationale d'Amenagement Forestier
ANOVA	:	Analyse de Variance
C.C.Q.C	:	California Compost Quality Council
CEC	:	Capacité d'Echange Cationique
CECE	:	Capacité d'Echange Cationique Effective
CIMMYT	:	Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé
CMS	:	Cameroon Maize Selection
DBPV	:	Département de Biologie et de Physiologie Végétales
D.S.O.U.R	:	Dry Specific Oxygen Uptake Rate
FAO	:	Food and Agriculture Organization
HYSACAM	:	Hygiène et Salubrité du Cameroun
INS	:	Institut National de la Statistique
IRAD	:	Institut de la Recherche Agricole pour le Développement
JAS	:	Jours Après Semis
LDS	:	Least Significant Différence
MINADER	:	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MINEPDED	:	Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable
ONACC	:	Observatioire National sur les Changements Climatiques
ONG	:	Organisation non Gouvernementale
PADFA	:	Projet d'appui au développement des filières agricoles
PED	:	Pays en Développement
PIB	:	Produit Intérieur Brut
PNAFM	:	Programme National d'Appui de la Filière Maïs
RDC	:	République Démocratique de Congo
SAS	:	Semaine Après Semis

SENASEM : Service National des Semences

S.O.U.R : Specific Oxygen Uptake Rate

UNFPA : Fonds des Nations Unies pour la Population

RESUME

Le maïs est largement cultivé et consommé au Cameroun dans ses cinq zones agroécologiques, sa culture nécessite un apport d'engrais élevé. Cependant, les engrais inorganiques existants sur le marché ne sont souvent pas à la portée de petits agriculteurs du fait de leurs coûts élevés, ce qui se traduit par une baisse des rendements du maïs dans le pays. D'un autre côté, les villes camerounaises croupissent dans des déchets solides avec une abondance des déchets organiques biodégradables qui, une fois transformés en compost, peuvent être utilisés pour augmenter le rendement du maïs. Cette étude a évalué l'effet fertilisant et phytosanitaire des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café dans la culture de trois variétés de maïs. Une expérimentation a été conduite dans les sites de Megana pendant deux ans (2014 et 2015), suivie d'un test de confirmation des résultats obtenus à Megana en vue de leur généralisation dans le site de Nkolfon pendant deux ans aussi (2016 et 2017). Chaque expérimentation a été conduite selon un dispositif factoriel «split-plot : 3x4» randomisé à 4 blocs avec en parcelle principale trois variétés (V1 : variété locale, V2 : variété améliorée CMS 8501, V3 : variété améliorée CMS 8704) et en sous parcelle quatre traitements (T0: témoin non fertilisé, T1: fumure à base des parches de café, T2: compost de déchets ménagers, T3: engrais minéral NPK (20-10-10). Il existe une corrélation linéaire positive entre les traitements avec un coefficient de corrélation positif qui montre que l'absence d'ajout d'un engrais de base n'a pas un impact sur les différents traitements. Le diamètre au collet, le nombre de feuilles, la surface foliaire, la hauteur de la plante, les épis et le rendement en grains ont été utilisés pour évaluer la performance des différents traitements d'engrais. L'incidence et la sévérité de trois maladies fongiques (Charbon d'épi, Fusariose d'épi et Helminthosporiose) ont été utilisées pour l'aspect phytosanitaire. Une évaluation économique de quatre traitements a également été réalisée pour déterminer la viabilité économique de l'application de ces substances sur le maïs. L'effet des types de fumure sur les paramètres de croissance a montré que T1, T2, et T3 ont significativement amélioré les paramètres testés par rapport au T0 dans le site de Megana pendant les deux années d'expérimentation (2014 et 2015). Aussi, l'effet variétal montre que V1 a présenté les meilleurs paramètres en comparaison à V2 et V3. L'effet des traitements sur le rendement en grains montre qu'à Megana, le rendement en grains a été moins élevé chez T0 (1,5 ± 0,7 t.ha-1 en 2014 et 0,9 ± 0,7 t.ha-1 en 2015) que chez T3 (3,6 ± 2 t.ha-1 en 2014 et 3,9 ± 2 t.ha-1 en 2015) qui est statistiquement similaire à T2 (3,4 ± 2 t.ha-1 en 2014 et 3,8 ± 2 t.ha-1 en 2015). T1 a présenté le taux intermédiaire (2,1 ± 1,1 t.ha-1 en 2014 et 1,9 ±

2,1 t.ha-1 2015). Les résultats similaires ont été trouvés dans le site de Nkolfon lors du test de confirmation. L'effet des variétés sur le rendement en grains montre que V2 (4,3 ± 1t/ha) et V3 (4,6 ± 1t/ha) ont été plus productives que V1 (2,5 ± 1,7 t/ha). L'effet phytosanitaire des types de fumure sur les maladies parasitaires d'origine fongique a révélé que le compost dispose d'un potentiel antifongique suite à la réduction de l'attaque et de la propagation de l'Helminthosporiose détectée en champs. Par contre les traitements à base des parches de café et à l'engrais minéral NPK (20-10-10) n'ont pas influencé l'évolution de l'Helminthosporiose. L'étude in vitro a confirmé le potentiel antifongique du compost. L'extrait aqueux (stérilisé ou non stérilisé) du compost a inhibé la croissance radiale *d'Helminthosporim turcicum*, agent causal de l'Helminthosporiose du maïs pris comme champignon modèle. Le test de rentabilité économique montre que le compost des déchets ménagers est le traitement le plus économiquement viable en raison des faibles coûts d'exploitation et des retours sur investissement plus élevés. Par conséquent, ce compost peut être recommandé aux agriculteurs comme bio-fertilisation à vertus phytosanitaire capable d'augmenter le rendement du maïs en quantité et en qualité avec l'assurance d'une rentabilité économique.

Mots clés: analyse économique, compost, engrais, fertilité des sols, maïs, parches de café.

ABSTRACT

Maize is widely cultivated and consumed in Cameroon, its cultivation requires a high fertilizer supply. However, existing inorganic fertilizers on the market are often not affordable, especially for small farmers, which results in lower maize yields in the country. On the other hand, Cameroonian cities are languishing in solid waste with an abundance of biodegradable organic waste which, once transformed into compost, can be used to increase the yield of corn. This study evaluated the fertilizing and phytosanitary effect of manure based on compost from household waste and coffee grounds in the cultivation of the three varieties of corn. An experiment was conducted in the Megana sites for two years (2014 and 2015), followed by a verification test of the results obtained in Megana with a view to their generalization in the Nkolfon site for two years also (2016 and 2017) . Each experiment was carried out according to a factorial "split-plot" factor randomized to 4 blocks with in the main plot the varieties (V1: local variety, V2: improved variety CMS 8501, V3: improved variety CMS 8704) and in sub-plot the treatments fertilizers (T0: unfertilized control, T1: manure based on coffee grounds, T2: household waste compost, T3: NPK mineral fertilizer (20-10-10). There is a positive linear correlation between the treatments with a coefficient positive correlation which shows that the absence of addition of a basic fertilizer does not have an impact on the different treatments. The diameter at the collar, the number of leaves, the leaf area, and the height of the plant, the ears and grain yield were used to assess the performance of different fertilizer treatments. The incidence and severity of fungal diseases were used for the phytosanitary aspect. Economic evaluation of the four treatments was also carried out to determine the economic viability of applying these fertilizers to the corn.

The effect of the types of manure on the growth parameters showed that T1, T2, and T3 presented diameters at the collar, the number of leaves, the leaf area and the height of the plant significantly different compared to T0 in the Megana site during the two years of experimentation (2014 and 2015). Also, the varietal effect shows that V1 presented the diameter at the collar higher and a larger size than V2 and V3.

The effect of the treatments on grain yield shows that T0 was the least productive than T1, T2, and T3. In 2014 and 2015 in Megana, the grain yield was lower at T0 (1.5 ± 0.7 t.ha^{-1} in 2014 and 0.9 ± 0.7 t.ha^{-1} in 2015) than in T3 (3.6 ± 2 t.ha^{-1} in 2014 and 3.9 ± 2 t.ha^{-1} in 2015) which is statistically similar to T2 (3.4 ± 2 t.ha^{-1} in 2014 and 3.8 ± 2 t.ha^{-1} in 2015). T1 presented the intermediate rate (2.1 ± 1.1 t.ha-1 in 2014 and 1.9 ± 2.1 t.ha-1 2015). In the

Megana site, the effect of fertilizer treatments on coal cob, Fusarium head blight and helminthosporiasis showed significant differences in the incidence and severity of the diseases. For example, with regard to coal cob, only T1 and T2 have been attacked by the disease. Regarding Fusarium head blight and helminthosporiasis, T0 had the highest incidence and severity rates compared to the three fertilizer treatments, and T2 had the lowest rates. The phytosanitary effect of the types of manure on parasitic diseases of fungal origin has revealed that compost has phytosanitary virtues capable of reducing the attack and the spread of *Helminthosporim turcicum* detected in fields. On the other hand, treatments based on coffee grounds and NPK mineral fertilizer (20-10-10) have an ephemeral effect on these diseases. The positive effect of compost would result in the presence within it of active microorganisms which would act either by entering into competition (living space, water, nutrients) with the pathogenic agent, or by secreting harmful substances (toxins) for their survival which would have contributed to decrease the activity of the pathogen.

The in vitro study showed that the aqueous extract (sterilized or unsterilized) of the compost inhibited the radial growth of *Helminthosporim turcicum* and significantly delayed its development in culture medium. This aqueous compost extract is said to contain microorganisms responsible for the production of suppressants capable of inhibiting the mycelial growth mechanisms of *Helminthosporium turcicum.*

In view of the results obtained, household waste compost is the most economically viable treatment due to the low operating costs and higher returns on investment and, therefore, it can be recommended to farmers as bio-fertilization with virtues phytosanitary capable of increasing the yield of corn with the assurance of economic profitability.

Key words: economic analysis, compost, fertilizer, soil fertility, maize, coffee grounds.

INTRODUCTION

CONTEXTE

La population mondiale actuelle est estimée à 7 milliards et pourra atteindre 9 milliards d'habitants d'ici 2050 (Anonyme, 2004). Au cours des 30 dernières années, la population africaine a doublé et celle des villes a triplé, elle compte 900 millions d'habitants et est estimée à deux milliards en 2050 (Anonyme, 2012). Au Cameroun, avec un taux annuel moyen de croissance démographique évalué à 2,6%, sa population avoisinera 48.361.937 millions d'habitants en 2050 (Anonyme, 2016). Il se dégage deux constats de cette croissance démographique en Afrique :

(i) La production de nourriture devra doubler pour assurer les besoins alimentaires de cette population étant donné que le Produit Intérieur Brut (PIB) agricole par agriculteur reste très faible pour l'Afrique, moins de 1% (Temple *et al*., 2011) et l'Afrique ne peut nourrir actuellement que moins de la moitié de sa population (Touzard ; 2012). Useni *et al.* (2012) présentent une situation inquiétante en République Démocratique du Congo (RDC). Ils soulignent que la production alimentaire locale au Katanga particulièrement le maïs (*Zea mays L*.), la principale culture vivrière est faible et entièrement insuffisante. Cette production a été évaluée à 272 913 tonnes par an alors que les besoins réels ont été estimés à plus de 422 669 tonnes de maïs par an. En 2016 au Cameroun, le secrétariat technique du comité de compétitivité au Ministère de l'Economie, de la planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT) souligne que « la production nationale de maïs s'élevait à 1 029 000 tonnes, pour une demande estimée à 1 106 000 tonnes. Le gap entre l'offre et la demande en maïs au Cameroun est permanent, au point où le pays importe chaque année 20 000 tonnes de cette céréale».

(ii) La production de déchets et d'effluents quadruplera dans les villes africaines (Nginkam, 2016). Au Cameroun par exemple, l'insalubrité a atteint un niveau inquiétant, les statistiques montrent que la production des ordures ménagères a doublé ces dernières décennies dans les villes de Douala (capitale économique) et Yaoundé (capitale politique) qui abritent à elles seules 27 % de la population camerounaise, soit environ 6.500.000 habitants (Anonyme, 2016). Bien que le tonnage des déchets produits par chaque ville ne soit pas connu avec précision, le rapport d'activités annuelles de 2012 de la Société d'Hygiène et Salubrité du Cameroun estimait déjà à 2600 tonnes, la capacité de production journalière de déchets pour la ville de Douala et à 2200 tonne pour la ville de Yaoundé. Ces déchets contiennent plus de 70 % de fraction organique biodégradable (Anonyme, 2012). Cette fraction constitue une source importante de matière organique pour la production de

composts et leur valorisation en agriculture lorsque le système de collecte et de séparation des déchets solides ménagers à la source est organisé et mis en place.

PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

L'explosion démographique mentionnée plus haut associée à l'urbanisation rapide et anarchique en Afrique subsaharienne, contraint ses populations à vivre dans un environnement hautement menacé par la pollution (Useni *et al.*, 2012 ; Anonyme, 2016). La plus grande partie de cette menace de pollution qui conduit aux taux élevés de maladies et de décès est due à une inadaptation voire une absence des méthodes de gestion des déchets (Mulaji, 2011). Pour la très grande majorité des collectivités territoriales, la gestion durable des déchets reste très préoccupante étant donné que la croissance urbaine se réalise à une vitesse telle qu'elle dépasse souvent la capacité des communes à assumer cette situation (Assobhei, 2009). La gestion des déchets représente aujourd'hui un véritable enjeu tant financier, en raison de l'augmentation croissante des coûts relatifs à l'élimination desdits déchets, qu'environnemental, lié d'une part au risque d'insuffisance d'exutoires de traitement à moyen terme et au gaspillage des matières premières. Pour Koledzi (2011), la solution classique couramment utilisée à l'élimination des déchets est leur enfouissement dans des décharges, ce qui crée un nombre incalculable de sites contaminés pour les générations futures, cette pratique doit cesser. Une approche pragmatique, bien que partielle consiste à favoriser le recyclage d'une partie des déchets urbains en agriculture selon des méthodes et des normes acceptables étant donné que plus de la moitié des déchets urbains en Afrique noire sont des composés biodégradables. Ces déchets, après transformation en compost constituent un gisement de matière organique fraîche qui peut être apportée au sol pauvre pour restaurer sa fertilité. Il a été démontré dans plusieurs travaux que le compost produit par la méthode en andain amélioré offre beaucoup d'opportunités en agriculture dans le contexte actuel des villes africaines (Mulaji, 2011).

Cependant, la gestion durable de la fertilité des sols des zones tropicales humides demeure d'actualité, parce que la majorité de la production agricole dans ces sols tropicaux reste encore basée sur le système traditionnel de culture itinérante. Il faut noter qu'au Cameroun comme dans la plupart des pays subsahariens, la plus grande partie des activités agricoles est essentiellement pluviale et tributaire des aléas climatiques (températures élevées et fortes pluviométries) en plus des conditions édaphiques trop souvent défavorables et du processus pédologique naturel qui aboutit souvent à des sols altérés acides, continuellement et intensément lessivés (Kanyankogote *et al.*, 2005 ; Yusuf *et al*., 2019). Actuellement, la gestion de la fertilité s'intègre de plus en plus dans la maîtrise de la fragilité des sols soumis à une forte anthropisation pour répondre aux besoins

alimentaires de la population (Kombele, 2004 ; Ekrem Ozlu *et al.,* 2019). L'augmentation de la pression démographique au Cameroun entraîne donc une intensification des pratiques agricoles et une extension des surfaces cultivées qui s'est traduite dans certaines régions par une réduction du temps de jachères. Cette situation non seulement prédispose le sol à l'érosion, mais entraîne aussi un épuisement rapide de ses éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore (Syamsul Bahri *et al.* 2019 ; Kaho *et al.,* 2007). Sur le plan agricole, les conséquences se traduisent par de faibles rendements pour les principales cultures céréalières. Sur le plan de la qualité du sol, l'intensification des cultures entraîne toujours une baisse du niveau de fertilité du sol; les effets négatifs les plus apparents sont la diminution du taux de matière organique associée à la réduction de la quantité d'azote dans le sol et l'envahissement des terres cultivées par les mauvaises herbes (Ahuja, 2003). La fertilisation minérale conventionnelle est incompatible avec le contexte économique du petit paysan camerounais du fait du prix élevé des engrais minéraux. De plus, les travaux récents ont montré que la productivité des sols sous les tropiques baisse même avec l'utilisation continue des engrais chimiques seuls (Temple *et al.,* 2013 ; Ahuja, 2003). Les engrais organiques notamment le compost, de par ses effets bénéfiques sur les propriétés physico – chimiques et biologiques du sol, et donc sur la croissance des plantes permettraient de compléter le déficit humique du sol (Jama *et al.,* 2000). Aussi, les maladies causées par les microorganismes pathogènes telluriques ou foliaires font des pertes énormes à la production agricole et les techniques phytosanitaires utilisées restent encore peu efficaces. L'utilisation de compost pourrait représenter une solution intéressante dans le domaine de la protection des plantes (Hoitink *et al.,* 1997 ; Wang *et al.,* 2017). La recherche sur la valorisation du compost urbain à base des déchets ménagers pour améliorer la fertilité des sols tropicaux camerounais et leur productivité devient donc une nécessité.

Le problème de cette recherche est donc celui de concilier la protection de l'environnement à travers le compostage des déchets organiques ménagers et le développement de l'agriculture durable. Ce problème de recherche suscite quelques interrogations.

QUESTIONS DE RECHERCHE

La problématique de la recherche posée ci-dessus amène à formuler la question principale de la manière suivante : les fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café présentent-elles de pouvoirs fertilisants et phytosanitaires capables d'améliorer la production du maïs en zone agro-écologique à pluviométrie bimodale ?

Cette question principale de la recherche peut se décliner en quatre questions secondaires suivantes :

- Les types de fumure utilisés présentent-ils de pouvoirs fertilisants capables d'améliorer in situ les paramètres de croissance et de rendement du maïs cultivé dans les sites de Megana et de Nkolfon (Akonolinga, Yaoundé)?
- Les types de fumure utilisés présentent-ils de pouvoirs phytosanitaires capables de réduire in situ les maladies parasitaires du maïs cultivé dans les sites de Megana et de Nkolfon (Akonolinga, Yaoundé)?
- L'extrait aqueux du compost de déchets ménagers dispose-t-il *in vitro* du potentiel fongicide ou fongistatique sur *Helminthosporium turcicum* agent causal d'Helminthosporiose du maïs pris comme champignon modèle ?

Répondre à ces questions, nécessite de fixer les hypothèses de la recherche à confirmer en champs d'expérimentation.

HYPOTHESE PRINCIPALE

La présente étude se construit à partir de l'hypothèse principale selon laquelle les fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café disposeraient de pouvoirs fertilisants et phytosanitaires susceptibles d'améliorer la production du maïs. Cette hypothèse principale de l'étude peut se décliner en quatre hypothèses secondaires suivantes :

- les fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café sont des amendements organiques importants qui disposeraient des pouvoirs fertilisants capables d'améliorer *in situ* les paramètres de croissance et de rendement du maïs ;
- les fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café disposeraient des pouvoirs phytosanitaires capables de réduire *in situ* les maladies parasitaires d'origine fongique du maïs ;
- l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers dispose *in vitro* du potentiel fongicide ou fongistatique sur *Helminthosporium turcicum* agent causal d'Helminthosporiose du maïs pris comme champignon modèle.

A l'issue des hypothèses formulées, le présent travail fixe les objectifs ci-dessous qui vont permettre de les confirmer.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

Objectif général

L'objectif général de ce travail est d'évaluer l'effet fertilisant et phytosanitaire des types de fumure dans l'amélioration de la culture du maïs (*Zea mays L*.) en zone forestière du Cameroun.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce travail consistent à :

- évaluer en champs l'effet fertilisant des types de fumure utilisés sur les paramètres de croissance et de rendement du maïs cultivé dans les sites de Megana (Akonolinga) et de Nkolfon (Yaoundé) ;
- évaluer en champs l'effet phytosanitaire des types de fumure utilisés sur les maladies parasitaires du maïs ;
- déterminer le potentiel inhibiteur *in vitro* de l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers sur le développement d'*Helminthosporium turcicum*, agent causal d'Helminthosporiose du maïs pris comme champignon modèle.

INTERETS DE LA RECHERCHE

Cette recherche présente un double intérêt :

- Intérêt scientifique : La réalisation de cette étude permettra de faire avancer la science dans le domaine de la gestion de l'environnement, de l'agronomie et de la production végétale. La recherche met l'accent sur des pratiques innovantes de la valorisation des déchets organiques permettant d'assainir le milieu urbain et par ricochet la lutte contre la pollution environnementale. En outre, la recherche va accroître la production agricole en mettant sur pied des ingrédients de poids pour l'amélioration de la fertilité du sol et la réduction des problèmes phytosanitaires.

– Intérêt socio-économique : Les informations de cette étude apporteront non seulement une démarche précise sur les caractéristiques physiques des déchets ménagers à utiliser afin de mieux maîtriser la technique de compostage en andain amélioré pour créer des micros, petites et moyennes entreprises du recyclage des déchets organiques (unités industrielles du compostage). Aussi, la recherche fournira aux micros, petites et moyennes industries des bioprocédés de fabrication des fertilisants organiques à vertus phytosanitaires pour le contrôle des plantes contre les maladies. La chaîne de valeurs du recyclage des déchets organiques étudiée accompagnera le développement socio-économique du Cameroun et favorisera l'employabilité des jeunes et l'éclosion des jeunes entrepreneurs de l'économie circulaire.

CHAPITRE 1. REVUE DE LA LITTERATURE

1.1. GENERALITES SUR LE MAÏS

De son nom scientifique *Zea mays,* appartenant à la famille des Poacées, le maïs est une céréale cultivée dans diverses zones agro-écologiques, seul ou en association avec la plupart des cultures (Abraao, 1994). Dans plusieurs pays, le maïs constitue l'aliment de base de nombreuses populations (Dongmo *et al.,* 2009). Dans l'alimentation humaine, le grain de maïs est utilisé sous plusieurs formes (cuit, grillé, en salade, en soupe, etc.). On peut aussi le transformer pour obtenir une gamme variée de produits comme des farines et semoules de maïs (Fusillier, 1993). Il intervient également dans l'alimentation animale (volailles, porcs, bovins) en grains, en provende ou comme fourrage. Il sert aussi de matière première dans certaines industries (agroalimentaire, textile, pharmaceutique, etc.), pour la création de plastiques biodégradables, de biocarburants et même de l'alcool (Ali-Olubandwa *et al.,* 2010).

Avec une production moyenne annuelle d'environ 817 millions de tonnes en 2009, le maïs est la céréale la plus cultivée au monde devant le blé dont la production est estimée à 681 millions de tonnes par an et le riz avec 678 millions de tonnes de production annuelle (Fofiri *et al.,* 2010 ; Nripendra Pratap Singh *et al*., 2018).

1.1.1. Origine et répartition géographique de la plante

Le maïs (*Zea. mays* L.) est une plante annuelle monoïque de taille moyenne (1 à 4 m), originaire du Mexique (Anonyme, 1991). Son histoire commence il y a 6000 à 9000 ans, dans la vallée du sud du Mexique (Rio Balsas), où les habitants ont domestiqué une plante fourragère considéré aujourd'hui comme ancêtre du maïs: la téosinte (*Z. Mexicana*). La téosinte est une forme sauvage du genre Zea présente de nos jours au Mexique et au Guatemala (Marchand *et al.,* 1997). Au cours de sa domestication à partir du téosinte, le maïs a gagné de nombreux attributs importants sur le plan agronomique, mais il a perdu la capacité de survivre à l'état sauvage. Sa domestication est telle que les grains ne peuvent tomber de l'épi et se disséminer sans l'intervention de l'homme (Gay, 1984). La culture du maïs a été introduite en Europe au XV^{ème} siècle, précisément au Portugal, en France et en Italie. Elle ne parviendra en Afrique qu'au XVI^{ème} siècle et restera limitée aux régions méridionales (Rouanet, 1984). Ce n'est que plus tard et grâce aux portugais qu'elle atteindra la région centrale de l'Afrique où elle sera introduite au Cameroun par la suite (Ekobo, 2006). Aujourd'hui cultivé de façon cosmopolite, le maïs est le symbole de l'agriculture intensive, car l'homme intervient activement dans la longue chaîne de production du maïs et dans l'amélioration constante de la plante ceci grâce à l'avènement des semences hybrides dans la première moitié du XX^{e} siècle, puis des semences transgéniques tout récemment ce qui confère au

maïs le rang de première céréale mondiale devant le riz et le blé (Maryse, 2005 ; Nripendra Pratap Singh *et al.,* 2018).

1.1.2. Systématique du maïs

Le maïs de son nom scientifique *Zea mays* sub sp *mays*, est une céréale appartenant au règne végétal, au sous règne des Tracheobiontes, à la division des Magneliophyta, à l'embranchement des Phanérogames spermaphytes, à la super classe des Angiospermes, à la classe des Monocotylédones, à la sous classe des Commelinadeae, à l'ordre des Poales, à la familles des Poaceae, à la sous-famille des Panicoideae, à la tribu des Maydeae, au genre Zea et à l'épithète spécifique mays (Gaussen *et al.,* 1982). Le nom binomial lui a été attribué par Linné en 1753 qui créa un nouveau genre pour cette plante très différente des autres graminées. Le nom générique, *Zea*, vient d'un nom grec, *zeia*, qui désignait dans l'Antiquité une sorte de blé, probablement l'amidonnier. Toutes les espèces et sous-espèces du genre *Zea* ont le même nombre de chromosomes (2n=20) sauf *Zea perennis* qui est tétraploïde (2n=40).

1.1.3. Anatomie du maïs

Le maïs est une plante herbacée annuelle de 40 cm pouvant atteindre 5 m de hauteur. De nombreuses variétés existent selon les différentes caractéristiques, mais celles couramment cultivées ont une taille variable d'1 à 3 m de hauteur (Picard, 1991).

1.1.3.1. Racines

Les racines, du type fasciculé, sont superficielles et ne dépassent pas 50 cm de profondeur. Des racines adventives aériennes ou crampons se forment sur les nœuds de la base des tiges.

1.1.3.2. Tige

La tige est longue d'1,5 à 3,5 m de hauteur et d'un diamètre important, variant de 5 à 6 cm. Elle est lignifiée, remplie d'une moelle sucrée, formée de nœuds et d'entre-nœuds (d'une vingtaine de cm chacune). Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille de façon alternative sur la tige.

1.1.3.3. Feuilles

Elles sont de grande taille (jusqu'à 10 cm de large et 1 m de long) et engainantes (qui collent à la tige par sa base) avec un limbe plat allongé en forme de ruban à nervures parallèles. Entre le limbe et la gaine, on distingue une petite ligule (Fig. 1).

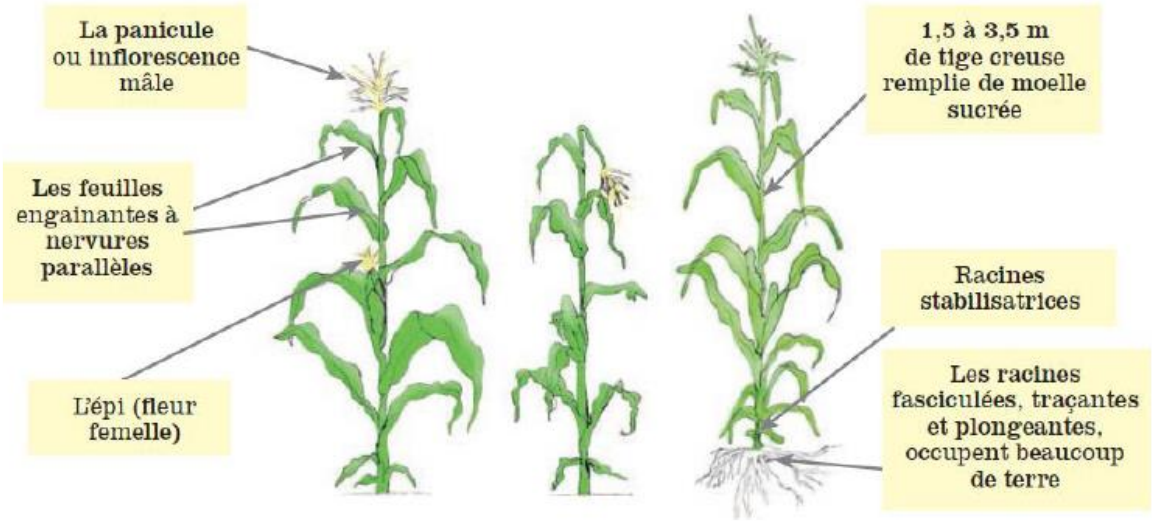


Fig. 1. Présentation des caractéristiques morphologiques du maïs (Maybelline & Abdou, 2012).

1.1.3.4. Inflorescences et fleurs

On trouve sur un même pied, une inflorescence mâle et des inflorescences femelles séparées.

• L'inflorescence mâle est une panicule terminale composée d'épillets contenant chacun deux fleurs mâles. Les fleurs mâles sont composées de glumes et glumelles entourant trois étamines.

• Une à quatre inflorescences femelles sur chaque pied. Elles sont situées sur l'aisselle des plus grandes feuilles au milieu de la tige. Ce sont des épis enveloppés dans des feuilles modifiées appelées « spathes » qui se dessèchent à maturité. Chaque épi est constitué par un « rafle » sur lequel sont insérés en rangées verticales des centaines d'épillets à deux fleurs femelles dont une seule est fertile. Au moment de la fécondation, les styles des fleurs sortent à l'extrémité supérieure des épis sous forme de stigmates filiformes (partie supérieure du pistil en forme de fil) ou de soies vertes ou rosées. Les fleurs femelles possèdent chacune un ovaire surmonté d'un style très long. Les fleurs mâles fleurissent avant les fleurs femelles. La fécondation est donc croisée.

1.1.3.5. Epis

Un pied donne naissance à trois ou quatre épis, mais un seul atteint généralement son développement complet. Selon les variétés, les grains sont disposés en 8 à 20 rangées verticales le long de l'axe de l'épi, appelé rafle. Ils ont des formes multiples (globulaire, ovoïde, prismatique, etc.), et de différentes couleurs (blanc, jaune roux, doré, violet, noir). Ils sont parfois lisses ou ridés. Un épi peut contenir environ 500 à 1 000 grains avec un poids moyen de 150 g à 330 g à maturité. Chaque grain est composé d'un germe (embryon + cotylédon), d'un albumen et d'un péricarpe qui est une enveloppe extérieure dure qui empêche l'entrée de champignons et de bactéries.

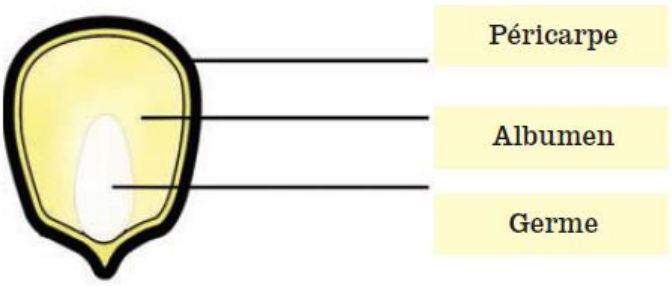


Fig. 2. Présentation de la graine du maïs (Ngo-Samnick, 2012).

Les réserves énergétiques représentent 80 à 84 % du poids total du grain frais. Composées de fécules (90 %) et de protéines (7 %), accompagnées par des huiles, des minéraux et d'autres composés, elles fournissent de l'énergie à la plante au cours de son développement. Le germe à l'extrémité inférieure du grain occupe 9,5 à 12 % du volume total de la graine. Dans l'huile de la graine mature, le germe contient un pourcentage élevé de 35 à 40 % (Tableau I).

Tableau I. Composition chimique des principales parties des grains de maïs (Ngo-Samnick, 2012).

parties des grains de maïs / Composition chimique	Péricarpe (%)	Albumen (%)	Germe (%)
Protéines	3,7	8,0	18,4
Extrait à l'éther	1,0	0,8	33,2
Fibres brutes	86,7	2,7	8,8
Cendres	0,8	0,3	10,5
Amidon	7,3	87,6	8,3
Sucre	0,34	0,62	10,8

La composition chimique du grain de maïs et sa valeur nutritive lui confèrent une bonne position parmi les céréales entrant dans la catégorie « agroalimentaire ».

1.1.4. Biologie, croissance et mode de reproduction du maïs

1.1.4.1. Biologie

Comme la plupart des poacées tropicales (sorgho et la canne à sucre par exemple), le maïs présente un métabolisme photosynthétique de «type C4», qui confère à la plante une efficience

photosynthétique supérieure à celle des plantes de «type C3». Selon diverses études le rendement de la photosynthèse (c'est-à-dire de la transformation de l'énergie lumineuse en matière organique) chez le maïs est de l'ordre de 5 à 6 % dans les meilleures conditions expérimentales. (Gay, 1984; Gallais, 1989). Entant que plante herbacée annuelle et diploïde (2n=20 chromosomes), le maïs à un grand développement végétatif pouvant atteindre une hauteur d'environ 1-4 m (Moule, 1971). La tige est longue de 0,5 à 3,5 m environ et le diamètre important, variant de 3 à 6 cm, elle est lignifiée et remplie d'une moelle sucrée, formée de nœuds et d'entre-nœuds (d'une vingtaine de cm chacune). Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille de façon alternative sur la tige. Les feuilles sont de grande taille (jusqu'à 10 cm de large et 1 m de long) et engainantes (qui collent à la tige par sa base) avec un limbe plat allongé en forme de ruban à nervures parallèles. Entre le limbe et la gaine, on distingue une petite ligule. Les racines, du type fasciculées, sont superficielles et ne dépassent pas 50 cm de profondeur. Des racines adventives aériennes ou crampons se forment sur les nœuds de la base des tiges. Les fleurs, autre caractéristique qui distingue le maïs des autres graminées, sont unisexuées et regroupées en inflorescences mâles et femelles composées d'épillets de deux fleurs. Les fleurs femelles sont groupées en épis insérés à l'aisselle des feuilles médianes (les plus grandes). L'axe de l'épi, appelé rafle, porte 10 à 20 rangées de fleurs femelles. L'épi est entouré de feuilles modifiées ; les spathes, qui laissent dépasser les stigmates filiformes ou soies et qui se dessèchent en maturité. Les fleurs mâles quant à elles sont groupées dans une panicule terminale qui apparaît après la dernière feuille. Cette panicule est constituée d'épillets regroupant chacune deux fleurs à trois (Maybelline& Abdou, 2012).

1.1.4.2. Croissance

Le cycle germinatif du maïs dure de 90 à 180 jours suivant la variété et les lieux de la culture. Le maïs passe par les phases de germination, de croissance, de floraison et de fécondation. Il peut atteindre sa maturité entre 90 et 130 jours environ après l'émergence de la plante lorsque celle-ci est cultivée sous les tropiques, à une altitude située entre 0 et 1 000 m. À des altitudes supérieures, il peut mettre 200 à 300 jours pour atteindre sa maturité. A une même altitude et aux températures identiques, certaines variétés atteindront leur maturité beaucoup plus tôt que d'autres à cause de leur précocité (Mathieu, 1996). La principale différence entre une variété précoce (90 jours) et une variété tardive (130 jours) est la période de temps séparant l'émergence de la plante et la formation des aigrettes (période végétative). Ce stade peut varier de 40 à 70 jours. La période reproductive (de l'apparition des aigrettes matures) pour les deux espèces est relativement similaire et varie de 50 à 58 jours environ (Moule, 1971). La formation des fleurs se produit environ 40 à 70 jours après l'émergence de la plante pour les variétés de 90 à 130 jours. La fleur émerge du verticille des

feuilles 1 ou 2 jours avant qu'elle ne commence à perdre le pollen. La perte de pollen commence 2 à 3 jours avant que la soie n'émerge de l'extrémité de l'épi et continue pendant 5 à 8 jours.

La plupart des épis de maïs ont 14 à 20 rangées comportant 40 ovules ou plus par rangée et produisent environ 400 à 1000 grains (Moule, 1971; Poethman, 1983). Toute pénurie d'eau, d'éléments nutritifs ou de rayonnement solaire excessif au cours des premières semaines du développement des grains affectera ceux situés à l'extrémité de l'épi, en les recroquevillant ou en les avortant. Le maïs est très sensible au stress (contrainte) d'humidité (pénurie d'eau) à ce stade de formation des épis, puisqu'il nécessite des quantités importants en eau (jusqu'à 10 mm par jour dans des conditions très chaudes et sèches) (Girardin, 1999 ; Habtamu Yigermal *et al.,* 2019).

1.1.4.3. Mode de reproduction

La phase de reproduction chez le maïs correspond à la formation et au développement des organes reproducteurs. L'épi commence à se développer un mois avant la floraison. Le nombre de rangs de grains portés par l'épi est déjà déterminé à cette date. La panicule se développe dès la fin de la phase végétative. La formation du pollen débute 2 à 3 semaines avant la floraison. Le maïs valorise très bien l'irrigation, en particulier pendant la formation des organes reproducteurs et au moment de la floraison ainsi que lors du développement du grain. Une irrigation bien menée améliore la quantité des grains et leur remplissage. Généralement, les anthères du maïs sont mûres de 2 à 4 jours avant que les styles (soies) ne deviennent réceptifs: le maïs est dit protandre. Du fait de la monœcie et du décalage dans le temps de la maturité mâle et femelle, la fécondation croisée est favorisée. Le maïs est donc naturellement une espèce allogame. Il est auto-fertile mais avec une forte dépression de consanguinité. Le maïs maintenu en populations isolées (sans contrôle de la pollinisation) est formé d'individus hétérozygotes mais proches les uns des autres pour un certain nombre de caractères. Les caractéristiques globales de ces populations (ou "variétés de pays") se maintiennent assez bien au cours des générations successives (Marchand *et al.,* 1997, Auwal Tukur *et al.,* 2017).

1.1.5. Physiologie, développement et résistance naturelle

La germination est déclenchée par l'imbibition du grain et par le développement de la radicule puis des racines séminales secondaires qui apparaissent au niveau du nœud scutellaire. À l'autre extrémité de l'embryon, la gemmule se développe sous forme de coléoptile qui pousse vers le haut et forme un plateau de tallage. À ce niveau se forment une première série de racines

adventives, et parfois des tiges secondaires, puis le coléoptile perce le sol et s'ouvre en libérant les premières feuilles. À partir de ce stade, le jeune plant de maïs devient progressivement autotrophe.

Fig. 3. Stade de germination du grain de maïs (Ngo-Samnick, 2012).

Légende : 1= Graine sèche qui gonfle sous l'humidité ; 2 = Radicule qui sort de la graine (2 à 3jours) ; 3 = Coléoptile qui sort de la graine (3 à 4jours) 4 = Levée (4 à 8 jours)

En effet, les jeunes plants de maïs accumulent une substance particulière, l'acide hydroxamique, qui crée une résistance naturelle contre toute une série d'ennemis de la plante : insectes, champignons et bactéries pathogènes. Lorsque le maïs est attaqué par des larves phytophages comme la chenille de la pyrale, il émet des molécules volatiles qui attirent des insectes parasitoïdes prédateurs du ravageur, tels les trichogrammes dont la femelle pond dans les œufs de la pyrale. Ceux-ci sont détruits et n'éclosent pas. Les dégâts sur le maïs peuvent être ainsi évités sans avoir recours à des produits chimiques ou à du maïs génétiquement modifié (Ngo-Samnick, 2012).

1.2. MAÏSICULTURE AU CAMEROUN

Le maïs est une culture importante en ce sens qu'il est la première des céréales cultivées et consommées au Cameroun, loin devant le riz, le blé et le sorgho. Deux camerounais sur trois consomment le maïs, soit environ 12 millions de personnes (Anonyme, 2008 ; Anonyme, 2016). La production de maïs au Cameroun est surtout concentrée dans les Régions de l'Ouest, du Nord-Ouest, de l'Adamaoua, du Nord et du littoral. Le maïs est la principale source de revenu pour plus de trois millions de petits producteurs dans ces Régions. Dans les villages de l'Ouest et du nord-ouest par exemple, il est notoire que c'est avec les ventes échelonnées de seaux de maïs que les mères résolvent les problèmes scolaires et médicaux des enfants tout le long de l'année (Anonyme, 2012a). Cette culture se fait essentiellement suivant le système de culture paysanne manuelle associée à d'autres cultures. Près de 95 % du maïs est produit suivant ce système. La production moderne et mécanisée de maïs est le fait d'une unité industrielle Maïscam qui dispose dans l'Adamaoua d'une minoterie (maïserie) intégrée à de vastes plantations productives qui fournissent

à l'unité plus de 12 000 tonnes de maïs par an. La production de maïs est en augmentation ces dernières années. A ce jour elle se situerait autour de 1 029 000 tonnes (Anonyme, 2016).

Le maïs est une culture hautement stratégique au Cameroun, dans la perspective de la sécurité et de la souveraineté alimentaires. Il est la monnaie de réserve des petits producteurs, particulièrement des femmes, qui savent l'utiliser à bon escient. Dans les exploitations familiales le maïs occupe une place centrale et détermine l'agencement des cultures associées. Sur le plan socioéconomique, le marché du maïs se chiffre à environ 25 milliards de FCFA l'an et est source d'emplois pour un nombre de plus en plus élevé de citoyens. Le maïs est le premier ingrédient dans la fabrication d'aliment pour bétails. Il est indispensable en aviculture. Il entre à 65% dans la fabrication de la provende pour volailles, il intervient dans la fabrication de plusieurs breuvages, il a une fonction socioculturelle, lisible dans la place qu'occupe cette denrée dans les cérémonies coutumières de mariage, des funérailles et autres festivités (Ndjouenkeu, 2010).

1.2.1. Agronomie du maïs

1.2.1.1. Préparation des sols

La culture du maïs peut être pluviale ou irriguée (Ngonkeu, 2009). Il est recommandé de semer au début des pluies tout en respectant les dates de semis et les semences doivent être traitées avec un fongicide/insecticide. Pour obtenir une meilleure luminosité, il est nécessaire d'abattre le sous-bois (arbres, branches). De plus, une préparation des sols et des alentours (défrichage, nettoyage, labour) constituent des facteurs qui favorisent l'éloignement des rongeurs, facilitent la germination des graines et l'épanouissement des racines dans le sol. Ainsi, le labour peut se faire à plats (dans ce cas la profondeur du labour sera d'environ 30 cm) ou en formant des billons (hauteur des billons sera d'au moins 30 cm) (Anonyme, 2012b).

1.2.1.2. Semis et germination du maïs

1.2.1.2.1. Semis du maïs

1.2.1.2.1.1. Date de semis

Au Cameroun, les dates de semis sont reparties comme suit. En régions forestières l'on peut faire deux cycles culturaux (ou campagnes) par an. Une première campagne se déroulant entre le 15 mars et le 15 avril, et une seconde entre le 10 et le 30 Août. En régions sahéliennes, le semis se fait en début juin. En zone des hautes terres de l'Ouest, la date de semis se situe entre le 15 mars et le 15 avril. (Anonyme, 2012b).

1.2.1.2.1.2. Densité de semis

La densité des semis est fonction du type de culture (monoculture ou de polyculture). Si l'on adopte la culture pure, il est préférable de semer le maïs en ligne ; la distance entre deux lignes consécutives peut varier entre 75 cm et 100 cm ; La densité de semis est comprise entre 40 000 et 60 000 plantes à l'hectare, prévoir 20 à 25 kg de semence et semer 2 à 3 graines par poquets à une profondeur d'environ 3 à 4 cm tout en respectant les écartements : 0,80 m x 0,50 m ou 0,75 m x 0,50 m. Si le maïs est associé au manioc par exemple, la distance entre deux lignes de manioc peut être de 100 cm et la distance entre deux plants de manioc sur la même ligne peut aussi être de 100 cm. Entre deux lignes de manioc, on peut semer une ligne de maïs espacé de 50 cm. Si le maïs est associé aux arachides, la distance entre deux lignes de maïs peut être de 200 cm et la distance entre deux plants sur la même ligne, de 50 cm. Les lignes d'arachides peuvent être espacées entre celles du maïs à 50 cm les unes des autres et à 10 cm sur la ligne. (Westphal *et al*., 1985 ; Law-Ogbomo *et al.*, 2017).

1.2.1.2.1.3. Technique de semis

Après avoir labouré à plat le terrain, mettre les petits jalons d'environ 30 cm de hauteur à chaque bout du champ et dans le sens de la longueur (c'est le piquetage). Si le champ est très vaste, on peut adopter une longueur de ligne de semis de 50 m, ceci dans le but de faciliter les travaux. Ainsi, un hectare de terrain aura deux bandes, chaque bande comportera environ 112 lignes de 50 m de long (si on retient les écartements de 0,9m x 0, 4m). Prendre soin d'aligner les trois premiers piquets ou jalons ABC appelés piquets de référence. Tirer une corde du jalon A au Jalon B et une deuxième corde du jalon B au jalon C. Semer ensuite dans le sens de la corde bien étirée. Cette technique peut aussi être appliqué avec le labour en billons si les dimensions prises sont les mêmes que celles du labour à plat (Anonyme, 2012b). Notons qu'il est parfois recommandé de traiter les semences avec un fongicide/insecticide pour les préserver contre les maladies et les attaques d'insectes terricoles, des ravageurs (rats) et des prédateurs (corbeaux) afin d'obtenir une bonne levée et une densité optimale (Maybelline & Abdou, 2012).

1.2.1.2.2. Germination du maïs

Durant cette phase, la graine gonfle sous l'influence de l'humidité. 2 à 3 jours après le semis apparaît la radicule. 3 à 4 jours après le semis apparaît la tigelle. La levée doit être générale 8 à 10 jours après le semis (Westphal *et al.*, 1985).

1.2.1.3. Entretien

Pour mieux entretenir une culture il est conseillé de faire un démariage 15 jours (au stade de 3 à 4 feuilles) après la germination en éliminant des plants de trop et les moins vigoureux de façon à obtenir une densité régulière (1 à 2 plants par poquet après démariage) (Maybelline & Abdou, 2012). Un champ de maïs non désherbé est la proie aux attaques des insectes et autres maladies, ou le refuge aux autres prédateurs et rongeurs. Il est donc indispensable de désherber, mais surtout, de le faire à temps. En ce qui concerne le maïs, que l'on soit en zone forestière ou des hautes terres, deux à trois désherbage sont conseillé. Le premier se situe entre la troisième et la quatrième semaine après les semis, le principe étant de ne jamais laisser les mauvaises herbes étouffer ou retarder le bon développement des plantes cultivées. Un second quelque jours avant la floraison (60 à 70 jours après semis) ceci en fonction de l'enherbement. Au cas où l'on se propose d'utiliser l'herbicide, l'épandage de cet herbicide pourra se faire avant ou après le semis. Mais s'il est fait après le semis, il doit être fait avant que le maïs ne germe. Etant donné que les herbicides coûtent cher et surtout, leur utilisation est très délicate et même dangereuse, le désherbage mécanique, c'est-à-dire à la houe est conseillé aux producteurs locaux (Ristanovic, 2001, Ngatsi, 2014).

1.2.1.4. Fertilisation du maïs avec des principaux éléments nutritifs majeurs

Le maïs est une plante exigeante et très sensible aux variations de la fertilité des sols. Pour sa croissance et son développement, il a besoin et en quantité raisonnable des éléments nutritifs majeurs tels que : l'azote (N) qui assure le développement végétatif et la formation de graines, le phosphore (P) celui des racines et aussi des graines et le potassium (K) qui contribue à favoriser la floraison, le développement des épis mais aussi confère à la plante une résistance à la sècheresse et aux maladies. Et des éléments nutritif secondaires ou oligo-éléments à savoir : (Bore (B), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Molybdène (Mo), fer (Fe) etc.) qui sont apportés en très faible quantité et jouent aussi un rôle dans le développement de la plante (Bouharmont, 1998 ; Izhar *et al.,* 2019). Ces différents éléments nutritifs peuvent provenir soit du sol (fertilisation naturelle) mais généralement en très faible quantité soit d'un apport extérieur en occurrence par l'homme (fertilisation acquise). En fertilisation acquise, la culture du maïs peut recevoir distinctement trois types de fertilisants : les fertilisants minéraux, organiques, organo-minéraux.

1.2.1.4.1. Exigences du maïs en azote

Pour le maïs *(Zea mays),* un fort rendement est souvent lié à la fumure azotée, mais uniquement si le niveau des autres intrants et la conduite de la culture sont corrects. En effet, la meilleure réponse à la fertilisation azotée, n'est obtenue que si la couverture des besoins en eau permet une

pleine croissance de la culture. Dans de bonnes conditions cette réponse peut dépasser 30kg de grains pour chaque kilo d'azote apporté (Anonyme, 1987 ; Syamsul Bahri *et al.*, 2019).

Gros (1976) évalue les besoins en azote du maïs à 50kg/ha pour des variétés non améliorés et une pluviométrie incertaine. Ces besoins s'élèvent avec le potentiel de rendement jusqu'à 250 ou 300kg/ha si l'on veut s'attendre à des rendements de 12t/ha ou plus (Kaho *et al.*, 2011, Habtamu Yigermal *et al.*, 2019).

L'absorption de l'azote par le maïs est lente en début de croissance, mais s'accélère rapidement pour atteindre un maximum à l'apparition des fleurs mâles, l'absorption pouvant alors dépasser 4 kg/ha/jour (Anonyme, 1987). Il est donc préférable de planifier la fumure azotée selon ce rythme pour éviter les pertes par volatilisation ou par lessivage, et faire en sorte que l'azote soit présent en abondance au moment où les besoins de la culture sont forts. La carence en azote se traduit sur le maïs par un port rabougri et un faible développement des plantes. On note une perte de couleurs (symptômes communs à toutes les carences) et un jaunissement des feuilles du sommet à la base (chlorose de l'apex). Les vielles feuilles brunissent, et on observe une sénescence prématurée des feuilles les plus basses (confondu souvent avec un manque d'eau) alors que celles se trouvant en haut de la plante restent vertes. En cas de carence aiguë, la floraison est fortement réduite (Habtamu Yigermal *et al.*, 2019).

1.2.1.4.2. Exigences du maïs en phosphore

Le plein effet des engrais azotés et des autres intrants ne peut être obtenu sans la présence de phosphore en quantité convenable. Les doses à apporter varient, selon la teneur en phosphore du sol et le niveau de récolte escompté, dans une fourchette de 30 à 100kg/ha. Si l'objectif principal est le maintien de la teneur en phosphore du sol, il faut noter que le maïs prélève environ 8kg de P_20_5/tonne de grains (Anonyme, 1987 ; Zaheer Ahmad *et al.*, 2020). Faibles en début de végétation, les besoins en phosphore du maïs tout comme pour l'azote se manifestent surtout au moment de la floraison et de la formation des grains. Au cours de cette période critique la plante absorbe les 2/3 de ses besoins en phosphore (Gros, 1976 ; Wiklund Jonna, 2017).

La carence en phosphore se manifeste sur le maïs par le ralentissement de la croissance de la plante. Les feuilles âgées sont d'une couleur foncée, vert-bleu caractéristique. La croissance radiculaire est réduite. Dans les cas graves, les feuilles deviennent pourpres (étiolement). On a un retard de la maturité, une mauvaise formation des graines ou leur absence totale (Law-Ogbomo *et al.*, 2017).

1.2.1.4.3. Exigence du maïs en Potassium

Le maïs absorbe de grandes quantités de potassium dont seulement une faible proportion, environ 5 kg/tonne de grains, est exportée par la récolte. Bien que le maïs puisse, dans la plupart des cas, tirer du sol des quantités de potassium appréciable, il importe de s'assurer que les disponibilités totales sont suffisantes. La fumure potassique est d'autant plus nécessaire si l'on force sur la fumure azotée en tablant sur des rendements élevés. Les doses doivent être de 30 à 100 kg/ha de K_20, en fonction de l'analyse du sol et du rendement attendu (Anonyme, 1987).

L'absorption du potassium est régulièrement repartie sur toute la période de croissance végétative (Izhar Ali *et al.,* 2019). La carence en potassium se manifeste sur le maïs par un ralentissement de la croissance de la plante. Les plantes sont chétives et les feuilles montrent une altération de couleur sur les bords suivie de brûlures et de brunissement des extrémités des feuilles les plus âgées. Il y a verse des plantes et les graines sont ratatinées (Anonyme, 1987 ; Izhar Ali *et al.,* 2019).

1.2.1.5. Fertilisants minéraux

Les fertilisants minéraux sont constitués en majorité des engrais chimiques (synthétisés), dotés d'éléments minéraux directement assimilables par la plante. Ils présentent des avantages et divers inconvénients (parfois peu disponible pour la plante car facilement lessivés, destructions de la microflore du sol qui jouent un grand rôle pour la croissance, le développement et parfois l'état sanitaire de la plante, utile à cours terme, très coûteux etc.), sans oublier leur impact majeur sur l'environnement et la santé humaine (Anonyme, 2014 ; Baghdadi Ali *et al.,* 2018).

1.2.1.6. Fertilisants organiques

Le maïs valorise bien les fertilisations organiques car sa période de végétation correspond à la période de minéralisation (si l'eau n'est pas limitant). Les fertilisants organiques (fumier, compost, tourbe, engrais vert, etc.) sont obtenus à partir de produits ou sous-produits d'origine animale ou végétale (Daujat *et al.,* 2015). Les doses appliquées en champ varient de 10 à 25 tonnes par hectare, ceci en fonction de la teneur en éléments fertilisants et en matière organique du type de fertilisant organique utilisé mais aussi en fonction de la composition chimique du sol et des besoins nutritifs de la plante (Anonyme, 2010). En plus de leurs apports en éléments nutritifs pour la plante, les fertilisants organiques jouent un rôle d'amendement au sol car améliorent ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Le rapport C/N est un indice important pour l'efficience agronomique d'un fertilisant organique (Baghdadi Ali *et al.,* 2018).

Ce rapport permet d'évaluer le potentiel et le temps de décomposition des fertilisants organiques pour la mise en disposition des éléments nutritifs (un rapport C/N faible entraine une décomposition rapide de la matière organique) La fertilisation organique est très bénéfique (amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, efficace à long terme, protections de la biodiversité végétale et animale du sol, moins coûteux, etc.). Néanmoins il peut causer des dommages phytosanitaires (par exemple lorsqu'ils sont constituées de microorganismes pathogènes pour la plante ou lorsqu'ils sont apportés en quantité excessive) (Anonyme, 2014 ; Baghdadi Ali *et al.,* 2018).

1.2.1.7. Fertilisants organo-minéreaux

Ils contiennent à la fois des matières organiques d'origine végétale ou animale et des matières fertilisantes minérales. Les fertilisants organo-minéraux azotés apportés à une culture de maïs doivent contenir au minimum 3 % d'azote dont 1% minimum d'origine organique. Les organo-minéraux composés doivent contenir au moins 10% pour la somme des trois éléments fertilisants majeurs (Daujat *et al*., 2015).

1.2.2. Maladies et ravageurs du maïs

Tous les organes d'une plante de maïs sont sujets à des maladies, et par conséquent susceptibles de réduire les rendements. Au Cameroun, les maladies du maïs occasionnent des pertes d'environ 15-50% de la production totale (Nankam, 1990). Les maladies du maïs sont classées en maladies non parasitaires et en maladies parasitaires. Les maladies non parasitaires résultent des conditions climatiques ou édaphiques défavorables, des dégâts chimiques ou mécaniques et des tares génétiques (Chen and Aviad, 1990). Les maladies parasitaires sont causées par les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes, les parasites des végétaux supérieurs, etc. Au Cameroun plusieurs maladies parasitaires ont été recensées parmi lesquelles :

- Des maladies fongiques dont les plus repandues sont : les pourritures de semences avant la germination causée par *Pythium spp.*, l'Helminthosporiose causée *Helminthosporium turcicum,* la pourriture des racines causée par *Pythium graminicola* , la Rouille causée par *Puccina sorghi,* le Charbon causé par *Ustilago maydis,* et la Fusariose des épis causée par différents *Fusarium* tels que *Fusarium graminearum et Fusarium monoliforme,* etc.
- Des maladies bactériennes donc les plus importantes sont les brulures des feuilles, les pourritures bactériennes et surtout les flétrissements en occurrence la maladie de Stewart ou flétrissement bactérien des feuilles causée par *Erwinia stewartii.*

- Des maladies virales dont la plus importante est la Striure virale du maïs, causant des dégâts importants et des chutes de rendement considérable.
- Des lésions racinaires causées par de nombreux nématodes parmi lesquels les nématodes du genre Pratylenches
- Des maladies causées par des parasites des plantes à fleurs exemple du genre Striga causant des pertes atteignant 100%.(Delassus, 1968 ; Autrique, 1981).

1.2.3. Récolte et rendement

1.2.3.1. Récolte

Les épis de maïs sont récoltés frais ou secs selon le goût et les utilisations. La récolte des épis secs se fait lorsque les spathes de l'épi ont jauni et que les feuilles sont en voie de dessèchement, les graines de maïs ne doivent plus pouvoir se rayer aux ongles. La récolte se fait environ 90 jours après le semis pour les variétés précoces et environ 130 jours après le semis pour les variétés tardives (Maybelline & Abdou, 2012 ; Bhatt *et al.*, 2020).

1.2.3.2. Rendement

Le rendement de la culture est fonction du respect des techniques (choix du terrain, labour, date de semis, technique de semis, ….) et de la variété cultivée. Les paysans obtiennent avec des variétés traditionnelles un rendement moyen de l'ordre de 0,8 à 2.5 tonnes par hectare contre 3 à 5 tonnes pour les variétés améliorées (Anonyme, 2012b).

1.3. COMPOSTAGE DES DECHETS

Les Pays en Développement (PED) font face à une urbanisation croissante qui s'accompagne du développement d'une agriculture urbaine et périurbaine. Cette urbanisation entraîne également une production d'importantes quantités de déchets ménagers et industriels. Relativement riches en matières organiques, ces déchets ménagers sont une opportunité pour les agriculteurs pour fertiliser ou améliorer la qualité des sols des parcelles cultivées. Pour cela, il est nécessaire d'améliorer les techniques de compostage des divers substrats organiques pour les sols cultivés, en favorisant la biodisponibilité des nutriments pour la plante cultivée. Une exploitation directe des déchets urbains, sans aucun traitement de stabilisation et d'hygiénisation préalable, existe dans les PED; se pose alors la question de l'impact de ces pratiques sur la qualité des sols et l'environnement dans ces zones périurbaines. Par ailleurs, participant à la valorisation de ces déchets, les techniques de compostage ont été testées et améliorées pour être adaptées aux conditions locales de différents systèmes de production.

Des questions se posent aux responsables locaux en charge de l'élimination des déchets urbains : comment valoriser "naturellement" les matières biodégradables des déchets urbains et ménagers? La logique, coûteuse en termes financiers, environnementaux et sanitaires de la mise en décharge ou l'incinération aurait-elle vécu ? Le développement du compostage, solution "naturelle" de "bon sens", apparaît de plus en plus comme seule voie réelle de valorisation des déchets putrescibles surtout dans les PED (Koledzi, 2011 ; Curea, 2017).

1.3.1. Principe du compostage

Il est difficile de donner une définition précise et rapide du compost car selon le cas, les objectifs et les caractéristiques qui lui sont attribués varient. On peut toutefois retenir que le compost est un produit de stabilisation et de traitement aérobie des déchets organiques putrescibles. Le compostage concerne tous les déchets organiques mais surtout les déchets solides et semi - solides. C'est un processus de transformation de matière organique fraîche en une substance organique humifiée, plus stable, appelée « compost » (Anonyme, 2018).

Le compost est aussi le résultat :

- d'une technique biologique de dégradation de la matière organique qui au terme de son évolution donne des humus, facteurs de stabilité et de fertilité des sols,

- d'une activité microbiologique complexe survenant dans des conditions particulières,

On peut également dire que le compost est un produit organique stable, hygiénique semblable à un terreau, riche en composés humiques et fulviques (Mustin, 1987 ; Anonyme, 2018), ou encore un cas particulier de sol actif très riche en matière organique en évolution et pauvre en éléments minéraux.

En conclusion on peut dire que le compost est le résultat d'un processus de transformation des déchets putrescibles en produit stable et basé sur le principe « aérobie » de la dégradation microbienne (Fig. 4).

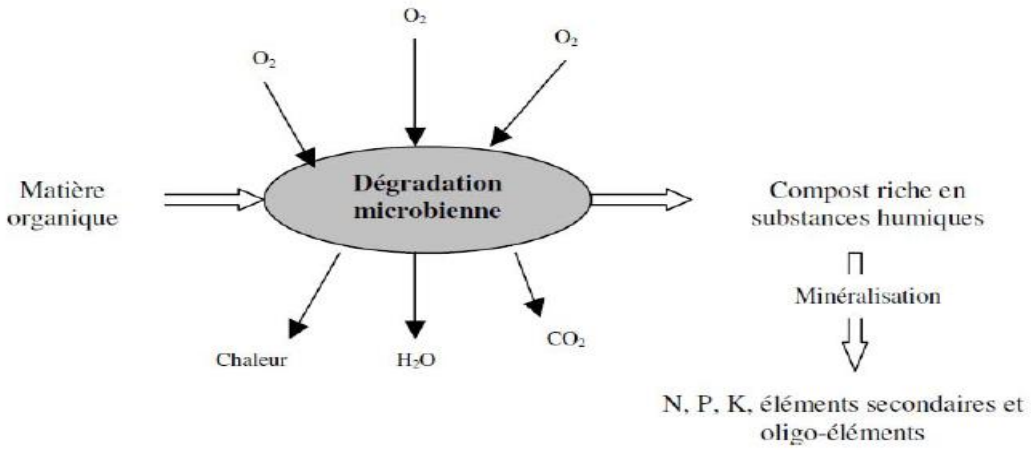


Fig. 4. Schéma simplifié du processus de compostage (Aboulam, 2005).

Le compost produit, assez riche en substances humiques, constitue un excellent produit d'amendement des sols. Il permet à la fois d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et de fournir par voie de minéralisation des éléments nutritifs assimilables par les plantes cultivées (Soudi, 2001 ; Chatham Township, 2019).

1.3.2. Paramètres du compostage

Le phénomène de compostage a lieu spontanément dans le milieu naturel, de façon non optimale, avec une répartition de la chaleur trop hétérogène. Pour en faire un procédé technologique, il est donc nécessaire de connaître parfaitement les différents paramètres physico-chimiques et biologiques qui interviennent pour la production d'un compost de qualité.

Les différentes techniques de compostage permettent d'améliorer et d'accélérer le processus de dégradation naturelle des matières putrescibles. Pour ce faire, on cherche à "doper" l'activité des micro-organismes en optimisant l'offre en substances nutritives et en régulant les conditions de pH, de température, d'humidité et d'aération.

1.3.2.1. Micro-organismes

Bien que le compostage soit un « art » très ancien et couramment utilisé, ce procédé est l'une des biotechnologies les plus complexes qu'il soit, en raison des changements d'états physiques et biologiques innombrables durant le processus. Une bonne compréhension de ces changements exige une étude précise des successions de communautés microbiennes comprenant l'ensemble des micro-organismes présents y compris ceux qui sont en très faible proportion. Selon Haruta *et al*. (2005), la microbiologie du compostage doit être étudiée au travers de divers aspects, comme par exemple, la composition et la succession des communautés pendant le processus, les micros

habitats, ainsi que les fonctions des microorganismes au sein de la communauté. Le compostage est donc un processus aérobie qui requiert la présence de l'oxygène pour favoriser, la décomposition de la matière organique par les micro-organismes en conditions contrôlées (Biey, 2001; Ryckeboer, 2001, Chatham Township, 2019). Il permet la décomposition (dégradation) des matières organiques simples et complexes par une succession écologique des micro-organismes aérobies tels que : les bactéries, les champignons, et protozoaires durant le processus (Leclerc, 2001 a ; Amir, 2005; Anonyme, 2018).

1.3.2.2. Paramètres physico-chimiques et biologiques

Un procédé de compostage optimal correspond à une « fermentation » aérobie réalisée dans les conditions les plus propices au développement de la flore bactérienne. Pour confirmer ces conditions, les principaux paramètres à suivre pendant le procédé sont les suivants :

1.3.2.2.1. pH

Défini comme le Potentiel Hydrogène, c'est une indication chiffrée reliée à la concentration en H_3O+ (noté H^+ pour simplifier) d'une solution aqueuse. En solution diluée, $[H^+] = 10^{-pH}$, c'est à dire pH = -log $[H^+]$, avec $[H^+]$ exprimé en $mol.l^{-1}$. Le pH baisse donc d'une unité lorsque la concentration est multipliée par 10 (un apport d'acide diminue le pH). Le pH des suspensions de solides (déchets en phase de dégradation aérobie, compost mur) varie entre 5 et 8 et peut atteindre 9 (Yu *et al.*, 2009 ; Koledzi, 2011 ; Anonyme, 2018). Une phase acidogène se produit au début du processus de dégradation : production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO_2) par les bactéries acidogènes, décomposeurs du matériel carbone complexe, provoquant ainsi une diminution du pH initial. La seconde phase correspond à une alcalinisation : hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac (NH_3) associée à la dégradation de protéines et à la décomposition d'acides organiques (Haug, 1993 ; Mustin, 1987 ; Wang, 2017). Le pH optimal se situe donc vers la neutralité en fonction de la nature du substrat (Damien, 2004, Anonyme, 2018).

Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique. La première phase acidogène est difficilement observable comme l'indiquent les études de Canet & Pomares (1995) ou celles de Sanchez-Monedero *et al.* (2001). Il existe différentes méthodes de mesure du pH justement parce que l'on ne sait pas mesurer le pH de la solution du sol. Il existe des méthodes normalisées. Quelle que soit la méthode de mesure du pH utilisée (pH eau, pH KCl, pH $CaCl_2$), il s'agit d'une mesure simple, peu onéreuse, robuste et avec de nombreuses références agronomiques.

1.3.2.2.2. Température

Le suivi de la température est une mesure indirecte de l'intensité des dégradations qui ont la particularité d'être exothermiques. Il renseigne également sur la qualité du processus de dégradation (Bustamante *et al.*, 2008 ; Wang, 2017) : un épuisement en oxygène peut ainsi être décelé puis corrigé par des apports complémentaires (retournement). De plus, ce suivi caractérise au début du processus la qualité du mélange. Les variations des montées en température sont fonction de l'aération et de la composition du substrat notamment de la teneur en eau nécessaire au développement des différents microorganismes impliqués. Pour obtenir l'hygiénisation du compost, l'U.S.E.P.A (1994) recommande une température de 55°C au moins pendant 15 jours en compostage à l'air libre. Dans des réacteurs, la température doit dépasser 60°C pendant une semaine (Anonyme, 1998). Les conditions optimales pour une hygiénisation dépendent de la nature du procédé et de la durée de maintien de la température. Stentiford (1996) rapporte qu'une température supérieure à 55°C permet l'hygiénisation, entre 45 et 55°C, elle favorise la biodégradation et entre 35 et 40°C, elle améliore la diversité des micro-organismes. La Fig. 6 montre l'évolution de la température en fonction du pH. Une température voisine de 20°C ou supérieure à 82°C inhibe, voire arrête cette activité microbienne (Liang *et al.*, 2003). Mais même avec une montée en température suffisante, il existe un risque pour le compost de réinfection due à l'action de certains pathogènes en état de latence (Hamer, 2003, Wang, 2017).

La température peut être mesurée *in situ* à l'aide d'un thermomètre électronique de type VT100 équipé d'une sonde de pénétration de type PT100 (Albrecht, 2007).

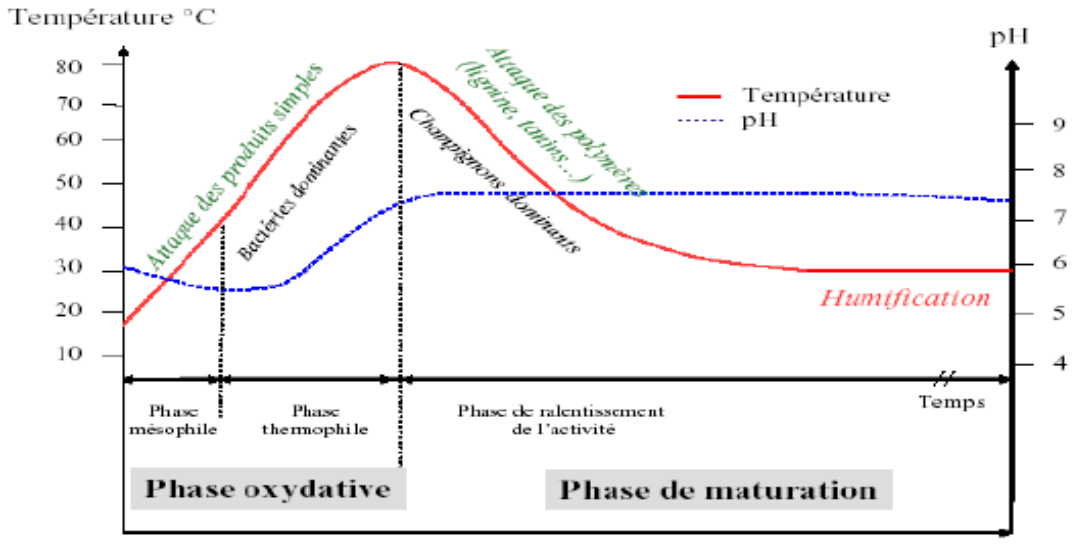


Fig. 5. Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage (Mustin, 1987; Koledzi, 2011).

1.3.2.2.3. Teneur en eau

La teneur en eau ou humidité (H_2O%) du substrat conditionne l'activité des microorganismes. La teneur optimale dépend de la densité du milieu, qui est fonction de l'état physique et de la nature du substrat. Elle est sensible à deux phénomènes ayant des effets complémentaires, d'une part, la dégradation de la matière organique provoquant une libération d'eau et d'autre part, une évaporation de l'eau sous l'effet de l'énergie calorifique libérée par la fermentation.

La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20 %. Au contraire, si elle dépasse 70 %, l'eau commence à remplir les espaces lacunaires des déchets et empêche les échanges d'oxygène, provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose. Selon Mustin (1987), l'optimum de teneur en eau se situe entre 40% et 60 %. En fin de procédé, un produit sec ou presque facilite la finition mécanique du compost en évitant un colmatage des équipements.

Le pH, la température et l'humidité sont des paramètres interdépendants et difficilement dissociables. Les auteurs s'accordent pour donner des valeurs optimales de ces paramètres. Liang *et al.* (2003) étudient plus spécifiquement les effets de deux paramètres, l'humidité et la température de dégradation des biodéchets. L'humidité semble être le paramètre ayant la plus grande influence. Cela suggère un contrôle du procédé par l'humidité et non comme habituellement par la température. D'autres études insistent sur les valeurs de pH et de température au cours du procédé ou sur le compost lui-même (Charnay, 2005 cité dans Koledzi, 2011 ; Bokla Merissa, 2019). Ces paramètres sont optimaux lorsqu'ils permettent une hygiénisation du produit, une vitesse de dégradation rapide et une humidification suffisamment active. Ils sont fonction de la nature du substrat et des conditions particulières de mise en œuvre du procédé.

1.3.2.2.4. Apport d'oxygène

L'oxygène est utilisé par les microorganismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques (Waas *et al.*, 1996). La présence d'oxygène est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. La teneur en oxygène lacunaire représente le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides entre les particules de compost. Ce taux est fonction de la granulométrie et de l'humidité des particules comme du renouvellement de l'air des lacunes. Au fur et à mesure de la dégradation du substrat, le besoin en oxygène diminue (Haug, 1993; Mustin, 1987 ; Yerina Mugica *et al.,* 2017). Le taux minimal d'oxygène dans les espaces lacunaires d'un andain en fermentation doit être de 5 % (Puyuelo *et al.*, 2010). Si la teneur en oxygène est trop faible ou la masse à composter trop compacte, les conditions favorables à

l'anaérobiose se mettent en place. Ce type de fermentation aboutit à un produit stabilisé mais par le biais d'un processus plus lent avec dégagement d'odeurs nauséabondes.

Les systèmes d'aération sont divers et variés : retournements mécaniques, aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation (Charnay, 2005; Koledzi, 2011 ; Yerina Mugica *et al.,* 2017). L'apport d'oxygène réduit aussi l'humidité initiale (si elle est trop forte), améliore l'homogénéité du substrat et diminue une possible élévation de température.

1.3.2.2.5. Granulométrie

La granulométrie est un facteur qui détermine la vitesse de biodégradabilité. Plus la surface spécifique du substrat sera élevée, plus la zone de contact entre le substrat et les micro-organismes sera étendue et meilleure sera la fermentation (Yerina Mugica *et al.,* 2017). Une granulométrie trop fine induit un espace poral trop réduit et diminue l'accès puis la circulation de l'air : « étouffement » du compost. A *contrario* si la granulométrie est trop élevée, les apports en oxygène vont dépasser les teneurs optimales, asséchant le compost, et la montée en température se réalisera difficilement. La granulométrie du substrat évolue au cours du processus de dégradation par fragmentation des agrégats vers des éléments fins. Elle peut être modifiée par l'emploi de cribleur de préférence au broyeur pour les déchets urbains très hétérogènes pour lesquels le broyage peut conduire à la dissémination des impuretés dans le compost.

En somme, l'identification des principaux paramètres physico-chimiques est nécessaire pour optimiser puis améliorer l'efficacité du procédé. De la caractérisation physico-chimique du substrat va découler le réajustement des conditions du procédé: ajout d'eau, fréquences des retournements. Au cours du procédé, un contrôle des principaux paramètres permet non seulement de connaître le stade de dégradation du compost mais aussi d'avoir une idée du bon déroulement du processus. Dans la pratique, les conditions de dégradation rapides et contrôlées dépendent du système de fermentation employé (Yerina Mugica *et al.,* 2017). Pour un système classique en andain avec retournement mécanique, il faut bien connaitre les caractéristiques de la phase initiale du compostage et de la phase de maturation (Tableau II).

Il reste très difficile de définir avec précision les valeurs optimales pour chaque paramètre. En effet, ceux-ci dépendent de la composition intrinsèque du substrat, variant en fonction des conditions socio-économiques et du mode de vie de chaque pays. Ces paramètres s'équilibrent au cours du procédé: le dépassement de la valeur de l'un sera compensé par la valeur de l'autre. Certains paramètres comme la température ou l'humidité sont également fonction de la technologie du procédé (Anonyme, 2018). En pratique, il est nécessaire de trouver un compromis entre la théorie et les contraintes de terrain.

Tableau II. Paramètres de contrôle et de suivi du procédé de compostage

Valeur de suivi par phase / Paramètres	Phase initiale	Compost mûr
Rapport C/N	20 - 40	10 - 15
Humidité (%)	40 - 65	35 - 45
Température (°C)		<40
pH	5-8	7-8,5
Structurants (%)	> 15	
MO (% MS)	40 - 70	20 - 40
Granulometrie (cm)	~ 1 en aération forcée 3 – 10 sans aération forcée	Dépend du criblage

1.3.2.2.6. Teneur en azote

La majorité de l'azote contenu dans le compost est d'origine organique, et sous forme de protéines ou de peptides simples. La qualité du compost est également évaluée par le suivi de l'azote. En effet, les microorganismes nitrifient le substrat, se traduisant par une diminution de la concentration en NH_4^+ et une apparition d'ions nitrate NO_3^-. Certains auteurs fixent la limite de stabilité d'un compost d'ordures ménagères pour une teneur en NH_4^+ voisine de 0,04%, soit 400 mg/kg (Bernal, 1998 ; Bustamante *et al.,* 2008 ; Anonyme, 2018). Sanchez-Monedero (2001) a montré que la perte d'azote dans un compost d'ordures ménagères est proche de 40% et qu'un rapport $[N - NH_4^+] / [N - NO_3^-]$ inférieur ou égal à 0,11% correspond à un indicateur de maturité pour ce type de compost. L'azote organique des composts stabilisés, se minéralise lentement, avec une vitesse similaire à celle des sols (0,26 mg N/kg/j) sans évolution avec l'âge du compost. Pour les composts moins stables, la vitesse de minéralisation est supérieure (0,4 mg N/kg/j) (Houot, 2002 ; Yerina Mugica *et al.,* 2017).

1.3.2.2.7. Teneurs en matière organique et en carbone organique

La matière organique est la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux. En raison de sa richesse en carbone, la matière organique est appelée matière carbonée. Elle constitue l'humus. Elle est composée d'éléments principaux (C, H, O, N) et d'éléments secondaires, (S, P, K, Ca, Mg) (Mustin, 1987, Yerina Mugica *et al.,* 2017)**.** On fait référence sous le terme de matière organique à la matière capable de se décomposer (ou de l'être) ou à la matière résultant de la décomposition. Il est vrai que la matière organique est bien souvent le reste d'un organisme vivant, et peut même contenir des organismes vivants. Les polymères et les plastiques, si on les qualifie de « composés organiques », ne sont généralement pas considérés comme des matériaux organiques car ils se décomposent très difficilement.

1.3.2.2.8. Rapport Carbone/Azote

Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Le procédé de compostage entraîne une décomposition de la MO, donc une consommation de l'azote et du carbone, correspondant à la diminution du rapport C/N. Ce rapport exprime la proportion entre le carbone et l'azote biodisponible (Koledzi, 2011, Anonyme, 2018), il dépend de la composition intrinsèque du substrat à composter (Tableau III).

Tableau III. Rapport C/N de divers substrats (Anonyme, 2018).

Valeur des Rapport C/N / Substrats	Rapport C/N
Urine	0,8
Gazon coupé	12
Tabac	13
Paille de céréales	90-120
Ordures ménagères	25
Papier-cartons	70
Branches, arbres	70
Palles de blés	128

De nombreux auteurs déterminent des valeurs optimales de ce rapport C/N qui peut varier de 18 à 107 en début de compostage. Par exemple, il se situe entre 25 et 45 pour les ordures ménagères hétérogènes (Bernal *et al.,* 1998, Sandson Katie *et al.,* 2019), alors que le rapport minimum C/N des déchets verts est proche de 30. La valeur 35 ne doit pas être dépassée pour les déchets urbains, sinon les micro-organismes passent par plus de cycles d'oxydation pour atteindre la valeur optimale dans le compost. De même, si ce rapport est faible, une perte excessive en azote ammoniacal risque d'entraîner une diminution du pH (Sandson Katie *et al.,* 2019).

Il est donc important de connaître le rapport C/N initial des déchets afin de constituer un mélange optimal en ajoutant la quantité d'éléments déficitaires pour assurer une dégradation idéale et homogène sur l'ensemble du processus.

1.3.2.3. Maturité et stabilité du compost

La stabilité et la maturité du compost sont essentielles pour une utilisation optimale du compost comme amendement du sol et source de nutriments pour les plantes (Magdi *et al.,* 2004, Sandson Katie *et al.,* 2019). Différents paramètres peuvent être utilisés pour déterminer la stabilité et la maturité du compost. Iannotti *et al.* (1993) ont montré que la stabilité du compost estimée en terme d'activité microbienne (taux de respiration ou libération d'énergie) et la maturité du compost sont déterminées par l'odeur, la germination des plantes tests ou la composition chimique.

1.3.2.3.1. Test respirométrique, AT4

Il repose sur la mesure de l'activité respiratoire des micro-organismes présents dans le compost dans des conditions spécifiques d'incubation (humidité, température). Un compost non mûr a une demande en O_2 et un taux de production de CO_2 importants, dus à une intense activité microbienne provoquée par la biodégradabilité du substrat (Bernal, 1998). De nombreuses méthodes respirométriques existent des plus rudimentaires aux plus sophistiquées et mécanisées (Nicolardot, 1982). La méthode S.O.U.R (Specific Oxygen Uptake Rate) est souvent citée et correspond à une mesure par sonde des variations de concentration en O_2, dans une solution aqueuse de compost. Le S.O.U.R correspond au taux maximum d'O_2 consommé, exprimé en mg O_2/gVS/h. L'avantage de cette méthode réside dans l'utilisation de matériel courant de laboratoire. Une méthode similaire est employée mais sur produit sec (D.S.O.U.R pour Dry Specific Oxygen Uptake Rate) (Lasaridi et Stentiford, 1998 ; Sandson Katie *et al.*, 2019). D'autres tests existent dans des conditions opératoires différentes, c'est pourquoi, donner des chiffres de référence sans en attribuer la méthode, n'est pas significatif. Les mesures directes de l'activité des micro-organismes, sont les plus fiables selon certains auteurs (Rynk, 2003, Yerina Mugica *et al.*, 217). Pourtant, aucun de ces tests n'est retenu comme référence en matière d'indicateur de maturité du compost.

1.3.2.3.2. Tests d'auto-échauffement, TAE

Une des conséquences de l'intense activité des microorganismes est la production de chaleur lors de la dégradation de la MO. Le degré de décomposition de celle-ci peut donc être évalué par son aptitude à remonter en température (auto-échauffement). Ce test d'autoéchauffement, développé en Europe, est recommandé par l'organisme de normalisation allemande (Bundes Gütegemeinschaft Kompost BGK) (F.C.Q.A.O, 1994) puis aux Etats-Unis (05.08 D Respirometry U.S.D.A, 2002). Le compost est placé dans des conditions spécifiques de température, d'humidité et en enceinte thermostatée à 20 ± 1°C à l'intérieur d'un vase Dewar. La température est suivie pendant 10 jours. L'indice de maturité est fonction de la plus haute température atteinte lors du test. Ce dernier est qualifié de :

- **mûr** pour un degré de maturation de degré V (température < 30°C) ou de degré IV (température < 40°C) ;
- **compost frais** pour un degré de maturation de degré III (température <. 50°C) ou de degré II (température < 60°C).

1.3.2.3.3. Tests colorimétriques

Cette méthode colorimétrique repose sur le virage d'indicateurs colorés mesurant simultanément la volatilisation de NH_3 et le dégagement de CO_2 à partir d'un échantillon de

compost placé dans une enceinte hermétique, dans des conditions spécifiques d'humidité. Ce test nommé Solvita® est développé par le Woods Research Management, USA (W.E.R.L).

Les résultats sont disponibles en 4 heures par comparaison avec une échelle de valeur colorimétrique de maturité. L'échelle allant de 1 pour les composts frais à 8 pour les composts mûrs. Ce test est officiellement recommandé aux Etats- Unis (05.08 E Respirometry U.S.D.A,

2002), au Danemark, en Norvège et en Suède. De récentes études indiquent que la lecture des résultats est fonction de l'appréciation colorimétrique des manipulateurs. Ce test reste sensible à l'ajustement en eau, mais ne nécessite *à priori* pas de durée de mise en équilibre avant utilisation comme le préconise le mode d'emploi (Francou, 2003 ; Yerina Mugica *et al.*, 217).

En conclusion, d'autres méthodes d'évaluation de l'activité des micro-organismes sont envisageables comme les mesures des activités enzymatiques. Certaines méthodes appliquées au sol ont été transférées sur le compost comme la mesure de la phosphatase alcaline, l'invertase (ou saccharase), les catalases ou l'A.T.P (Adénosine TriPhosphate) (Godden, 1986). Cette dernière traduit l'activité de la biomasse; son suivi permet d'apprécier le stade et l'évolution de la dégradation au cours du compostage. Sa teneur est forte au cours de la phase mésophile, de l'ordre de 10 µg A.T.P/g MS, puis elle baisse jusqu'à 0,1 µg A.T.P/g MS pendant la phase thermophile et celle de maturation. Mais l'application de ces méthodes est problématique sur site. Le test d'auto-échauffement, comparé au test colorimétrique, permet d'atteindre une sensibilité plus grande, dans la différenciation des classes des composts mûrs et stabilisés.

Ces tests sont de plus en plus souvent comparés et corrélés avec les tests de laboratoire (pH, teneur en eau, en carbone, en azote total, et ammoniacal…) (Brewer et Sullivan, 2003; C.C.Q.C, 2001; Changa *et al*.; 2003; Francou, 2003; Wang *et al*., 2017). Ces méthodes de terrain sont retenues par les exploitants pour leur facilité d'interprétation, leur simplicité de mise en œuvre. Elles donnent une indication relativement précise et fiable de l'état de maturité du compost. Une grande variété de méthodes analytiques existe, fournissant une multitude d'indicateurs. Chaque auteur développe une technique d'évaluation de la maturité et avec elle ses indicateurs. Il devient alors très difficile de choisir une référence parmi tous ces indicateurs. Bien souvent plusieurs paramètres sont nécessaires à la détermination de la maturité du compost (Tableau IV).

Au regard des différences entre les critères dues aux origines des matières initiales à composter, des méthodes de compostage utilisées et des conditions d'obtention du compost, ces différents paramètres ne sont pas souvent cohérents et ainsi Wang *et al.* (2004a) suggèrent que nul critère n'est adéquat isolément et recommandent une combinaison entre les différentes techniques.

Tableau IV. Récapitulatif des différents critères de stabilité et de maturité d'un compost (Koledzi, 2011, Anonyme, 2018).

Paramètres / Critères	Différents paramètres à prendre en considération
Critères physiques	Odeur, couleur, aspect (terreau homogène), absence de reste végétal ou autres débris non bien decomposés), température
Critères chimiques	Rapport C/N, CEC, NO^-_2, NO^-_3, rapport NO^-_3/ NOH^+_4, pH, analyses des substances facilement biodégradables (sucres, acides aminés, phénolsetc) et des fibres
Critères microbiologiques et Enzymatiques	Activités de phosphatase alcaline, indicateurs des microorganismes : phospholipides, mesure de biomasse, métabolisme latent évalué par le taux respiratoire, la capacité d'auto-échauffement, solivita et les tests respirométriques
Test de germination	Evaluation de la phytotoxicité résiduelle (taux de gémination des graines, longueur des racines) sur cresson « *Lepidium sativum* » et Ray grass « *Lolium perenne* L. » ou d'autres plantes tests.
Critères spectroscopiques et analytiques	Des composts ou leurs substances humiques (acides humiques et fulviques) : analyse élémentaire, spéctroscopies, Infrarouge FTIR et Resonnances Magnétiques Nucléaires RMN, Chromatographie sur gel de Séphadex. Thermochemolyse/chromatographie phase gazeuse/Spectroscopie de Masse, Rayons X, Spectrométrie UV, defluorescence, etc.

1.3.2.3.4. Teneur en métaux

L'évaluation de la maturité du compost est essentielle pour son application dans les sols et la détermination de sa qualité. Une distinction est réalisée dans certains pays entre les différentes qualités de composts : mature, frais ou mulch (Tableau V).

Différents critères permettent de définir les classes de composts : la maturité et la stabilité, mais également les teneurs en métaux lourds, en inertes… Ces classements ne sont utilisés que dans les Pays Industrialisés (P.I), où la réglementation et les critères de qualité sont stricts. La plupart des P.E.D ne possèdent pas de réglementation en matière de qualité de compost. Parmi les critères de qualité, la teneur en métaux lourds est toujours préconisée dans la réglementation. Une grande diversité est observée dans les tolérances de chaque pays : les teneurs en chrome total sont multipliées par dix entre les Pays-Bas et l'Australie, de même pour celles du zinc entre les Pays-

Bas et l'Autriche. Les teneurs admissibles en cadmium et en mercure restent faibles, inférieures à 3 mg/kg quel que soit le pays.

Tableau V. Normes de classes de compost dans plusieurs pays (Hogg *et al.,* 2002)

Classe et Description / Pays	Nombre de classe	Description des classes
Allemagne	2	Selon la teneur en métaux lourds
Australie	4	Produits faits à base de compost et produits pasteurisés, eux-mêmes subdivisés en mulch fin et mulch
Autriche	3	Classe A+, A et B
Canada	3	AA, A, B (selon MO % & teneurs en inertes)
France	2	Classes A &B
Luxembourg	2	Frais & Mature
Pays bas	2	Très bon et bon compost (selon la teneur en métaux lourds)

Les sources principales de métaux lourds dans les composts urbains sont souvent communs aux déchets urbains : piles (Hg, Zn, Pb, Cd), peintures (Cr, Cd, Pb), plastiques (Cd, Ni, Zn), papiers et cartons (Pb), composants électroniques (Pb, Cd), céramiques, cosmétiques (Meoun et Le Clerc, 1999; Miquel, 2001 ; Yerina Mugica *et al.,* 217).

1.3.3. Composition du compost

Aujourd'hui, nul ne peut construire une plateforme de compostage sans tenir compte des conditions spécifiques locales du PED. Les conditions climatiques, comme par exemple un climat très sec ralentit la dégradation. La teneur en eau lors du procédé doit être contrôlée et optimale. Dans les PED où l'apport d'eau est abondant et involontaire par pluviométrie, il est préconisé de couvrir les plates-formes de fermentation, ou quelques fois uniquement les andains. Dans ces mêmes pays, le problème d'humidité intervient également au niveau de la composition des ordures ménagères, leur humidité moyenne étant supérieure à 50% (Anonyme, 2018). La montée en température ne s'effectuera qu'après l'évacuation, par les pentes autour des andains, de cet excès d'humidité. Cet excès qui est le lixiviat et qui finit par ruisseler totalement après un ou deux jours doit être traité pour éviter leur propagation dans le milieu naturel (Yerina Mugica *et al.,* 217). La

composition en métaux et en nutriments de quelques composts d'ordures ménagères diffère en fonction des pays (Tableau VI)

Tableau VI. Composition de quelques composts en métaux et nutriments (Soumaré, 2003 ; Anonyme 2018).

Pays / Composition		Benin	Guinée	Indonésie	Italie	Mali	Canada	Autriche
Métaux (mg/kg MS)	Cd	6,3	1,5	3	3,2	LD	2,6	4
	Cr	12,4	140	50	296	-	210	150
	Cu	5,4	75	80	437	10	128	400
	Pb	107	140	150	652	3,4	8,3	500
	Zn	11	-	300	1228	110	315	1000
	Hg	-	-	1	-	0,026	0,83	4
	Ni	-	-	50	140	6,5	32	100
	As	-	-	10	-	-	10,6	-
Qualité Agronomique (mg/gMS)	K_2O	6,2	10,9	-	-	10,6	-	-
	CaO	54,6	57,5	-	-	90	-	-
	MgO	3,6	7,5	-	-	4,6	-	-
	P_2O_5	45,8	10,5	-	-	0,92	-	-
	C/N	17,6	13,6	-	-	16,8	-	-
	pH	7,8	8,5	-	-	8,5	-	-

LD : limite de détection

1.3.3.1. Amendements et effets du compost sur les caractéristiques globales des sols

Les études concernant l'apport de matière organique « naturelle » comme les composts, les boues de stations d'épuration ou les fumiers, sur des sols cultivés sont nombreuses. Divers types d'apports ont été étudiés. Les plus courants sont les déchets municipaux solides, les boues de stations d'épuration, les engrais fermiers et les composts de déchets verts. Certains auteurs rapportent aussi l'utilisation de pailles de résidus agricoles (Sebastia *et al.,* 2007 ; Subhan *et al.,* 2017) ou encore de solution d'acides humiques (Albiach *et al.,* 2001). Les doses apportées ou les durées d'expérimentation sont variables, que ce soit en essais aux champs ou en incubations. En général, les auteurs comparent différents amendements en quantités agronomiques (20 à 30 t/ha) (Albiach *et al.,* 2001; Brunetti *et al.,* 2007; Celik *et al.,* 2004; Pascual *et al.,* 1999 ; Shuyan *et al.,* 2017), ou différentes quantités d'un même amendement. Dans ce cas la dose minimale est en quantités agronomiques et la maximale peut être 2 à 10 fois plus importante (Brunetti *et al.*, 2007, Ekrem Ozlu *et al.,* 2019). Les durées d'expérimentation vont de 1 à 10 ans pour les essais aux champs et peuvent s'étaler sur une année dans le cas d'incubations. Ainsi Albiach *et al.* (2001) ont

comparé l'effet de déchets municipaux solides compostés (24 t/ha/an), de boues de stations d'épuration (24 t/ha/an), d'engrais fermiers (24 t/ha/an), de solution d'acides humiques (100 L/ha/an) et de vermicompost (24 t/ha/an). Les trois premiers amendements permettent une augmentation significative du taux de matière organique, de la quantité de substances humiques, et de la proportion de sucres, après 5 ans aux champs. L'effet sur le taux de matière organique est beaucoup plus limité pour les deux autres. Brunetti *et al.* (2007) ont observé une évolution similaire pour un compost de déchets municipaux solides et des boues de stations d'épuration, mais une diminution avec un engrais fermier. De plus, l'apport de matière organique résiduaire permet l'augmentation de la proportion de lipides (Debosz *et al.*, 2002 ; Ekrem Ozlu *et al.*, 2019) et de carbone organique soluble (Pascual *et al.*, 1999). Cependant ces apports de matière organique entrainent une forte minéralisation du carbone dans les 15 premiers jours après amendement (Cambardella *et al.*, 2003 ; Anonyme, 2018).

Selon le degré de maturité et la quantité apportée d'un compost, son épandage n'aura pas le même impact sur le sol : un compost frais constituera un apport de matière organique directement utilisable par les microorganismes et assimilable par le sol, tandis qu'un compost mature constituera un meilleur engrais pour un sol cultivé et aura un effet stabilisant pour la structure du sol (Pascual *et al.*, 1999). Pare *et al.* (1999) ont observé le même effet avec de faibles doses de fumier et un effet inverse à forte dose.

1.3.3.2. Avantages du compost

Le premier intérêt des amendements organiques issus des déchets ménagers est donc une diminution de la part des engrais chimiques lixiviables et leur remplacement par des déchets organiques valorisés. L'utilisation du compost comporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

1.3.3.2.1. Amélioration de la croissance des végétaux à travers le rythme de diffusion des nutriments

Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement. Le compost ajoute non seulement de la matière organique au sol mais aussi des fertilisants (N, P2O5, K2O, CaO), des oligo-éléments tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc et le bore, nécessaires à la croissance des végétaux (Anonyme, 2008; Anonyme, 2001).

Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période (Anonyme, 2005a; Anonyme, 2018).

1.3.3.2.2. Amélioration de la porosité du sol et de la capacité de rétention d'eau

L'activité microbienne est essentielle à la porosité du sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques pour rendre les nutriments accessibles aux végétaux. Le compost étant constitué de particules de tailles différentes, il offre une structure poreuse qui améliore la porosité du sol. (Anonyme, 2008; Auwal Tukur, 2017). L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

La matière organique contenue dans le compost peut absorber l'eau et améliorer ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. Ce dernier est alors en mesure d'absorber une forte quantité d'eau et de la retenir pour la mettre à la disposition des végétaux entre deux pluies ou deux arrosages. L'eau disponible pour les végétaux grâce à l'utilisation d'un compost correspond au double du volume d'eau pouvant être retenue par un sol minéral. Ainsi en augmentant le taux d'humus du sol de 0,2 %, la quantité d'eau disponible pour la plante croît de 0,5 % et la porosité du sol de 1%.(Anonyme, 1999; Anonyme, 2001; Auwal Tukur, 2017).

1.3.3.2.3. Elimination des maladies chez les végétaux

Il a été montré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies (Larbi, 2006). L'effet phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost (Fuchs *et al.,* 2001). D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains pathogènes.

1.3.3.2.4. Amélioration de la structure

Le compost améliore la structure du sol par l'augmentation des agrégats (pénétration des racines, facilitée et exploitation du sol favorisé), la meilleure perméabilité à l'air et à l'eau, la réduction importante de l'érosion (eau et vent), la diminution de la dessiccation par ventilation (Zurbrugg et Ahmed, 1999, Auwal Tukur, 2017) et l'augmentation de l'absorption des rayons solaires (réchauffement).

En effet, parmi les différents éléments minéraux présents dans le sol, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) et aux micro-organismes pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique. Sa structure en feuillet lui confère une puissante charge négative permettant à une certaine quantité de cations libres de la solution du sol de s'y fixer (Ca2+, K+, H+, Na+ etc.) (Guittonny-Larchevêque, 2004 ; Anteneh Argaw, 2017). Le complexe argilo-humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture.

Selon ce même auteur, la formation d'agrégats stables rend ainsi le sol plus résistant à l'influence éolienne et hydrique, par conséquent, moins soumis à l'érosion. L'ajout de compost retient l'érosion causée par l'eau ; les nutriments sont alors plus accessibles aux végétaux, ce qui améliore leur qualité dans les régions exposées à l'érosion. Les amendements de composts favorisent le processus de reforestation en améliorant la nutrition et la croissance des arbres, et surtout des arbustes en augmentant leur potentiel de survie en période de sécheresse (Anteneh Argaw, 2017).

L'azote est l'élément fondamental de la production végétale, le « pivot de la fertilisation ». Sa disponibilité détermine le rendement. Il entre dans la composition de très nombreux éléments essentiels à la vie cellulaire : acides aminés, acides nucléiques, etc. Le cycle de l'azote consiste en la transformation des formes de l'azote assuré par les microorganismes du sol (Francou, 2003 ; Anonyme, 2018). Ainsi, le cycle de l'azote est lié à un apport du compost dans le sol (Fig. 6).

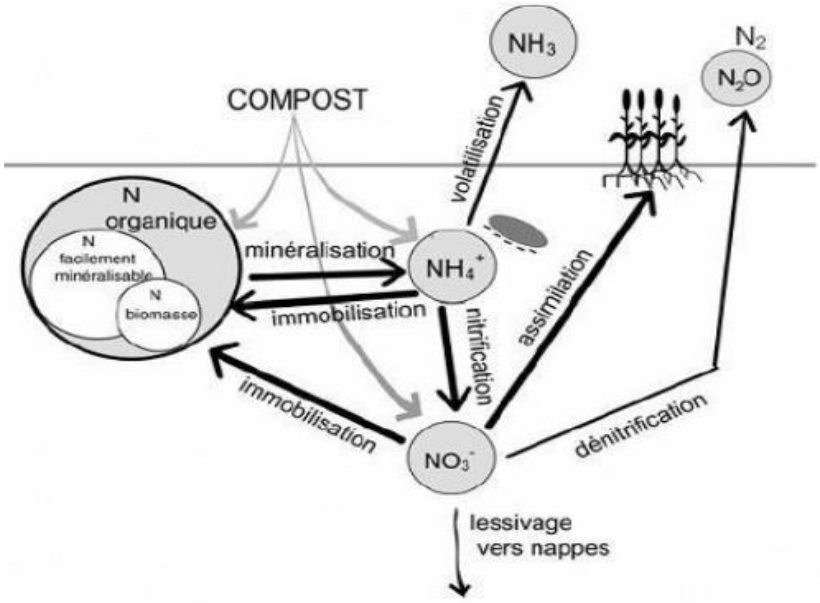


Fig. 6: Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost Anteneh Argaw, 2017.

1.3.3.2.5. Effet du compost sur les caractéristiques physico-chimiques du sol, sur la dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux

En se minéralisant, le compost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes. La matière organique du compost améliore les propriétés physiques du sol, augmente son pouvoir tampon. Le compost contenant la chaux réagit avec l'acide carbonique de la solution du sol et le neutralise. De cette façon le carbonate de calcium insoluble dans l'eau se transforme en bicarbonate soluble qui est un sel amphotère basique (pH ≈ 8).

De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés. Par exemple, une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la densité des sols ont été observées par Wong *et al.* (1999). De même, l'incorporation du compost au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol (Bresson *et al.*, 2001). Pagliai *et al.(* 2004) ont montré que l'ajout de compost dans un sol améliore sa porosité et sa structure. Les amendements en matière organique stable augmentent le pouvoir tampon et la capacité d'échange des sols, deux paramètres qui conditionnent la nutrition minérale des plantes (Anonyme, 2018). Le compost mûr évite une acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol ou permet de réduire l'acidité du sol, et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante (Bolan *et al.*, 2003). Les substances basiques du compost et les substances humiques sont bénéfiques contre l'acidification du sol et le stabilisent chimiquement. Une revitalisation des sols fortement dégradés et un développement de la végétation sont favorisés.

La présence de micro-organismes divers dans le compost augmente l'activité biologique du sol et permet un bon échange gazeux sol-air-eau-plante. L'apport de compost permettra au sol d'être plus poreux favorisant ainsi, les échanges gazeux et le développement de nouvelles racines (Fuchs *et al.*, 2001, Zhao *et al.*, 2016).

1.3.4. Influence de l'utilisation du compost sur la santé des plantes

Le compost peut agir directement et indirectement sur la santé des plantes. Son action indirecte est due entre autres à son influence sur la structure du sol et sur son apport équilibré en éléments nutritifs, en particulier les micro-éléments. Epstein *et al.* (1976) ont pour leur part observé une influence positive de la photosynthèse des strates végétales par une augmentation du CO_2 dans la première couche d'air au-dessus du sol. Cette augmentation est causée par le gaz carbonique qui est dégagé au fur et à mesure de la minéralisation du compost par les microorganismes du sol.

Toutefois, l'action directe du compost sur la santé des plantes est probablement plus importante que l'action indirecte. Elle est due essentiellement à sa microflore bénéfique, et peut se traduire par une réduction des maladies aussi bien telluriques que foliaires (Hoitink et Grebus, 1994). Tous les composts ne possèdent cependant pas le potentiel de protéger les plantes contre les maladies (Fuchs et Larbi, 2004 ; Law-Ogbomo *et al.*, 2017). Plusieurs facteurs influencent l'effet phytosanitaire des composts. L'auto-échauffement de la matière organique au début du processus de compostage est important pour l'hygiénisation naturelle du compost, c'est-à-dire pour l'éradication des agents pathogènes et des mauvaises herbes. Lorsque la phase de maturation est conduite de manière optimale, une population de microorganismes bénéfiques se développe (Fuchs, 2002).

Suivant les cas, après leur phase chaude une inoculation contrôlée des composts, avec des agents biologiques choisis, peut s'avérer nécessaire pour obtenir un potentiel suppressif stable à l'échelle commerciale (Grebus *et al.,* 1994 ; Law-Ogbomo *et al.,* 2017).

Un compost de bonne qualité peut être utilisé avec succès dans le contrôle biologique des maladies entre autres dans les cultures maraîchères (Fuchs, 2002 ; Fuchs et Larbi, 2004) et dans l'horticulture, en particulier pour les cultures hors sol (Inbar *et al.,* 1993 ; Anteneh Argaw, 2017). Toutefois, certains composts d'une qualité non appropriée peuvent favoriser le développement d'agents pathogènes.

1.3.4.1. Influence du compost sur les maladies telluriques

L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction. Pendant ces processus, une population de microorganismes antagonistes peut s'y développer, ce qui confère au compost la capacité de protéger les plantes contre les maladies telluriques. Ces effets protecteurs ne se limitent pas à de simples observations au laboratoire, mais leur efficacité a souvent été observée dans la pratique. L'utilisation d'un compost à base de fumier a pu réduire d'environ 80 % à 90 % la maladie du gazon de golf « Dollar Spot » causée par le champignon *Sclerotinia homeocarpa* (Block, 1997 ; Habtamu Yigermal *et al.,* 2019).

Widmer *et al.* (1998) ont aussi constaté que l'apport de compost d'ordures ménagères (compost de cuisine) a protégé des boutures d'agrumes contre *Phytophthora nicotania*. Toutefois, une quantité de compost trop importante peut avoir une influence négative sur la croissance des plantes, probablement à cause d'une teneur en sels trop élevée. Tous les composts ne possèdent pas le même potentiel à protéger les plantes contre les maladies (Fuchs et Larbi, 2004). La forte variabilité des effets observés entre différents échantillons est assurément le plus gros écueil à l'utilisation des composts à large échelle pour des mesures ciblées de protection des plantes (Nelson et Boehm, 2002). La production de composts possédant des qualités définies et durables est une nécessité pour satisfaire les attentes des utilisateurs. Hoitink *et al.* (1997) différencient deux types de mécanismes biologiques contrôlant les infections: la suppressivité « spécifique » et la suppressivité « générale » des composts contre les maladies telluriques. La compétition entraîne une suppression de type «générale», efficace par exemple contre *Pythium* et *Phytophthora spp*. (*Chen et al.,* 1988a et 1988b ; Boehm *et al*.,1993 ; Mandelbaum et Hadar, 1990; Hardy et Sivasithamparam, 1991 ; Fuchs et Larbi, 2004).

Dans les autres cas, le phénomène est souvent plus ciblé, est dû à un groupe restreint d'antagonistes; on parle alors de suppression de type «spécifique». Comme exemple, on peut citer

les mécanismes de suppression de *Rhizoctonia solani* dans les cultures hors sol amendées avec du compost (Hoitink *et al.,* 1991 ; Rijn van, 2007), où des *Trichoderma spp*., sont les principaux antagonistes (Kuter *et al.,* 1983 ; Nelson *et al.,* 1983). D'après ces auteurs, les mécanismes de suppressivité impliqués reposent sur les interactions microbiologiques, à savoir la concurrence pour les nutriments (Fuchs et Larbi, 2004 ; Rijn van *et al.,* 2007), la synthèse de substances antibiotiques (Nelson *et al.,* 1983 ; Theodore et Toribio, 1995 ; Craft et Nelson, 1996), l'hyperparasitisme (Kuter *et al.,* 1983 ; Nelson *et al*., 1983 ; Hoitink et Fahy 1986) et l'induction de résistance chez la plante hôte (Fuchs, 2002 ; Rijn van, 2007).

De façon similaire, Fuchs (2002) distingue des mécanismes de suppression quantitatifs (au lieu de généraux) et qualitatifs (au lieu de spécifiques). Il postule en effet que les premiers sont principalement dus à la quantité très importante de microorganismes apportés avec les composts jeunes, microorganismes qui concurrencent par leur nombre les agents pathogènes.

En opposition, il décrit la suppression qualitative comme une suppression due à moins de microorganismes, mais à des microorganismes qui sont des antagonistes plus efficaces, ceux-ci étant sélectionnés naturellement pendant le processus de compostage. L'action de ces microorganismes antagonistes peut être basée sur des relations d'hyperparasitisme ou sur la production de substances antibiotiques. Le traitement à la chaleur d'un compost d'ordures ménagères lui fait perdre sa capacité à protéger les plantes contre *Rhizoctonia solani* alors que son efficacité contre *Fusarium sp*. n'en est guère diminuée (Cohen *et al.,* 1998 ; Rijn van, 2007). L'inhibition de *Rhizoctonia solani* semble donc être le fait de microorganismes alors que celle de Fusarium sp. est probablement provoquée par des substances fongistatiques résistantes à la chaleur (Cohen *et al.,* 1998, Litterick *et al.,* 2002).

En général, le mécanisme de protection principal contre les maladies de plantes semble clairement dépendre de l'activité microbienne des composts (Hoitink *et al.,* 1993 et 1997 ; Nelson et Hointik, 1983 ; Tilston *et al.,* 2002). De nombreux travaux de recherche montrent qu'un traitement du compost par la chaleur annihile sa microflore, et par conséquent réduit à néant ses effets suppressifs (Nelson et Hointik, 1983 ; 1986 ; Brunner et Seemuller, 1993 ; Hadar et Mandelbaum, 1986 ; Hardy et Sivasithamparam, 1991 ; Theodore et Toribio, 1995 ; Serra *et al.,* 1996 ; Ringer *et al*., 1997 ; Tilston *et al.,* 2002 ; Fuchs, 2002).

Il n'existe que peu de cas où le compost garde sa faculté suppressive après stérilisation (Filippi et Bagnoli, 1992 ; Cohen *et al.,* 1998, Zhao *et al.,* 2016). Alors que de nombreux auteurs ont montré une corrélation entre l'activité microbienne, mesurée par la vitesse d'hydrolyse de di-

acétate fluorescent (FDA) et son pouvoir suppressif (Dissanayake et Hoy 1999; Inbar *et al*., 1999 ; Diab *et al.,* 2003 ; Sitinjak *et al.* 2018), certains ont pu mettre en évidence l'importance des microorganismes spécifiques comme *Trichoderma asperellum* contre la fusariose de Tomate (Cotxarrera *et al*., 2002), *Acromonium sp*. contre le pathogène parasité *Phytophthora nicotianae* (Widmer *et al.,* 1998), *Bacillus subtilis* (Phae *et al.,* 1990) ; *Aspergillus sp., Geotrichum sp. et Pythium sp*. (Theodore et Toribio, 1995). Divers antagonistes efficaces ont également été isolés à partir de composts d'écorces, comme: *richoderma sp., Gliocladium sp., Penicillium sp., Mortierella sp., Paecilomyces sp., Geomyces sp., Ophiostoma sp., Bacillus spp., Enterobacter spp., Pseudomonas spp., Streptomyces spp., et Penicillium spp.,* (Kuter *et al.,* 1983 ; Nelson *et al.,* 1983 ; Hoitink et Fahy, 1986 ; Phae *et al.,* 1990 ; Chung et Hoitink, 1990 ; Hoitink *et al.,* 1997). *Trichoderma hazianum et Trichoderma hamatum* ont été les deux champignons antagonistes les plus fréquemment isolés (Nelson *et al.,* 1983 ; Kuter *et al.,* 1983 ; Rijn van, 2007).

1.3.4.2. Facteurs influençant les caractéristiques suppressives des composts

Le potentiel suppressif des composts varie considérablement d'un compost à l'autre (Nelson et Boehm, 2002). Afin de pouvoir envisager une application pratique des composts pour prévenir les maladies, il est important d'abord de comprendre quels facteurs influencent cette activité suppressive afin de pouvoir les contrôler. L'importance de la composition des intrants a été étudiée par divers auteurs (Hoitink *et al.,* 1997 ; Rijn van , 2007). Jusqu'à présent, aucune tendance uniforme à ce sujet n'a pu être observée. Harender *et al.* (1997) ont provoqué une différence dans le potentiel de protection de tomates contre le flétrissement de *Fusarium* après l'emploi de composts provenant de différentes origines végétales. Il est toutefois probable que la composition n'influe en réalité qu'avec ses propriétés physico-chimiques. Ainsi, des composts riches en sels peuvent stimuler le développement de certaines *Phytophthora spp*. (Hoitink et Grebus, 1994 ; Bulluck *et al.,* 2002), alors que certaines maladies causées par divers agents pathogènes (*Phytophthora, Fusarium, Erwinia*) sont favorisées par des rapports C/N faibles comme ceux des composts obtenus exclusivement de boues d'épuration (Hoitink and Fahy, 1986 ; Wang *et al*., 2017). Ringer *et al.* (1997) ont comparé l'effet de composts provenant de différents types de fumier. Ils ont constaté que tous les composts sont révélés suppressifs contre *Phytophthora ultimum et Rhizoctonia solani*. Bien que peu de variation dans l'effet de protection des plantes contre *Rhizoctonia solani* a été observé, les composts de fumier de bovins se montrent plus efficaces contre *Phytophthora ultimum* que ceux de fumiers de cheval, le plus efficace étant le compost de fumier de poule. Dans ce cas, l'effet suppressif contre *Phytophthora ultimum* ne semblait pas dû à la population microbienne des composts, mais était inversement proportionnel à sa teneur en NO3 - (Ringer *et al.,* 1997 ; Anteneh

Argaw, 2017). On peut en conclure que le degré de maturité physiologique des composts est un facteur important pour leurs pouvoirs suppressifs. Le tamisage du compost influence son pouvoir suppressif, la composition microbienne variant considérablement entre les fractions de compost. Tilston *et al*. (2002) ont montré que le compost a perdu sa capacité de protection après son tamisage à travers un tamis à mailles de 4 mm. Ces auteurs ont également signalé que le compost tamisé finement montre une faible quantité en carbones extractibles et en lignine, et qu'il héberge significativement moins de Trichoderma *spp*, raison pour laquelle son potentiel suppressif est plus faible.

L'effet suppressif des composts est généralement proportionnel à la quantité de compost incorporé dans le sol (Serra *et al.,* 1996a ; Fuchs, 2002). Toutefois, l'influence de la quantité de compost employée est moins importante dans un substrat stérile (Grebus *et al.,* 1994 ; Rijn van *et al.*, 2007). Comme mentionné plus haut, le degré de maturation du compost semble jouer un rôle déterminant sur son pouvoir suppressif (Cohen *et al*., 1998 ; Erhart *et al.,* 1999 ; Tilston *et al.*, 2002). Par exemple, *Rhizoctonia solani*, qui est hautement compétitif comme saprophyte (Garrett, 1962), peut utiliser la cellulose pour coloniser du compost frais, mais n'arrive pas à se développer fortement dans un compost mûr à faible teneur en cellulose (Chung *et al.,* 1988). *Trichoderma sp.*, agent antagoniste efficace contre Rhizoctonia solani, est certes également capable de coloniser du compost frais, mais est plus compétitif vis-à-vis *Rhizoctonia solani* dans un compost plus mûr (Chung *et al.,* 1988a), car il peut également s'attaquer efficacement à la lignine. Cela explique en partie pourquoi les composts plus mûrs sont souvent plus efficaces pour protéger les plantes contre Rhizoctonia *sp*.. Les composts très jeunes montrent en général un effet suppressif très faible (Erhart *et al.,* 1999 ; Yerina Mugica *et al.,* 2017). Des taux très élevés en substances nutritives et énergétiques (glucose et acides aminés, etc.) provenant de matériaux organiques peuvent inhiber la synthèse d'enzymes essentiels chez les organismes antagonistes (Erhart *et al.,* 1999), ou représentent une source d'alimentation pour les pathogènes et par conséquent les favorisent (Hoitink et Grebus, 1994 ; Tuitert *et al.,* 1996).

En général, le potentiel suppressif des composts augmente avec leur maturité (Chef *et al.,* 1983 ; Kuter *et al.,* 1988 ; Hoitink et Grebus, 1994 ; Craft et Nelson, 1996 ; Fuchs, 1996; Erhart *et al.*, 1999). Toutefois, lorsqu'un certain seuil de maturité est dépassé, l'activité microbienne décroît et le compost perd de son effet suppressif (Boehm *et al.,* 1993 ; Hoitink et Grebus, 1994 ; Hoitink *et al.,* 1997 ; Tilston *et al*., 2002). Certains cas ont cependant été observés, où exceptionnellement les composts jeunes étaient plus efficaces que les composts mûrs. Ainsi, il a été possible de protéger avec succès des plantes de choux de l'attaque de *Plasmodiophora brassicae* avec un compost jeune,

(Ryckeboer et Coosemans, 1996 ; Yerina Mugica, 2017), et cet effet protecteur diminuait avec l'augmentation du degré de maturité. Différentes mesures ont été testées afin d'augmenter le potentiel suppressif du compost et/ou d'en garantir une qualité stable. Chung *et al.* (1988a) ainsi que Hoitink et Grebus (1994), considéraient que les antagonistes, exceptés *Bacillus spp.*, étaient tués pendant la phase chaude de compostage et devaient recoloniser le compost pendant la phase de maturation.

Afin de garantir la qualité des composts produits, ces auteurs ont procédé avec succès à l'inoculation ciblée d'antagonistes sélectionnés comme *Trichoderma harzianum*, après la phase chaude (Nelson *et al.*, 1983 ; Chung et Hoitink, 1990). Cette inoculation peut toutefois s'avérer difficile si la microflore indigène du compost est trop concurrentielle (Chung et Hoitink, 1990).

L'inoculation ciblée du champignon antagoniste *Verticillium biguttatum*, mycoparasite de *Rhizoctonia solani*, a pu augmenter significativement la protection contre la maladie de la Betterave à sucre provoquée par ce pathogène (Postma *et al.*, 2000). De même, un apport de l'antagoniste *Bacillus subtilis* N4, isolé à partir de composts d'herbe, a permis de lutter contre la maladie du gazon causée par Rhizoctonia sp. (Nakasaki *et al.*, 1998). Kwok *et al.* (1987) ont également réussi à protéger les plantes de radis contre Rhizoctonia solani après l'incorporation de bactéries antagonistes dans un mélange de substrat. Ces mêmes bactéries ont cependant pu s'établir plus facilement dans un compost d'écorces stériles que dans un compost suppressif d'écorces, confirmant ainsi les observations de Chung et Hoitink (1990). Une autre possibilité est de stimuler de façon ciblée un groupe de microorganismes indigènes en y incorporant un aliment spécifique, comme des déchets de crabes pour favoriser les microorganismes attaquant la chitine (Roy *et al.*, 1997). Fuchs (2000) a indiqué que l'addition de matériel riche en lignines pendant la phase de maturation, comme par exemple les fibres de chanvre au lieu de la tourbe, augmente clairement le potentiel suppressif des composts. Cet effet est probablement dû à la stimulation

de la population de *Trichoderma spp.*, car ces champignons sont impliqués dans la décomposition de la lignine.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MATERIEL

2.1.1. Présentation des sites d'expérimentation

Deux sites ont été choisis avec des buts différents pour conduire l'essai en champs : (1) le site de Megana dans la localité d'Akonolinga a été le site principal de l'essai, ce site a permis pendant deux années d'expérimentation (2014 et 2015) d'évaluer l'effet fertilisant et phytosanitaire des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café dans la culture de maïs. Dans le souci de généraliser les résultats obtenus dans le site de Megana, un essai de confirmation des résultats a été conduit pendant deux ans (2016 et 2017) dans le site de Nkolfon à Yaoundé 3. Il n'était pas question de comparer les résultats obtenus dans le site de Megana à ceux du site de Nkolfon, mais plutôt de voir si les fumures à base de compost des déchets ménagers ou des parches de café auront les mêmes réactions (surtout en termes de réduction des maladies parasitaires d'origine fongique) que celles obtenues dans le site de Megana. Ainsi, cette partie présente une analyse sommaire de ces sites d'expérimentation en mettant en évidence leur localisation géographique et leur climat.

2.1.1.1. Localisation géographique des sites de Megana (Akonolinga) et de Nkolfon (Yaoundé)

Le site de Megana de la localité d'Akonolinga est à 98 km du centre-ville de Yaoundé, Akonolinga appartient à la zone agro-écologique V dite zone forestière humide à pluviométrie bimodale. Cette zone est caractérisée par un climat Sub-équatorial de type Congo-guinéen, avec deux saisons sèches alternant avec deux saisons de pluies. La pluviométrie moyenne varie entre 1500 à 2000 mm sur 10 mois, la température moyenne annuelle est relativement constante (de l'ordre de 23 à 27 °C), l'humidité relative est en moyenne supérieure à 80 % (Anonyme, 2016). Le site d'expérimentation de Megana a servi auparavant à la culture de manioc, macabo et arachide puis abandonné en jachère naturelle pendant 5 ans. Cette jachère était dominée par les espèces telles *Chromoleana odorata. Commelina ensifolia, Sida alba, Synedrella nodiflora, Ipomea indica et Tithonia diversifolia*.

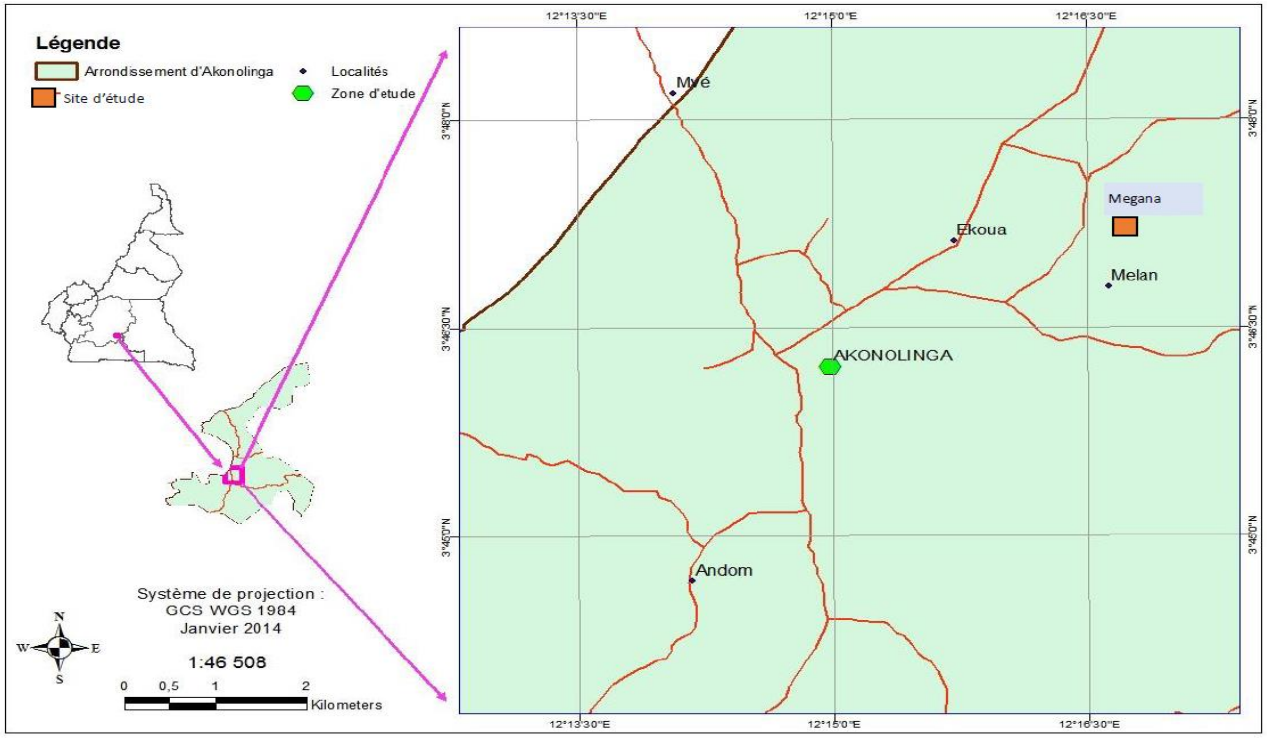


Fig. 7. Situation géographique de la localité d'Akonolinga.

Le site de Nkolfon est une zone rurale de l'arrondissement de Yaoundé III, il est situé à 20 km du centre-ville de Yaoundé, capitale de la Région du Centre et se positionne sous 3°52' de latitude Nord et 11°32' de longitude Est avec une altitude moyenne de 760 m (Anonyme, 2016). Le site d'expérimentation de Nkolfon a servi auparavant à la culture de manioc, macabo et arachide puis abandonné en jachère naturelle pendant 3 ans. Cette jachère était dominée par les espèces telles *Chromoleana odorata, Sida alba, Synedrella nodiflora et Ipomea indica*.

Les coordonnées géographiques du site ont été prise à l'aide d'un GPS de marque Garmin. Ainsi Nkolfon est situé à la périphérie Ouest de l'arrondissement de Yaoundé 3 (Fig.8) entre les parallèles 3°46'01''et 3°76'67" Est et entre les méridiens 11°25' 60" et 11°43' 33" Nord. Le site appartient à la zone agro-écologique V dite zone forestière humide à pluviométrie bimodale.

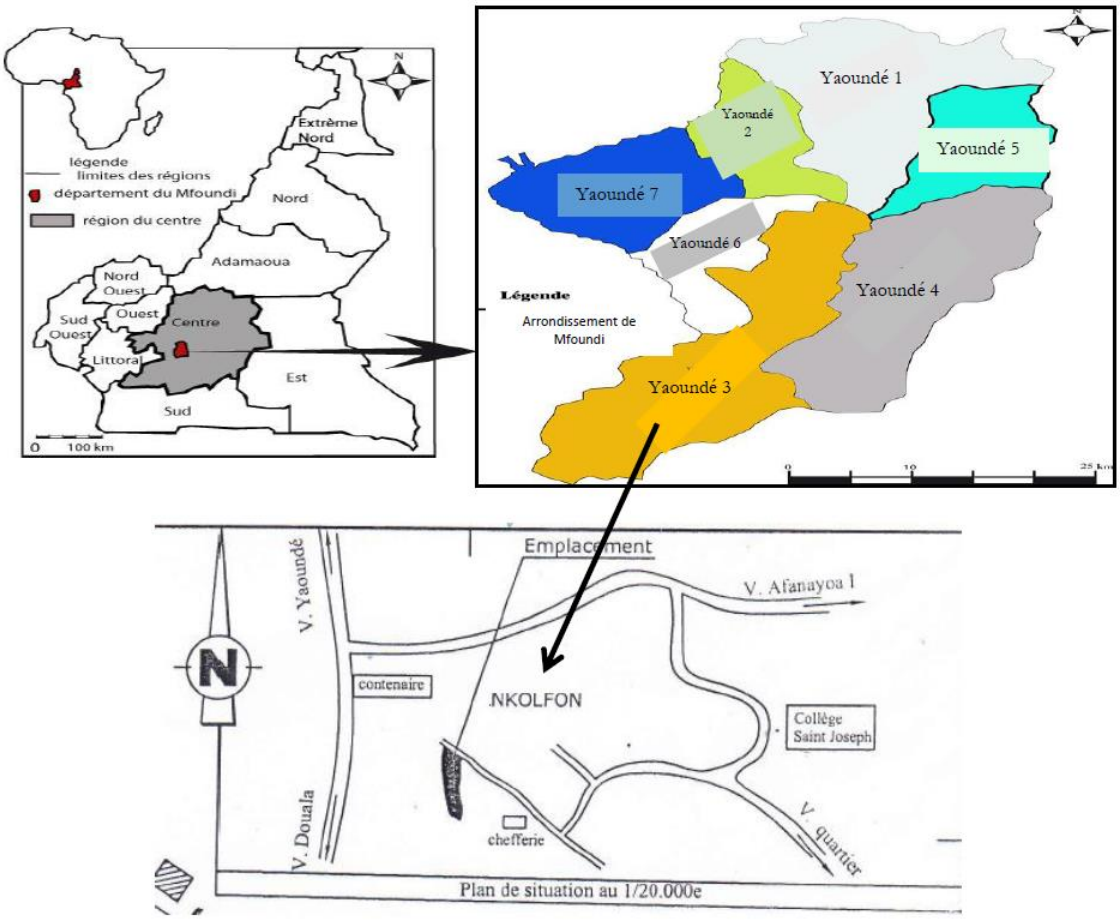


Fig. 8. Carte de localisation de la localité Nkolfon.

2.1.1.2. Climat des sites d'expérimentation

La zone d'Akonolinga est marquée par un climat de type équatorial guinéen, caractérisé par quatre saisons alternantes : une grande saison sèche qui va de décembre à février et une petite saison pluvieuse de mars à juin, une petite saison sèche de juillet à août et une grande saison pluvieuse de septembre à novembre (Anonyme, 2016). La moyenne mensuelle des précipitations pendant une période de 4 ans fournie par le centre climatique mondial[1] est de 127,86 mm.

Pour le site de Nkolfon, les caractéristiques du climat sont semblables à celles d'Akonolinga, le climat est de type équatorial à quatre saisons: deux saisons sèches, une grande de mi-novembre à février, une petite saison sèche de juillet à août; deux saisons des pluies, une grande saison de septembre à mi-novembre et une petite saison des pluies de juin à mi-août. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1500 mm, répartis sur toute l'année avec deux maxima

d'inégales importances en mai (196 mm) et octobre (293 mm) et deux minima (janvier et juillet). La température moyenne est de l'ordre de 23° C avec 33 de maximum absolu et 14 de minimum absolu (Anonyme, 2018).

2.1.1.2.1. Précipitations des sites d'expérimentation

Les expérimentations sur terrain ont été menées pendant quatre saisons culturales allant de mars 2014 (1ère année) à décembre 2015 (2ème année). Les précipitations enregistrées pendant la période d'expérimentation dans la localité d'Akonolinga montrent une variabilité et une répartition inégale des pluies mensuelles entre les saisons. Pendant la première année culturale considérée comme la plus pluvieuse, il a été enregistré 987,21 mm de pluie en saison 1 et 911,2 mm de pluie en saison 2. La seconde année a été moins pluvieuse et il a été enregistré 716,6 mm de pluie à la saison 3 et 758,1 mm de pluie à la saison 4 (Fig.9).

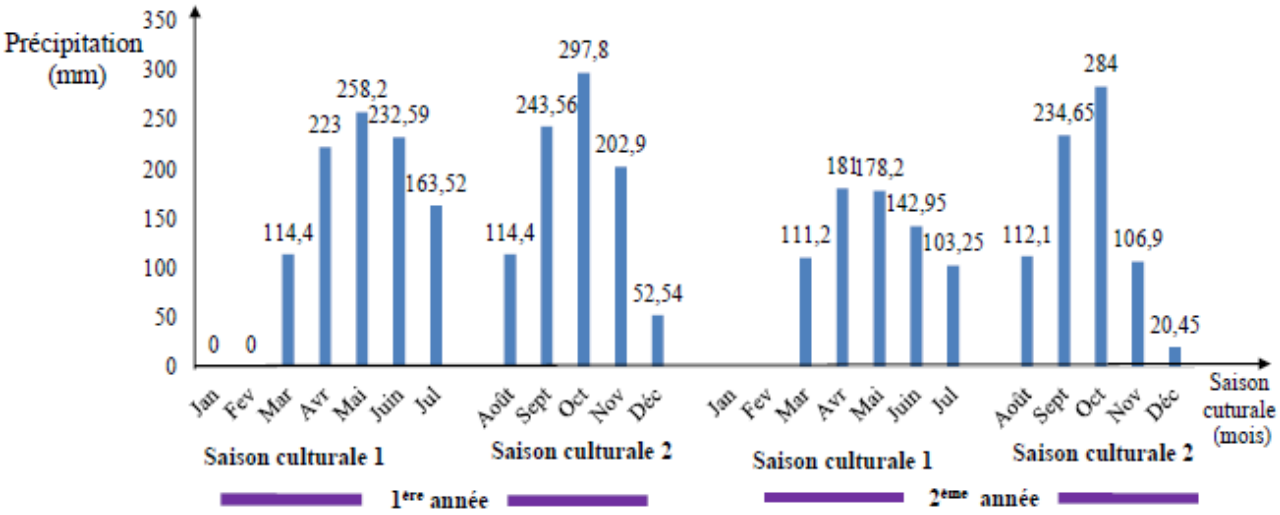


Fig. 9. Précipitations enregistrées au cours des saisons culturales dans la localité de Megana entre mars 2014 (1ère année) à décembre 2015 (2ème année).
Source : Anonyme (2016)

Dans le site de Nkolfon, les expérimentations sur terrain ont été menées pendant quatre saisons culturales allant de mars 2016 (1ère année) à Août 2017 (2ème année). Les précipitations enregistrées pendant la période d'expérimentation sont représentées par la figure 10. Cette figure montre une variabilité et une répartition inégale des pluies mensuelles entre les saisons. Pendant la première année culturale considérée comme la plus pluvieuse, il a été enregistré en moyenne 996,7 mm de pluie en saison 1 et 900,35 mm de pluie en saison 2. La seconde année a été moins pluvieuse et il a été enregistré 738,03 mm de pluie à la saison 3 et 764,09 mm de pluie à la saison 4 (Fig.10).

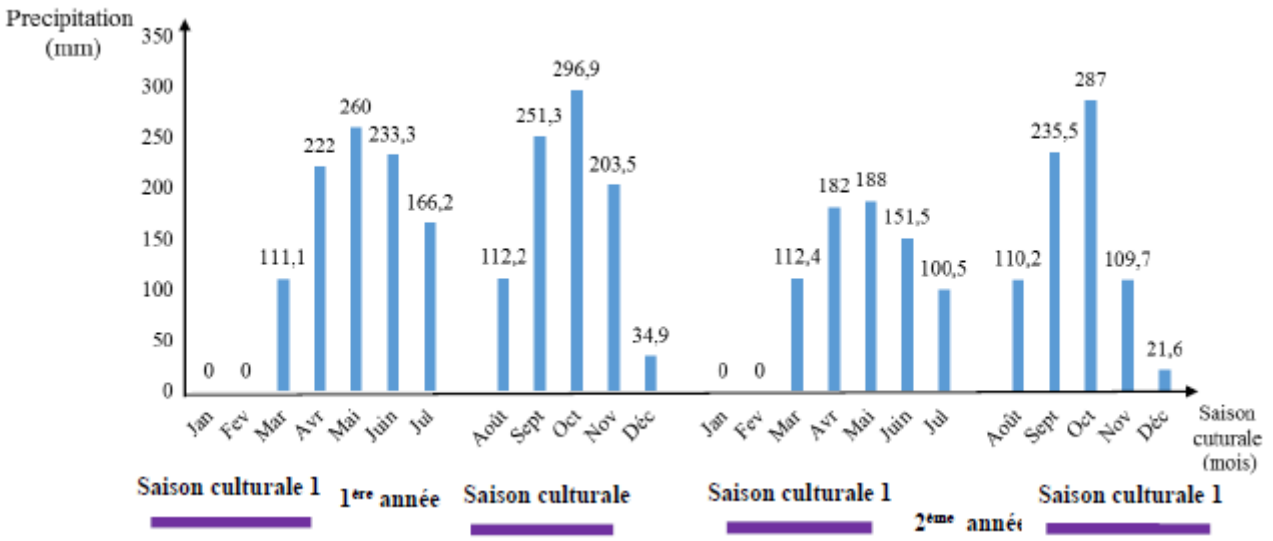


Fig. 10. Précipitations enregistrées au cours des saisons culturales dans la localité de Nkolfon entre mars 2016 (1ère année) à Août 2017 (2ème année).

Source : Anonyme (2016)

2.1.1.2.2. Température des sites d'expérimentation

La moyenne mensuelle de la température calculée sur une période de 4 ans dans la localité d'Akonolinga est de 24,47°C ; les maxima moyens mensuels sont de 25,43°C et les minima moyens mensuels de 23,4°C, bien qu'on observe de variations relatives d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre (Fig.11).

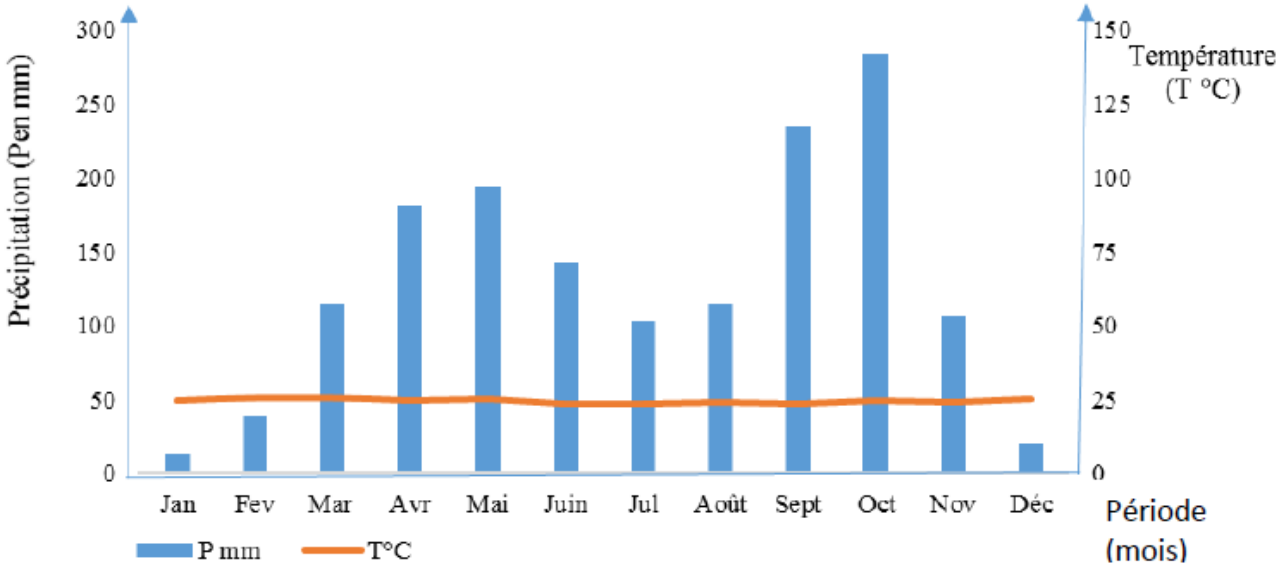


Fig. 11. Courbe ombro-thermique de la localité de Megana entre 2013 et 2016.

Dans la zone de Nkolfon, la température moyenne mensuelle calculée sur une période de 4 ans est de 24,64 °C ; les maxima moyens mensuels sont de 26,02°C et les minima moyens mensuels de 22,79°C, bien qu'on observe de variations relatives d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre (Fig.12).

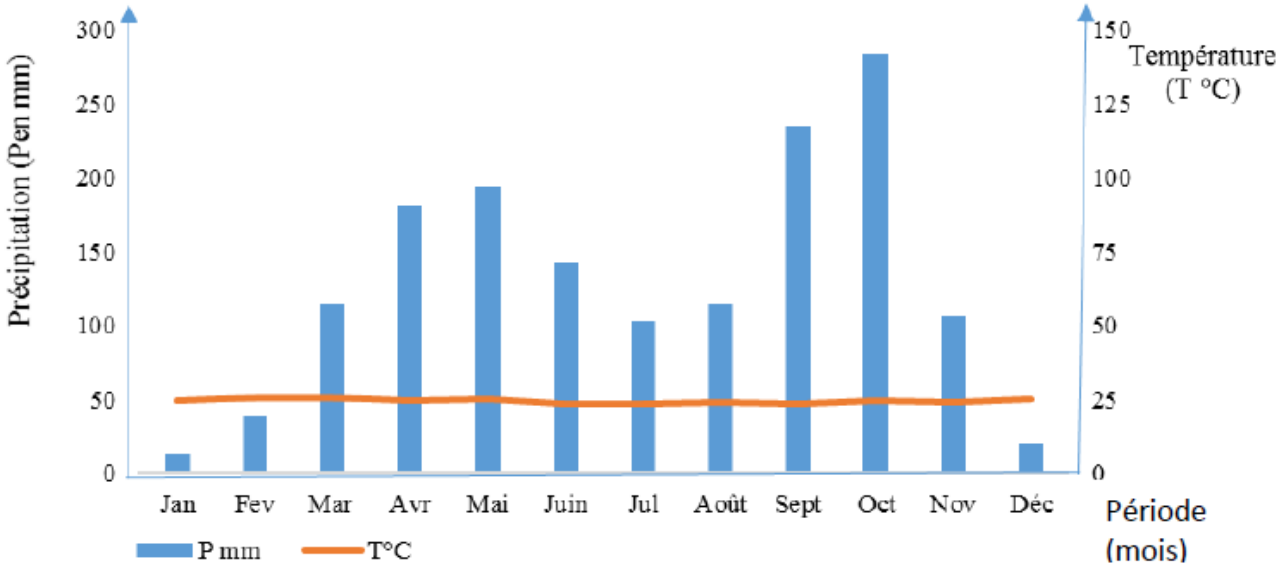


Fig. 12. Courbe ombro-thermique de la localité de Nkolfon entre entre 2015 et 2018.

2.1.1.2.3. Humidité des sites d'expérimentation

L'humidité relative dans les deux sites varie entre 50-80% en saison sèche et 70-90% en saison de pluie. Le degré hygrométrique est assez élevé, 80% en moyenne (Anonyme, 2017).

2.1.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est constitué :

(1) De trois variétés de maïs: CMS 8704, CMS 8501 fournies par l'IRAD de Nkolbisson et la variété locale vendue sur le marché local (Fig.13).

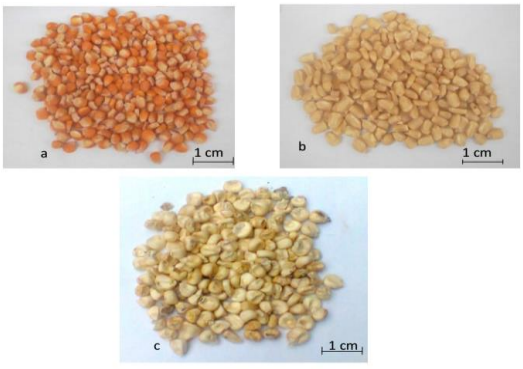


Fig. 13. Trois variétés de maïs utilisées. (a) Variété CMS 8704 ; (b) Variété CMS 8501 ; (c) Variété locale.

Les caractéristiques des différentes variétés mettent en évidence la durée du cycle de production, la texture, la couleur et la mature (Tableau VII).

Tableau VII. Caractéristiques des trois variétés de maïs utilisées.

Caractéristiques / Variétés	Durée du cycle (en j)	Texture	Couleur	Nature
V_1 : Variété locale	120 (tardive)	Farineuse	Blanche	Locale
V_2 : CMS 8501	115 (intermédiaire)	Vitreuse	Blanche	Composite
V_3 : CMS 8704	115 (intermédiaire)	Vitreuse	Jaune	Composite

(2) Du fragment de feuilles du maïs (*Zea mays*) portant le symptôme d'attaque d*'helminthosporium turcicum* (Fig. 14). Les feuilles ont été prélevées sur les plantes infectées dans les conditions naturelles et l'agent pathogène a été purifié au laboratoire.

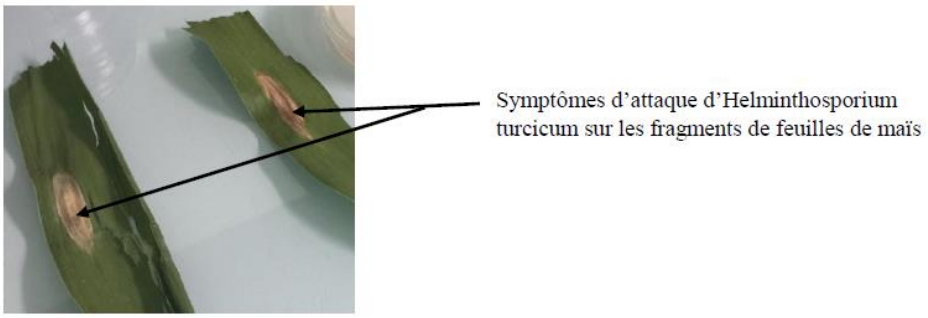


Fig. 14. Fragments de feuilles du maïs portant le symptôme d'attaque d'Helminthosporium turcicum.

(3) De la fumure organique

La fumure organique est constituée du compost des déchets ménagers et les parches de café. Le compost des déchets ménagers de 6 mois d'âge utilisé dans cette expérimentation a été produit artisanalement à Douala par l'auteur avec l'appui de l'ONG ADEC (Appui pour le Développement Communautaire du Cameroun) exerçant dans la collecte et la valorisation des déchets urbains dans la ville de Douala. La fumure à base des parches de café de trois mois d'âges a été produite par l'usine de décorticage de café d'Akonolinga.

2.1.3. Matériel chimique

Le matériel chimique est constitué d'un fongicide couramment utilisé dans les champs des cacaoyers pour la lutte antifongique avec pour matière active constituée de 60g de mefenoxam

(Ridomil Gold plus 66WP (Fig. 15)) et de la fumure inorganique qui est l'engrais minéral complexe N-P-K (20-10-10) (Fig. 16).

Fig. 15. Fongicide de synthèse : Ridomil Gold plus 66WP

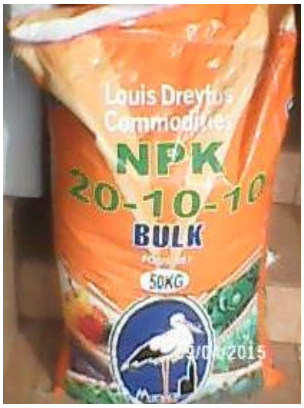


Fig. 16. Engrais chimique NPK (20-10-10).

2.1.4. Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué des souches et des spores d'*Helminthosporium turcicum*. Les souches d'*Helminthosporium turcicum* ont été prélevées sur les fragments de feuilles de maïs cultivés dans nos sites d'expérimentation de Megana et de Nkolfon.

2.1.5. Autres matériels

Le milieu de culture (milieu PDA), des boîtes de Petri en plastique de 90 mm diamètre, des seringues à insuline et des seringues de 10 ml, des béchers, un erlenmeyer, une spatule, du coton, un tissu de mousseline un microscope, une balance de précision de marque Sartorius, du papier aluminium, du film alimentaire, un autoclave, un réfrigérateur, un sonicateur, des pipettes, une hanse de platine, un cache-nez, un appareil photo, un emporte-pièces, un agitateur magnétique, une règle graduée de 30 cm, une houe, une machette, une ficelle, une paire de gangs, une paire de bottes. L'ensemble de ce matériel a été utilisé pour la réalisation de travail de terrain et de laboratoire.

2.2. METHODES

2.2.1. Caractérisation physico-chimique des sols des sites d'expérimentation et des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées dans l'étude

2.2.1.1. Caractérisation physico-chimique des sols de Megana et de Nkolfon

La caractérisation physico-chimique des sols de Megana et de Nkolfon a été effectuée au Laboratoire des Sols, Plantes, Eaux et Engrais de l'Institut de la Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson avant la mise en place des essais. La méthode d'analyse utilisée est celle adaptée du laboratoire d'analyse du Centre ORSTOM de Nouméa en nouvelle Calédonie (Kaho *et al.*, 2007). Ainsi l'analyse des sols de deux sites d'expérimentation s'est faite par étape successive.

2.2.1.1.1. Prélèvement des échantillons

Un seul échantillon composite composé de 10 sous-échantillons prélevés au hazard dans l'ensemble du terrain a été analysé au laboratoire. Le prélèvement a respecté la procédure suivante :

- Une inscription du nom de terrain correspondant (Megana, Nkolfon) a été faite sur le sac d'échantillonnage fourni par le laboratoire au crayon indélébile;

- A l'aide de la pelle et du sceau de collecte, le terrain a été parcouru en y prélevant au hazard 10 sous-échantillons à une profondeur de 20 cm;

- les sous-échantillons ont été émiettés et bien mélangés dans le sceau de collecte;

- des pincées de sol pesant 1Kg ont été prélevés au hasard dans le saut de collecte et transférés dans le sac d'échantillonnage;

- le sac d'échantillonnage a été hermétiquement fermé et gardé au frais dans un thermos contenant des glaçons à destination de laboratoire pour une analyse standard de sol et une analyse éventuelle d'azote.

2.2.1.1.2. Traitement de l'échantillon

L'échantillon est séché à l'air pendant une semaine, puis tamisé à 2 mm (passoire à trous ronds 0,2 mm) et homogénéisé. Une partie de 1'échantillon est broyée à 0,2 mm (tamis 2 maille carrée) au broyeur FRITSCH (bol en oxyde de zirconium ou en agate) ou SPEX (bol en carbure de tungstène). Une autre partie est broyée à 0,5 mm, au mortier de porcelaine.

2.2.1.1.3. Caractérisation physique

2.2.1.1.3.1. Profil hydrique

Après saturation en eau des échantillons des sites de Megana et de Nkolfon, ceux-ci sont soumis, pendant 24 heures, à une pression d'air, exprimée par le logarithme de la pression en g/cm^2. Il s'établit un équilibre entre la force appliquée et la force de détention en eau du sol. L'humidité des échantillons est mesurée après traitement (par séchage à l'étuve à 105 °C, pendant 24 heures) et exprimée en % par rapport aux échantillons séchés à 105 °C (Thé *et al.*, 2011).

2.2.1.1.3.2. Analyse granulométrique

Détermination des fractions granulométriques suivantes :

Argile	a < 0,002 mm
Limon fin	0,002 < lf < 0,020 mm
Limon grossier	0,020 < lg < 0,050 mm
Sable fin	0,050 < sf < 0,200 mm
Sable grossier	0,200 < sg < 2,000 mm

Lengendre : a : particules argileuses ; lf : limon fin ; lg : limon grossier ; sf : sable fin ; sg : sable grossier

Après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée, les particules sont dispersées par agitation à l'aide d'un agitateur magnétique. La caractérisation des fractions argile et limon fin est effectuée par sédimentation (selon la loi de Stokes), à l'aide d'une pipette de "Robinson". Après élimination des argiles et limons fins, les fractions supérieures à 0,020 mm sont séparées par tamisage à 0,050 et 0,200 mm, et déterminées par pesées (Ambassa-kiki *et al*, 1995).

2.2.1.1.4. Caractérisation chimique

2.2.1.1.4.1. pH

La détermination du pH s'est faite à travers la mesure potentiométrique d'une suspension sol/eau et sol/solution molaire de chlorure de potassium, dans le rapport 1/2,5 (Ambassa-kiki *et al*, 1999).

2.2.1.1.4.2. Carbone total

La détermination du carbone total s'est faite à l'aide d'un dosage par la methode Walkley & Black, et d'un titrage potentiométrique

2.2.1.1.4.3. Azote total

La détermination de l'azote total se fait par minéralisation selon la méthode Kjeldahl, puis dosage titrimétrique de l'azote ammoniacal recueilli après déplacement de celui-ci par la soude et entrainement à la vapeur d'eau (Ambassa-kiki *et al*, 1999).

2.2.1.2. Caractérisation physico-chimique des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café

Deux types d'amendement organique ont été utilisés dans les sites d'expérimentation : la fumure à base de compost des déchets ménagers (déchets biodégradables solides ou biodéchets) et la fumure a base des parches de café.

2.2.1.2.1. Caractérisation physico-chimique des fumures à base de compost des déchets ménagers

2.2.1.2.1.1. Production du compost à base des déchets ménagers

La production du compost à base des déchets ménagers a été réalisée en collaboration avec le projet du compostage de l'ONG locale "Appui pour le Développement Communautaire du Cameroun (ADEC)" dont le but était la lutte contre la pollution environnementale dans l'arrondissement de Douala 5ème. Le compost a été obtenu par compostage à petite échelle des ordures ménagères collectées de manière sélective dans les ménages et marché de Bonamoussadi de la Commune de Douala 5ème.

Le compostage a été réalisé par la méthode en andain amélioré à la surface de sol comme le préconise ADEME (2012). En effet, les déchets ont été disposés en tas puis couvert avec du plastique noir pour amorcer le processus du compostage. Les différentes matières destinées à faire le compost étaient intimement mélangées pour avoir un produit homogène. Les paramètres clés du suivi de compostage étaient mesurés régulièrement: la température et l'humidité *in situ* tous les deux jours et le pH tous les quatre jours (Okalebo *et al.,* 2002 ; Anonyme, 2018). L'arrosage de tas était assuré une fois par semaine pour maintenir l'humidité requise et les retournements se faisaient toutes les deux semaines pour aérer le tas. En somme, les cinq règles d'or, facteurs du succès de compostage ont été bien suivies notamment : Mélanger les différentes catégories de déchets, aérer les matières, surveiller l'humidité, intégrer les déchets difficiles à composter, rendre visite au compost.

Au terme de 6 mois de traitement où toutes les étapes du compostage ont été suivies, on a abouti à une transformation totale des déchets et à l'obtention d'un produit fini, stable et inodore qu'est le compost prêt à l'utilisation (Fig.17).

2.2.1.2.1.2. Acquisition de la fumure à base des parches de café

La fumure à base des parches de café de trois mois d'âge a été prélevée au centre de décorticage de café d'Akonolinga. En effet, Akonolinga présente l'avantage d'abriter des centres de décorticage de café (Fig.18), la principale source de matière première à parches de café. Cette matière première se trouve à profusion et est parfois brûlée à la saison de récolte du café pour libérer la place pouvant en recueillir d'autres. Donc les parches de café sont disponibles en grande quantité et nécessite une évaluation de son potentiel agronomique pour une meilleure valorisation et vulgarisation en agriculture.

Fig. 17. Processus du compostage des déchets ménagers en andain amélioré.

A= Collecte des déchets au marché de Bonamoussadi à Douala 5ème par le trycle motorisé de l'ONG ADEC ; B= biodéchets triés et prêts pour le compostage ; C= Andain des déchets couvert avec du plastique noir pour amorcer le processus du compostage ; D= Tas des déchets ayant subi des décompositions ; E= Tamisage de compost avec des tamis de mailles différentes ; F= Echantillon du compost produit.

Fig. 18. Prélèvement des parches de café au centre de décorticage à Akonolinga pour les essais en champs.

2.2.1.2.2. Détermination de la teneur en éléments nutritifs de la fumure à base du compost des déchets ménagers et des parches de café

L'échantillon de la fumure à base du compost des déchets ménagers et des parches de café préalablement broyé a été analysé au Laboratoire des Sols, Plantes, Eaux et Engrais de l'IRAD de Nkolbisson afin de caractériser leurs paramètres physico-chimiques. Les principaux éléments nutritifs (NPK) ont été déterminés selon les méthodes ci-après :

2.2.1.2.2.1. Détermination de la teneur en azote

La teneur en azote dans les différents fertilisants organiques a été obtenue par dosage de l'azote suivant la norme NF ISO 11261. La technique consistait à prélever 1 g de chaque échantillon, les introduire dans des matras distincts et y ajouter 10 ml d'acide sulfurique (H2SO4) puis homogénéiser le mélange et laisser au repos pendant 24 heures. Ensuite transférer le contenu dans un bécher et y ajouter 1,1 g de thiosulfate de sodium (Na_2S_2O3). Chauffer le mélange à 135°C pendant 30 minutes et laisser le mélange refroidir puis ajouter 2,2 g du dioxyde de titane (TiO_2) qui joue le rôle de catalyseur. Passer l'ensemble au minéralisateur à 370 °C pendant 45 minutes. Après refroidissement du mélange y ajouter trois gouttes de phénolphtaléine ($C_{20}H_{12}O^2_4$, Na+) et 20 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH), puis distiller le contenu. Dans une fiole de 100 ml, y introduire la solution distillée et 5 ml d'acide borique (H_3BO3) (indicateur coloré) puis y ajouter 0,01 mol H2S04 pour le titrage. Il est observé durant le titrage un virage de couleur bleu à l'orange clair. La teneur en azote est donc déterminée suivant la formule de Pauwels *et al.* (1992)

$$N\,(mg/g) = [((V_1-V_0)\ X\ C\ (H_2SO_4\ X\ M_N) / m]\ X\ ((100 + H\ \%) / 100)$$

Où N: Teneur en azote; V1 (ml) : Volume d'H_2SO4 descendu pour le dosage de l'échantillon; V0 (ml): Volume d'H_2SO_4 initial dans la burette ; C (H_2SO_4): Concentration d'H_2SO_4 en mol/l ; M_N: Masse molaire de l'azote ; H % : pourcentage d'hydrogène ; m (g) : masse de l'échantillon de fertilisant.

2.2.1.2.2.2. Détermination de la teneur en phosphore

La teneur de phosphore des différents fertilisants a été obtenue par colorimétrie suivant la norme NF ISO 11263. Elle consistait à introduire dans les matras contenant les différents échantillons de fertilisant 0,03 M de fluorure d'ammonium (NH_4F) et 0,1 M d'acide chlorhydrique (HCl) dans le but d'extraire le phosphore assimilable. La solution obtenue a été distillée, puis a subit une extraction avec ajout d'1 g d'acide ascorbique (réactif 1) et 2,15 g de molybdate d'ammonium (réactif 2). Après extraction, la solution obtenue a été introduite dans une fiole contenant 200 ml d'eau distillée. La solution a été ensuite filtrée et laissée au repos pendant 1 heure pour le développement des couleurs. Après une lecture à 880 nm au spectrophotomètre, la teneur a été obtenue suivant la formule de Pauwels *et al.* (1992)

P (mg/g) = (a-b) x K x VT x Fh / m

Où a: absorbance de l'échantillon; b: absorbance du blanc ; k: constance des étalons ; VT: volume totale de l'échantillon ; m (g): masse de l'échantillon ; Fh : facteur d'humidité

2.2.1.2.2.3. Détermination de la teneur en potassium et du pH aqueux (méthode H2OGH-pH)

La teneur en potassium des fertilisants organiques a été obtenue suivant la norme NF ISO 31108. La méthode est la même que celle du phosphore à la différence que le réactif utilisé pour l'extraction est l'acétate d'ammonium.

La valeur pH a été mesurée directement dans l'extrait aqueux à l'aide d'un pH-mètre.

2.2.1.2.2.4. Détermination de la teneur en NH_4^+, NO_2^- et NO_3^-

Les teneurs en ammonium, nitrite et nitrate dans les filtrats aqueux de composts ont été déterminées selon les méthodes Reflectroquant de Merck (Merk, RQflex, D-64271 Darmstadt) améliorée par Larbi (2006). Cette méthode est sensible, rapide et fiable pour déterminer l'azote minéral des composts. Elle permet en outre de mesurer la forme nitrique (NO_2-), qui est une forme d'azote toxique pour les plantes**.**

2.2.1.2.2.5. Détermination de la matière sèche des composts (méthode D-TS) et la teneur en matière organique (méthode D-AS)

La teneur en matière sèche de compost a été déterminée après séchage des échantillons de composts à 105 °C pendant 24 h.

La teneur en matière organique a été réalisée selon la méthode perte au feu à 600 °C améliorée par Larbi (2006) : environ 1-5 g de compost séché à 105 °C sont placés dans un four à moufles à 600 °C pendant 3 à 4 heures. La mesure de la perte au feu permet une bonne estimation des teneurs réelles en matière organique des composts.

2.2.2. Évaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de croissance et de rendement des trois variétés du maïs cultivées en champs

2.2.2.1. Préparation du terrain et mise en place du dispositif expérimental

Les travaux de préparation de terrain ont été faits manuellement en utilisant certains matériels techniques mentionnés plus haut. Après le défrichage du site, les troncs d'arbres et herbes sont entassés et brûlés par endroit. Par la suite le labour à l'aide des houes a permis la mise en place du dispositif expérimental.

2.2.2.2. Dispositif expérimental

Le site expérimental d'une superficie de 384 m^2 a été organisé selon un dispositif factoriel «split-plot» randomisé avec 4 blocs (Lecompt, 1965). Avec en parcelle principale les variétés (V_1 : variété locale, V_2 : variété améliorée CMS 8501, V_3 : variété améliorée CMS 8704) et en sous parcelle les traitements fertilisants (T_0: témoin non fertilisé, T_1: fumure à base des parches de café, T_2: compost de déchets ménagers, T_3: engrais minéral NPK=20-10-10). Chaque bloc est la combinaison de trois variétés et quatre traitements soit 12 combinaisons. Chaque unité expérimentale ou sous-parcelle a été constituée de 3 lignes comportant 7 poquets par lignes soit un total de 21 poquets par unité expérimentale. Chaque unité expérimentale comprend 42 plants à raison de 168 par parcelle principale pour un total de 504 plants par bloc soit 2016 plants pour l'ensemble de 4 blocs. Au total, on dénombre 48 unités expérimentales ou sous-parcelles mesurant chacune 2 m x 4 m séparée entre elles par une distance de 1 m et la distance entre les blocs est de 1,5 m (Fig.19).

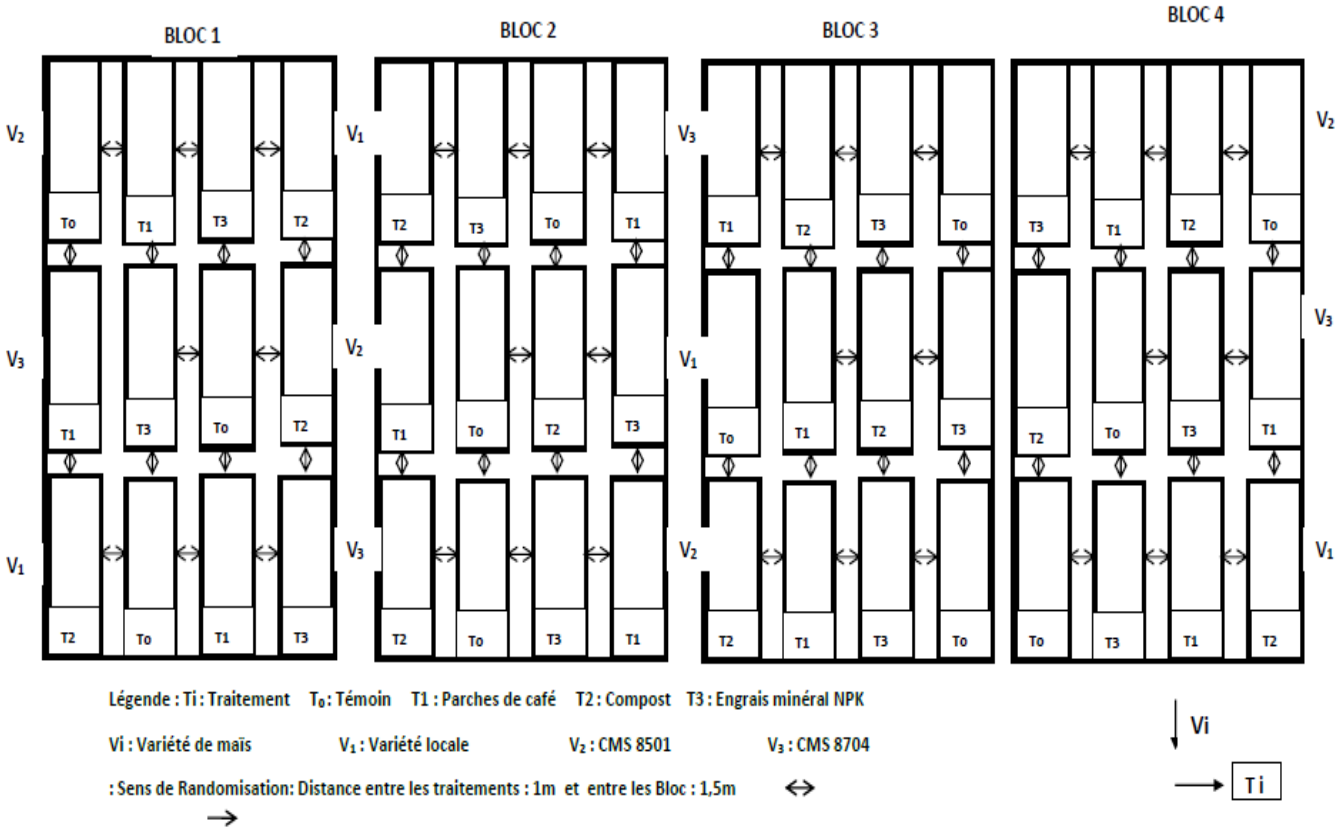


Fig. 19. Dispositif expérimental.

2.2.2.3. Semis

Une sous-parcelle (2m x 4m) a pour densité de semis 80 cm x 50 cm, elle constituée de trois lignes, chaque ligne est composée de 7 poquets soit 21 poquets par sous-parcelle. Un poquet dispose de 2 plantes pour un ensemble de 42 plantes par sous-parcelle (Anonyme, 2012b).

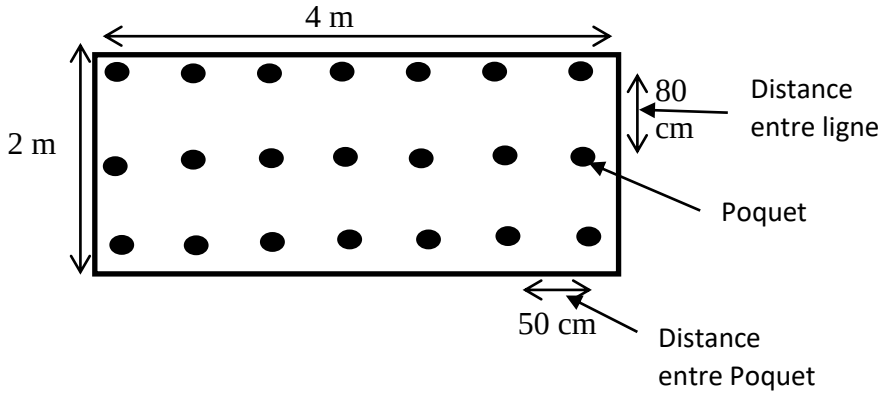


Fig. 20. Densité de semis par sous-parcelle.

2.2.2.4. Application des traitements fertilisants

Les traitements fertilisants appliqués en sous-parcelles comprennent : le témoin (T_0), la fumure à base des parches de café (T_1), la fumure à base de compost des déchets ménagers (T_2), la fumure à l'engrais minéral NPK (T_3).

Le témoin (T_0), comprend 12 unités expérimentales sur lesquelles aucun traitement n'a été appliqué jusqu'à la fin de l'expérimentation. La randomisation des traitements comprenait deux étapes dans chacun des blocs qui sont :

- Randomisation des variétés dans les trois parcelles principales ;
- Dans chaque parcelle principale, randomisation des traitements.

L'application ou l'épandage du compost et fumure à base des parches de café a eu lieu deux semaines avant le semis dans les unités expérimentales respectives. La technique d'épandage en bandes (Anonyme, 2012b) a été utilisée. Elle consistait à faire de poquet au sol dans la zone de semis et y déposer le fertilisant en raison de 0,8kg par poquet (Anonyme, 2010) ensuite remuer dans le but d'homogénéisé la terre et le fertilisant. Les fertilisants organiques ont été préalablement pesés dans les demi-bouteilles d'eau minérale de 1,5l.

Le traitement (T_1) reçoit une dose de 0,8 Kg de la fumure à base des parches de café par poquet contenant 02 pieds de maïs, conformément aux recommandations reçues pour l'application du compost.

Le traitement (T_2) reçoit une dose de 0,8 Kg du compost des déchets ménagers par poquet contenant 02 pieds de maïs, selon les recommandations faites par Mouafo et Ngikam (2008). En effet, ces auteurs recommandent l'application de 20 tonnes de compost par hectare (20 t/ha). Partant du fait qu'un hectare vaut 10 000 m^2 et que notre espace d'expérimentation comprend 384 m^2 de superficie, il a fallu mobiliser 768 Kg. En réalisant des opérations arithmétiques, allant de la superficie de la sous-parcelle qui est de 8 m^2 et devrait recevoir 16 Kg, on arrive à la dose par poquet d'environ 0,8 kg issus du rapport entre 16 Kg par 21 poquets que comporte une sous-parcelle.

Quatre semaines après le semis, le fertilisant chimique (engrais chimique 20-10-10) ou le traitement (T_3) a été épandu à raison de 11,2 g par surface d'un plant (Anonyme, 2003). Ainsi, l'engrais a été placé autour de la plante à une distance de 5 cm à partir des pieds de maïs puis recouvert de terre. L'avantage de cette technique est le fait qu'elle permet d'optimiser la quantité d'engrais épandue par un apport localisé. Il est à noter que le fertilisant utilisé a été au préalable pesé dans des mesurettes en plastique selon la quantité à introduire par poquet dans le but de faciliter l'épandage.

2.2.2.5. Entretien du champ d'expérimentation

Partant du fait que le maïs est une plante dont le cycle de développement nécessite une importante aération, il est donc nécessaire d'éliminer continuellement les mauvaises herbes car elles étouffent et retardent la croissance de la plante. Le champ a été donc désherbé (sarclé) manuellement sur trois périodes :

• Un premier sarclage qui s'est fait pendant le démariage, 15 jours (stade 3 à 4 feuilles) après la levée. Le démariage consistait à éliminer les plants de maïs supplémentaires et les moins vigoureux de façon à obtenir une densité régulière (deux plants par poquet).

• Un second sarclage 45 jours après le premier

• Un dernier sarclage avant la récolte.

2.2.2.6. Evaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de croissance des trois variétés du maïs cultivées en champs

L'évaluation de l'influence du traitement fertilisant sur les paramètres de croissance de trois variétés de maïs a été effectuée pendant deux campagnes d'expérimentation et dans deux sites différents. Il s'agit ici des essais multi-sites avec des saisons différentes. Deux essais tests répétés une fois ont été réalisés dans le site de Megana à Akonolinga et deux autres essais de confirmation répétés aussi une fois ont été effectués dans le site de Nkolfon de l'arrondissement de Yaoundé 3. Cinq (05) paramètres de croissance des plants du maïs ont fait l'objet d'évaluation notamment : le taux de levée, le nombre de feuilles, la surface foliaire, le diamètre au collet et la taille de la tige. La prise de donnés a débuté 4 semaines après le semis et s'est effectué chaque mois jusqu'au début de l'épiaison.

2.2.2.6.1. Evaluation du taux de levée

La levée est observée du 6^e au 8^e jour après le semis. Le taux de levée qui est le rapport entre le nombre de plants réellement levées et le nombre total de graines semées est estimé à travers la formule de Harrington et Minges (1954) et reprise par Moubitang (2010).

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

Où $T_g(\%)$ = taux de levée exprimé en pourcentage ;

n = nombre de plants levés

N = nombre total de graines semées

2.2.2.6.2. Hauteur des plants (cm)

La hauteur des plants ou la taille de la tige a été mesurée à partir de la 4^{e} semaine après le semis (SAS) et mensuellement à l'aide d'un mètre ruban en partant du collet jusqu'au dernier nœud où est inséré la dernière feuille supérieure (Marcellin, 1979).

2.2.2.6.3. Diamètre au collet (cm)

Le diamètre est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse chaque mois. La mesure de ce paramètre est faite à partir de la 4^{e} semaine de la levée du maïs (Lorgeou, 1991).

2.2.2.6.4. Nombre de feuilles

C'est le nombre total de feuilles formées par plant. Le comptage des feuilles est fait mensuellement à partir de la 4^{e} semaine après la levée (Bourdu et Gregory, 1983).

2.2.2.6.5. Surface foliaire (cm^2)

La surface foliaire (S_f) est calculée classiquement par le produit des longueurs et largeurs maximales (L_{max} et l_{max}) affecté du coefficient 0,75 (Bonhomme *et al*, 1982).

$S_f = (L_{max} \times l_{max}) \times 0,75$

L_{max} = Longueur maximale de la feuille du maïs

l_{max} = largeur maximale de la feuille du maïs

2.2.2.7. Evaluation de l'effet fertilisant des fumures à base de compost des déchets ménagers et des parches de café utilisées sur les paramètres de rendement des trois variétés du maïs cultivées en champs

La récolte du maïs s'est faite manuellement à partir de 3 mois 16 jours après le semis. Pour estimer le rendement, cinq plantes de maïs ont été choisies au hasard par unité expérimentale ou sous-parcelle, soit vingt plantes par parcelle principale pour un total de quatre-vingt (80) plantes dans quatre blocs. Après la récolte des épis, ces derniers ont été séchés puis égrainés, et après un second séchage les graines par pieds de maïs ont été pesées et la valeur obtenu à savoir le poids des grains secs par épis a été utilisé pour calculer le rendement(en hectare) en grain suivant la formule de N'Goran & Kanga (2000) et de Svecnjak *et al.* (2006)

$$RdHa = \frac{PGEp \times 21}{8\ m^2} \times 10000\ m^2$$

PGEp = poids des grains secs de maïs par pied pesés à l'aide de la balance Sartorius de précision 0,001g ;

21 = nombre de pieds de maïs par sous-parcelle ;

8 m^2 = superficie de chaque sous-parcelle ;

10000 m^2 = 1 hectare.

2.2.2.8. Correction de l'absence du traitement de base (engrais de base) par le test de covariance entre le témoin et les traitements fertilisants

En théorie des probabilités et en statistique, la covariance entre deux variables aléatoires est un nombre permettant de quantifier leurs écarts conjoints par rapport à leurs espérances respectives. Elle s'utilise également pour deux séries de données numériques (écarts par ... propres permet de caractériser la distribution à l'aide d'une base orthogonale, c'est donc une mesure numérique, qui permet d'évaluer la dépendance de deux variables, et, plus précisément, le sens de variation simultanée de ces deux variables. Ainsi, la covariance de X et Y se calcule par la formule suivante :

$$\begin{aligned}\mathrm{Cov}(X,Y) &= \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(X_n-\bar{X})(Y_n-\bar{Y}) \\ &= \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\{X_nY_n-\bar{X}Y_n-\bar{Y}X_n+\bar{X}\bar{Y}\} \\ &= \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}X_nY_n-\bar{X}\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}Y_n-\bar{Y}\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}X_n+\bar{X}\bar{Y} \\ &= \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}X_nY_n-\bar{X}\bar{Y}\end{aligned}$$

2.2.2.9. Analyse économique des traitements à partir de l'indice d'acceptabilité

L'indice d'acceptabilité (IA) défini comme le rapport de revenu net du nouveau traitement par celui du témoin (Assani *et al*. 2015), a été calculé pour identifier le meilleur traitement facilement adoptable par les cultivateurs. Cet indice compare la rentabilité des nouveaux traitements au traitement de référence bien connu par les paysans. C'est donc le rapport des bénéfices des deux traitements: IA= Bénéfice du traitement/Bénéfice du témoin (Jama *et al.,* 2000 ; Muna-Mucheru *et al.*, 2007). Le bénéfice brut est le bénéfice non amputé de charges fixes, c'est-à-dire les charges qui sont les mêmes pour tous les traitements. Ces charges concernent la préparation du terrain, le semis du maïs et les sarclages. Ainsi, une technologie ne peut être facilement adoptée que si la valeur de l'IA est égale ou supérieure à 2 (Muna-Mucheru *et al.,* 2007 ; Kaho *et al.,* 2011). Selon les mêmes

sources, l'adoption se fait avec réticence si cette valeur est entre 1,5 et 2; et en dessous de 1,5 il y a rejet.

Pour l'évaluation des bénéfices, les charges suivantes ont été prises en considération : l'achat des engrais chimiques, le coût de production de compost, le transport et l'incorporation dans le sol. Le coût des engrais chimiques (NPK) est celui observé sur le marché local (22.000 FCFA/50 kg). Le coût de la main-d'œuvre pour collecter, transporter et incorporer la fumure à base des parches de café dans le sol est celui calculé par Lehman *et al.,* 2006 et dont le coût moyen est d'environ 1.200 FCFA/100 kg (2,5 US$) soit 12 FCFA/kg. Le prix moyen du kg du maïs dans les marchés de Yaoundé est d'environ 300 FCFA.

2.2.3. Évaluation de l'effet phytosanitaire des types de fumure utilisés sur les maladies parasitaires des trois variétés du maïs cultivées en champs

L'évaluation de l'état phytosanitaire des types de fumure utilisés sur les maladies parasitaires et physiologiques des trois variétés du maïs a débuté 4 semaines après le semis et s'est faite chaque mois jusqu'à la récolte. Dans un premier temps, un diagnostic visuel des symptômes a été fait permettant d'identifier et de recenser les maladies du site (Renard &Foucart, 2008). Ensuite, une prise de donné sur le nombre de plante malade et le degré d'infection de la maladie a été effectué dans chaque unité expérimentale afin d'évaluer l'incidence et la sévérité de chaque maladie. Les investigations ont été réalisées sur les maladies parasitaires : la Fusariose d'épi, l'Helminthosporiose et le Charbon d'épi.

2.2.3.1. Evaluation du taux d'incidence

L'incidence de la maladie désigne la proportion des plantes malades au sein d'une unité expérimentale donnée, indépendamment de la gravité de l'attaque de chaque plante. Après avoir dénombré les plantes malades, l'incidence de la maladie a été déterminée en utilisant la formule usuelle en pathologie végétale décrite par Tchoumakov & Zaharova (1990) à savoir :

$$I\,(\%) = \frac{n}{N} X 100.$$

Où ; N : Représente le nombre total de plante par unité expérimentale; n : le nombre de plantes malades sur la même unité expérimentale et I (%) : incidence ou fréquence de la maladie de l'unité expérimentale.

2.2.3.2. Evaluation du taux de sévérité

La sévérité d'une maladie c'est le degré d'infection d'un organe ou de la plante entière par la maladie. Après avoir dénombré les plantes malades dans chaque unité expérimental et la degré d'infection de la maladie, la sévérité de la maladie a été déterminé grâce à la formue décrite par Tchoumakov & Zaharova (1990) à savoir :

$$S= \sum (ab)/n$$

Où : $\sum$ (ab) est la somme des multiplications du nombre des plantes malades (a) avec le degré d'infection correspondant **(**b**)** donné en %; et n le nombre de plantes malades

L'échelle utilisée pour le degré d'infection (b) est celle proposée par Wangungu *et al.,* (2011). Où 1: 0 % d'infection de la plante; 2 : infection recouvrant entre 1 - 15 % de la plante; 3 : infection recouvrant entre 16 - 40 % de la plante; 4 : infection recouvrant entre 41 - 75 %; 5 : infection recouvrant 76 % - 100 % de la plante.

2.2.4. Détermination du potentiel inhibiteur *in vitro* de l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers sur le développement d'*Helminthosporium turcicum*

2.2.4.1. Préparation du milieu de culture PDA

Pour l'obtention du milieu PDA, 200 g de pomme de terre ont été préparés dans de l'eau de consommation courante (eau de robinet) pendant 30 mn. Les pommes cuites ont été pressées dans du papier filtre et le jus de pomme recueilli dans un bécher de 1000 ml. 15 g d'agar et 15 g de dextrose y sont ajoutés. L'ensemble a été complété avec de l'eau distillée jusqu'à 1000 ml et porté à un agitateur magnétique. Le pH a été ajusté à 6,0 si nécessaire. La solution obtenue est stérilisée à l'autoclave à 120°C pendant 30 minutes et conservée au réfrigérateur. Ce milieu a servi à la culture des souches pures et aux tests d'inhibition de la croissance mycélienne *d'Helminthosporium turcicum.*

2.2.4.2. Isolement de la souche pure d'*Helminthosporium turcicum*

L'isolement de la souche pure d'*Helminthosporium turcicum* a été réalisé à partir des feuilles infectées présentant les symptômes de la maladie. Les feuilles sont lavées à l'eau de robinet puis désinfectées à l'aide d'un coton imbibé d'alcool à 95°. A l'aide d'un scalpel, les parties infectées de la feuille (portant les nécroses) sont enlevées puis incubées dans les boîtes de Petri contenant le Milieu PDA. La boîte est refermée, scellée avec du film alimentaire et mise en incubation dans une chambre de culture à 22-24 °C sous une photopériode de 12h. Le mycélium se développe à partir de l'explant et atteint après 08 jours une croissance suffisante pour procéder à sa

purification. La purification se fait par repiquages successifs d'un fragment de gélose prélevé sur le front de croissance du mycélium sur milieu PDA. Cette opération est répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à l'obtention de cultures pures qui seront conservées en piluliers dans de l'eau distillée stérile (Ondo, 2006 ; Nyassé, 1992). L'identification a été faite à l'aide des observations microscopiques du mycélium (Fig.21) et d'une clé d'identification (Hsieh et Goh, 1990).

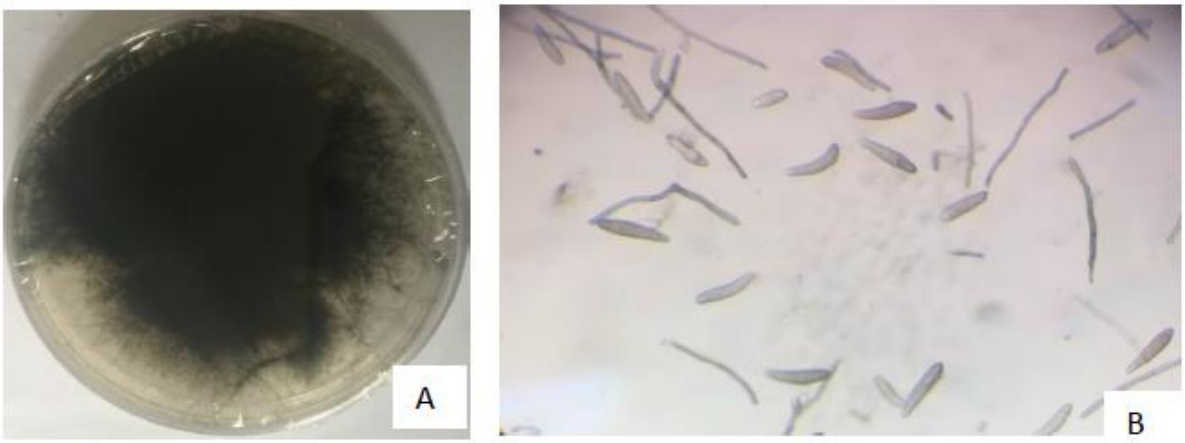


Fig. 21. Obtention de la souche pure d*'Helminthosporium turcicum* : A= souche pure ; B= mycélium

2.2.4.3. Postulat de Koch

Les feuilles de maïs saines ont été récoltées très tôt le matin et transportées au laboratoire. Elles ont été nettoyées avec de l'alcool 70° et rincées avec de l'eau distillée stérile. Ensuite elles ont été découpées en petits morceaux et placées dans les boîtes de Petri recouvertes de coton imbibé d'eau distillée pour maintenir l'humidité, et éviter le dessèchement de la feuille afin de rendre le limbe plus réceptif aux inoculations (Nyassé, 1992). La libération de « conidies forming unity (cfu) » a été au préalable favorisée par un choc thermique, en soumettant la suspension (mycélium prélevé sur le front de croissance en boîte de Petri et mélangé à de l'eau distillée) à une température de 4 °C dans un réfrigérateur pendant 5mn, puis à température ambiante dans une enceinte noire pendant 30 mn. Un ml de la suspension conidienne d*'Helminthosporium turcicum* est déposé au centre d'un fragment de feuille à l'aide d'une micropipette. Ce fragment est incubé dans une boite de Petri dans une chambre noire à température comprise entre 24 et 26 °C. 08 jours après inoculation, la présence et le développement de la nécrose révèlent la réussite de l'infection par l'agent pathogène (Fig.22), confirmant ainsi son identité (Nyassé, 1997).

Fig.22 . Test de pathogénicité sur feuille de maïs en boîte de Petri.

2.2.4.4. Préparation de l'extrait aqueux de compost

La préparation du jus de compost ou l'extrait aqueux de compost a été réalisée selon la méthode aérobique ou la méthode d'extraction originale par fermentation développée par l'allemand Heinrich Weltzein (1992) et améliorée par Will Brinton sur la Côte Est des Etats-Unis (1996). La méthode consiste à mélanger un volume de compost avec deux ou cinq volumes d'eau déminéralisée (1 : 2 et 1 : 5 (v : v ; compost : eau)) dans une bouteille PE qui facilite l'agitation manuelle journalière. Le mélange est ensuite agité manuellement pendant deux minutes, puis incubé ou laissé pour fermentation à l'air libre à la température ambiante. Après une période d'absorption de 3 ou 7 jours mentionnée comme « le temps d'extraction », la solution est passée (filtrée) à travers un tissu de mousseline. L'extrait obtenu est refiltré à travers une membrane filtre de 0.2 µm de diamètre (Schleicher & Schuell, D-37582) puis conservé dans une bouteille au réfrigérateur à une température de 4°C. L'extrait est sorti du réfrigérateur pour réaliser l'expérimentation une demi-heure avant son utilisation.

Dans le cadre de cette étude, deux mélanges ont été effectuées : (1) 500g de compost ont été mélangés avec 1000 ml d'eau stérilisée dans une bouteille PE d'un litre et demi à col ouvert ; (2) puis 200g ont été aussi mélangés avec 1000 ml d'eau stérilisée dans une bouteille PE d'un litre et demi à col ouvert. Chaque mélange a été ensuite agité manuellement pendant deux (02) minutes, puis incubé à une température ambiante (27 °C). Après 3 et 7 jours d'incubation (le temps d'extraction), chaque mélange est filtré à travers un tissu de mousseline. Chaque extrait obtenu est refiltré à travers une membrane filtre de 0.2 µm de diamètre (Schleicher & Schuell, D-37582). Une partie de chaque extrait obtenu a subi une stérilisation à l'autoclavage pendant une heure à 121 °C dans le but d'éliminer les éventuels agents pathogènes. Chaque extrait autoclavé a été codifié « extrait stérilisé », l'autre partie restante qui n'a pas été stérilisée à l'autoclave est codifiée « extrait non stérilisé ». Ces deux types d'extrait ont été conservés chacun dans une bouteille au réfrigérateur

à une température de 4°C, puis soumis plus tard aux tests d'inhibition de la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum*.

2.2.4.5. Protocole expérimental de l'essai *in vitro*

L'essai a été conduit dans des boites de Pétri, des concentrations de 0,5 ; 1 et 2 ml d'extrait de compost stérilisé et non stérilisé ont été mélangées respectivement dans 19,5 ; 19 et 18 ml de PDA encore liquide pour avoir un volume final de 20 ml par boîte de Pétri. Après agitation, le mélange (PDA + extraits de compost) a été ensuite coulé aseptiquement dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre sous la hotte à flux laminaire. Deux témoins ont été réalisés dans les mêmes conditions. Le témoin positif (T+) qui n'a reçu que 20 ml du milieu de culture PDA et le témoin négatif (T-) a reçu un mélange de 0,5 ml de fongicide (Ridomil Gold plus 66WP) et 19,5 ml du milieu de culture PDA pour un volume final de 20 ml.

Après solidification du milieu, des disques mycéliens de 7mm de diamètre, issus de cultures jeunes *d'Helminthosporium turcicum* ont été déposés au centre des boîtes de Pétri sous forme d'une pastille de gélose. L'incubation a lieu à 28°C, sous lumière continue (Bouslim ; 1996). Chaque combinaison a été répétée trois fois.

La mesure de la croissance mycélienne des colonies a commencé 48 heures après incubation, 4 prises de mesure de croissance mycélienne ont été réalisées jusqu'à l'envahissement de la boîte de Pétrie du témoin positif par les filaments mycéliens *d'Helminthosporium turcicum* notamment : 2ème jour, 4ème jour, 6ème jour et 8ème jour. La croissance mycélienne a été ensuite estimée par la moyenne de deux diamètres perpendiculaires.

2.2.4.6. Evaluation de la croissance mycélienne

Le taux d'inhibition (I %) ou pourcentage d'inhibition dû à chaque extrait a été évalué au huitième (8^{ième}) jour après incubation par rapport à la croissance mycélienne dans les boîtes témoins selon la formule développée par Singh *et al.*, (1993)

$$I(\%) = \frac{Dto(mm) - Dxi(mm)}{Dto(mm)} \times 100$$

I(%) : pourcentage d'inhibition ; Dto est le diamètre moyen du lot témoin et Dxi le diamètre moyen des lots en présence de l'extrait.

Les différents diamètres se calculent suivant la formule de Singh *et al.* (1993) :

$$D = \frac{D1 + D2}{2} - D0$$

Où : D0 est le diamètre de l'explant ; D1 et D2 sont les diamètres de culture mesurés dans les deux directions perpendiculaires (Fig. 23).

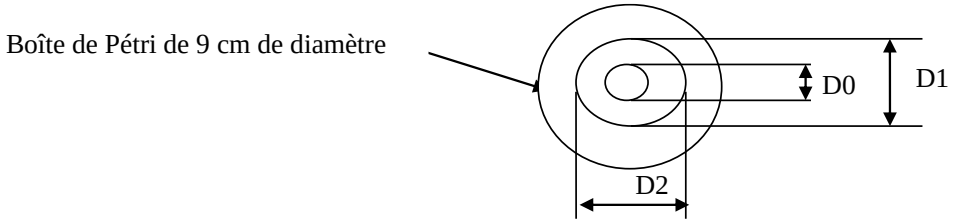


Fig. 23: Mesure de la croissance mycélienne en boîte de Pétri sur milieu PDA.

La droite de régression permet de mettre en évidence l'existence d'une corrélation ou non entre le pourcentage d'inhibition (PI) 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) (Ngoh Dooh *et al.*, 2014).

2.2.4.7. Corrélation entre concentration et inhibition

La corrélation entre concentration et le pourcentage d'inhibition a été déterminée à partir de l'équation y = ax + b avec x = concentration, et y = pourcentage d'inhibition. La variable a donné l'allure de la pente ; si a < 0, la pente est négative ; si a > 0, la pente est positive. Quant au coefficient de corrélation r, s'il est compris entre 0,8 et 1 alors la corrélation est parfaite et positive ; si r est compris entre – 0,8 et -1alors la corrélation est imparfaite et négative (Heu, 2012).

2.2.4.8. Détermination de la Concentration Minimale d'Inhibition (CMI 50)

La concentration minimale d'inhibition de l'extrait aqueux de compost stérilisé et non vis-à-vis d*'Helminthosporium turcicum* a été déterminée en confrontant la valeur du pourcentage d'inhibition à celle du logarithme népérien des concentrations correspondantes (Ci) : PI = f (ln Ci).

2.2.5. Analyses statistiques

Les données ont été évaluées au moyen d'une analyse de variance (ANOVA) suivies par une comparaison par paires (Tukey-B). Le test de LSD (α =5%) a appuyé aussi la comparaison des moyens. Le logiciel Excel a été utilisé pour traiter et exprimer les données sous la forme Moyenne ± écartype. Les différences significatives ont été relevées par le Test de Tukey-B à P <0.05. Toutes les analyses ont été faites en utilisant le programme statistique SPSS (version 10.0, SPSS Inc.).

CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Caractéristiques des sols des sites d'expérimentation et des fumures utilisées dans l'étude

Cette partie présente les résultats d'analyse physico-chimique des sols de Megana et de Kolfon, et les paramètres physico-chimiques des fertilisants organiques.

3.1.1.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols de sites d'expérimentation

Les analyses physico-chimiques effectuées au Laboratoire des Sols, Plantes, Eaux et Engrais de l'Institut de la Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson, ont permis d'obtenir les caractéristiques physiques et chimiques des sols des sites d'expérimentation.

3.1.1.1.1. Caractéristiques physiques

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols de Megana et Nkolfon étudiés montrent une texture argileuse associée des sables et des limons (Tableau VIII).

Tableau VIII. Caractéristiques physiques des sols des sites étudiés.

Sols des sites étudiés / Composition de la Structure des sols	Megana	Nkolfon
Argile	31,3	47,1
Limon fin	1,3	1,6
Limon grossier	4,0	10,02
Sable fin	20,2	19,9
Sable grossier	42,2	41,4

3.1.1.1.2. Caractéristiques chimiques

Les résultats d'analyse chimique des sols de Megana et Nkolfon étudiés présentent des valeurs du pH < 7, un faible pourcentage en oligoélément avec un rapport C/N se situant à 10 (Tableau IX).

Tableau IX. Caractéristiques Chimiques des sols des sites étudiés

Caractéristiques / Paramètres	Sols des sites étudiés	
	Megana	Nkolfon
pH (KCl)	4,5	5,4
N (%)	0,18	0,15
C (%)	1,8	1,55
C/N	10	10,33
Ca2+ (cmol(+).kg-1)	0,24	0,39
Mg2+ (cmol(+).kg-1)	0,14	0,19
K+ (cmol(+).kg-1)	0,10	0,09
Phosphore assimilable (mg/kg)	0,3	12,7
Ca/Mg	1,7	2,05
Ca/K	2,4	4,33
Mg/K	1,4	2,11
CEC ($cmol_{(+)}.kg^{-1}$)	3,2	4,4
CECE ($cmol_{(+)}.kg^{-1}$)	2,71	3,80

3.1.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des fertilisants organiques

Les résultats d'analyse physico-chimique obtenus ont révélé que le pH du compost des déchets ménagers est basique (7,8) et celui des parches de café est légèrement acide (6,5). Ces pH se situent dans la gamme des normes de qualité de compost (comprises entre 6 et 9) recommandées par l'OMS (1993). Les deux fertilisants organiques sont riches en matière organique avec une valeur de 23,1 g/100g chez le compost des déchets ménagers qui est légèrement supérieure à celle des parches de café (20,2/100g). Ces deux valeurs se trouvent dans la gamme des normes de qualité de compost (comprises entre 10 et 30) préconisées par l'OMS (1993). Les deux fertilisants organiques ont des valeurs en azote plus élevées que les normes de l'OMS (0,1-1,8), avec le compost qui est plus riche en azote (2,8 %) que les parches de café (2,4 %). Aussi, le rapport C/N du compost est de 15,5 largement supérieur à celui des parches de café (5,15) et légèrement supérieur au rapport recommandé par l'OMS (10-15). Les fumures de compost et des parches de café sont riches en d'autres oligo-éléments avec des valeurs qui sont supérieures ou inférieures aux normes de l'OMS de 1993 (Tableau X).

Tableau X. Composition physico-chimique des différents fertilisants organiques.

Paramètres	Valeur du compost des déchets ménagers de la ville de Douala	Valeur de la fumure des parches de café de la ville d'Akonolinga	Valeur de l'engrais minéral NPK	Normes de qualité de compost selon l'OMS (1993)
MO %	40	18	-	-
MS %	17,5	15	-	-
Température (°C)	23	22	-	-
pH	7,8	8,5	-	6-9
Humidité (g/100g)	35	25	-	30-50
Matière organique (g/100g)	23,1	20,2	-	10-30
N %	2,8	2,4	20	0,1-1,8
C %	22,4	24,6	10	-
C/N	8	10,25	-	10-15
P_2O_5 (%)	3,6	3,5	-	0,1-1,7
K_2O (%)	0,4	5,2	10	0,1-2,3
NH_4^+ (ammoniaque, mg/kg MS)	104,6	60,8	-	(teneur en NH4+ voisine de 0,04%, soit 400 mg/kg (Bernal, 1998)
NO_2^- (nitrites, mg/kg MS)	34,8	28,1	-	
NO_3^- (nitrates, mg/kg MS)	7,4	6,4	-	
Test du chrome	Coloration brune	-	-	Couleur brun vert boueuse
Conductivité électrique en mS/cm	5,8	4, 6	-	-
Taille des particules (mm)	5	3	-	2-10
MgO (mg/kg MS)	5,2	6,5		
Cr (mg/kg MS)	22,5	-		
Cu (mg/kg MS)	30,45	-		
Pb (mg/kg MS)	28,2	-		
Zn (mg/kg MS)	60,5	-		
CaO (mg/kg MS)	67,4	34,3		
Couleur	Marron foncé	Marron claire	-	Marron foncé à noire
Odeur	Odeur de terre sèche humectée	-	-	Odeur de terre humidifiée
Coliforme fécaux et Streptocoques fécaux	Absence	Absence	-	Absence

3.1.2. Effet fertilisant des types de fumure utilisés et des variétés sur les paramètres de croissance et de rendement du maïs cultivé dans les sites de Megana et de Nkolfon

3.1.2.1. Effet fertilisant des types de fumure et des variétés sur les paramètres de croissance du maïs en fonction du temps

3.1.2.1.1. Effet fertilisant des types de fumure sur les paramètres de croissance du maïs en fonction du temps

3.1.2.1.1.1. Effet fertilisant des types de fumure sur le taux de levée du maïs en fonction du temps

Le test d'expérimentation effectué dans le site de Megana a montré que le taux de levée observé chez les différents traitements fertilisants a varié avec le temps et a présenté la même tendance entre la première et la deuxième année. Ainsi au sixième jour après le semis, le témoin a présenté un taux de levée plus faible < 60 % par rapport aux traitements fertilisants. Le traitement à base des parches de café a présenté un taux de levée > 60 % comparativement au traitement à base de compost qui a présenté un taux légèrement élevé atteignant 70 % et similaire au traitement à l'engrais NPK qui a atteint aussi 70 %. Au huitième jour, ce taux est statistiquement similaire chez tous les traitements fertilisants et indépendamment des années. Ainsi le taux de levée en pourcentage (%) s'est trouvé une semaine après semis dans l'intervalle 80 à 87 (Fig. 24 A). De même les données similaires ont été obtenues par le test de confirmation des résultats issus de Megana effectué entre 2016 et 2017 dans le site de Nkolfon (Fig. 24 B).

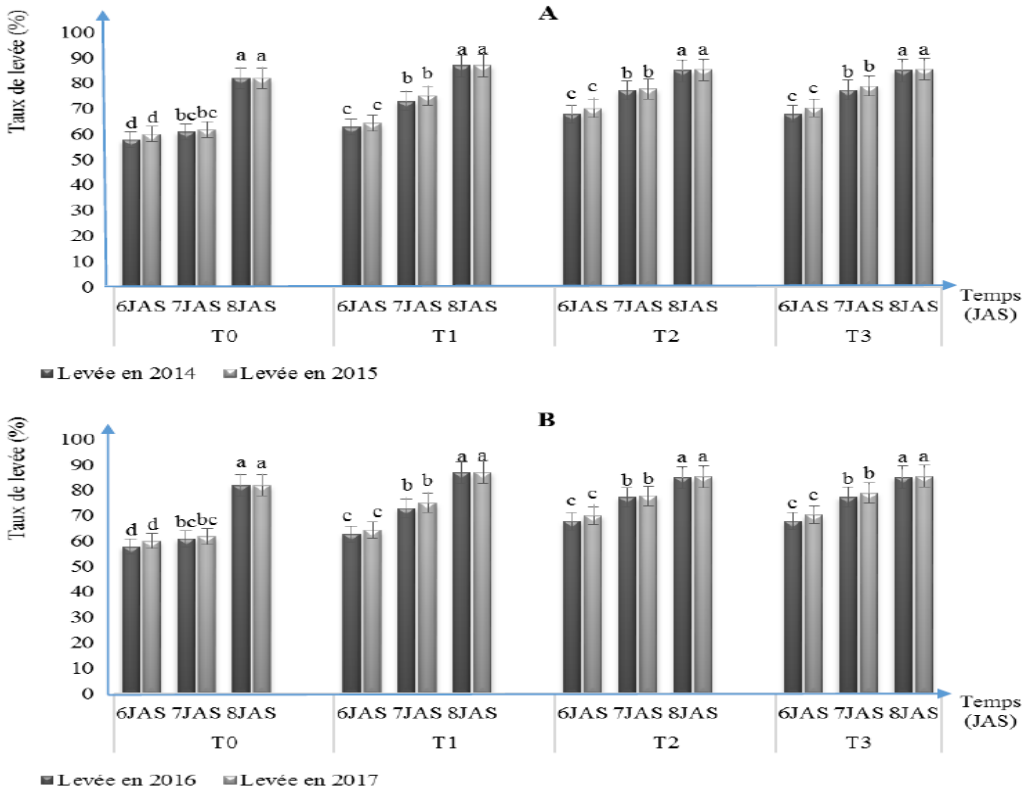


Fig.24. Effet des traitements fertilisants sur le taux de levée du maïs en fonction du nombre de jours après semis :

A = taux de levée obtenu dans les sites de Megana par le test d'expérimentation entre 2014 et 2015
B = taux de levée obtenu dans les sites de Nkolfon par le test de confirmation des résultats issus de Megana entre 2016 et 2017

Légende : JAS : jour après semis ; T0 : Témoin ; T1 : Parches de café ; T2 : Compost ; T3 : Engrais NPK. Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.1.2. Effet fertilisant des types de fumure sur le diamètre au collet des trois variétés de maïs cultivées

Les résultats obtenus dans le site de Megana ont indiqué qu'il existe des différences significatives (P= 0,001) entre les traitements, les semaines après semis et les années de culture. Cependant, l'interaction de ces facteurs n'a pas été pas significative (P= 0,21). Les parcelles expérimentales fertilisées ont présenté des diamètres au collet supérieur aux parcelles témoins. En effet, le diamètre au collet du témoin obtenu à la maturité de la plante du maïs (12SAS) est de 1,61 ± 0,15 cm pour l'expérimentation de 2014 et de 1,41 ± 0,1 cm pour l'expérimentation de 2015. Parmi les trois traitements fertilisants, le traitement à base des parches de café a obtenu pendant deux années d'expérimentation, le diamètre le moins élevé tout au long de la période de croissance. Par contre, le traitement à base de compost a obtenu pendant deux années d'expérimentation, le diamètre statistiquement similaire à celui de l'engrais NPK (Tableau XI A). Le classement des différents traitements fertilisants en fonction de la grandeur croissante du diamètre au collet respecte l'ordre suivant : $T_0<T_1<T_2\leq T_3$.

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont été observées, le témoin a toujours présenté à 12SAS, le diamètre au collet le moins élevé que les autres traitements fertilisants, ce diamètre est de 1,56 ± 0,14 cm pour l'expérimentation 2016 et 1,33 ± 0,2 cm pour l'expérimentation de 2017. Parmi les trois traitements fertilisants, le traitement à base des parches de café a présenté comme dans le site de Megana, le diamètre le moins élevé tout au long de la période de croissance. Par contre, le traitement à base de compost a présenté aussi pendant deux années d'expérimentation, le diamètre statistiquement similaire à celui de l'engrais NPK (Tableau XI A&B). Le classement des différents traitements fertilisants en fonction de la grandeur croissante du diamètre au collet respecte aussi l'ordre suivant comme dans le site de Megana : T0<T1<T2≤T3.

Tableau XI. Influence du traitement fertilisant sur le diamètre au collet du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2014	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2015	Probabilité
T_0	4SAS	1,24 ± 0,03 b	1,01 ± 0,05 c	
	8SAS	1,51 ± 0,15 bc	1,29 ± 0,11 bc	
	12SAS	1,61 ± 0,15 b	1,41± 0,1 b	
T_1	4SAS	1,35 ± 0,04 ab	1,15 ± 0,06 ab	
	8SAS	1,62 ± 0,14 b	1,43 ± 0,13 b	
	12SAS	1,75 ± 0,14 a	1,55 ± 0,14 a	P= 0,001 < 0,05
T_2	4SAS	1,42 ± 0,06 a	1,42 ± 0,05 a	
	8SAS	1,8 ± 0,16 a	1,97 ± 0,11 a	
	12SAS	1,93 ± 0,21 a	2,1 ± 0, 17 a	
T_3	4SAS	1,53 ± 0,09 a	1,73 ± 0,07 a	
	8SAS	1,94 ± 0,14 a	2,4 ± 0,1 a	
	12SAS	2,01 ± 0,22 a	2,90 ± 0,19 a	

Site de Nkolfon (B)				
Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2016	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2017	Probabilité
T_0	4SAS	1,04 ± 0,01 c	0,96 ± 0,02 b	
	8SAS	1,15 ± 0,15 bc	1,19 ± 0,1 b	
	12SAS	1,56 ± 0,14 c	1,33 ± 0 ,2 b	
T_1	4SAS	1,15 ± 0,03 ab	0,98 ± 0,02b	
	8SAS	1,59 ± 0,13 b	1,24 ± 0,1 b	
	12SAS	1,77 ± 0,14 b	1,47 ± 0,4 b	
T_2	4SAS	1,27 ± 0,04 a	1,45 ± 0,04 a	P= 0,001 < 0,05
	8SAS	1,7 ± 0,16 a	1,98 ± 0,2 a	
	12SAS	1,98 ± 0,20 a	2,76 ± 0, 5 a	
T_3	4SAS	1,35 ± 0,09 a	1,66 ± 0,04 a	
	8SAS	1,82 ± 0,14 a	2,2 ± 0,2 a	
	12SAS	2,03 ± 0,22 a	2,83 ± 0,5 a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

A l'issue des résultats ci-dessus où il a été constaté un écart considérable entre les traitements fertilisants et le témoin concernant le diamètre au collet, un test de corrélation entre les différents traitements et le diamètre au collet a été effectué. Le but de ce test était de voir s'il y a une relation linaire entre le traitement utilisé et le diamètre au collet de la plante du maïs obtenu. En outre il a été aussi question de confirmer dans ce test si l'absence d'appliquer pour tous les traitements au début de l'expérimentation, un engrais de base pouvait avoir un impact significatif sur les résultats obtenus. La droite de régression obtenue après analyse a révélé les comportements similaires des différents traitements vis-à-vis du diamètre au collet dans les sites de Megana et de

Nkolfon. La droite de régression obtenue présente une pente positive et une corrélation parfaite entre les traitements et le diamètre au collet (Fig.25).

L'équation de régression obtenue aussi bien dans le site de Megana que celui de Nkolfon montre une relation linéaire croissante avec la droite de régression à pente positive : y = 0,00004 Xi + 1,80836 pour le site de Megana ; y = 0,00004 Xi + 1,8084 pour le site de Nkolfon ; le coefficient de corrélation est positif r = 0,1. Il ressort que la corrélation parfaite et positive obtenue entre les différentes traitements et le diamètre au collet montre que l'absence d'application d'un engrais de base pour tous les traitements au début de l'expérimentation n'a pas un impact significatif sur le diamètre au collet de la plante de maïs.

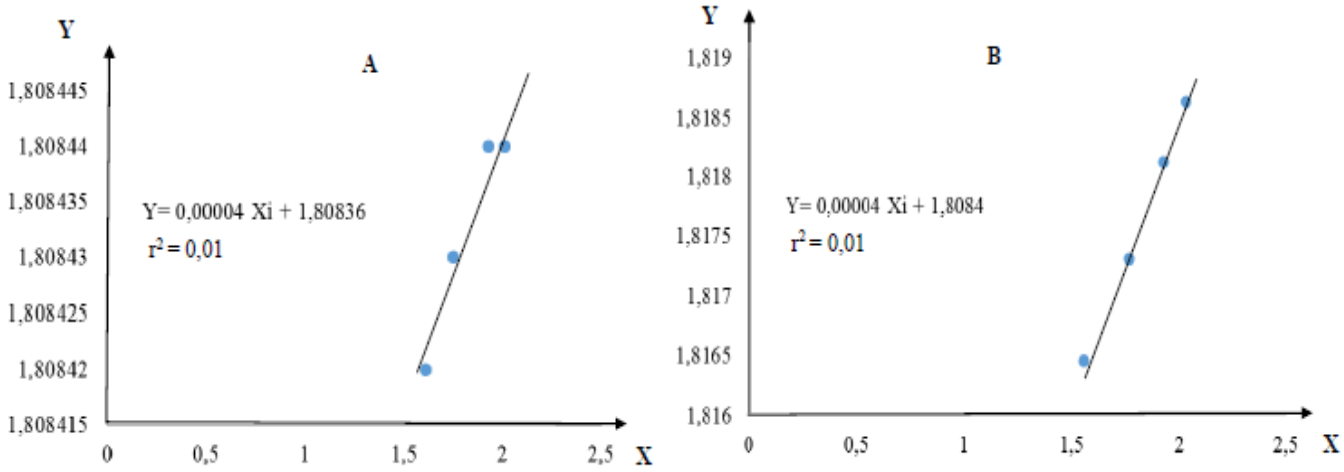


Fig. 25. Droites de régression du diamètre au collet aux différents traitements.
(A= site de Megana ; B= site de Nkolfon)

3.1.2.1.1.3. Effet fertilisant des types de fumure sur le nombre de feuilles des trois variétés de maïs cultivées

Lors des expérimentations dans le site de Megana, bien que des légères variations ont été observées pendant la période de croissance de la plante en champs, les résultats obtenus montrent clairement qu'entre le traitement à base de compost et celui à l'engrais NPK il n'y a pas de différence significative à la 12^{ième} SAS en termes de production des feuilles (P=0,073). De même, le témoin ne diffère pas significativement du traitement à base de parches de café (P=0,073). La différence significative a été établie entre le traitement à base de compost et de l'engrais NPK d'une part, le témoin et le traitement à base de parches de café d'autre part (P=0,004). Les analyses statistiques ont montré que jusqu'à la 4^{ième} SAS, les plantes ont le même nombre de feuilles dans les parcelles témoin, le traitement à parches de café, le traitement à base du compost et le traitement à l'engrais NPK. A la 8^{ième} SAS la différence commence à s'établir entre les parcelles traitées à base de compost et à l'engrais NPK par rapport aux deux autres traitements. A la 12^{ième} SAS, cette

différence montre une nette démarcation entre les traitements fertilisants (Tableau XII A). Le classement des différents traitements fertilisants en fonction du nombre de feuilles respecte l'ordre suivant : T0≤T1<T2≤T3. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été obtenus (Tableau XII B).

Tableau XII. Influence du traitement fertilisant sur le nombre de feuilles des trois variétés du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Nombre des feuilles de l'expérimentation de 2014	Nombre des feuilles de l'expérimentation de 2015	Probabilité
T_0	4SAS	7,27 ± 0,58 b	6,31 ± 0,5 b	P = 0,004
	8SAS	9,62 ± 0,73 b	8,28 ± 0,43 b	
	12SAS	12,49 ± 0,59 b	11,94 ± 0,62 b	
T_1	4SAS	7,47 ± 0,43 b	6,75 ± 0,41 b	P = 0,004
	8SAS	10,04 ± 0,63 b	9,40 ± 0,53 b	
	12SAS	13,07 ± 0,8 b	12,77 ± 0,7 b	
T_2	4SAS	7,49 ± 0,49 b	8,93 ± 0,51 b	P = 0,073
	8SAS	11,53 ± 0,54 a	12,34 ± 0,47	
	12SAS	15,02 ± 0,66 a	16,21 ± 0,6 a	
T_3	4SAS	10,67 ± 0,88 a	11,76 ± 0,81 a	P = 0,073
	8SAS	12,04 ± 0,64 a	12,34 ± 0,47 a	
	12SAS	15,04 ± 0,74 a	16,40 ± 0,67 a	

Site de Nkolfon (B)				
Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Nombre des feuilles de l'expérimentation de 2016	Nombre des feuilles de l'expérimentation de 2017	Probabilité
T_0	4SAS	7,75 ± 0,51 b	5,24 ± 0,5 b	P = 0,003
	8SAS	9,23 ± 0,70 b	7,82 ± 0,53 b	
	12SAS	12,93 ± 0,57 b	11,89 ± 0,6 b	
T_1	4SAS	7,84 ± 0,44 b	5,76 ± 0,41 b	P = 0,003
	8SAS	10,40 ± 0,60 b	8,71 ± 0,51 b	
	12SAS	13,21 ± 0,70 b	12,93 ± 0,6 b	
T_2	4SAS	8,09 ± 0,48 b	9,83 ± 0,51 b	P = 0,12
	8SAS	11,25 ± 0,51 a	11,47 ± 0,49 a	
	12SAS	14,72 ± 0,61 a	15,92 ± 0,6 a	
T_3	4SAS	10,52 ± 0,84 a	10,92 ± 0,7 a	P = 0,12
	8SAS	12,36± 0,62 a	11,74 ± 0,47 a	
	12SAS	15,11± 0,71 a	16,11 ± 0,67 a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

A l'issue des résultats ci-dessus où il a été constaté un écart considérable entre les traitements fertilisants et le témoin concernant le nombre de feuilles, un test de corrélation entre les

différents traitements et le nombre de feuilles a été effectué. Le but de ce test était de voir s'il y a une relation linaire entre le traitement utilisé et le nombre de feuilles de la plante du maïs au cours de l'expérimentation. En outre il a été aussi question de confirmer dans ce test si l'absence d'appliquer pour tous les traitements au début de l'expérimentation, un engrais de base pouvait avoir un impact significatif sur les résultats obtenus. La droite de régression obtenue après analyse a révélé les comportements similaires des différents traitements vis-à-vis du nombre de feuilles de la plante de maïs dans les sites de Megana et de Nkolfon. La droite de régression obtenue présente une pente positive et une corrélation parfaite entre les traitements et le nombre de feuilles (Fig.26).

L'équation de régression obtenue aussi bien dans le site de Megana que celui de Nkolfon montre une relation linéaire croissante avec la droite de régression à pente positive : y = 0,0004 Xi + 13,7288 pour le site de Megana ; y = 0,0004 Xi + 13,7288 pour le site de Nkolfon ; le coefficient de corrélation est positif r = 0,1. Il ressort que la corrélation parfaite et positive obtenue entre les différentes traitements et le nombre de feuilles montre que l'absence d'application d'un engrais de base pour tous les traitements au début de l'expérimentation n'a pas un impact significatif sur le nombre de feuilles de la plante de maïs.

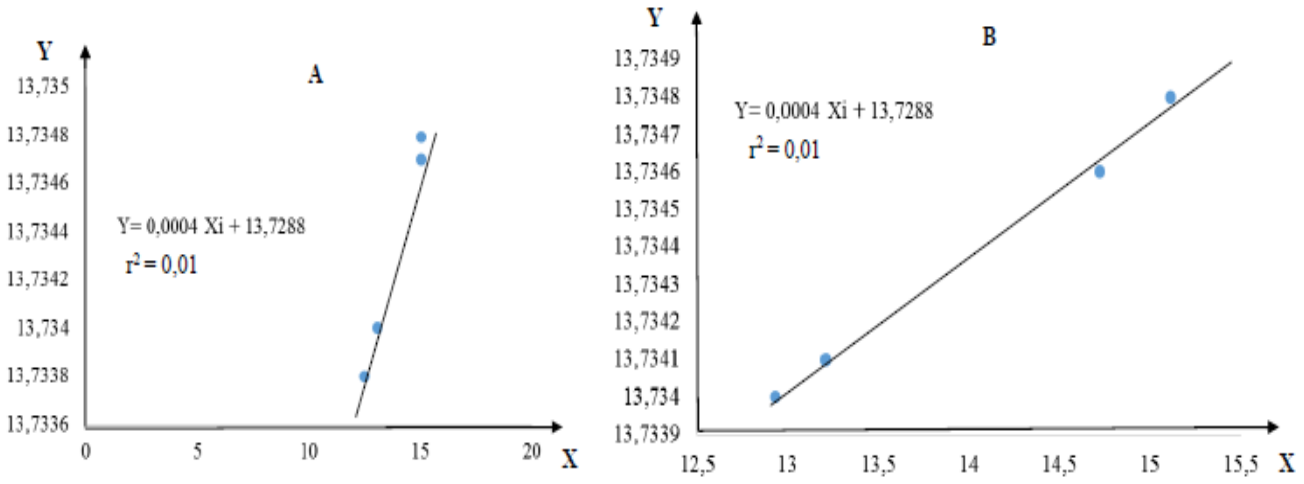


Fig. 26. Droites de régression du nombre de feuilles aux différents traitements
(A= site de Megana ; B= site de Nkolfon)

3.1.2.1.1.4. Effet fertilisant des types de fumure sur la surface foliaire des plantes du maïs cultivées

Les résultats obtenus dans le site d'expérimentation de Megana pendant deux ans montrent une différence significative (P = 0,001) entre les différents traitements fertilisants. En effet la différence a commencé à s'établir à partir de la 4^{ième} SAS jusqu'à la 12^{ième} SAS entre les parcelles témoins et les trois autres traitements fertilisants. A la maturité (12 SAS), les parcelles fertilisées à base de compost et l'engrais NPK (20-10-10) ont produit des grandes feuilles ayant statistiquement

les mêmes surfaces foliaires donc pas de différence significative entre ces deux traitements fertilisants. De manière spécifique, les différences significatives se sont établies entre : (1) le traitement à base de compost (439,64 ± 3,3 cm^2 en 2014 et 467,62 ± 3,9 cm^2 en 2015), le traitement à l'engrais NPK (452,64 ± 3,6 cm^2 en 2014 et 467,62 ± 3,9 cm^2 en 2015), et le témoin (178,99 ± 2,9 cm^2 en 2014 et 115,22 ± 3,1 cm^2 en 2015); (2) le traitement à base de compost, le traitement à l'engrais NPK et celui à base des parches de café (340,68 ± 3,1 cm^2 en 2014 et 277,75 ± 3,3 cm^2 en 2015) (Tableau XIII A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats semblables ont été obtenus. En effet, à 12 SAS, les différences significatives se sont établies entre : (1) le traitement à base de compost (506,27 ± 3,3 cm^2 en 2014 et 511,26 ± 3,4 cm^2 en 2015), le traitement à l'engrais NPK (461,65 ± 3,6 cm^2 en 2014 et 556,19 ± 3,6 cm^2 en 2015), et le témoin (183,06 ± 2,9 cm^2 en 2014 et 135,84 ± 2,7 cm^2 en 2015); (2) le traitement à base de compost, le traitement à l'engrais NPK et celui à base des parches de café (345,69 ± 3,1 cm2 en 2014 et 299,27 ± 2,9 cm^2 en 2015) (Tableau XIII B).

Tableau XIII. Influence du traitement fertilisant sur la surface foliaire de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Surface foliaire (cm^2) issue de l'expérimentation de 2014	Surface foliaire (cm^2) issue de l'expérimentation de 2015	Probabilité
T_0	4SAS	3,97 ± 0,3 b	2,77 ± 0,2 b	
	8SAS	27,89 ± 1,6 b	16,98 ± 1,8 b	
	12SAS	178,99 ± 2,9 c	115,22 ± 3,1 b	
T_1	4SAS	13,68 ± 0,7 a	7,12 ± 1,5 b	
	8SAS	60,10 ± 2,1a	37,93 ± 2,8 b	
	12SAS	340,68 ± 3,1 b	277,75 ± 3,3 b	P= 0,001
T_2	4SAS	19,56 ± 0,9 a	24,83 ± 2,6 b	< 0,05
	8SAS	72,34 ± 2,6a	78,01 ± 3,03 b	
	12SAS	439,64 ± 3,3 a	467,62 ± 3,9 b	
T_3	4SAS	16,77 ± 0,9 1,5 a	24,83 ± 2,6 b	
	8SAS	75,88 ± 2,7 a	78,01 ± 3,03 b	
	12SAS	452,64 ± 3,6 a	467,62 ± 3,9 b	

Site de Nkolfon (B)				
Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Surface foliaire (cm^2) issue de l'expérimentation de 2016	Surface foliaire (cm^2) issue de l'expérimentation de 2017	Probabilité
T_0	4SAS	3,15 ± 0,3 b	2,20 ± 0,3 b	
	8SAS	29,01 ± 1,6 b	29,30 ± 2,1 b	
	12SAS	183,06 ± 2,9 c	135,84 ± 2,7 b	
T_1	4SAS	9,99 ±0,7 a	5,34 ± 1,8 b	
	8SAS	66,22 ± 2,1a	39,30 ± 2,3 b	
	12SAS	345,69 ± 3,1 b	299,27 ± 2,9 b	P= 0,001
T_2	4SAS	19,25 ± 0,9a	25,21 ± 2,0 b	< 0,05
	8SAS	75,75 ± 2,6a	90,84 ± 2,5 b	
	12SAS	506,27 ± 3,3 a	511,26 ± 3,4 b	
T_3	4SAS	16,83 ± 1,5 a	26,57 ± 2,02 b	
	8SAS	70,77 ± 2,7 a	90,96 ± 2,5 b	
	12SAS	461,65 ± 3,6 a	556,19 ± 3,6 b	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

A l'issue des résultats ci-dessus où il a été constaté un écart considérable entre les traitements fertilisants et le témoin concernant la surface foliaire, un test de corrélation entre les différents traitements et la surface foliaire a été effectué. Le but de ce test était de voir s'il y a une relation linaire entre le traitement utilisé et la surface foliaire de la plante du maïs au cours de l'expérimentation. En outre il a été aussi question de confirmer dans ce test si l'absence d'appliquer pour tous les traitements au début de l'expérimentation, un engrais de base pouvait avoir un impact significatif sur les résultats obtenus. La droite de régression obtenue après analyse a révélé les comportements similaires des différents traitements vis-à-vis de la surface foliaire de la plante de

maïs dans les sites de Megana et de Nkolfon. La droite de régression obtenue présente une pente positive et une corrélation parfaite entre les traitements et la surface foliaire (Fig.27).

L'équation de régression obtenue aussi bien dans le site de Megana que celui de Nkolfon montre une relation linéaire croissante avec la droite de régression à pente positive : y = 0,095 Xi + 314,724 pour le site de Megana ; y = 0,095 Xi + 314,722 pour le site de Nkolfon ; le coefficient de corrélation est positif r = 0,3. Il ressort que la corrélation parfaite et positive obtenue entre les différentes traitements et la surface foliaire montre que l'absence d'application d'un engrais de base pour tous les traitements au début de l'expérimentation n'a pas un impact significatif sur la surface foliaire de la plante de maïs.

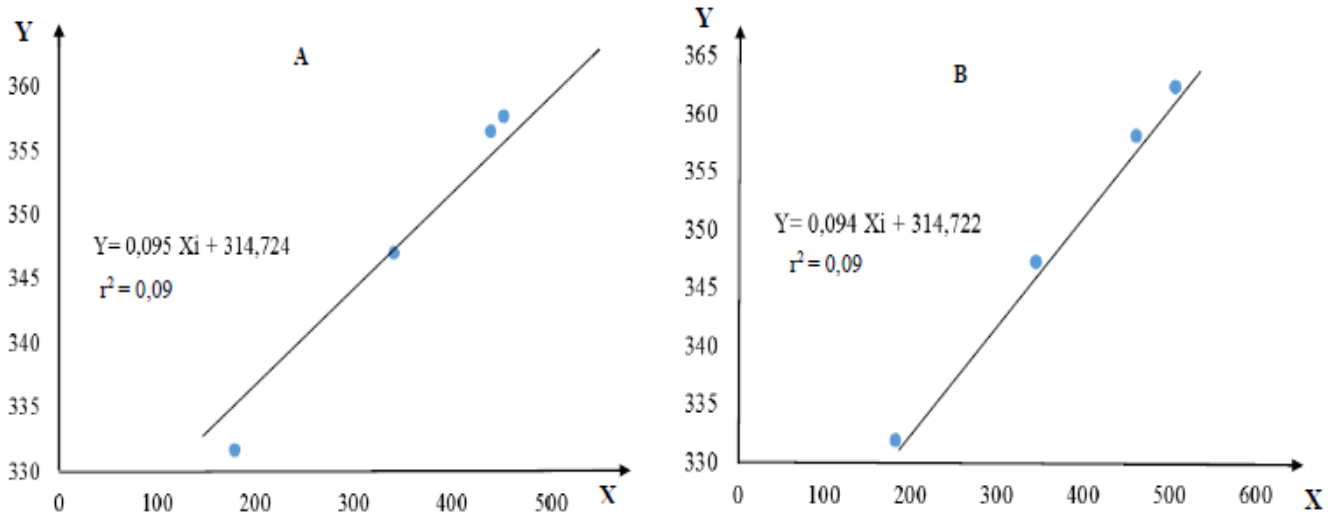


Fig. 27. Droites de régression de la surface foliaire aux différents traitements
(A= site de Megana ; B= site de Nkolfon)

3.1.2.1.1.5. Effet fertilisant des types de fumure sur la hauteur des plantes du maïs cultivées

La hauteur de la plante a fait l'objet d'une évaluation dans le site d'expérimentation de Megana, les unités expérimentales ayant reçu pour les unes du compost et les autres de l'engrais minéral NPK (20-10-10) ont produit des plantes de grandes tailles comparativement aux parcelles témoins ou celles traitées à base des parches de café. Toutefois, l'analyse statistique n'a pas présenté des différences significatives entre trois traitements (T_1, T_2 et T_3) à 12SAS. La différence significative a été établie seulement avec les parcelles témoins. En effet, les comparaisons analytiques des différents traitements fertilisants ont montré que jusqu'à la 4^{ième} SAS, les plantes ont la même taille dans toutes les parcelles, la différence a commencé à s'établir à partir de la 8^{ième} SAS entre les parcelles traitées à l'engrais NPK (20-10-10) et les trois autres traitements. A la 12^{ième} SAS, cette différence est devenue significative (P=0,001) et montre une nette démarcation entre les traitements (Tableau XIV A). Le classement des différents traitements fertilisants en fonction de la

hauteur de la plante du maïs respecte l'ordre suivant dans les deux sites : T0≤T1<T2≤T3. Le présente tous les détails relatifs à la taille des plantes entre la 4^{ième} SAS et la 12^{ième} SAS. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats semblables ont été obtenus (Tableau XIV B).

A l'issue des résultats ci-dessus où il a été constaté un écart considérable entre les traitements fertilisants et le témoin concernant la hauteur de la plante de maïs, un test de corrélation entre les différents traitements et la surface foliaire a été effectué. Le but de ce test était de voir s'il y a une relation linaire entre le traitement utilisé et la hauteur de la plante de maïs aucours de l'expérimentation. En outre il a été aussi question de confirmer dans ce test si l'absence d'appliquer pour tous les traitements au début de l'expérimentation, un engrais de base pouvait avoir un impact significatif sur les résultats obtenus. La droite de régression obtenue après analyse a révélé les comportements similaires des différents traitements vis-à-vis de la hauteur de la plante de maïs dans les sites de Megana et de Nkolfon. La droite de régression obtenue présente une pente positive et une corrélation parfaite entre les traitements et la hauteur de la plante de maïs (Fig.28).

L'équation de régression obtenue aussi bien dans le site de Megana que celui de Nkolfon montre une relation linéaire croissante avec la droite de régression à pente positive : y = 0,005 Xi + 155,32 pour le site de Megana ; y = 0,005 Xi + 155,3 pour le site de Nkolfon ; le coefficient de corrélation est positif r = 0,1. Il ressort que la corrélation parfaite et positive obtenue entre les différentes traitements et la hauteur de la plante de maïs montre que l'abscence d'application d'un engrais de base pour tous les traitements au début de l'expérimentation n'a pas un impact significatif sur la hauteur de la plante de maïs.

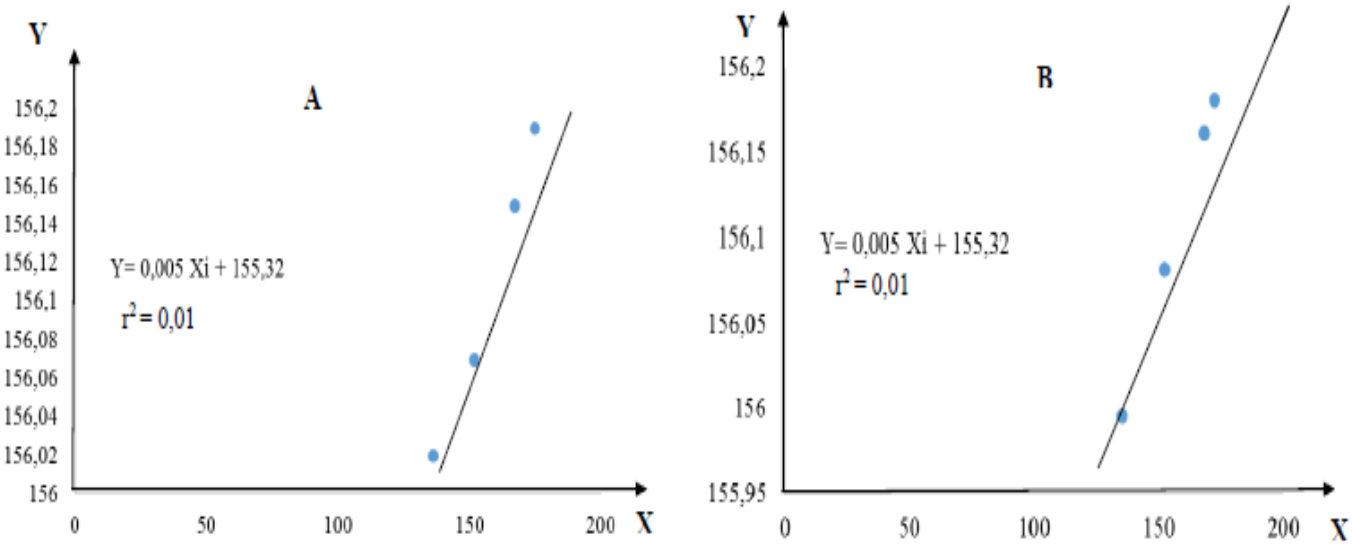


Fig. 28. Droites de régression de la hauteur de la plante de maïs aux différents traitements (A= site de Megana ; B= site de Nkolfon)

3.1.2.1.1.6. Effet fertilisant des types de fumure sur la période de la floraison mâle des plantes du maïs cultivées

L'évaluation de la période de la floraison mâle des plantes du maïs dans le site d'expérimentation de Megana a présenté de différence significative entre les traitements (P = 0,001). En effet, les parcelles témoins et celles traitées à base des parches de café ont légèrement retardé l'apparition des inflorescences mâles comparativement aux parcelles traitées avec du compost et avec de l'engrais NPK (20-10-10). En 2014 les fleurs mâles sont apparues au soixante deuxième (62) jour après semis dans les parcelles traitées à base de compost et au soixante troisième (63) jour dans les parcelles traitées à l'engrais NPK (20-10-10). Par contre l'inflorescence mâle est apparue au soixante dixième jour (70) dans les parcelles témoins et au soixante huitième jour (68) dans les parcelles traitées à base des parches du café. En 2015, les fleurs mâles sont apparues au soixantième (60) jour après semis dans les parcelles traitées à base de compost et dans les parcelles traitées à l'engrais NPK (20-10-10). Par contre l'inflorescence mâle est apparue au soixante dixième jour (70) dans les parcelles témoins et au soixante huitième jour (68) dans les parcelles traitées à base des parches du café.

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont été observées. En 2016, il a été observé que les fleurs mâles sont apparues au soixante troisième (63) jour après semis dans les parcelles traitées à base de compost et au soixante quatrième (64) jour dans

les parcelles traitées à l'engrais NPK. Par contre l'inflorescence mâle est apparue au soixante onzième jour (71) dans les parcelles témoins et au soixante neuvième jour (69) dans les parcelles traitées à base des parches du café. En 2017, les fleurs mâles sont apparues au soixantième (60) jour après semis dans les parcelles traitées à base de compost et au soixante neuvième jour (69) au soixante unième (61) jour dans les parcelles traitées à l'engrais NPK. Par contre l'inflorescence mâle est apparue au soixante neuvième jour (69) dans les parcelles témoins et au soixante huitième jour (68) dans les parcelles traitées à base des parches du café.

Tableau XIV. Influence du traitement fertilisant sur la hauteur de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)

Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Hauteur (cm) de la plante du maïs issue de l'expérimentation de 2014	Hauteur (cm) de la plante du maïs issue de l'expérimentation de 2015	Probabilité
T_0	4SAS	14,95 ± 1,09 a	12,59 ± 1 a	P= 0,001 < 0,05
	8SAS	38,78 ± 5,02 b	36,87 ± 4,20 b	
	12SAS	136,12 ± 27,62 b	134,21 ± 20,26 b	
T_1	4SAS	15,46 ± 2,18 a	13,64 ± 1,82 a	
	8SAS	40,4 ± 5,75b	38,39 ± 4,57 b	
	12SAS	151,57± 20,9 ab	148,75 ± 19,9 ab	
T_2	4SAS	16,01± 2,62a	18,10 ± 1,26 a	
	8SAS	40,38 ± 5,03b	43,83 ± 4,30 b	
	12SAS	167,02 ± 21 a	169,20 ± 19 a	
T_3	4SAS	15,46 ± 2,18a	17,64 ± 1,81a	
	8SAS	47,33 ± 4,26 a	49,3 ± 3,62 a	
	12SAS	174,6 ± 19,49 a	176,63 ±18,94 a	

Site de Nkolfon (B)

Traitements	Périodes de croissance (SAS)	Hauteur (cm) de la plante du maïs issue de l'expérimentation de 2016	Hauteur (cm) de la plante du maïs issue de l'expérimentation de 2017	Probabilité
T_0	4SAS	15,05 ± 1,02 a	12,05 ± 0,7b	P= 0,001 < 0,05
	8SAS	39,83 ± 5,05 b	36,87 ± 4,20 b	
	12SAS	135,22 ± 25,22 b	134,21 ± 20,26 b	
T_1	4SAS	15,64 ± 1,61 a	12,46 ± 1,2 b	
	8SAS	41,1 ± 5,12b	38,39 ± 4,57 b	
	12SAS	152,33 ± 20,6 ab	148,75 ± 19,9 ab	
T_2	4SAS	16,33 ± 2,12a	17,17 ± 1,31a	
	8SAS	42,75 ± 5,03b	43,83 ± 4,30 b	
	12SAS	168,12 ± 20,9 a	169,20 ± 19 a	
T_3	4SAS	15,76 ± 1,15a	17,49 ± 1,19 a	
	8SAS	46,73 ± 4,29 a	49,3 ± 3,62 a	
	12SAS	172,2 ± 19,84a	176,63 ± 18,94 a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.1.7. Effet fertilisant des types de fumure sur la résistance à la verse des plantes du maïs cultivées

L'analyse des données concernant la résistance à la verse dans les parcelles expérimentales a présenté des différences significatives entre les traitements fertilisants dans le site d'expérimentation de Megana (P = 0,011). En 2014, les parcelles expérimentales fertilisées à l'engrais NPK (20-10-10) ont été plus légèrement sensibles à la verse que les autres parcelles avec un taux de résistance de 74,8 ± 13,9 %. Les parcelles traitées à base de compost ont présenté une plus grande résistance de 90 ± 4,6 % à la verse, suivies de celles traitées à base de parches de café (88,6 ± 10,2 %) et du témoin (87,2 ± 7,6 %). En 2015, les parcelles expérimentales fertilisées à l'engrais NPK (20-10-10) ont été plus légèrement sensibles à la verse que les autres parcelles avec un taux de résistance de 73,6 ± 11,7 %. Les parcelles traitées à base de compost ont présenté une plus grande résistance de 91,05 ± 5,8 % à la verse, suivies de celles traitées à base de parches de café (88,9 ± 7,1 %) et du témoin (85,4 ± 11,03 %).

Les données similaires ont été obtenues dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation. En effet, en 2016, les parcelles expérimentales fertilisées à l'engrais NPK (20-10-10) ont été aussi plus légèrement sensibles à la verse que les autres parcelles avec un taux de résistance de 75,5 ± 12,2 %. Les parcelles traitées à base de compost ont présenté une plus grande résistance de 91 ± 4,5 % à la verse, suivies de celles traitées à base de parches de café (89,4 ± 9,05 %) et du témoin (88,3 ± 8,1 %). En 2017, les parcelles expérimentales fertilisées à l'engrais NPK (20-10-10) ont présenté un taux de résistance faible de 72,8±10,6 %. Les parcelles traitées à base de compost ont présenté une plus grande résistance de 90,65 ± 6,1 % à la verse, suivies de celles traitées à base de parches de café (89,1 ± 6,7 %) et du témoin (84,2 ± 10,01a %). Dans les deux sites, l'ordre croissant de résistance peut s'établir comme suit : $T_3 < T_0 < T_1 \leq T_2$.

3.1.2.1.2. Effet variétal sur les paramètres de croissance du maïs

A l'exception du taux de levée, à douze semaines après le semis (12 SAS) dans les sites d'expérimentation de Megana et de Nkolfon, la maturité du maïs a été atteinte et tous les paramètres de croissance ont été collectés. Les résultats d'analyse statistique ont révélé que, les comportements de trois variétés du maïs ont présenté des différences significatives vis-à-vis des paramètres de croissance évalués.

3.1.2.1.2.1. Effet des variétés sur le taux de levée en fonction du temps

Le test d'expérimentation effectué dans le site de Megana a montré que le taux de levée observé chez les trois variétés de maïs a varié avec le temps et a présenté la même tendance entre la première et la deuxième année. Ainsi au sixième jour après le semis, la variété locale a présenté un taux de levée plus faible < 60 % indépendamment des années que les variétés sélectionnées qui ont présenté un taux de levée > 60 %. La variété CMS 8704 a même atteint 70 %. Au huitième jour, ce taux est statistiquement similaire chez toutes les variétés sélectionnées et indépendamment des années. Ainsi le taux de levée en pourcentage (%) s'est trouvé huit jours après semis dans l'intervalle de 80 à 87 (Fig. 29 A). De même les données similaires ont été obtenues par le test de confirmation des résultats issus de Megana effectué entre 2016 et 2017 dans le site de Nkolfon (Fig. 29 B).

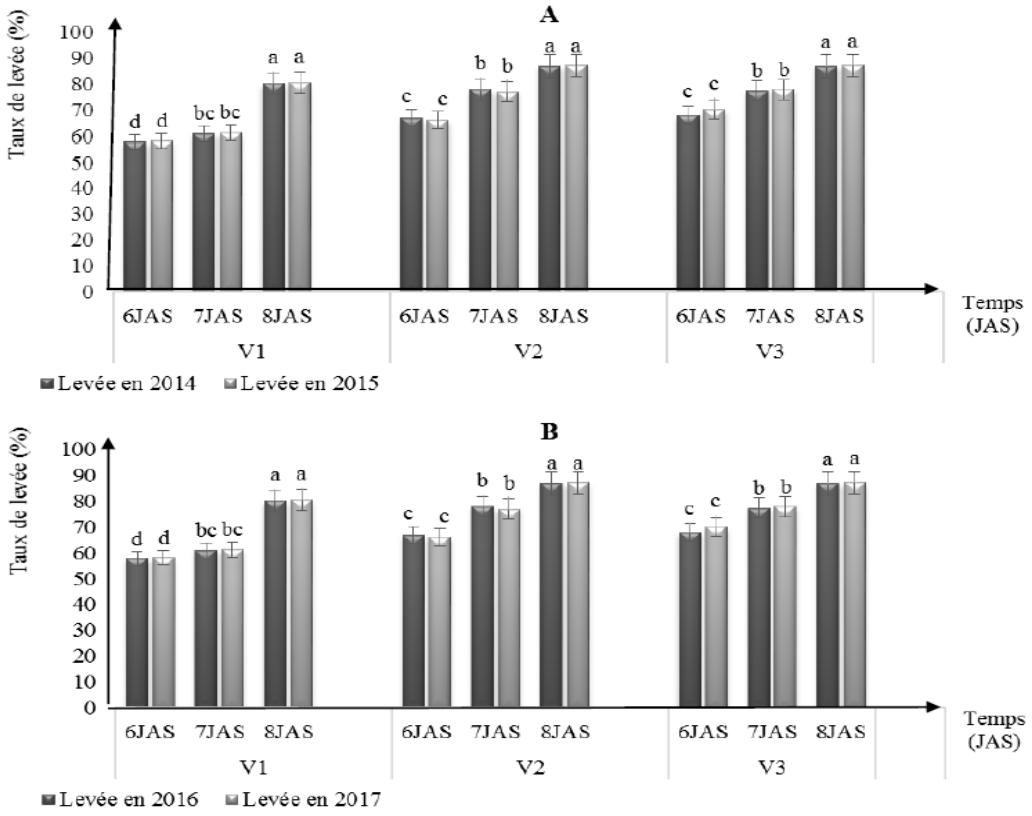


Fig.29. Effet variétal sur le taux de levée en fonction du nombre de jours après semis :
A = taux de levée obtenu dans les sites de Megana par le test d'expérimentation entre 2014 et 2015
B = taux de levée obtenu dans les sites de Nkolfon par le test de confirmation des résultats issus de Megana entre 2016 et 2017
Légende : JAS : jour après semis ; V1 : Variété locale ; V2 : CMS 8501 ; V3 : CMS 8704. Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%

3.1.2.1.2.2. Effet des variétés sur le diamètre au collet en fonction du temps

L'analyse de variance révèle des différences significatives (P=0,011) entre les trois variétés dans le site de Megana de la 4^{ième} à la 12^{ième} SAS. Durant ces périodes en 2014, le diamètre au collet de

V_1 varie de 1,49 ± 0,03 à 2,64 ± 0,13 cm, celui de V_2 varie de 1,47 ± 0,05 à 2,45 ± 0,12 cm et V_3 varie de 1,45 ± 0,04 à 2,56 ± 0,15 cm. En 2015, le diamètre au collet de V_1 a varié de 1,50 ± 0,05 à 2,66 ± 0,15 cm, celui de V_2 a varié de 1,49 ± 0,04 à 2,49 ± 0,14 cm et V_3 a varié de 1,48 ± 0,05 à 2,58 ± 0,16 cm (Tableau XV A). Les données similaires ont été obtenues dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation (Tableau XV B).

Tableau XV. Influence des variétés sur le diamètre au collet du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2014	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2015	Probabilité
V_1	4SAS	1,49 ± 0,03 a	1,50 ± 0,05 a	
	8SAS	1,89 ± 0,14 a	1,90 ± 0,14 a	
	12SAS	2,64 ± 0,13 a	2,66 ± 0,15 b	
V_2	4SAS	1,47 ± 0,05 a	1,49 ± 0,04 a	
	8SAS	1,78 ± 0,15 b	1,8 ± 0,13 a	
	12SAS	2,45 ± 0,12 b	2,49 ± 0,14 a	P= 0,011 < 0,05
V_3	4SAS	1,45 ± 0,04 a	1,48 ± 0,05 a	
	8SAS	1,75 ± 0,16 b	1,77 ± 0,15 b	
	12SAS	2,56 ± 0,15 b	2,58 ± 0,16 a	

Site de Nkolfon (B)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2016	Diamètre au collet (cm) de l'expérimentation de 2017	Probabilité
V_1	4SAS	1,53 ± 0,04 a	1,62 ± 0,04 a	
	8SAS	1,9 ± 0,12 a	1,95 ± 0,12 a	
	12SAS	2,59 ± 0,13 a	2,72 ± 0,16 b	
V_2	4SAS	1,45 ± 0,03 a	1,57 ± 0,04 a	
	8SAS	1,72 ± 0,11 b	1,83 ± 0,11 a	
	12SAS	2,41 ± 0,12 b	2,57 ± 0,14 a	P= 0,011 < 0,05
V_3	4SAS	1,43 ± 0,02 a	1,55 ± 0,03 a	
	8SAS	1,69 ± 0,11 b	1,79 ± 0,15 b	
	12SAS	2,48 ± 0,12 b	2,60 ± 0,13 a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.2.3. Effet des variétés sur le nombre de feuilles de la plante du maïs en fonction du temps

Les résultats obtenus dans le site de Megana concernant le nombre des feuilles ne présentent pas de différence significative entre les variétés (P = 0,321), 17 feuilles en moyenne ont été obtenues par variété à la maturité des plantes (Tableau XVI A). Les données similaires ont été obtenues dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation (Tableau XVI B).

Tableau XVI. Influence des variétés sur le nombre de feuilles de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Nombre de feuilles de l'expérimentation de 2014	Nombre de feuilles de l'expérimentation de 2015	Probabilité
V_1	4SAS	4,58 ± 0,56 a	5,0 ± 0,65 a	P = 0,321
	8SAS	9,1 ± 0,71 a	10 ± 0,72 b	
	12SAS	16,57 ± 0,95 a	16,77 ± 0,90 b	
V_2	4SAS	4,52 ± 0,54 a	4,02 ± 0,60 a	
	8SAS	9,06 ± 0,63 a	8,66 ± 0,61 b	
	12SAS	16,33 ± 0,87 a	16,25 ± 0,78 b	
V_3	4SAS	4,42 ± 0,47 a	4,02 ± 0,61a	
	8SAS	8,21 ± 0,68 a	8,01 ± 0,80 b	
	12SAS	16,47 ± 0,89 a	16,57 ± 0,81 b	

Site de Nkolfon (B)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Nombre de feuilles de l'expérimentation de 2016	Nombre de feuilles de l'expérimentation de 2017	Probabilité
V_1	4SAS	4,5 ± 0,51 a	5,15 ± 0,57 a	P = 0,423
	8SAS	9,13 ± 0,61 a	11 ± 0,60 b	
	12SAS	16,71 ± 0,99 a	17,07 ± 0,90 b	
V_2	4SAS	4,13 ± 0,5 a	4,75 ± 0,59 a	
	8SAS	9,22 ± 0,63 a	9,11 ± 0,56 b	
	12SAS	16,47 ± 0,77 a	16,85 ± 0,75 b	
V_3	4SAS	4,02 ± 0,4 a	4,71 ± 0,51a	
	8SAS	8,95 ± 0,6 a	9,01 ± 0,87 b	
	12SAS	16,54 ± 0,8 a	16,97 ± 0,72 b	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.2.4. Effet des variétés sur la surface foliaire de la plante du maïs en fonction du temps

Les résultats obtenus dans le site de Megana pendant deux ans d'expérimentation montrent une différence significative (P = 0,001) entre les trois variétés. En effet la différence a commencé à s'établir à partir de la 4^{ième} SAS jusqu'à la 12^{ième} SAS entre la variété locale et les variétés améliorées. A la maturité (12 SAS), la variété locale a produit des feuilles avec des surfaces

foliaires moins importantes que celles des variétés améliorées. En 2014 à 12SAS par exemple, les surfaces foliaires obtenues sont de 362,76 ± 4,5 cm^2 chez V_1, 634,73 ± 5,2 cm^2 chez V_2 et 633,53 ± 5,6 cm^2 chez V_3 (Tableau XVII A). Les résultats similaires ont été obtenus dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation. En 2016 à 12SAS par exemple, il a été enregistré comme surface foliaire : 352,48 ± 4,5 cm^2 chez V_1, 646,28 ± 5,1 cm^2 chez V_2 et 649,00 ± 5,3 cm^2 chez V_3 (Tableau XVII B).

Tableau XVII. Influence des variétés sur la surface foliaire de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Surface foliaire de l'expérimentation de 2014	Surface foliaire de l'expérimentation de 2015	Probabilité
V_1	4SAS	23,96 ± 2,3 e	19,45 ± 1,75 d	P = 0,001
	8SAS	100,11± 3,6 d	91,94 ± 3,05 c	
	12SAS	362,76 ± 4,5 b	331,45 ± 5,12 a	
V_2	4SAS	30,10 ± 2,8 e	16,58 ± 2,02 d	
	8SAS	222,10 ± 3,8 c	181,60 ± 3,9 b	
	12SAS	634,73 ± 5,2 a	561,72 ± 5,71 a	
V_3	4SAS	29,64 ± 3,0 e	16,89 ± 2,21 d	
	8SAS	210,23 ± 4,2 c	173,60 ± 4,23 b	
	12SAS	633,53 ± 5,6 a	569,74± 5,95 a	

Site de Nkolfon (B)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Surface foliaire de l'expérimentation de 2016	Surface foliaire de l'expérimentation de 2017	Probabilité
V_1	4SAS	17,66 ± 1,8 f	21,68 ± 1,71 a	P = 0,001
	8SAS	116,86 ± 2,8 d	105,25 ± 3,62 b	
	12SAS	352,48 ± 4,5 b	367,69 ± 5,12 a	
V_2	4SAS	31,60 ± 2,1e	23,26 ± 1,73 a	
	8SAS	209,55 ± 3,2 c	105,25 ± 3,62 b	
	12SAS	646,28 ± 5,1a	630,56 ± 6,16 a	
V_3	4SAS	30,91 ± 2,2 e	25,00 ± 2,0 b	
	8SAS	210,71 ± 3,4 c	196,10 ± 4,13 b	
	12SAS	649,00 ± 5,3 a	639,14 ± 6,11 a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.2.5. Effet des variétés sur la hauteur de la plante du maïs en fonction du temps

Les résultats d'analyse statistique des trois variétés dans le site d'expérimentation de Megana montrent des différences significatives entre-elles (P = 0,015). A la maturité des plantes en 2014 par exemple, la variété locale a obtenu la plus grande taille (152,6 ± 3,35 cm dans le site de Megana) comparativement aux variétés améliorées avec la variété CMS 8704 qui a eu la plus petite taille de 143,6± 3,43 cm (Tableau XVIII A). Les résultats similaires ont été obtenus dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation. En 2016 à 12SAS par exemple, il a été enregistré une hauteur de 352,48 ± 4,5 cm^2 chez V_1, 646,28 ± 5,1 cm^2 chez V_2 et 649,00 ± 5,3 cm^2 chez V_3 (Tableau XVIII B)

Tableau XVIII. Influence des variétés sur la hauteur de la plante du maïs en fonction du temps pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Site de Megana (A)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Hauteur de la plante En 2014	Hauteur de la plante En 2015	Probabilité
V_1	4SAS	15,96 ± 1,34 a	15,99 ± 1,13 a	P = 0,015
	8SAS	59,13 ± 2,12 b	59,31 ± 2,0 b	
	12SAS	152,6 ± 3,35 a	153,5 ± 3,1 a	
V_2	4SAS	15,27 ± 1,17 a	14,72 ± 1,12 a	
	8SAS	49,97 ± 2,47 a	48,8 ± 2,4 a	
	12SAS	144,77 ± 3,59 b	144,6±3,1 a	
V_3	4SAS	8,77 ± 1,48 b	8,1± 1,4 b	
	8SAS	46,08 ± 2,39 b	45,2 ± 2,3 b	
	12SAS	143,6 ± 3,43 b	14,1±3,4 b	

Site de Nkolfon (B)				
Variétés	Périodes de croissance (SAS)	Hauteur de la plante En 2014	Hauteur de la plante En 2015	Probabilité
V_1	4SAS	16,61 ± 1,24 a	16,02 ± 1,11 a	P = 0,001
	8SAS	63,33 ± 2,14 a	60,14 ± 2,1 b	
	12SAS	155,3 ± 3,76 a	157,2 ± 3,3 a	
V_2	4SAS	15,71 ± 1,15 a	14,86 ± 1,10 a	
	8SAS	50,72 ± 2,40 b	67,2 ± 2,2 a	
	12SAS	148,62 ± 3,65 b	154,6 ± 3,1 a	
V_3	4SAS	9,76 ± 1,4 b	8,34 ± 1,2 b	
	8SAS	49,11 ± 2,3 b	59,86 ± 2,0 b	
	12SAS	147,8 ± 3,56 b	147,1 ± 3,4 b	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.1.2.6. Effet des variétés sur la période de la floraison de la plante du maïs en fonction du temps

Les résultats obtenus dans le site de Megana concernant l'apparition des fleurs mâles montrent une différence significative entre les variétés (P=0,001). La variété locale est considérée comme tardive comparativement aux variétés améliorées. En effet, sur le terrain en 2014, les fleurs mâles sont apparues au soixante dixième (70) jour après semis chez la variété V_1, au soixante neuvième (69) jour après semis chez la variété V_2 et au soixante huitième (68) jour après semis chez la variété V3. En 2015, les fleurs mâles sont apparues toujours au soixante dixième (70) jour après semis chez la variété V_1, au soixante septième (67) jour après semis chez la variété V_2 et V3.

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2014, les fleurs mâles sont apparues au soixante onzième (71) jour après semis chez la variété V_1, au soixante sixième (66) jour après semis chez la variété V_2 et au soixante septième (67) jour après semis chez la variété V3. En 2015, les fleurs mâles sont apparues toujours au soixante quatorzième (74) jour après semis chez la variété V_1, au soixante dixième (70) jour après semis chez la variété V_2 et au soixante neuvième (69) jour après semis chez V3.

3.1.2.1.2.7. Effet des variétés sur la résistance à la verse de la plante du maïs en fonction du temps

L'analyse des données relative à la résistance à la verse présente une différence significative entre les variétés (P = 0,001) dans le site de Megana. En 2014, l'on constate que la grande taille de la variété locale lui rend plus sensible à la verse que les variétés améliorées. Le taux de résistance est de 72,6 ± 11,7 % chez V_1, de 85,4±11,03 % chez V_2 et de 88,6 ± 6,6 % chez V_3. En 2015, le taux de résistance enregistré est de 70,5±10,47 % chez V_1, de 86,3±10,33 % chez V_2 et de 88,9±5,6 % chez V_3.

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2016, le taux de résistance est de 72,53 ± 10,3 % chez V_1, de 86,5 ± 10,02 % chez V_2 et de 88,42±8,1 % chez V_3. En 2017, le taux de résistance enregistré est de 71,6 ± 10,06 % chez V_1, de 87,64 ± 10,22 % chez V_2 et de 89,9 ± 5,5 % chez V_3. L'ordre croissante de résistance à la verse peut se présenter comme : $V_1<V_2<V_3$.

3.1.2.2. Effet fertilisant des types de fumure utilisés et des variétés sur les paramètres de rendement du maïs

3.1.2.2.1. Effet des types de fumure sur les paramètres de rendement du maïs

A la fin du cycle végétatif du maïs (16SAS), tous les paramètres de rendement ont été collectés. Les résultats d'analyse statistique révèlent que les comportements de différents traitements dans les deux sites d'expérimentation ont présenté des différences significatives vis-à-vis des paramètres du rendement de maïs.

3.1.2.2.1.1. Effet des types de fumure sur le nombre d'épi par plante du maïs

Dans le site de Megana, les résultats d'analyse de variance obtenus montrent une différence significative entre les traitements (P = 0,002). Les parcelles traitées à l'engrais NPK (20-10-10) ont produits plus d'épi par plante que les autres traitements fertilisants. En 2014 par exemple, il a été observé sur le terrain dans les parcelles fertilisées à NPK (20-10-10) et à base du compost, plusieurs pieds de maïs qui portaient deux épis et la moyenne obtenue par analyse statistique a donné 1,6 ± 0,5 épis (Fig.30 A). Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. Il a été observé sur le terrain dans les parcelles fertilisées à NPK (20-10-10) et à base du compost, plusieurs pieds de maïs qui portaient deux épis et la moyenne obtenue par analyse statistique a donné 1,7 ± 0,5 épis en 2016 (Fig.30 B).

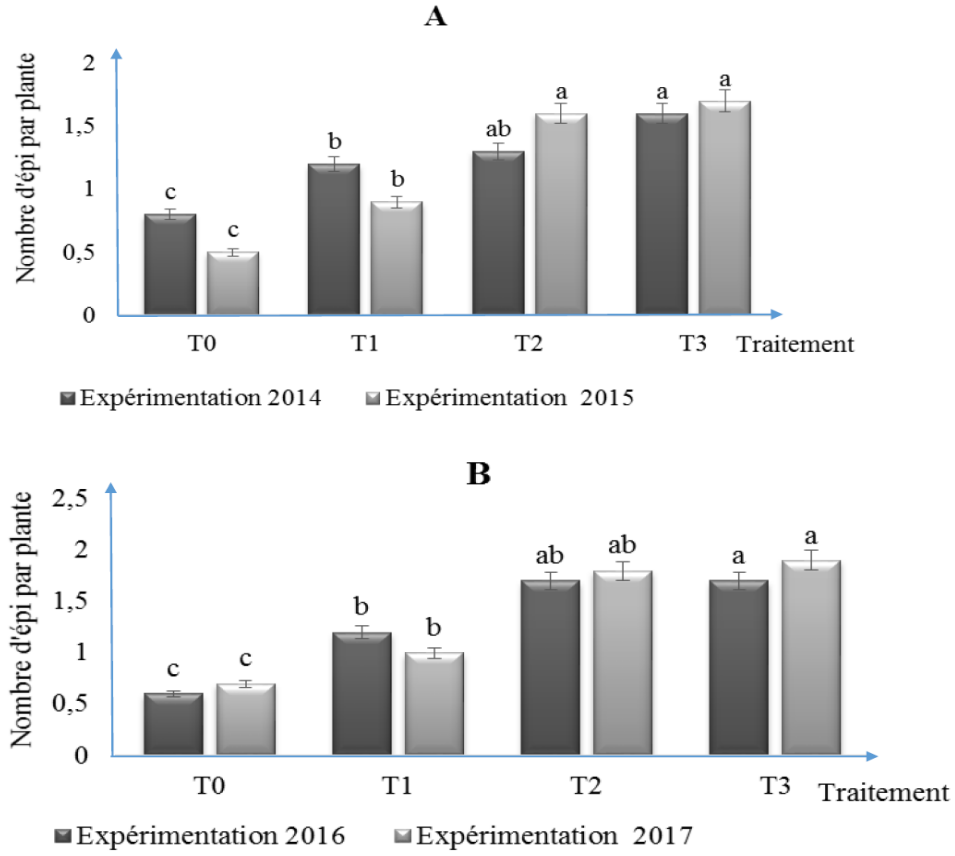
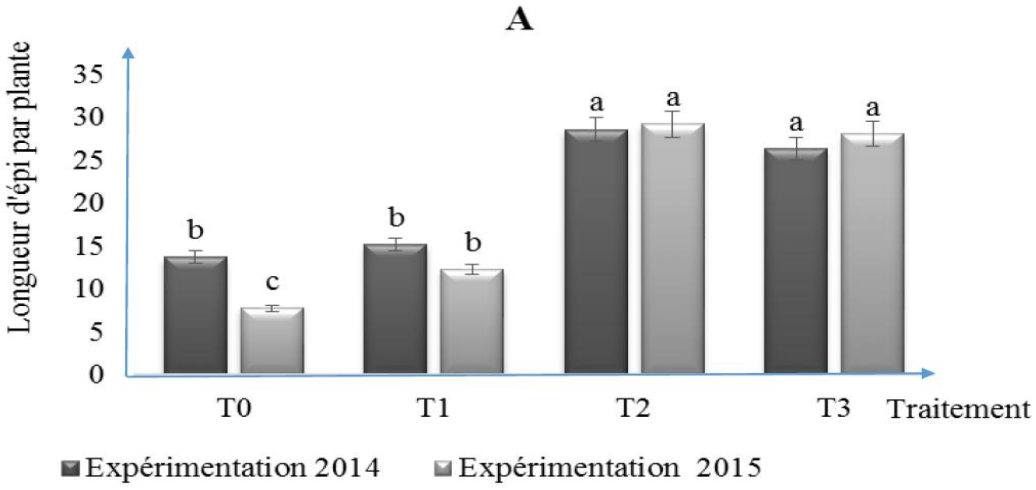


Fig.30. Influence du traitement fertilisant sur le nombre d'épi par plante du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.1.2. Effet des types de fumure sur la longueur d'épi par plante du maïs

Les résultats obtenus dans le site de Megana ont montré une différence significative (P = 0,006) entre les traitements fertilisant pendant les deux années d'expérimentation. Les parcelles traitées à base de compost ont produit des épis plus longs que les autres. Mais les longueurs des épis de ces parcelles sont statistiquement similaires à celles des épis produits par les parcelles traitées à l'engrais NPK (20-10-10) avec une moyenne de 28,6 ± 3,9cm pour le compost et 26,4 ± 3cm pour l'engrais NPK (20-10-10) en 2014. Par contre, les épis produits dans les parcelles affectées au témoin sont plus courts que les autres traitements fertilisants, mais leurs tailles sont statistiquement similaires aux épis produits dans des parcelles traitées à base des parches de café. La moyenne obtenue en 2014 est de 13,75 ± 4,1 cm chez le témoin et 15,2 ± 2,6 cm chez le traitement à base des parches de café (Fig.31 A). Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2016 par exemple, la moyenne de la longueur de l'épi obtenue pour le traitement à base de compost est de 29,1 ± 3,6 cm et 28,2 ± 3cm pour l'engrais NPK (20-10-10). Pour le témoin, la moyenne obtenue est de 14,43 ± 3,3 cm et 16,22 ± 3,5 cm chez le traitement à base des parches de café (Fig.31 B).



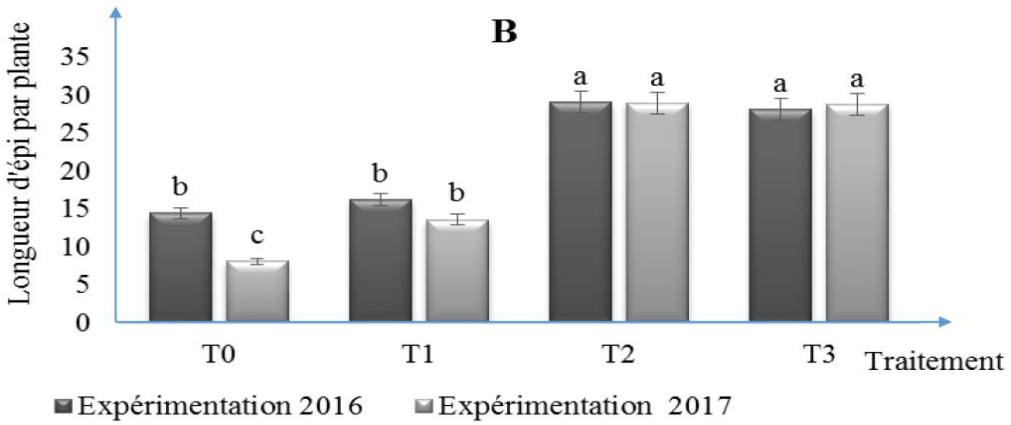


Fig.31. Influence du traitement fertilisant sur la longueur d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.1.3. Effet des types de fumure sur le diamètre d'épi du maïs par plante

Les résultats d'analyse statistique obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les traitements dans les deux sites d'expérimentation (P= 0,001). en 2014 par exemple, les parcelles témoins ont produit des épis ayant des diamètres inférieurs aux autres traitements. En effet, le diamètre des épis des parcelles traitées à base de compost est statistiquement similaire à celle des épis produits par les parcelles traitées à l'engrais NPK avec une moyenne de 3,8 ± 0,2 cm pour le traitement à base de compost et de 3,5 ±1 cm pour l'engrais NPK. Par contre, les épis produits dans les parcelles témoins sont plus petits que les autres traitements fertilisants, mais leurs diamètres sont statistiquement similaires aux épis produits dans des parcelles traitées à base des parches de café. La moyenne enregistrée est de 1,50 ± 0,2 cm chez le témoin et 1,50 ± 0,9 cm le traitement à base des parches de café (Fig.32 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2016 par exemple, la moyenne du diamètre de l'épi obtenue pour le traitement à base de compost est de 3,3 ± 0,2 cm et 3,4 ± 0,5 cm pour l'engrais NPK (20-10-10). Pour le témoin, la moyenne obtenue est de 1,4 ± 0,1cm et 1,53 ± 0,3 cm chez le traitement à base des parches de café (Fig.32 B).

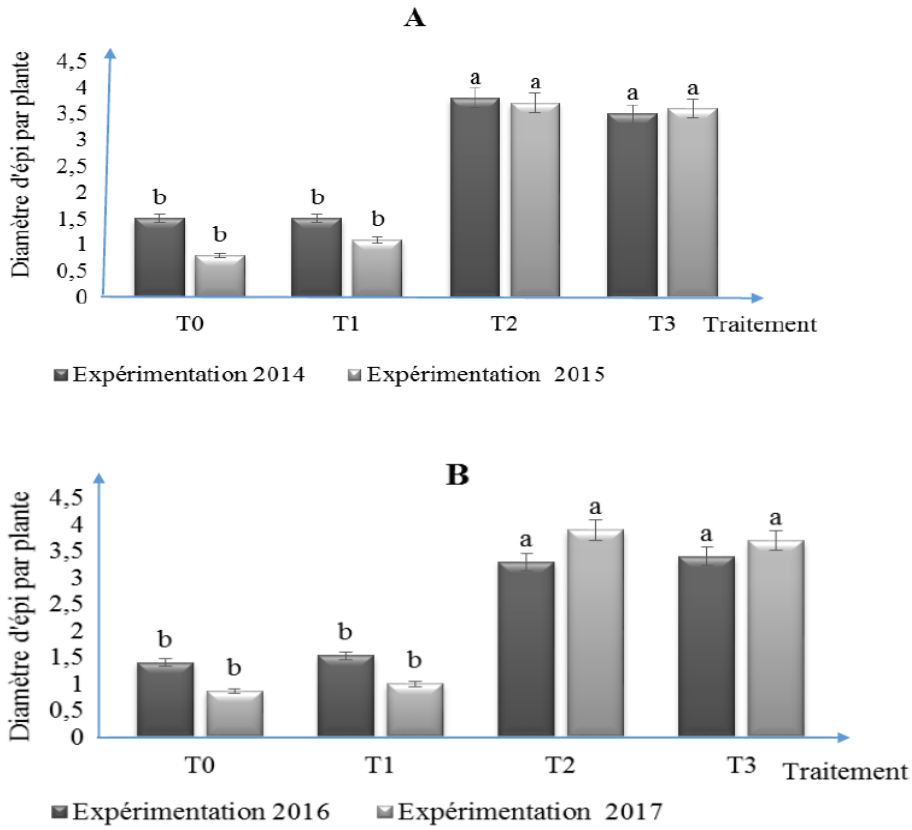


Fig. 32. Influence du traitement fertilisant sur le diamètre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.1.4. Effet des types de fumure sur le poids de grains par d'épi du maïs

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les traitements fertilisants (P=0,003). Les parcelles traitées à l'engrais NPK ont produits des épis ayant plus de grains et qui ont un poids élevé plus que les autres traitements fertilisants. Mais le poids de grains par épi obtenu en 2014 par exemple dans ces parcelles est statistiquement similaire à celui obtenu dans les parcelles traitées à base de compost avec une moyenne de 197,3 ± 46,1g chez l'engrais NPK et 195,7 ± 38,2g chez le compost. Par contre, les épis produits dans les parcelles témoins sont plus légers que les autres traitements fertilisants avec une moyenne de 91,6 ± 46g. Les parcelles traitées avec des parches de café ont produit des épis ayant un poids intermédiaire de 165,9 ± 43,5g (Fig.33 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site d'Akonolinga en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2016 par exemple, la moyenne obtenue est de 195,5 ± 41,8 g chez le traitement

à base de compost et de 199,7 ± 43,1g chez le traitement à l'engrais NPK. Le témoin a présenté une moyenne de 90,9 ± 40 g. Les parcelles traitées avec des parches de café ont produit des épis ayant un poids intermédiaire de 169,8 ± 41,1 g (Fig.33 B).

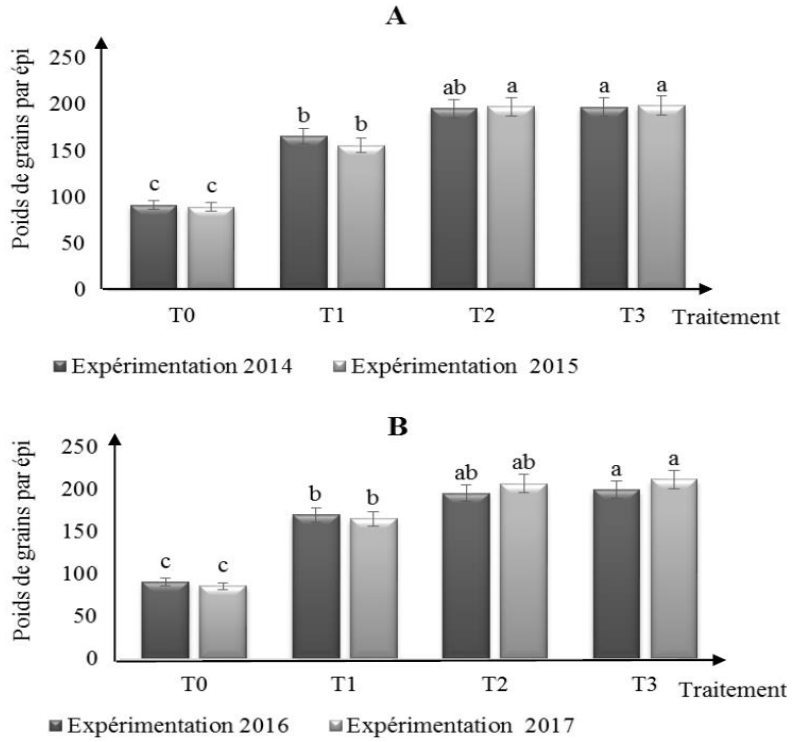


Fig.33. Influence du traitement fertilisant sur le poids de grains par épi du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.1.5. Effet des types de fumure sur le rendement en grains du maïs

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les traitements (P = 0,001). Le plus grand rendement en grains de maïs a été obtenu dans les parcelles traitées à base de l'engrais NPK. Mais ce rendement est statistiquement similaire à celui obtenu dans les parcelles traitées à base de compost avec une moyenne estimée en 2014 à 3,6 ± 2 $t.ha^{-1}$chez le traitement à l'engrais NPK et 3,4±2 $t.ha^{-1}$ chez le traitement à base de compost. Par contre, les parcelles affectées au témoin ont obtenu un rendement moins élevé que les autres traitements avec une moyenne de 1,5 ± 0,7 $t.ha^{-1}$. Pour les parcelles traitées à base des parches de café, le rendement moyen est estimé à 2,1±2,1 $t.ha^{-1}$ (Fig.34 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été

enregistrés. En 2016 par exemple, la moyenne obtenue est de 3,5 ± 2 t.ha^{-1}chez le traitement à l'engrais NPK et 3,3 ± 2 t.ha^{-1} chez le traitement à base de compost. Le témoin a présenté une moyenne de 1,3±0,5 t.ha^{-1} et celle des parches de café est estimée à 2,6 ± 1,3 t.ha^{-1} (Fig.34 B).

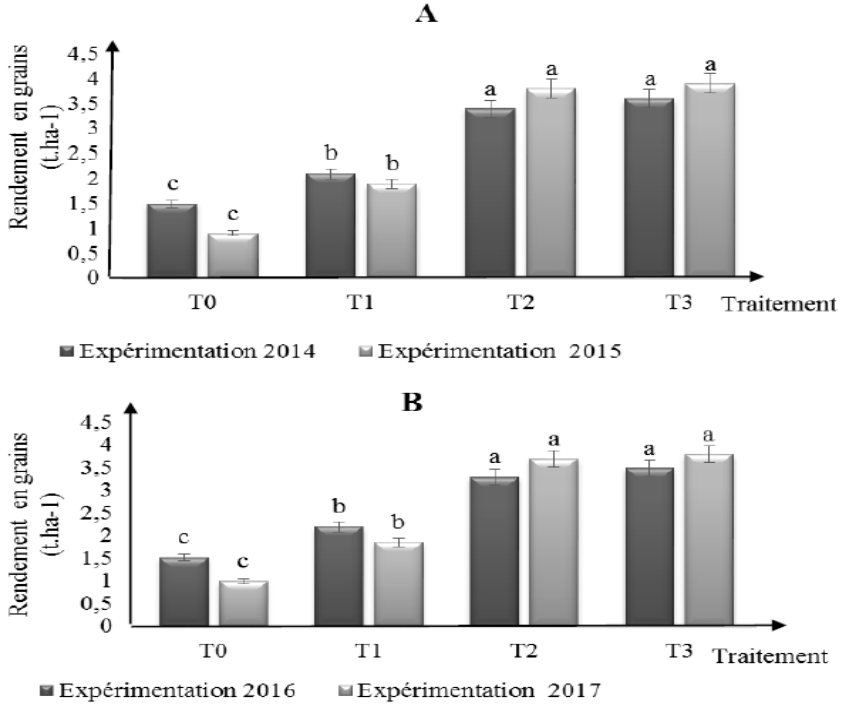


Fig.34. Influence du traitement fertilisant sur le rendement en grains du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.1.6. Indice d'acceptabilité des différents traitements

Dans le site de Megana, Les valeurs des indices d'acceptabilité (IA) des différents traitements montrent que les traitements à l'engrais minéral (NPK) et à base de compost sont supérieurs à 2 (Tableau XIX A). Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. Les traitements à l'engrais minéral (NPK) et à base de compost sont toujours supérieurs à 2 (Tableau XIX B).

Tableau XIX. Analyse économique des différents traitements utilisés dans le site de Megana (A) et de Nkolfon (B)

Site de Megana (A)

Coût et IA / Traitements	Coût d'achat, transport et incorporation de traitement dans le sol (FCFA)	Coûts variables totaux (FCFA/ ha)	Rendement mais (deux années) (kg/ ha)	Revenu brut (FCFA/ha)	Bénéfice brut (FCFA/ha)	Indice d'acceptabilité (IA)
T0	0	0	2400	720 000	720 000	/
T1	15000	22000	4000	1200000	1178000	1,64
T2	30000	55000	7200	2160000	2105000	2,92
T3	88 000	103 000	7500	2250000	2147000	2,98

Site de Nkolfon (B)

Coût et IA / Traitements	Coût d'achat, transport et incorporation de traitement dans le sol (FCFA)	Coûts variables totaux (FCFA/ ha)	Rendement mais (deux années) (kg/ ha)	Revenu brut (FCFA/ha)	Bénéfice brut (FCFA/ha)	Indice d'acceptabilité (IA)
T0	0	0	2500	750000	750000	/
T1	15000	22000	4000	1200000	1178000	1,57
T2	30000	55000	7000	2100000	2045000	2,73
T3	88 000	103 000	7300	2190000	2087000	2,78

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10).

3.1.2.2.2. Effet des variétés sur les paramètres de rendement du maïs

A la fin du cycle végétatif du maïs, tous les paramètres de rendement ont été collectés. Les résultats d'analyse statistique révèlent que les comportements de trois variétés ont été significativement différents par rapport aux paramètres de rendement du maïs.

3.1.2.2.2.1. Effet des variétés sur le nombre d'épi du maïs par plante

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les variétés (P=0,001). Les variétés améliorées ont produit en moyenne deux (02) épis par plante. En effet, il a été observé visuellement parmi ces variétés, plusieurs pieds de maïs qui portaient deux épis et d'autres pieds portaient jusqu'à trois épis, les moyennes obtenues par analyse statistique en 2014 donnent chez la composite blanche 2,1±0,2 épis par plante et chez la composite jaune 2,4 ± 0,3 épis par plante Par contre, la variété locale a été la moins productive avec une moyenne d'un (01) épi par plante (Fig. 35 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les résultats similaires ont été enregistrés. En 2016 par exemple, il a été enregistré 2,6±0,2 épis par plante chez la composite

blanche et 2,8±0,2 épis par plante chez la variété composite jaune. Par contre, la variété locale a été la moins productive avec une moyenne d'un (01) épi par plante (Fig. 35 B).

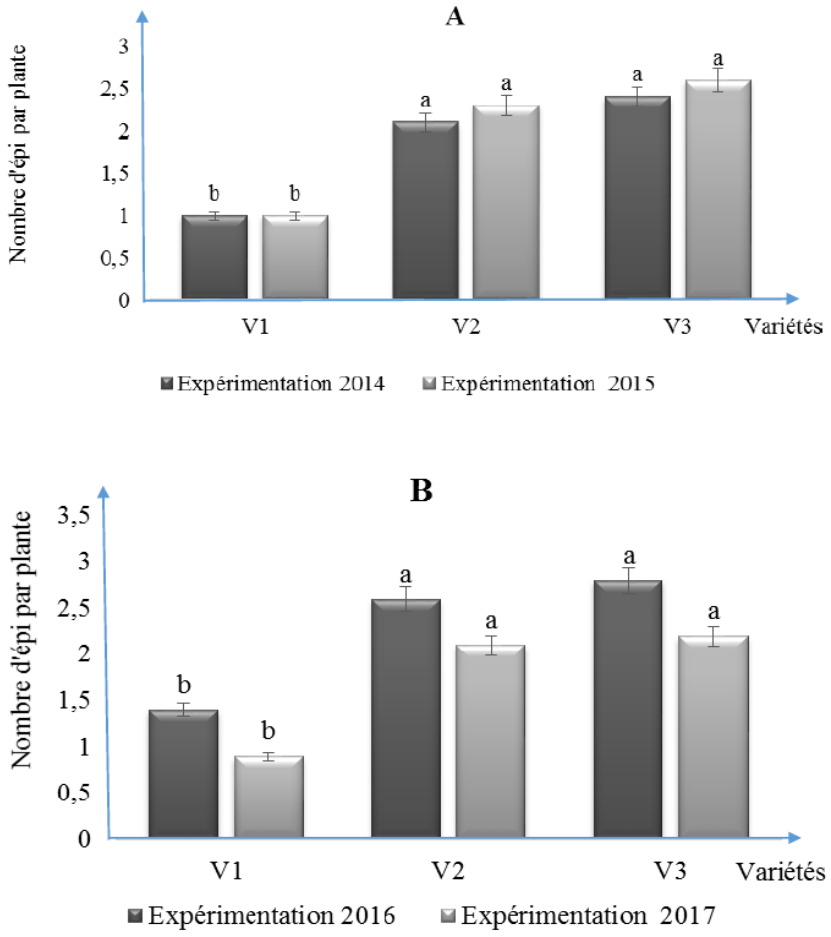


Fig.35. Influence des variétés sur le nombre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.2.2. Effet des variétés sur la longueur d'épi du maïs par plante

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les variétés (P= 0,001). Les variétés améliorées ont produit plus des épis de grande taille que la variété locale. Même si les tailles des épis des variétés améliorées sont statistiquement similaires, les observations faites sur le terrain montrent une légère différence entre les deux variétés. En effet, dans le site de Megana en 2014 par exemple, la variété composite jaune a produit des épis de grande taille (29,9 ± 4,5 cm) suivi de la composite blanche (29,1 ± 4, 3 cm). La variété locale occupe le dernier rang avec une moyenne de 11,4 ± 1,3 cm (Fig. 36 A).

De même dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont

été observées. En 2016 par exemple, la variété composite jaune a produit des épis de grande taille (28,1 ± 4,1cm) suivi de la composite blanche (27,5±3,9 cm). La variété locale occupe aussi le dernier rang avec une moyenne de 13,1 ± 1,1cm (Fig. 32 B).

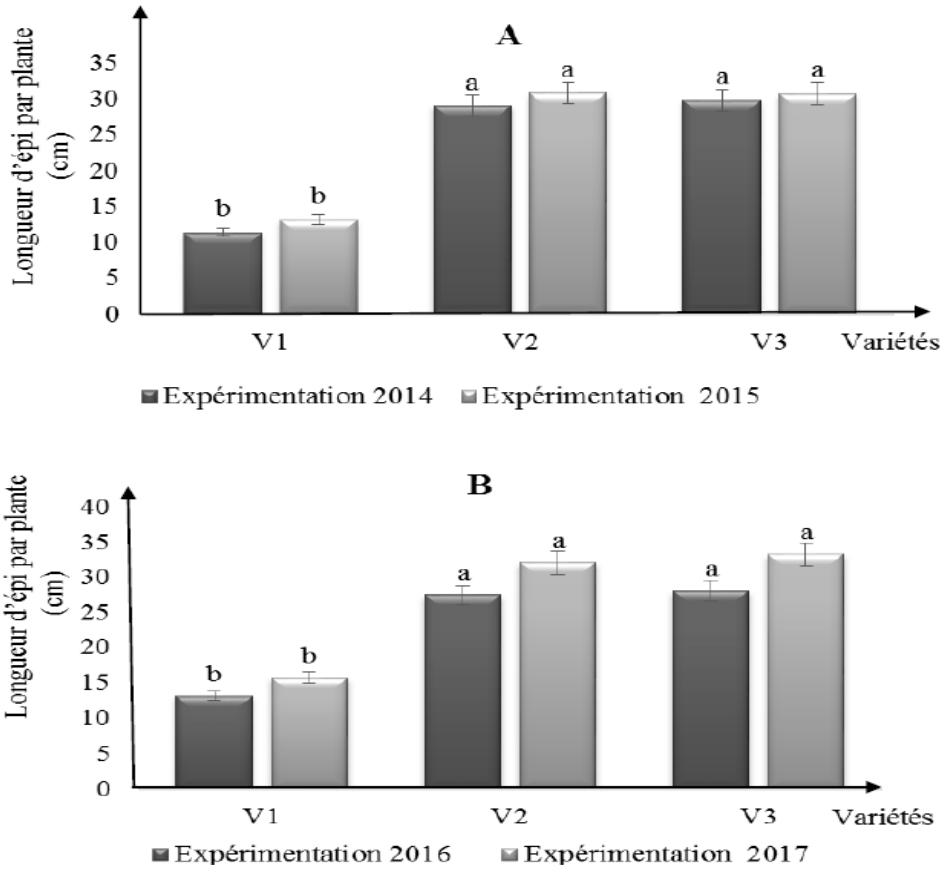


Fig.36. Influence des variétés sur la longueur d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.2.3. Effet des variétés sur le diamètre d'épi du maïs par plante

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les variétés améliorées et la variété locale (P = 0,001). Les variétés améliorées ont produits plus de gros épis que la variété locale. Les données enregistrées en 2014 sont de 3,8 ± 0,2 cm chez la variété composite jaune et 3,6 ±1 cm chez la variété composite blanche. Le plus petit diamètre a été obtenu chez la variété locale qui présente 1,5 ± 0,3 cm (Fig. 37 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont été observées. En 2016 par exemple, les données enregistrées sont de 3,4 ± 1,2 cm pour la variété composite jaune et 3,1 ± 1 cm pour la variété composite blanche. Le plus petit diamètre a été obtenu chez la variété locale qui présente 1,3 ± 0,2 cm (Fig. 37 B).

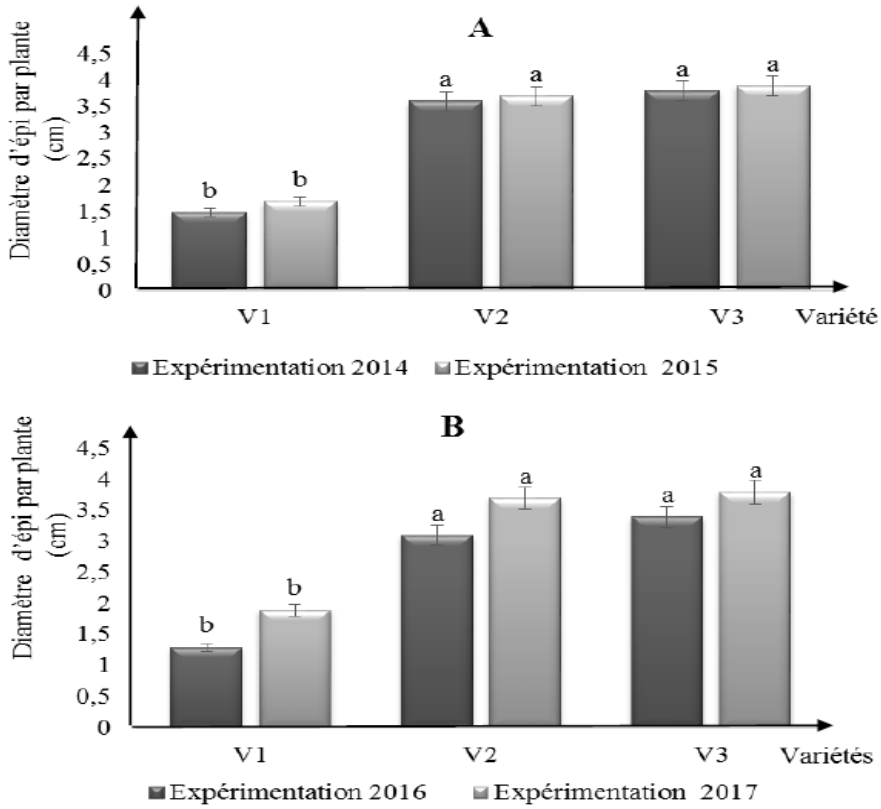


Fig.37. Influence des variétés sur le diamètre d'épi du maïs par plante pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.2.4. Effet des variétés sur le poids de grains par épi du maïs

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les variétés dans les deux sites d'études (P=0,001). Lors de l'expérimentation en 2014, les variétés améliorées ont produit des épis ayant plus de grains et qui ont un poids plus élevé que la variété locale. Au sein des variétés améliorées, le poids de grains par épi obtenu est statistiquement différent. Les grains de la variété composite jaune ont un poids relativement élevé que ceux de la composite blanche avec une moyenne de 184,3 ± 35,3 g chez la variété composite blanche et de 199,7 ± 27,8 g chez la variété composite jaune. Par contre, les grains de la variété locale restent les plus légers avec une moyenne de 111,4 ± 23,7g (Fig. 38 A)

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont été observées. Lors de l'expérimentation en 2016 par exemple, la moyenne obtenue est de 191,1±31,2 g chez la variété composite blanche et de 201,7±37,2 g chez la variété composite jaune. Par contre, les grains de la variété locale restent les plus légers avec une moyenne de 109,9±21,2g (Fig. 38 B).

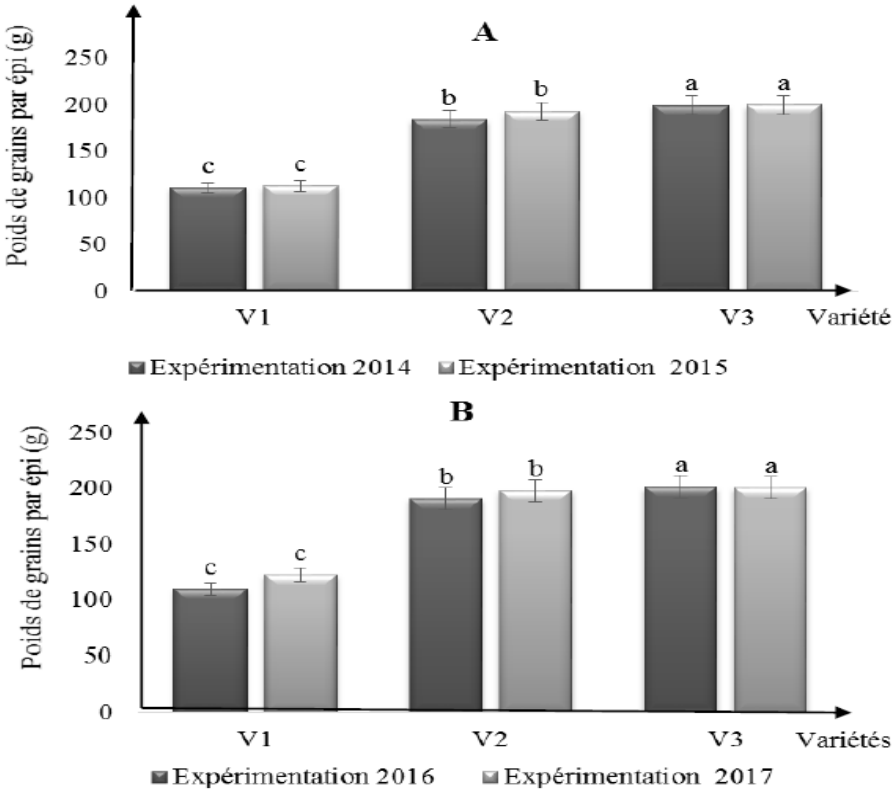


Fig.38. Influence des variétés sur le poids de grains par épi du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.2.2.2.5. Effet des variétés sur le rendement en grains du maïs

Les résultats obtenus dans le site de Megana montrent une différence significative entre les variétés (P=0,001). Lors de l'expérimentation en 2014, les variétés améliorées ont le rendement en grain de maïs le plus élevé. Au sein de ces variétés, le rendement a été statistiquement similaire avec une moyenne respective de 4,3 ± 1t/ha pour la variété composite blanche et de 4,6 ± 1t/ha pour la variété composite jaune. Par contre, le plus faible rendement a été obtenu par la variété locale avec une moyenne de 2,5 ± 1,7 t/ha (Fig.39 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, les mêmes tendances ont été observées. Lors de l'expérimentation en 2016 par exemple, la variété composite blanche a produit 4,4 ±1,3 t/ha tandis que la variété composite jaune en a produit 4,5±1,5 t/ha. Par contre, le plus faible rendement a été obtenu par la variété locale avec une moyenne de 2,4±1,1 t/ha (Fig.39 B).

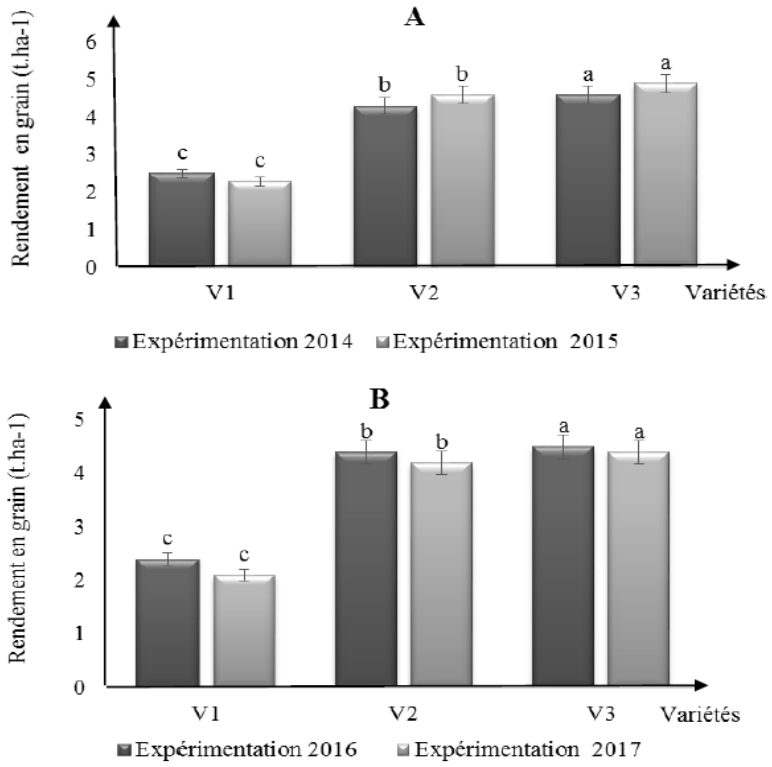


Fig.39. Influence des variétés sur le rendement en grains du maïs pendant deux années d'expérimentation dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3. Effet phytosanitaire des types de fumure et des variétés sur les maladies parasitaires d'origine fongique de la culture du maïs dans la zone forestière humide du Sud Cameroun

Cette partie met en évidence les principales maladies parasitaires d'origine fongique du maïs identifiées en champs, l'effet des traitements fertilisants sur l'incidence et la sévérité des maladies fongiques du maïs, l'effet variétal sur l'incidence et la sévérité des maladies fongiques du maïs.

3.1.3.1. Inventaire des maladies parasitaires dans les unités expérimentales

L'inventaire des maladies fongiques dans les différentes unités expérimentales a été réalisé à travers la technique du diagnostic visuel des symptômes développée par Renard & Foucart (2008) et les observations microscopiques. La Fusariose d'épi causée par différents *Fusarium* tels que *Fusarium graminearum et Fusarium monoliforme* ; l'Helminthosporiose causée *Helminthosporium turcicum*; le Charbon d'épi causé par *Ustilago maydis* sont les principales maladies fongiques identifiées dans les deux sites d'expérimentation (Tableau XX).

Tableau XX. Taxonomie des maladies fongiques du maïs observées lors de l'expérimentation.

Typologie / Maladies	Agents pathogènes	Familles	Genres	Classes
Charbon d'épis	*Ustilago maydis* (Henri-François-Anne de Roussel, 1806)	Ustilaginaceae	*Ustilago*	Ustilaginomycètes
Fusariose d'épis	*Fusarium* sp. (Link (1809))	Hypocreaceae	*Fusarium*	Hyphomycètes
Helminthosporiose	*Helminthosporium Turcicum* (Link (1809))	Pleosporaceae	*Helminthosporium*	Dothideomycètes

3.1.3.2. Evolution des maladies parasitaires sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

3.1.3.2.1. Charbon d'épi du maïs (*Ustilago maydis*)

3.1.3.2.1.1. Symptôme du charbon d'épi du maïs

La maladie de charbon est une maladie qui présente des symptômes spectaculaires chez le maïs, elle est causée par un champignon *(Ustilago maydis)* et se manifeste par des tumeurs lisses et luisantes qui peuvent mesurer 2 à 10 cm de diamètre recouvrant l'épi. Ces tumeurs sont de couleur noire et poudreuse à l'intérieur (Fig. 40).

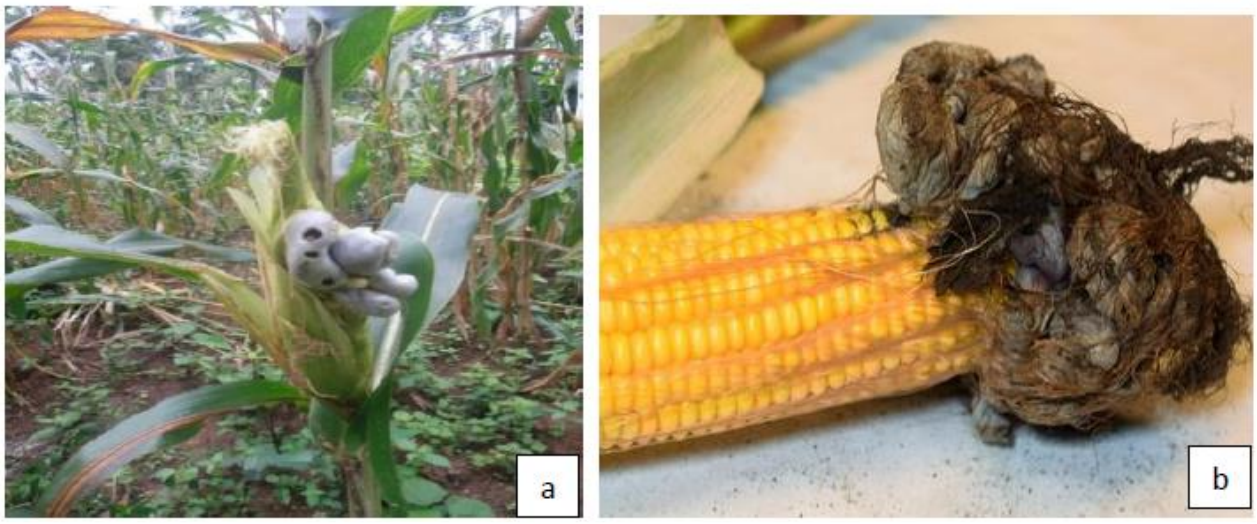


Fig. 40. Charbon d'épi observé en champ :

a) tumeur lisse et luisante en cours de développement sur l'épi de maïs frais en champ

b) tumeur de couleur noire et poudreuse sur l'épi de maïs récolté

L'examen microscopique des tumeurs montre qu'elles sont formées à partir d'une agglomération de grains très profondément déformés et transformées en poudre noire. L'examen des poudres noires présente des structures fongiques constituées des hyphes, des conidiophores et des spores (Fig. 41)

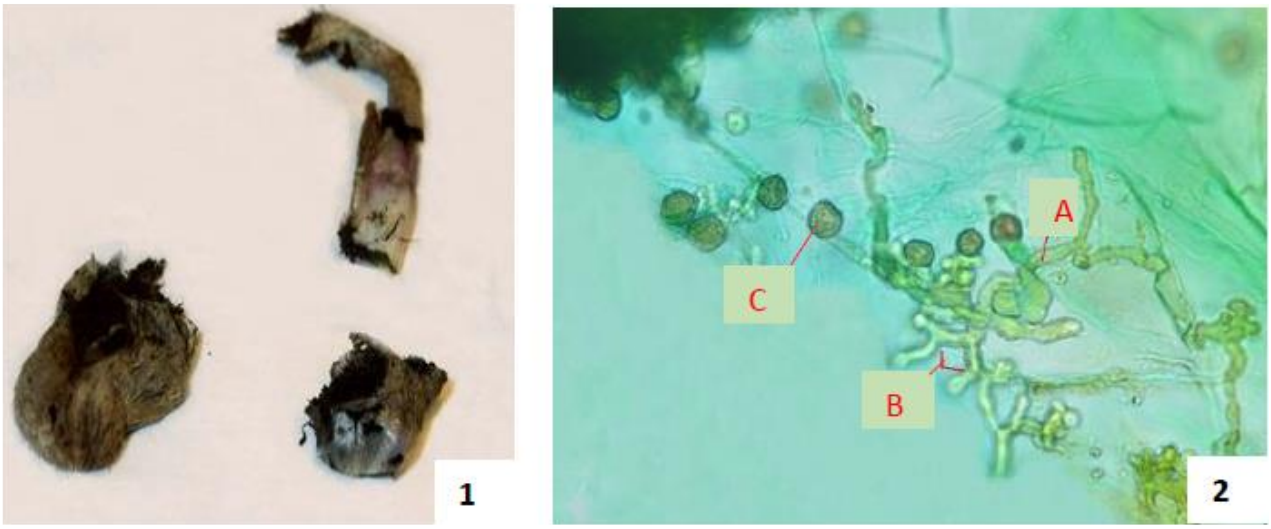


Fig. 41. Examen microscopique de la poudre noire :

1= coupe de la tumeur contenant la poudre noire

2= structures fongiques observées : A= Hyphes ; B= Conidiophores ; C= Spores

3.1.3.2.1.2. Incidence et sévérité du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

3.1.3.2.1.2.1. Incidence du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

Lors de l'expérimentation dans le site de Megana, le charbon d'épi a été identifié seulement dans les parcelles expérimentales fertilisées à base de compost En effet dans ces parcelles expérimentales, les premiers symptômes de la maladie sont apparus à partir de la 8^{iéme} SAS et évoluent jusqu'à la 12^{iéme} SAS où ils deviennent constants.

L'analyse des résultats de l'incidence de charbon d'épi montre qu'à la 8^{iéme} SAS dans le site de Megana en 2014 par exemple, le taux d'infection est de 0,13 %. Ce taux évolue pour atteindre presque 1 % à partir de la 12^{ième} SAS et reste contant jusqu'à la récolte (Fig. 42 A)

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, le charbon d'épi a été

identifié dans les parcelles expérimentales fertilisées à base de compost et des parches de café. L'analyse statistique montre que le taux d'infection en 2016 est de 0,32 % chez le traitement à base de compost et de 0,24 % chez le traitement à base des parches de café. Ces différents taux évoluent pour atteindre presque 1 % à partir de la 12^{ième} SAS et reste contant jusqu'à la récolte (Fig. 42 B)

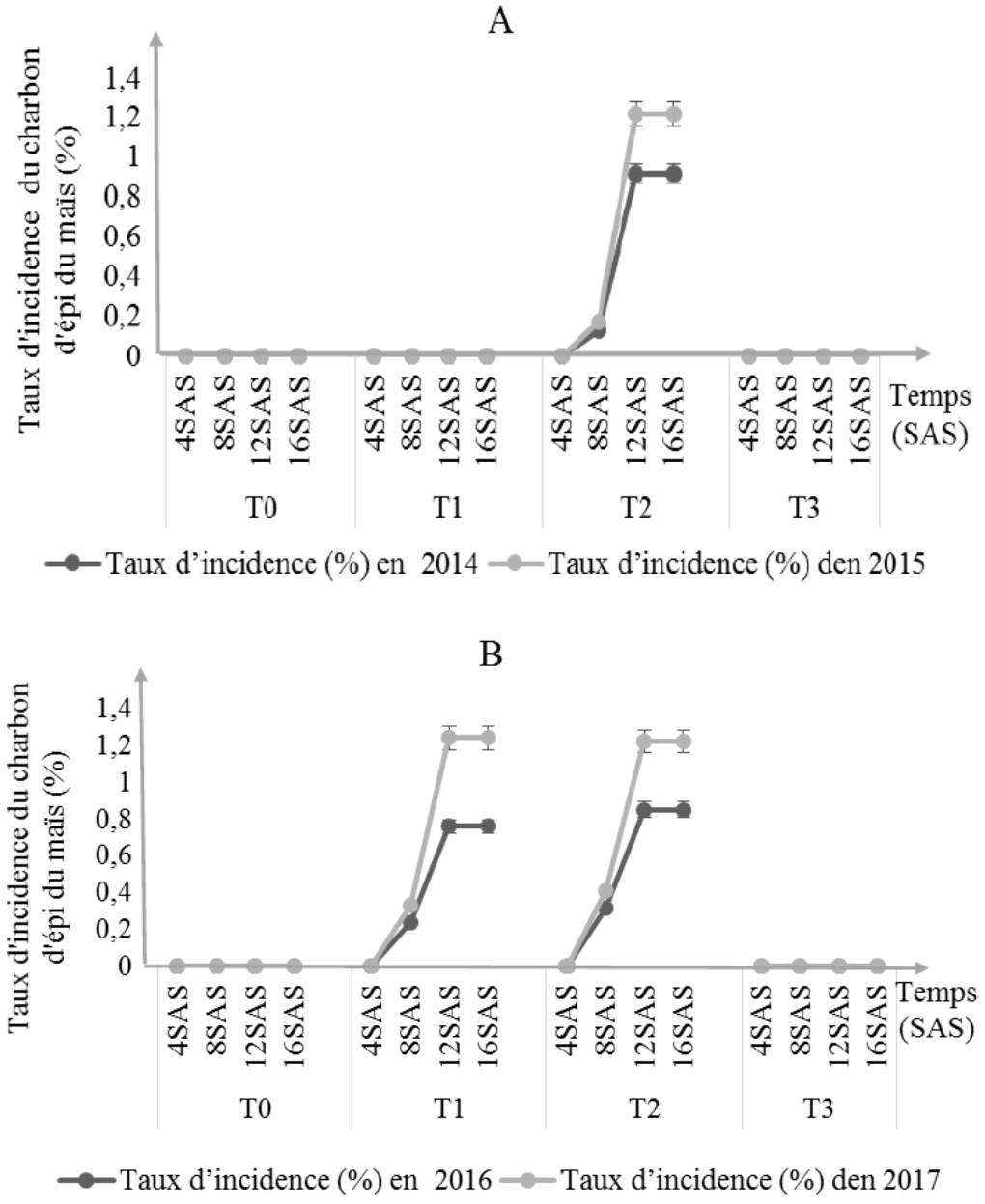


Fig.42. Evolution de l'incidence du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10).

3.1.3.2.1.2.2. Sévérité du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

L'analyse des résultats de la sévérité de charbon d'épi du maïs montre qu'à la 8^{iéme} SAS dans le site de Megana en 2014 par exemple, le taux d'infection est de 8,84 %. Ce taux évolue pour atteindre presque 10 % à partir de la 12^{iéme} (Fig.43 A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, le taux d'infection à la 8^{ième} SAS est de 10,11 % chez le traitement à base de compost et de 9,87 % chez le traitement à base des parches de café. Ces différents taux évoluent pour atteindre presque 11 % à partir de la 12^{ième} SAS (Fig.43 B).

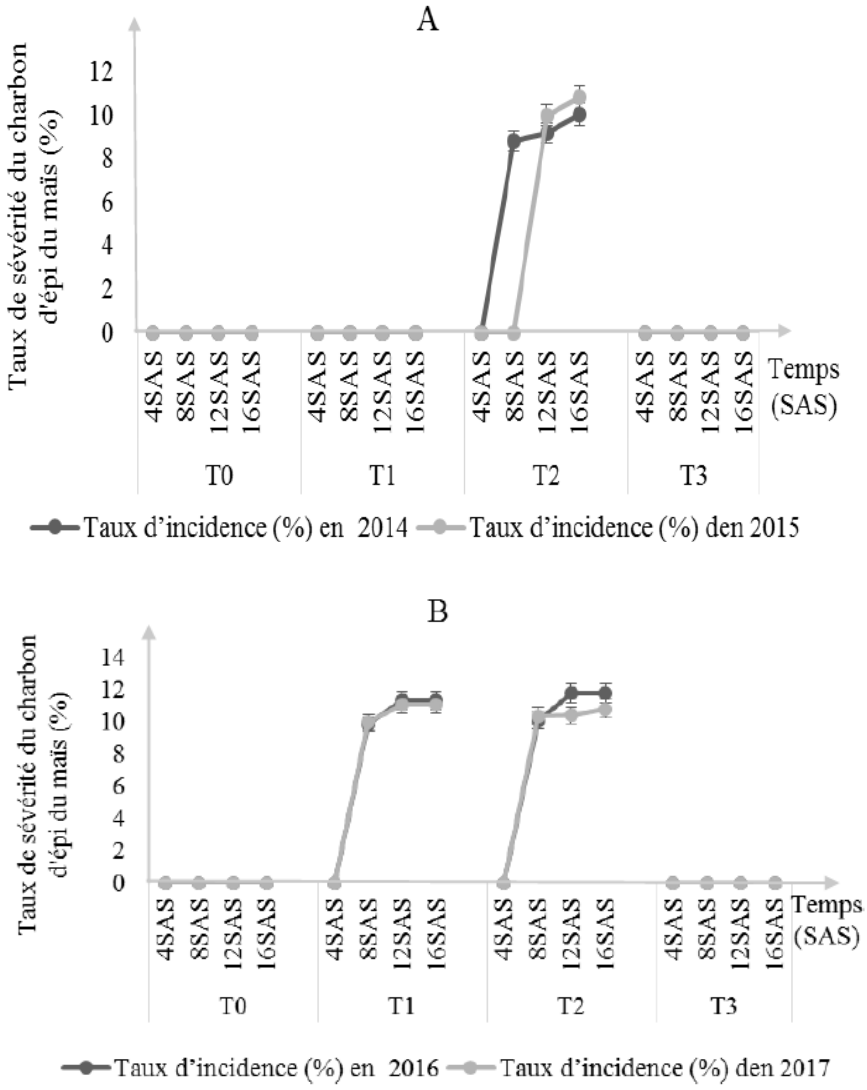


Fig.43. Evolution de la sévérité du charbon d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : T0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T1=traitement à base des parches de café ; T2=traitement à base de compost ; T3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.2.2. Fusariose d'épi du maïs (*Fusarium sp.)*

3.1.3.2.2.1. Symptôme de la Fusariose d'épi du maïs

La fusariose d'épi est une maladie fongique causée par plusieurs espèces de champignons du genre Fusarium. Deux types de *Fusarium* sont couramment rencontrés notamment *Fusarium graminearum et Fusarium monoliforme.* Le *Fusarium graminearum* se développe au sommet des épis sous forme d'un mycélium blanc-rose et progresse ensuite vers la base de l'épi. Le mycélium peut aussi s'insinuer au niveau des spathes et des soies. Les soies et les spathes semblent alors collées les unes aux autres et contre le grain au sommet de l'épi. Par contre, Le *Fusarium monoliforme* se développe à différents endroits sur l'épi sous forme d'un mycélium blanchâtre plus ou moins épais (Fig.44).

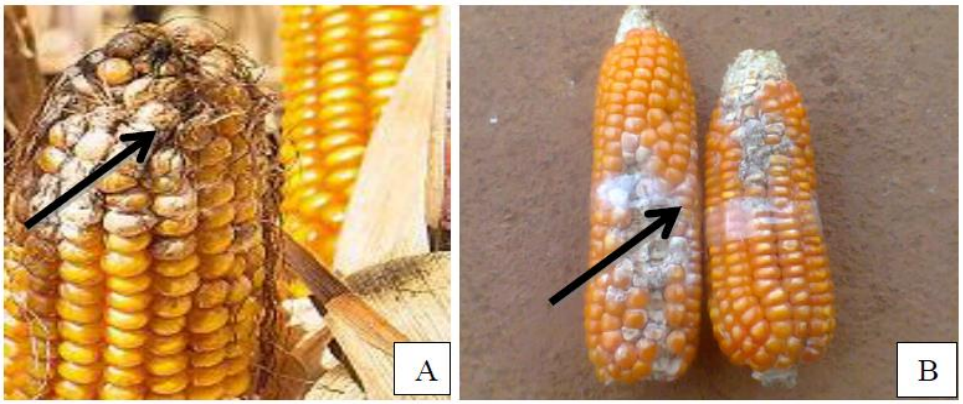


Fig. 44. Quelques images de la fusariose d'épi collecté dans les sites d'expérimentation :

A= *Fusarium graminearum* se développant au sommet de l'épi du maïs

B= *Fusarium monoliforme* se développant à se développe à différents endroits sur l'épi.

L'examen microscopique de la graine infectée a permis d'observer les micro et macroconodies de *Fusarium monoliforme* (Fig.45). Les microconidies sont hyalines, fusiformes, unicellulaires et occasionnellement bicellulaires. Elles sont disposées en chaînes et mesurent 5-12 x 1,5-2,5 /lm. Les macroconodies sont hyalines) droites ou légèrement incurvées et munies de 3 à 7 cloisons. Leurs dimensions varient de 25-60 x 2,5-4,0 Ilm (Mathur et Kongsdal, 2003)). Sur milieu gélosé, les colonies mycéliennes sont rasantes et poudreuses (Champion, J997). Le champignon ne forme pas de chlamydospores.

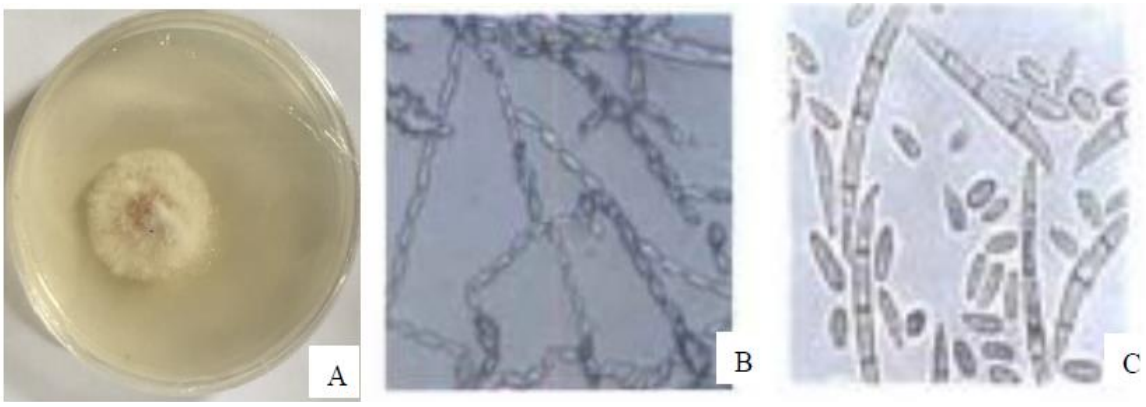


Fig. 45. Examen microscopique de la graine du maïs infectée par le *Fusarium monoliforme*.

A= Souche de *Fusarium monoliforme* isolée à partir d'une graine de maïs infectée

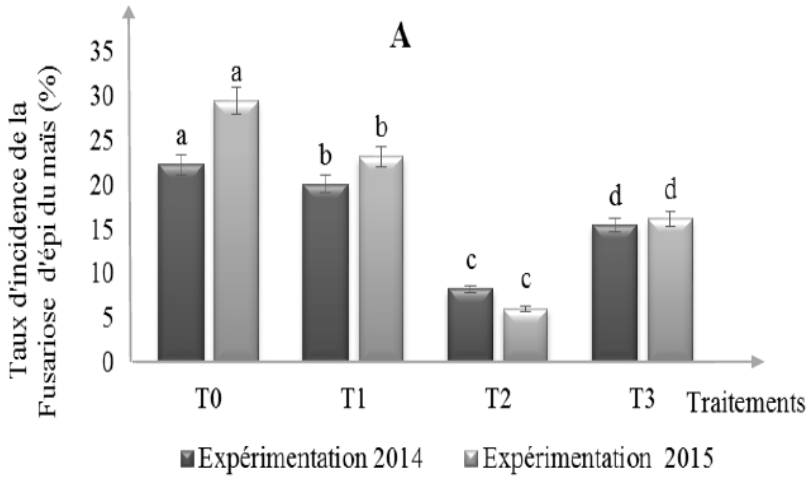
B= Vue microscopique des conidies en cbaines de *Fusarium monoliforme*

C= Vue microscopique des macroconidies et microconidies de *Fusarium monoliforme*

3.1.3.2.2.2. Incidence et sévérité de Fusariose d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

3.1.3.2.2.2.1. Incidence de Fusariose d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

Après la récolte des maïs, cette maladie a été identifiée sur les épis provenant de toutes les parcelles expérimentales mais avec un taux d'incidence variant en fonction du traitement. L'analyse statistique a montré une différence significative dans le site de Megana (P=0,001). En 2014 par exemple, le traitement à base de compost a eu le taux d'incidence le moins élevé de 8,31±2,1 % par rapport aux autres traitements fertilisants (Fig.46 A). Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, le traitement à base de compost a toujours eu le taux d'incidence le moins élevé de 6,22 ± 1,2 % en 2016 par rapport aux autres traitements fertilisants (Fig.46 A).



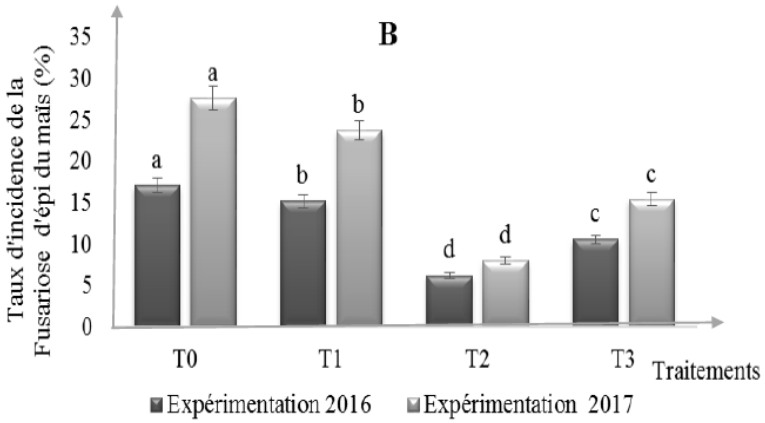
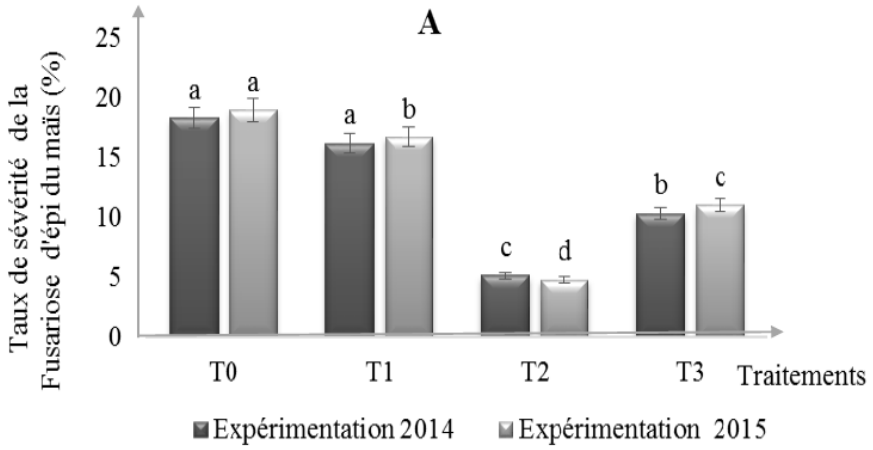


Fig.46. Evaluation de l'incidence de Fusariose d'épi à 16 SAS sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et dans le site de Nkolfon (B)

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T_0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T_1=traitement à base des parches de café ; T_2=traitement à base de compost ; T_3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). **).** Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.2.2.2.2. Sévérité de Fusariose d'épi sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

La sévérité de maladie a montré une différence significative (P=0,002) dans les différentes unités expérimentales. Ainsi le taux de sévérité le moins élevé a été enregistré chez le traitement à base de compost, ce taux est de 5,15 ± 2,3 % dans le site de Megana en 2014 et de 7,11± 2,1 % dans le site de Nkolfon en 2016 où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation (Fig. 47 A & B).



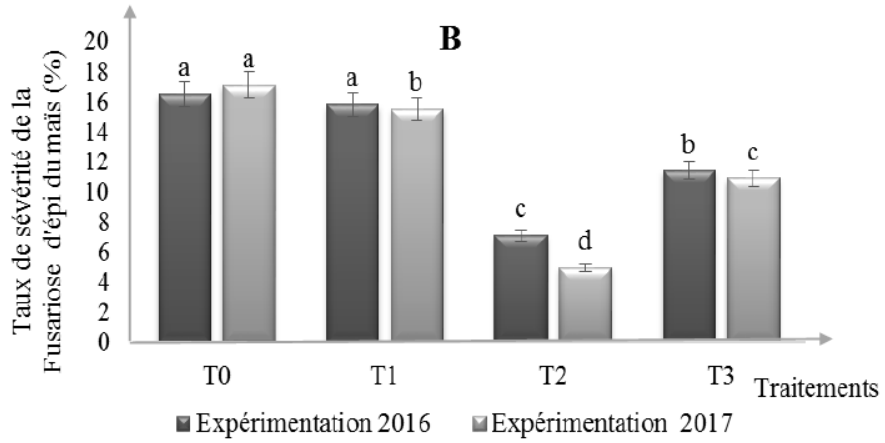


Fig. 47. Evaluation de la sévérité de Fusariose d'épi à 16 SAS sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et dans le site de Nkolfon (B)

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T_0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T_1=traitement à base des parches de café ; T_2=traitement à base de compost ; T_3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.2.3. Helminthosporiose du maïs (*Helminthosporium Turcicum*)

3.1.3.2.3.1. Symptôme d'Helminthosporiose du maïs

L'helminthosporiose fusiforme ou l'helminthosporiose commune est une maladie du feuillage due à un champignon (*Helminthosporium turcicum*). Elle s'extériorise généralement par l'apparition de tâches de couleur vert-huileux qui prennent la forme de fuseau. Elles sont disposées dans le sens des nervures foliaires, ces tâches peuvent s'allonger, se rejoindre et provoquer ensuite le dessèchement des feuilles. L'observation visuelle associée de l'observation microscopique a permis d'identifier cette maladie dans toutes les unités expérimentales (Fig. 48).

Fig. 48. Helminthosporiose sur la feuille de maïs identifiée dans les sites d'expérimentation.

L'Helminthosporiose s'observe le plus souvent sur les rangs de bordures des parcelles puis elle progresse vers l'intérieur suite aux conditions climatiques favorables ou aux spécificités génotypiques des variétés.

3.1.3.2.3.2. Incidence et sévérité d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

3.1.3.2.3.2.1. Incidence d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

Dans le site d'expérimentation, l'apparition d'Helminthosporiose sur les plantes de maïs a été observée à la quatrième semaine après le semis (4 SAS) et elle a évolué de façon croissante jusqu'à la maturité de la plante (12 SAS) où elle est devenue stationnaire. Ainsi l'incidence de la maladie a présenté une différence significative entre les traitements (P=0,001) avec le témoin qui a eu le taux d'incidence le plus élevé de 8,27 ±1,4 % dans le site de Megana en 2014. Ce taux d'incidence est statistiquement similaire à celui du traitement à base des parches de café qui est de 7,52 ± 1,3 % (Tableau XXI A).

Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, le témoin a eu le taux d'incidence le plus élevé de 7,95 ± 1,2 % en 2016. Ce taux d'incidence est statistiquement similaire à celui du traitement à base des parches de café qui est de 7,57 ± 1,2 % (Tableau XXI B).

Tableau XXI. Taux d'incidence (%) d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon

Traitements	Période d'évolution de la maladie	Site de Megana		Site de Nkolfon		
		Taux d'incidence en 2014	Taux d'incidence en 2015	Taux d'incidence en 2016	Taux d'incidence en 2017	Probabilité
T_0	4 SAS	1,13 ± 0,2a	1,35 ± 1,02 a	1,10 ± 0,1a	0,96 ± 0,2 a	P = 0,001
	8 SAS	2,23 ± 0,5b	3,33 ± 1,05a	2,36 ± 0,3 b	4,26 ± 0,9a	
	12 SAS	8,27 ± 1,4a	12,74 ± 4,4a	7,95 ± 1,2a	14,04 ± 1,3a	
	16 SAS	8,27 ± 1,4a	12,74 ± 4,4a	7,95 ± 1,2a	14,04 ± 1,3a	
T_1	4 SAS	0,77 ± 0,1a	0,87 ± 0,3a	0,5 ± 0,1a	0,67 ± 0,2a	
	8 SAS	2,08 ± 0,3b	2,38 ± 0,9b	2,01 ± 0,3b	3,03 ± 0,6b	
	12 SAS	7,52 ± 1,3a	9,24 ± 1,7b	7,57 ± 1,2a	11,02 ± 1,1b	
	16 SAS	7,52 ± 1,3a	9,24 ± 1,7b	7,57 ± 1,2a	11,02 ± 1,1b	
T_2	4 SAS	0,13 ± 0,1c	0,10 ± 0,4c	0,11 ± 0,1c	0,10 ± 0,01c	
	8 SAS	1,47 ± 0,7c	0,98 ± 0,01 c	1,55 ± 0,2c	0,82 ± 0,2 c	
	12 SAS	4,11 ± 1, 2c	2,32 ± 0,4d	3,65 ± 1, 1c	2,45 ± 0,3d	
	16 SAS	4,11 ± 1, 2c	2,32 ± 0,4d	3,65 ± 1, 1c	2,45 ± 0,3d	
T_3	4 SAS	0,4 ± 0,2b	0,41 ± 0,2b	0,2 ± 0,1b	0,31 ± 0,2b	
	8 SAS	2,75 ± 0,6a	2,90 ± 0,6b	2,69 ± 0,3a	2,95 ± 0,4b	
	12 SAS	6,93 ± 1,3 b	8,03 ± 1,5b	6,93 ± 1,3 b	8,85 ± 1,2b	
	16 SAS	6,93 ± 1,3 b	8,03 ± 1,5b	6,93 ± 1,3 b	8,85 ± 1,2b	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T_0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T_1=traitement à base des parches de café ; T_2=traitement à base de compost ; T_3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.2.3.2.2. Sévérité d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées

Les résultats obtenus sur la sévérité de l'Helminthosporiose présente une différence significative entre les traitements dans le site de Megana (P=0,001) avec le traitement à l'engrais NPK qui a eu un taux de sévérité le plus élevé de 8,94 ± 2,1 % en 2014. Par contre dans le site de Nkolfon en 2016 où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, c'est plutôt le témoin qui a eu le taux de sévérité de maladie le plus élevé de 9,15 ± 2,5 % à la fin de l'expérimentation (Tableau XXII A & B)

Tableau XXII. Taux sévérité (%) d'Helminthosporiose sous l'effet des traitements fertilisants sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Traitements	Période d'évolution de la maladie	Site de Megana		Site de Nkolfon		
		Taux de sévérité en 2014	Taux de sévérité en 2015	Taux de sévérité en 2016	Taux de sévérité en 2017	Probabilité
T_0	4 SAS	1,4 ± 0,1a	1,5 ± 0,1 a	0,9 ± 0,01 a	1,01 ± 0,1 a	
	8 SAS	2,3 ± 0,01a	2,45 ± 0,02 a	3,1 ± 0,2 a	2,5 ± 0,2 a	
	12 SAS	8,02 ± 2,1a	8,56 ± 2,2 b	9,15 ± 2,5a	9,6 ± 2,1 b	
	16 SAS	8,02 ± 2,1a	8,56 ± 2,2 b	9,15 ± 2,5a	9,6 ± 2,1 b	
T_1	4 SAS	0,6 ± 0,04 b	0,72 ± 0,05 b	0,7 ± 0,01 b	0,66 ± 0,05 b	
	8 SAS	2,1 ± 0,03 a	2,63 ± 0,03 a	2,9 ± 0,02 a	2,03 ± 0,2 a	
	12 SAS	8,55 ± 2,3a	8,75 ± 2,4 ab	9,03 ± 2,1a	8,93 ± 2,2 ab	
	16 SAS	8,55 ± 2,3a	8,75 ± 2,4 ab	9,03 ± 2,1a	8,93 ± 2,2 ab	P = 0,001
T_2	4 SAS	0,1 ± 0,01 c	0,1 ± 0,01 d	0,19 ± 0,01 c	0,3 ± 0,01 d	
	8 SAS	1,16 ± 0,01 b	1,01 ± 0,015 b	1,03 ± 0,01 b	1,2 ± 0,01 b	
	12 SAS	4,48 ± 1,01 b	4,05 ± 1,02 c	5,12 ± 1,1 b	3,79 ± 1,1 c	
	16 SAS	4,48 ± 1,01 b	4,05 ± 1,02 c	5,12 ± 1,1 b	3,79 ± 1,1 c	
T_3	4 SAS	0,3 ± 0,02 c	0,39 ± 0,02 c	0,4 ± 0,01 c	0,5 ± 0,02 c	
	8 SAS	2,35 ± 0,03 a	2,53 ± 0,04 a	2,5 ± 0,04 a	2,3 ± 0,04 a	
	12 SAS	8,94 ± 2,1 a	9,01 ± 2,3 a	9,1 ± 2,2 a	10,2 ± 2,6a	
	16 SAS	8,94 ± 2,1 a	9,01 ± 2,3 a	9,1 ± 2,2 a	10,2 ± 2,6a	

Légende : SAS= Semaine Après Semis ; T_0=Témoin sans amendement (organique/inorganique) ; T_1=traitement à base des parches de café ; T_2=traitement à base de compost ; T_3=fertilisation minérale NPK (20-10-10). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.3. Sensibilité des variétés de maïs aux maladies fongiques

3.1.3.3.1. Charbon d'épi du maïs

3.1.3.3.1.1. Incidence du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs cultivées dans les sites de Megana et de Nkolfon

L'analyse des résultats de l'incidence de charbon d'épi a présenté une différence significative (P=0,001). Seule la variété améliorée (V_2) a été attaquée par la maladie dans le site de Megana en 2014 avec un taux d'incidence de 0,25 ± 0,1 % à 8 SAS. Ce taux est passé à 1,02 ± 0,6 % à 12 SAS pour atteindre 1, 92 ± 0,9 % à 16 SAS. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation,

V_2 et V_3 ont été touchées par la maladie. Le taux d'incidence enregistré en 2016 chez V_2 a été de 0,3 ± 0,1 % 8 SAS. Ce taux est passé à 1,01 ± 0,6 à 12 SAS pour atteindre 1,97 ± 0,9 % à 16 SAS (Fig.49 A & B).

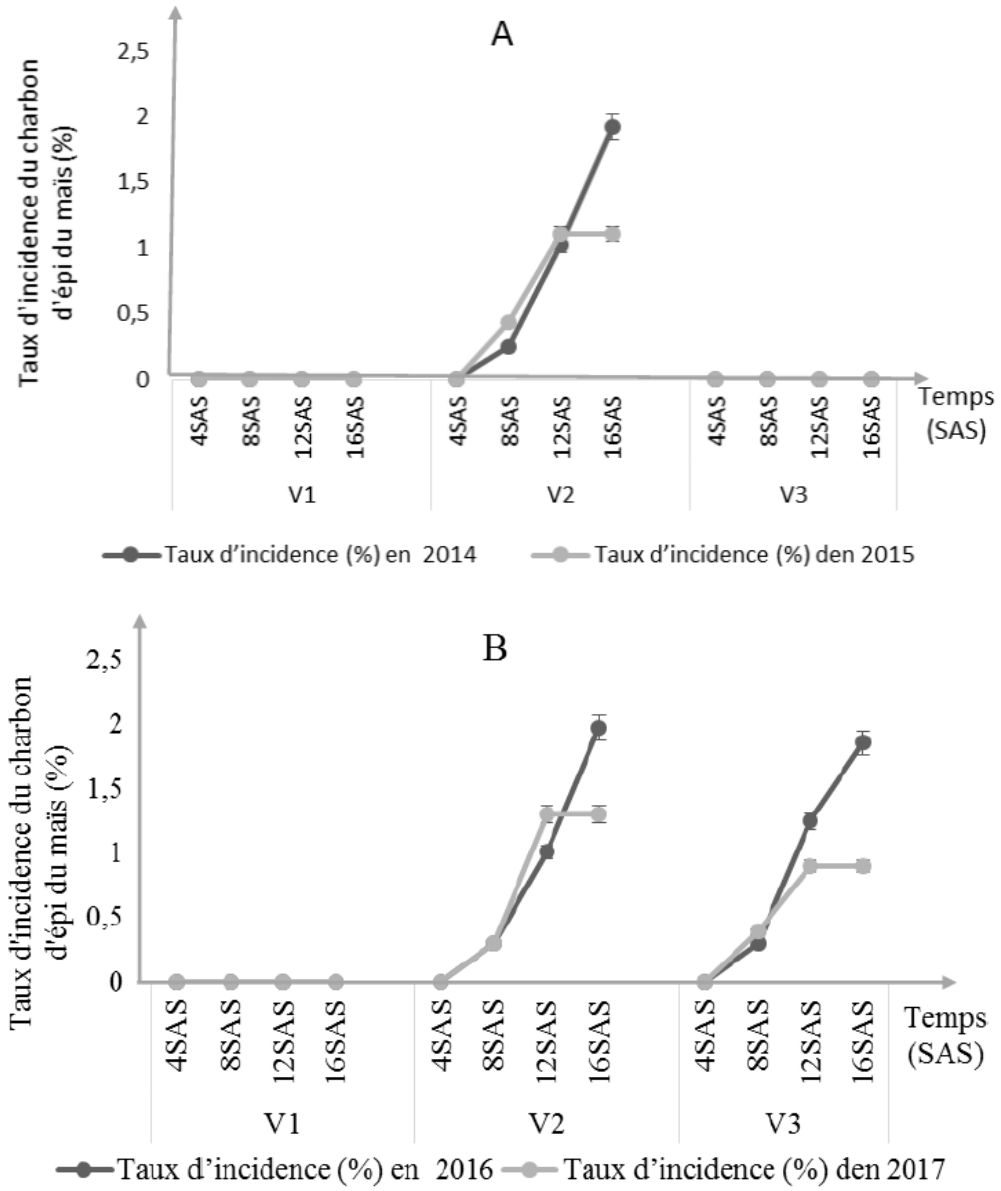


Fig.49. Evolution de l'incidence du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune).

3.1.3.3.1.2. Sévérité du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs cultivées dans les sites de Megana et de Nkolfon

L'analyse des résultats de la sévérité de charbon d'épi a présenté une différence significative (P=0,001). Dans le site de Megana en 2014 la variété améliorée (V_2) qui était la seule à être attaquée par la maladie a eu un taux de sévérité de 9,01 ± 1,02 % à 8 SAS. Ce taux est passé à 1,02

10,71 ± 2,2 % à la fin de l'expérimentation (16 SAS). Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, V_2 et V_3 qui ont été touchées par la maladie, ont eu des taux de sévérité statistiquement similaires. V_3 a enregistré par exemple un taux de sévérité de 7,85 ± 1,2 % à 8 SAS. Ce taux a atteint 10,87 ± 1,8 % à la fin de l'expérimentation (Fig.50 A & B).

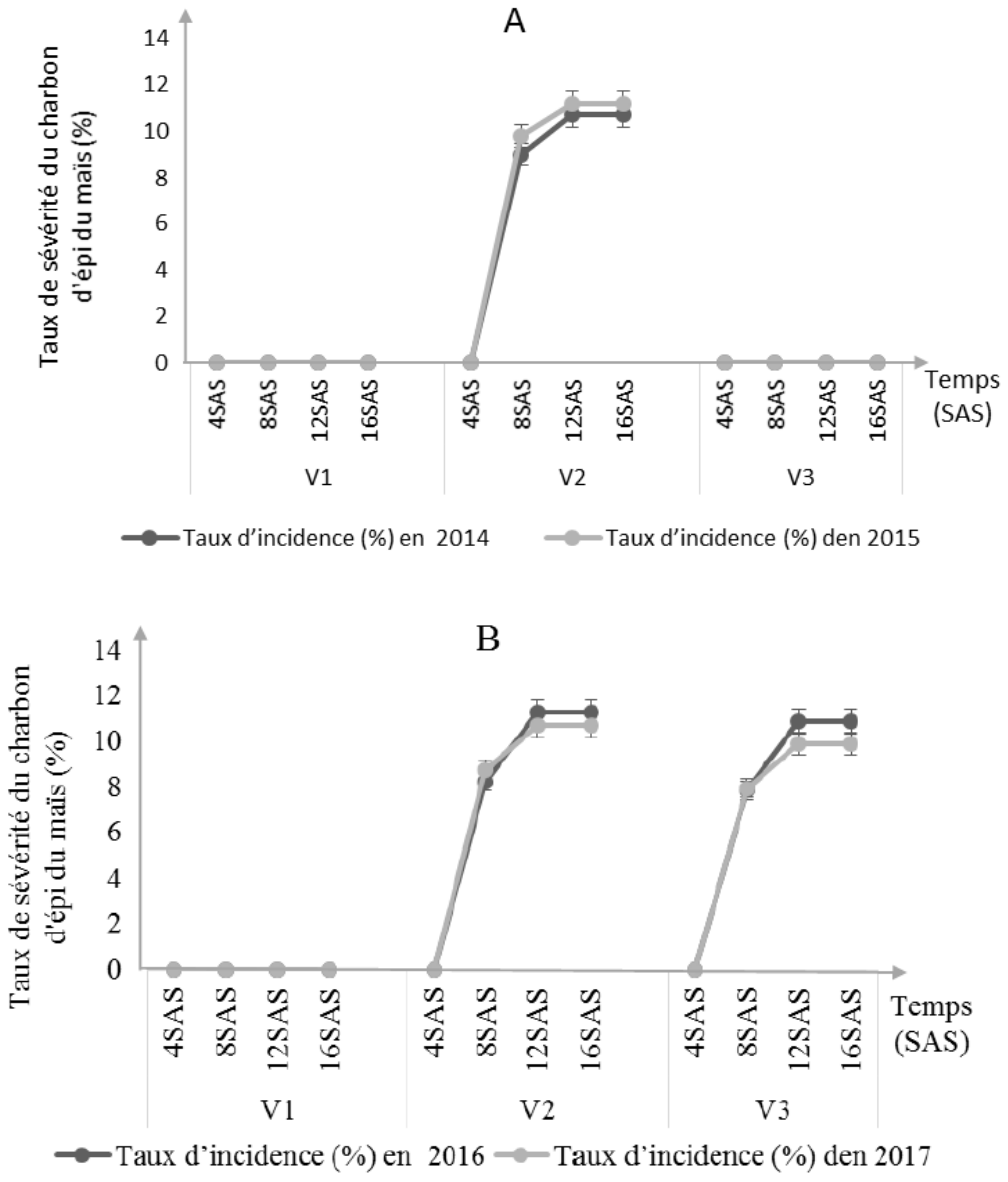


Fig.50. Evolution de la sévérité du charbon d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune).

3.1.3.3.2. Fusariose d'épi du maïs

3.1.3.3.2.1. Incidence de la Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs cultivées dans les sites de Megana et de Nkolfon

Après la récolte des maïs, cette maladie a été identifiée sur les épis provenant de toutes les unités expérimentales mais avec un taux d'incidence variant en fonction des variétés. L'analyse statistique a montré une différence significative (P=0,001). La variété locale a eu un taux d'incidence le plus faible de 5,15 ± 1,3 % dans le site de Megana en 2014 par rapport aux variétés améliorées V_2 qui a eu un taux d'incidence de 10,31 ± 3,3 % et V3 qui a eu 10,47 ± 2,1 %. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, La variété locale a eu un taux d'incidence le plus faible de 6,5 ± 1,2 % en 2016 par rapport aux variétés améliorées V_2 qui a eu un taux d'incidence de 11,11 ± 2,5 % et V3 qui a eu 11,33 ± 2,3 % (Fig.51 A & B).

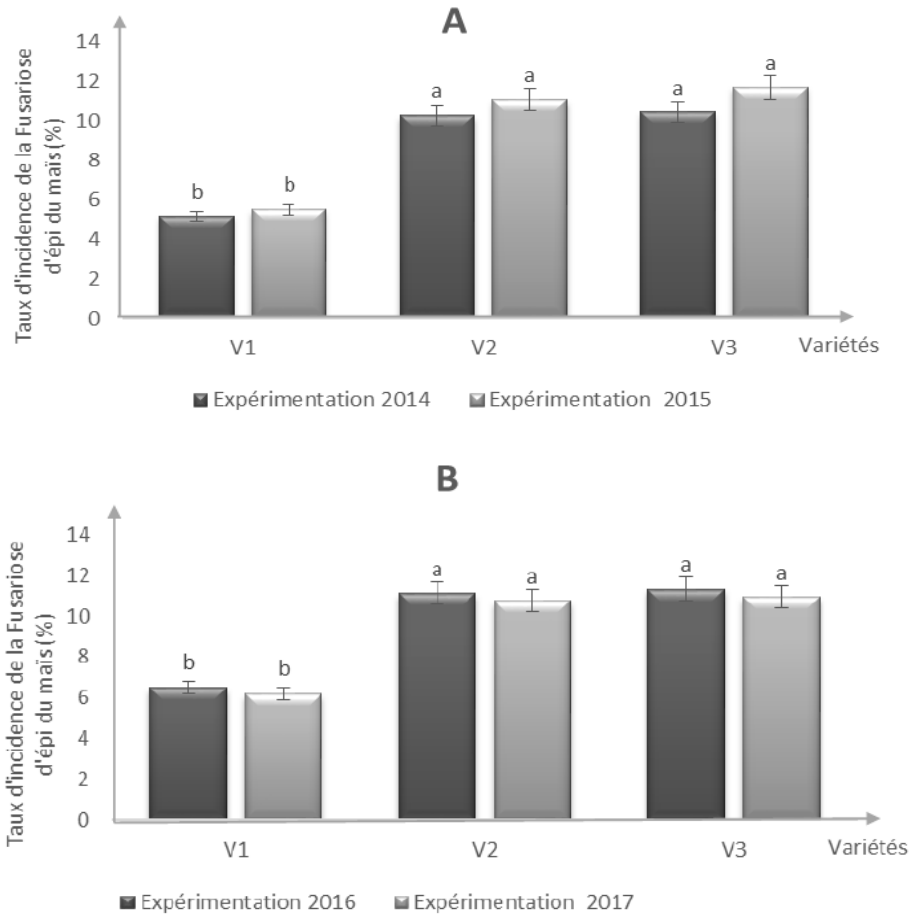


Fig.51. Evolution de l'incidence de la Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune).

3.1.3.3.2.2. Sévérité de la Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs cultivées dans les sites de Megana et de Nkolfon

L'analyse statistique n'a pas montré une différence significative (P=0,19) entre les variétés dans le site d'expérimentation. Dans le site de Megana en 2014 par exemple, la variété locale a eu un taux de sévérité statistiquement similaire (10, 53± 3,5 %) par rapport aux variétés améliorées V_2 (9,15 ± 2,3 %) et V3 (10,35 ± 4,7 %). De même dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, la variété locale a eu aussi un taux de sévérité statistiquement similaire (11,4 ± 3,2 %) par rapport aux variétés améliorées V_2 (8,7 ± 1,6 %) et V3 (8,43 ± 1,5 %) (Fig.52 A & B).

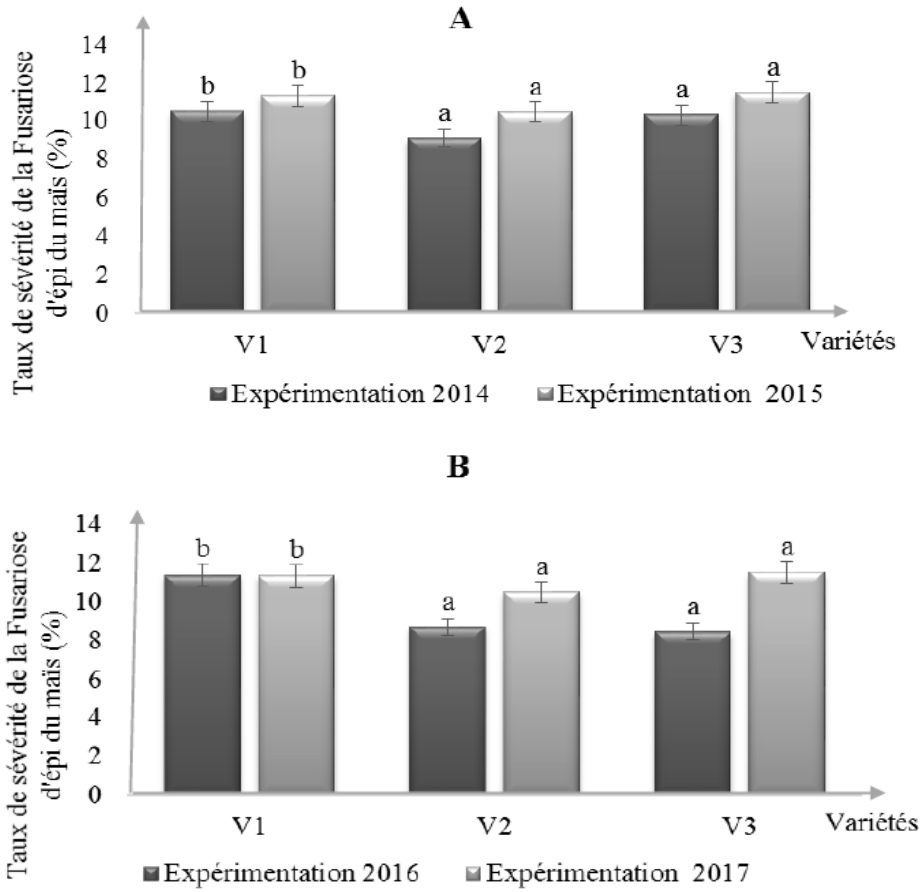


Fig.52. Evolution de la sévérité de Fusariose d'épi sur les trois variétés du maïs testées dans les sites de Megana (A) et de Nkolfon (B).

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune).

3.1.3.3.3. Helminthosporiose du maïs

3.1.3.3.3.1. Incidence d' Helminthosporiose sur les trois variétés du maïs cultivées dans les sites de Megana et de Nkolfon

Dans le site d'expérimentation, l'apparition de cette maladie chez les trois variétés de maïs a été observée à la quatrième semaine après semis (4ième SAS) et elle a évolué de façon croissante jusqu'à la maturité de la plante (12 SAS). Les résultats d'analyse de variance montre que La fréquence de la maladie chez les trois variétés a présenté une différence significative (P=0,001). En 2014 dans le site de Megana par exemple, il a été constaté qu'entre la 4ième et la 16ième SAS, le taux d'incidence a évolué de 0,76 ± 0,2 à 7,05± 1,33 % chez la variété locale, de 0,56 ± 0,3 à 5,42 ± 1, 65 % chez la variété composite blanche et de 0,44 ± 0,2 à 5,01 ± 1,3 % chez la variété composite jaune. Cependant, une légère évolution de la fréquence de la maladie à la 8iéme SAS a été enregistrée chez la variété locale avec un taux d'évolution de 1,97 ± 0,41 % significativement différent (P=0,001) de 1,75 ± 0,81 et 1,44 ± 0,6 % enregistrés respectivement chez V2 et V3. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, la variété locale a eu aussi un taux d'incidence le plus élevé de à 16 SAS de 7,39 ± 1,3 % par rapport aux variétés améliorées V_2 (5,63 ± 1,5 %) et V3 (5,34 ± 1,3 %) (Tableau XXIII).

Tableau XXIII. Taux d'incidence (%) d'Helminthosporiose sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon

Traitements	Période d'évolution de la maladie	Site de Megana		Site de Nkolfon		Probabilité
		Taux d'incidence en 2014	Taux d'incidence en 2015	Taux d'incidence en 2016	Taux d'incidence en 2017	
V_1	4 SAS	0,4 ± 0,1a	0,6 ± 0,2 a	0,3 ± 0,01a	0,8 ± 0,02 a	P = 0,001
	8 SAS	2,39 ± 0,01 a	1,93 ± 0,02 b	3,2 ± 0,01 a	2,3 ± 0,4 b	
	12 SAS	7,02 ± 2,1 a	5,32 ± 2,3 b	7,89 ± 1,03 a	5,25 ± 1,3 b	
	16 SAS	7,02 ± 2,1 a	5,32 ± 2,3 b	7,89 ± 1,03 a	5,25 ± 1,3 b	
V_2	4 SAS	0,11 ± 0,01 b	0,35 ± 0,02 b	0,2 ± 0,01 b	0,5 ± 0,02 b	
	8 SAS	1,16 ± 0,01 b	1,61 ± 0,03 c	1,5 ± 0,01 b	1,15 ±0,03 c	
	12 SAS	4,48 ± 1,01c	4,94 ± 1,10 c	4,6 ± 1c	3,97±0,9 c	
	16 SAS	4,48 ± 1,01c	4,94 ± 1,10 c	4,6 ± 1c	3,97±0,9 c	
V_3	4 SAS	0,32 ± 0,02 a	0,52 ± 0,03 a	0,34 ± 0,01 a	0,6 ± 0,02 a	
	8 SAS	2,35 ± 0,03 a	2,63 ± 0,05 a	2,5 ± 0,4 a	2,7 ± 0,5 a	
	12 SAS	6,94 ± 2,1b	7,04 ± 2,3 a	6,4 ± 1,1b	7,2 ± 2,1 a	
	16 SAS	6,94 ± 2,1b	7,04 ± 2,3 a	6,4 ± 1,1b	7,2 ± 2,1 a	

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.3.3.3.2. Sévérité d'Helminthosporiose sur les trois variétés du maïs cultivées

Les résultats d'analyse de variance montre que le taux de sévérité d'Helminthosporiose chez les trois variétés a présenté une différence significative dans le site d'expérimentation (P=0,001). Dans le site de Megana en 2014 par exemple, il a été constaté qu'entre la 4ième et la

16ième SAS, le taux de sévérité a évolué de 0,4 ± 0,1 à 7,02 ± 2,1 % chez la variété locale, de 0,11 ± 0,01 à 4,48 ± 1,01 % chez la variété composite blanche et de 0,32 ± 0,02 à 6,94 ± 2,1 % chez la variété composite jaune. Cependant, une légère évolution de la sévérité de la maladie à la 8ième SAS a été enregistrée chez la variété locale avec un taux d'évolution de 2,39 ± 0,01 % significativement différent (P=0,001) de 1,16 ± 0,01 et 2,35 ± 0,03 % enregistrés respectivement chez V_2 et V_3. Dans le site de Nkolfon où un autre test a été réalisé pendant deux ans pour confirmer les résultats obtenus dans le site de Megana en vue de leur généralisation, la variété locale a eu aussi un taux de sévérité le plus élevé de à 16 SAS de 7,89 ± 1,03 % par rapport aux variétés améliorées V_2 (4,6 ± 1 %) et V3 (6,4 ± 1,1 %) (Tableau XXIV).

Tableau XXIV. Taux de sévérité (%) d'Helminthosporiose sur les variétés du maïs testées dans le site de Megana et de Nkolfon

Variétés	Période d'évolution de la maladie	Site de Megana		Site de Nkolfon		Probabilité
		Taux de sévérité en 2014	Taux de sévérité en 2015	Taux de sévérité en 2016	Taux de sévérité en 2017	
V_1	4 SAS	0,4 ± 0,1a	0,6 ± 0,2 a	0,3 ± 0,01a	0,8 ± 0,02 a	P = 0,001
	8 SAS	2,39 ± 0,01 a	1,93 ± 0,02 b	3,2 ± 0,01 a	2,3 ± 0,4 b	
	12 SAS	7,02 ± 2,1 a	5,32 ± 2,3 b	7,89 ± 1,03 a	5,25 ± 1,3 b	
	16 SAS	7,02 ± 2,1 a	5,32 ± 2,3 b	7,89 ± 1,03 a	5,25 ± 1,3 b	
V_2	4 SAS	0,11 ± 0,01 b	0,35 ± 0,02 b	0,2 ± 0,01 b	0,5 ± 0,02 b	
	8 SAS	1,16 ± 0,01 b	1,61 ± 0,03 c	1,5 ± 0,01 b	1,15 ± 0,03 c	
	12 SAS	4,48 ± 1,01c	4,94 ± 1,10 c	4,6 ± 1c	3,97 ±0,9 c	
	16 SAS	4,48 ± 1,01c	4,94 ± 1,10 c	4,6 ± 1c	3,97 ±0,9 c	
V_3	4 SAS	0,32 ± 0,02 a	0,52 ± 0,03 a	0,34 ± 0,01 a	0,6 ± 0,02 a	
	8 SAS	2,35 ± 0,03 a	2,63 ± 0,05 a	2,5 ± 0,4 a	2,7 ± 0,5 a	
	12 SAS	6,94 ± 2,1b	7,04 ± 2,3 a	6,4 ± 1,1b	7,2 ± 2,1 a	
	16 SAS	6,94 ± 2,1b	7,04 ± 2,3 a	6,4 ± 1,1b	7,2 ± 2,1 a	

Légende : V_1=Variété locale blanche ; V_2= Variété CMS 8501 (composite blanche) ; V_3= Variété CMS 8704 (composite jaune). Les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de DUNCAN au seuil de 5%.

3.1.4. Potentiel inhibiteur *in vitro* de l'extrait aqueux du compost de déchets ménagers sur le développement d'*Helminthosporium turcicum*, agent causal d'Helminthosporiose du maïs

3.1.4.1. Influence du mode de production de l'extrait de compost sur sa capacité à inhiber la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum*

Les divers travaux réalisés dans le monde avec des extraits de composts sont difficilement comparables, car les modes de production des extraits varient d'un auteur à l'autre. Deux paramètres primordiaux peuvent a priori jouer un rôle dans la production des extraits : d'une part le rapport d'extraction eau/compost, et d'autre part la durée de l'extraction.

Les deux rapports d'extraction 1 : 2 et 1 : 5 (v : v ; compost : eau) testés dans le présent travail n'ont pas influencé la capacité des extraits à inhiber la croissance mycélienne de l'*Helminthosporium turcicum*. Aussi l'autre paramètre important de la production de l'extrait est la durée d'extraction. Une variation de la durée d'extraction entre 4 et 7 jours n'a pas influencé la capacité des extraits de compost à inhiber la croissance mycélienne de l' *Helminthosporium turcicum*. Pour les deux extraits de compost utilisés, les résultats obtenus avec ces différents rapports et les durées d'extraction ne diffèrent pas significativement (P=0,983), tous les deux extraits ont présenté le pourcentage d'inhibition variant de 74 à 96 % (Fig.53).

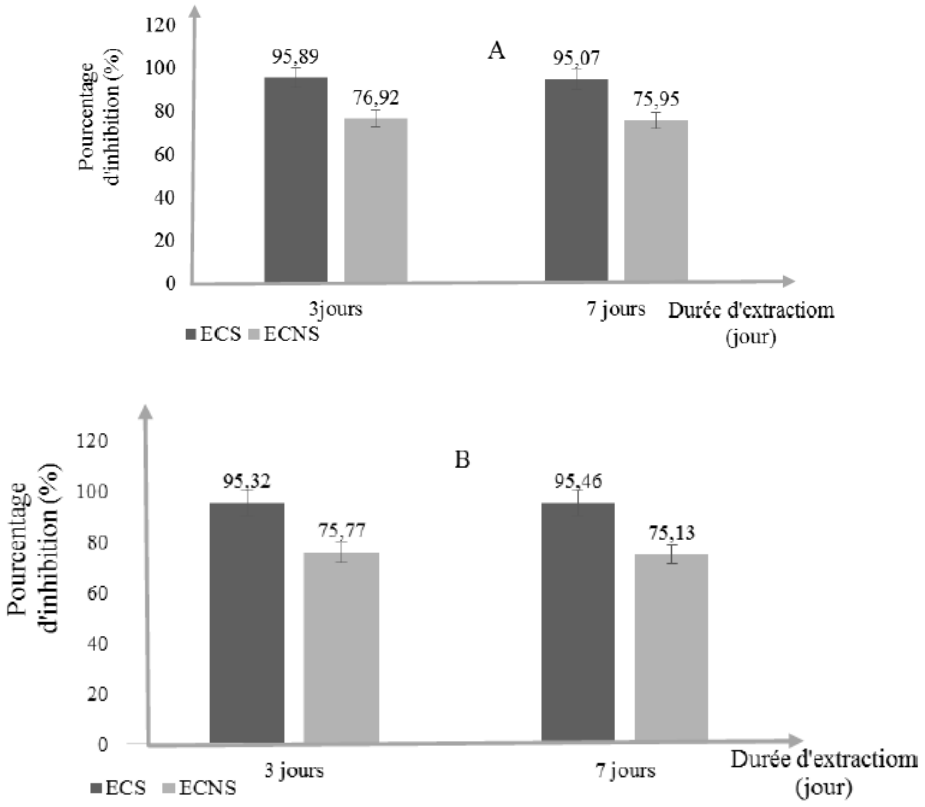


Fig. 53. Influence du mode de production d'extrait aqueux de compost à rapport 1 : 2 (v : v ; compost : eau) (A) et à rapport 1 : 5 (v : v ; compost : eau) (B) sur leur capacité à inhiber la croissance mycélienne de l'Helminthosporium turcicum à la concentration de 2ml.

Ces résultats obtenus ont facilité le choix du mode de production d'extrait aqueux de compost à rapport 1 : 2 (v : v ; compost : eau) après un temps d'extraction de 4 jours pour pousuivre le test d'inhibition de la croissance mycélienne de l'Helminthosporium turcicum.

3.1.4.2. Effet de l'extrait aqueux stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum*

L'évolution de la croissance mycélienne de la souche d'*Helminthosporium turcicum* sous le contrôle de l'extrait aqueux stérilisé du compost des déchets ménagers a fortement été réduite. L'augmentation de la concentration a inhibé considérablement la croissance de la souche jusqu'à

l'ordre de 95,89 % à la concentration C3 (2ml d'extrait aqueux stérilisé de compost). Les résultats obtenus en fonction des jours après incubation, présentent des différences significatives (P=0,001) au seuil de 5 % selon le test de Duncan entre les différentes concentrations et les témoins testés. La croissance mycélienne de la souche à différente dose au huitième jour après incubation a été évaluée dans les boîtes de Pétri (Fig. 54) et les données obtenues ont permis de générer la représentation graphique (Fig. 55).

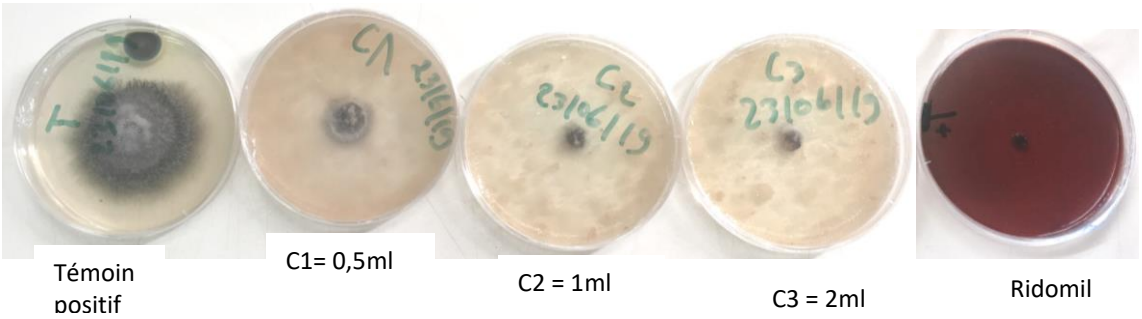


Fig. 54: Croissance de la souche d'Helminthosporium turcicum sous l'effet d'extrait de compost stérilisé au 8ème jour après incubation.

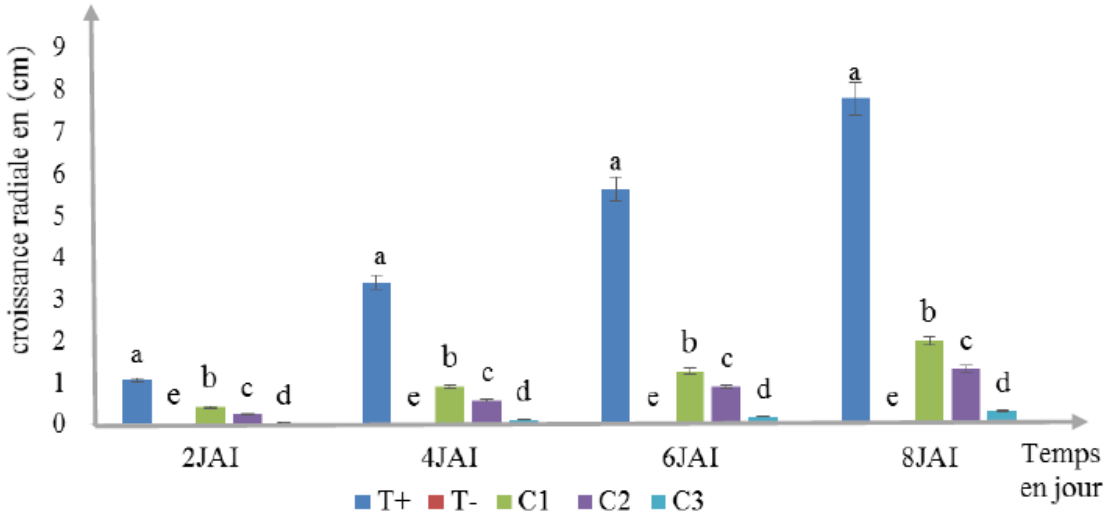


Fig.55: Evolution des diamètres de la souche de l'Helminthosporium turcicum sous l'effet de l'extrait de compost stérilisé.

Légende : JAI = Jour Après Incubation ; T+ = Témoin positif ne contenant que le milieu de culture PDA ; T- = Ridomil Gold plus 66WP ; C1= milieu concentré à 0,5ml d'extrait aqueux de compost ; C2= milieu concentré à 1ml d'extrait aqueux de compost ; C3= milieu concentré à 2ml d'extrait aqueux de compost. Les valeurs d'un même jour portant des lettres différentes sont significativement différentes à P < 0,05(test de Ducan).

3.1.4.3. Effet de l'extrait aqueux non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum*

L'évolution de la croissance mycélienne de la souche d'*Helminthosporium turcicum* sous le contrôle de l'extrait aqueux non stérilisé du compost des déchets ménagers a fortement été réduite. L'augmentation de la concentration a inhibé considérablement la croissance de la souche jusqu'à

l'ordre de 76,92 % à la concentration C3 (2ml d'extrait aqueux stérilisé de compost). Les résultats obtenus en fonction des jours après incubation, présentent des différences significatives (P=0,001) au seuil de 5 % selon le test de Duncan entre les différentes concentrations et les témoins testés. La croissance mycélienne de la souche à différente dose au huitième jour après incubation a été évaluée dans les boîtes de Pétri (Fig. 56) et les données obtenues ont permis de générer la représentation graphique (Fig. 57).

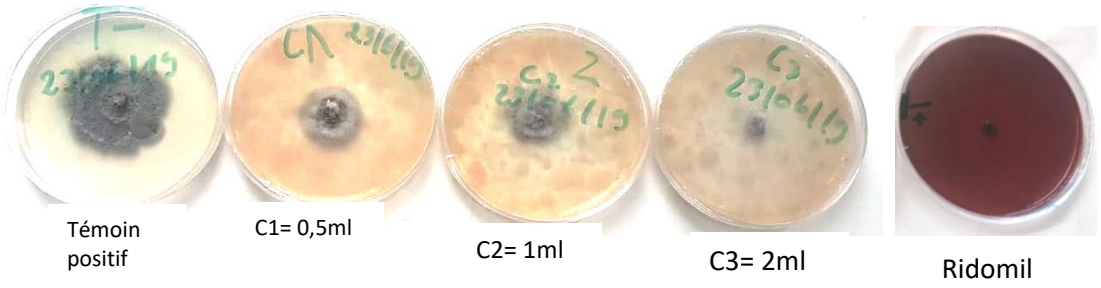


Fig.56. Croissance de la souche d'Helminthosporium turcicum sous l'effet d'extrait de compost non stérilisé au 8ème jour après incubation.

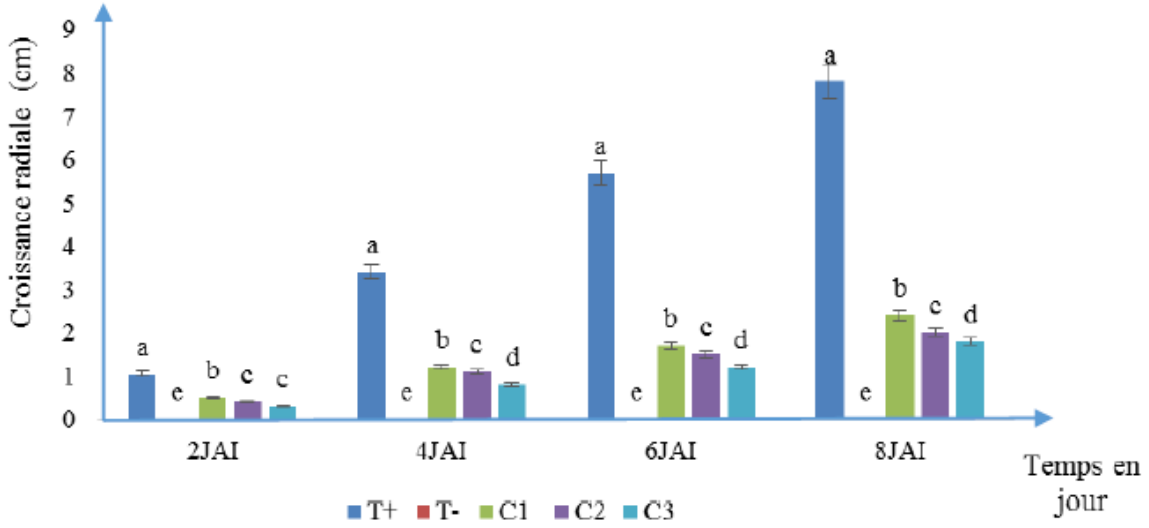


Fig.57. Evolution des diamètres de la souche de l'Helminthosporium turcicum sous l'effet de l'extrait de compost non stérilisé.

Légende : JAI = Jour Après Incubation ; T+ = Témoin positif ne contenant que le milieu de culture PDA ; T- = Ridomil Gold plus 66WP ; C1= milieu concentré à 0,5ml d'extrait aqueux de compost ; C2= milieu concentré à 1ml d'extrait aqueux de compost ; C3= milieu concentré à 2ml d'extrait aqueux de compost. Les valeurs d'un même jour portant des lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$(test de Ducan)

3.1.4.4. Effet comparatif de l'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne d'*Helminthosporium turcicum*

Les comparaisons analytiques des extraits du compost testés montrent que l'extrait stérilisé a un effet inhibiteur légèrement supérieur à l'extrait non stérilisé. A la fin de l'expérimentation,

l'extrait aqueux stérilisé présente un pourcentage d'inhibition au huitième jour après incubation de l'ordre de 95,89 % à la concentration C3. Ce taux d'inhibition dépasse de 18,97 % celui de l'extrait aqueux non stérilisé à la même concentration et pour la même durée, soit 76,92 % (Fig.58).

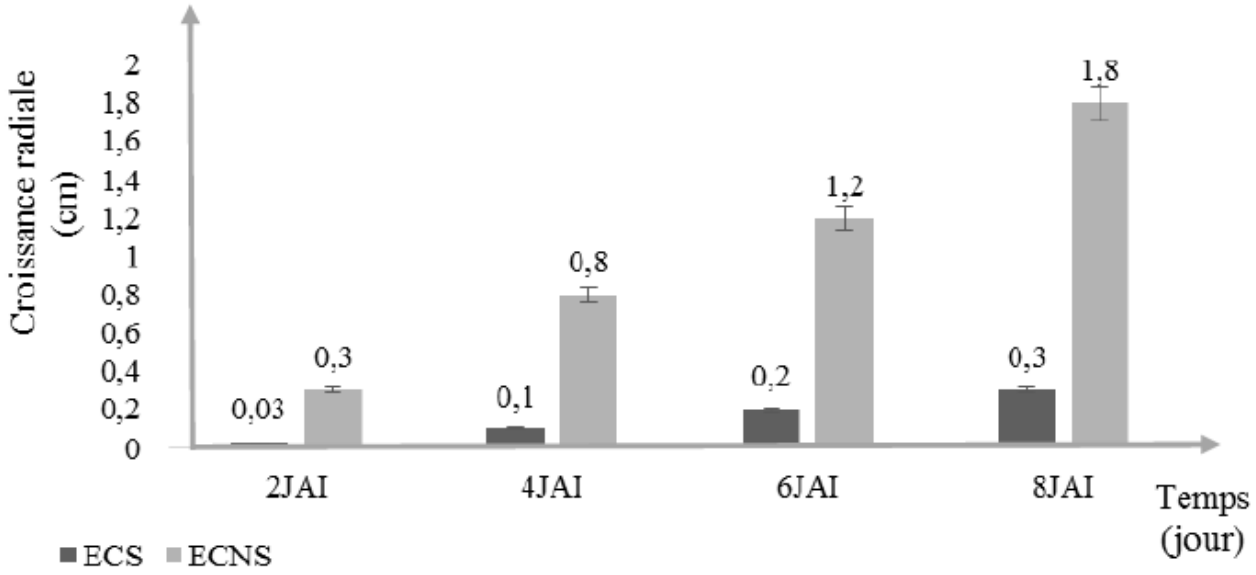


Fig. 58. Illustration de l'effet comparatif de l'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne de l'Helminthosporium turcicum.

Légende : JAI = Jour Après Incubation ; ECS = Extrait de compost stérilisé ; ECNS : Extrait de compost non stérilisé.

3.1.4.5. Corrélation entre les concentrations et les pourcentages d'inhibition obtenus avec les différents extraits.

Le but de ce test était de voir s'il y a une relation linaire entre la baisse ou l'augmentation de l'inhibition avec les différentes concentrations de l'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance radiale de la souche de l*'Helminthosporium turcicum*. Les droites de régression obtenues après analyse ont révélé les comportements similaires de la souche vis-à-vis des deux extraits (stérilisé et non stérilisé). Il ressort que toutes les droites obtenues présentent des pentes négatives et des corrélations parfaites entre les concentrations et les différents pourcentages d'inhibition (Fig.59).

Les équations de régression obtenues avec ces deux extraits testés montrent des relations linéaires décroissantes avec des droites de régression à pentes négatives : y = -0,0005x+73,50 pour l'extrait non stérilisé ; y = -0,00007x+84,36 pour l'extrait stérilisé. Une corrélation parfaite et négative a été obtenue entre les différentes concentrations et le pourcentage d'inhibition. Le coefficient de corrélation est négatif r = -1 pour les deux extraits.

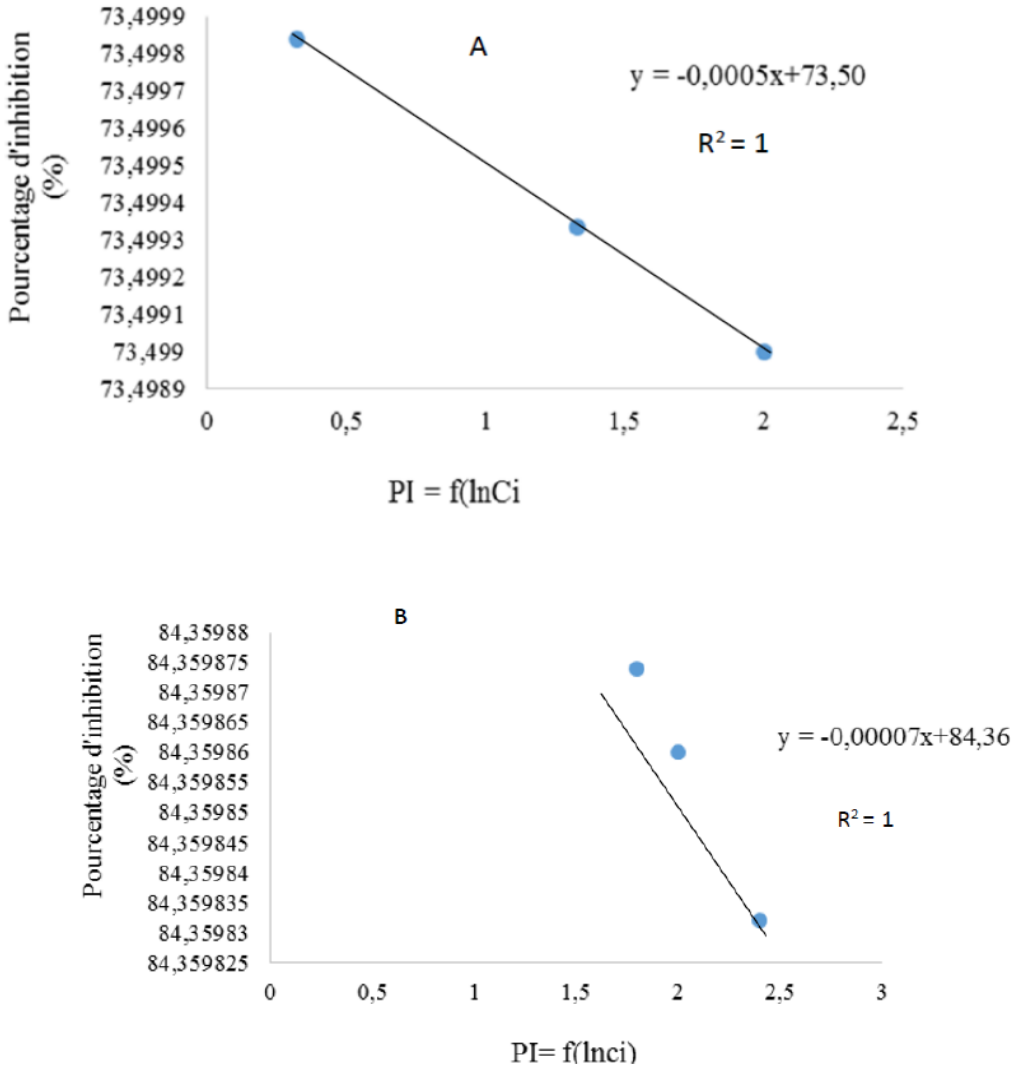


Fig. 59. Droites de régression de la croissance mycélienne aux différents traitements.
(A= extrait de compost stérilisé ; B= extrait de compost non stérilisé)

3.1.4.6. Concentration Minimale d'inhibition (CMI_{50}).

A partir des droites de régression obtenue après les tests de corrélation, les concentrations des deux extraits inhibant de 50 % la croissance de la souche d'Helminthosporium turcicum ont été déterminées. La plus faible concentration inhibitrice (0,97 ml) a été obtenue avec l'extrait aqueux stérilisé de compost des déchets ménagers. La plus grande concentration inhibitrice CMI_{50} (3,45 ml) a été obtenue avec l'extrait aqueux non stérilisé de compost des déchets ménagers.

3.2. DISCUSSIONS

Les précipitations enregistrées dans Les sites de Megana et de Nkolfon sont abondantes et inégalement réparties. Ces sites présentent des caractéristiques climatiques qui appartiennent au régime du climat que certains climatologues appellent « climat Yaoundéen » ou climat de la Région du Centre. Ce régime est caractérisé par des précipitations abondantes et inégalement réparties durant l'année. Pratiquement très faibles pendant les saisons sèches, elles passent par deux maxima, l'un en mai et l'autre en octobre avec un minimum secondaire en juillet correspondant à une petite saison sèche d'un mois (ONAC, 2016). Cette répartition permet la pratique de deux saisons culturales par an : saison 1 de mars à juillet et saison 2 d'août à décembre. Si les paramètres climatiques permettent d'avoir une appréciation du micro-climat qui règne dans les sites d'expérimentation, les paramètres physico-chimiques des sols des sites d'expérimentation mettent en évidence les différents éléments du sol des sites qui peuvent influencer la culture du maïs.

Les résultats de l'analyse des sols des sites d'expérimentation ont indiqué que le sol de Megana avait un pH acide de 4,5 et de 5,4 pour le site de Nkolfon. La teneur en azote indiquée est de 0,18 pour le site de Megana et de 0,15 pour le site de Nkolfon. Ces teneurs indiquées sont inférieures à la teneur critique en azote du sol qui est de 0,2 % (Peng *et al.*, 2013). Or pour maximiser la croissance du maïs, la teneur en azote du sol devrait être supérieure à sa teneur critique (Jjagwe *et al.*, 2019). Les résultats de l'analyse des sols ont donc indiqué une carence en azote, ce qui justifie l'application d'engrais au champ. Ces résultats sont précédés de ceux d'analyses physico-chimiques des fertilisants organiques.

Les compositions physico-chimiques des fertilisants organiques montrent que leur concentration en nutriments (N, P, K) augmente en fonction du type de fumure. La fumure de compost des déchets ménagers a montré la plus forte augmentation des nutriments des plantes par rapport à la fumure des parches de café. L'augmentation des nutriments dans le compost des déchets ménagers s'explique par la méthode du compostage utilisée. Le compostage en andain amélioré est une méthode de compostage simple qui favorise le développement de la flore microbienne intervenant dans la dégradation des déchets organique et leur minéralisation afin de rendre disponible des éléments nutritifs en grande quantité (Anonyme, 2020). Il a été aussi indiqué que le pH était neutre, plus bas que celui des fumures des parches de café, mais se trouve dans les normes de l'OMS de 1993. Le pH obtenu s'explique par la minéralisation des composés phosphorés et azotés issus des déchets organiques par les microorganismes lors du processus de compostage en andain amélioré. Ndegwa *et al.* (2001) cité par Jjagwe *et al.* (2019) démontre dans ses travaux sur le vermicompostage que l'activité de minéralisation des composés phosphorés et azotés issus des déchets organiques par les vers de terre

baisse le pH du vermicompost obtenu. La baisse du pH constaté par rapport aux fumures des parches de café aurait pu entraîner une augmentation de la teneur en azote étant donné que l'azote se perd facilement sous forme d'ammoniac volatil à des pH élevés. Les travaux de Mahmood *et al.* (2018) sur les effets des fumures organiques et inorganiques sur le rendement de maïs et leur impact résiduel sur les propriétés physico-chimiques du sol démontrent que le pH fortement basique entraine la volatisation de l'azote sous forme ammoniac. La diminution de la quantité de carbone du compost par rapport aux parches de café peut être attribuée à son rôle de source d'énergie pour les micro-organismes lors du processus de compostage. Une baisse du C/N du compost par rapport aux parches de café est associée à une perte de carbone ainsi qu'à une augmentation du taux d'azote total. Soobhany *et al.* (2015) souligne que le rapport C/N est un indicateur de la maturité du compost et généralement des valeurs <12 signifient la maturité et la stabilisation du compost.

Après avoir analysé les paramètres physico-chimiques des sols des sites d'expérimentation et ceux des amendements organiques (compost et parches de café), les expérimentations ont été mises en place avec pour but d'évaluer l'effet fertilisant et phytosanitaire des types de fumure sur les paramètres de croissance et de rendement du maïs.

L'analyse de variance relative à l'effet des fertilisants sur le diamètre au collet, la hauteur de plante à la floraison mâle, le nombre des feuilles et la surface foliaire a montré une différence significative.

Concernant le diamètre au collet, les résultats ont indiqué qu'il existe des différences significatives ($p < 0,05$) entre les traitements, les semaines après semis et les années de cultures.

Les parcelles fertilisées ont présenté un diamètre au collet supérieur au témoin aussi bien dans le site de Megana que celui de Nkolfon. Ces résultats s'expliquent par la disponibilisation des éléments minéraux essentiels présents dans les engrais minéraux et organiques pour la croissance et le développement des cultures en plein champ comme le maïs. Les travaux de Muyayabantu *et al.* (2012) et ceux de Thomas *et al.* (2019) démontrent que les sols des parcelles témoins semblent traduire le niveau bas de réserves nutritives dans la solution du sol et par conséquent les plantes qui y sont cultivées devraient avoir une croissance diamétrale moins importante que les plantes cultivées sur substrat amendé avec des engrains minéraux ou organiques. Le diamètre au collet enregistré n'a pas dépassé 2 cm, ces résultats sont contradictoires aux travaux de Ngo-Samnick *et al.* (2012) et ceux de Sekumade (2017) qui stipulent que dans les conditions favorables à la culture de maïs, le diamètre au collet de la plante est important et varie de 5 à 6 cm. Les présents résultats s'expliquent par les caractéristiques physico-chimiques naturelles des sols des sites de Megana et de Nkolfon qui ont présenté un pH acide avec des faibles teneurs en carbone et azote. Ainsi, le

diamètre au collet a pu atteindre 2 cm grâce à l'ajout des traitements fertilisants. Le traitement à l'engrais NPK (20-10-10) a été légèrement supérieur aux autres dans les deux sites d'expérimentation bien que l'analyse statistique n'ait pas montré de différence significative avec le traitement à base du compost. Bhatt *et al.* (2020) soutiennent que les engrais chimiques NPK (20-10-10) appliqués au sol libèrent rapidement une grande quantité d'azote nécessaire à la croissance de la plante y compris sa croissance diamétrale. En effet, l'engrais NPK (20-10-10) étant obtenu par synthèse, il contient des éléments minéraux très solubles qui ont l'avantage d'être facilement absorbés par la plante au niveau des racines (Ekrem *et al.,* 2018 ; Nyembo *et al,.* 2010) et facilite de façon progressive la croissance diamétrale de la plante (Noyau Philippe, 2020).

S'agissant du nombre des feuilles de la plante du maïs, les différents traitements fertilisants ont produit le nombre des feuilles supérieur au témoin, Ceci s'explique par le niveau bas de fertilité du sol chez les parcelles témoins ne leur permettant pas de produire autant des feuilles que les traitements fertilisants. Les traitements fertilisants ont produit entre 13 et 15 feuilles, ces résultats contredisent les travaux de Tshibingu *et al.(*2017) qui ont obtenu en moyenne 18 feuilles par plante de maïs au cours de leur essai sur l'évaluation de la productivité du maïs sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami en République Démocratique du Congo. Aussi, les études physiologiques sur la plante de maïs soulignent que selon les variétés, chaque plante porte entre 15 et 20 feuilles. Comme pour le diamètre au collet, la nature des sites d'expérimentation joue un rôle important pour la croissance des plantes du maïs. Partant du fait que les sols acides ne favorisent pas le développement harmonieux des plantes, ces résultats sont atteints grâce à l'ajout des traitements fertilisants. L'effet de l'engrais NPK (20-10-10) s'est démontré légèrement plus élevé que celui des engrais organiques dans les deux sites d'expérimentation. La mise en disponibilité facile des éléments nutritifs par l'engrais NPK (20-10-10) explique ces résultats bien que la différence significative n'a pas été pas établie avec le traitement à base de compost à la fin de l'expérimentation.

S'agissant de la surface foliaire de la plante du maïs, les différents traitements fertilisants ont présenté des plantes ayant des feuilles plus longues et larges avec une surface foliaire plus importante que le témoin. Ceci s'explique par le fait que, l'azote apporté par l'engrais minéral et organique contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante notamment ses feuilles. Iakimenko *et al.* (1996), Adekiya *et al.* (2018) et Kutnjem *et al.* (2018) soulignent que l'apport d'azote par les engrais minéraux ou organiques est profitable au développement de la partie aérienne des plantes surtout lors de la pousse de la végétation. Mais il convient de le distribuer sans excès car cela se ferait au détriment du développement des fleurs, des

épis ou des bulbes. La surface foliaire des plantes dans les parcelles fertilisées à l'engrais NPK est légèrement supérieure aux autres traitements fertilisants, ceci dû au fait que l'apport en éléments nutritifs (notamment majeurs) par l'engrais NPK (20-10-10) et l'effet de ce dernier sur la croissance et le développement de la plante seraient direct et immédiatement observable dès les premières semaines de la phase de croissance du végétal (Gala et al., 2011 ; Baghdadi et al., 2018 ; Kutnjem *et al.*,2018). Par contre, les fertilisants organiques apportés (compost et parches de café) à la plante ne rendent pas toujours immédiatement disponibles et facilement accessibles les éléments nutritifs qu'ils contiennent (Aliyu, 2000 ; Anonyme, 2018 ; Anonyme, 2020). Ces derniers doivent dans un premier temps être minéralisés par les microorganismes telluriques avant d'être disponibles (Vagstad *et al*., 2001 ; Chen *et al*., 2018, Anonyme, 2020). Ces résultats contredisent ceux obtenus par Ndja'a (2016) sur la culture du maïs dans la même localité de Megana à Akonolinga au Cameroun. En effet, cette auteure a obtenu des surfaces foliaires plus petites dans ces parcelles fertilisées à base de compost et de l'engrais NPK (20-10-10) que celles obtenues dans les présents résultats. La conduite de l'expérimentation et la nature du compost utilisé peuvent expliquer cette contradiction.

S'agissant de la hauteur de la plante du maïs, les différents traitements fertilisants ont présenté une hauteur supérieure au témoin, ceci dû au fait que la fertilité originelle des sols des sites d'expérimentation étant faible, les apports supplémentaires des engrais minéraux et organiques améliorent significativement la croissance en hauteur de la plante du maïs. Les mêmes résultats ont été obtenus par Tshibingu *et al.* (2017) dans leurs travaux d'évaluation de la productivité du maïs (Zea mays L.) sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo. Ces auteurs ont démontré que les caractéristiques du sol associées aux conditions climatiques influencent la croissance en hauteur de la plante du maïs, mais cette croissance est améliorée par l'apport des traitements fertilisants qui peuvent être des amendements organiques, minéraux ou organo-minéraux.

Concernant la résistance à la verse dans les deux sites d'expérimentation, l'analyse de variance a montré que, la plus grande résistance à la verse a été observée dans les parcelles fertilisées à base de compost, suivies des parcelles fertilisées à base des parches de café, ensuite les parcelles témoins. Les parcelles fertilisées à l'engrais NPK (20-10-10) ont eu la plus faible résistance à la verse. En effet, la taille de tiges de maïs a été significativement accrue sur le sol fertilisé à l'engrais NPK. Comme il a été démontré par plusieurs recherches notamment les travaux de Gnimassoun *et al.* (2020), et ceux de Mahmood *et al.* (2018) sur l'effet des amendements organiques et inorganiques sur la croissance de maïs et leur impact résiduel sur les propriétés physico-chimiques du sol. L'apport en azote que libère facilement l'engrais NPK favorise la

croissance en hauteur des plantes et cette hauteur rend la plante sensible à la verse (Peng *et al.*, 2013 ; Hijbeek *et al.*, 2017 ; Jenkins *et al.*, 2018). A la deuxième année de culture, le traitement à l'engrais NPK (20-10-10) a présenté des plantes encore plus sensibles à la verse que l'année précédente. Ces résultats confirment les travaux de Kaho *et al.* (2011) qui soulignent que l'utilisation répétée des engrais minéraux est non seulement nocive pour le substrat des plantes (sol) mais fragilise le port végétatif de la plante et la rend plus sensible à la verse.

L'analyse de variance relative à l'effet des fertilisants sur le nombre de jours à la floraison mâle dans les deux sites a montré que le traitement à base de compost et celui à l'engrais NPK ont présenté les plantes légèrement précoce que celles des traitements à base des parches de café et le témoin. Dans l'ensemble, les valeurs obtenues pour le présent essai se situent dans la gamme proposée par le Service National des Semences (SENASE, 2008), soit 60 à 70 jours. Les effets du compost seraient masqués par l'influence du patrimoine génétique.

Si l'on considère les traitements fertilisants comme les éléments extrinsèques qui influencent la croissance du maïs, les variétés disposent quant-à-elles des éléments intrinsèques ou génotypiques qui influencent également la croissance du maïs notamment : le diamètre au collet, la hauteur de plantes à la floraison mâle, le nombre des feuilles, la surface foliaire. Ainsi, l'analyse de variance relative à l'effet des variétés sur le diamètre au collet, la hauteur de plantes à la floraison mâle, le nombre des feuilles, la surface foliaire dans les deux sites a révélé des différences significatives.

S'agissant du diamètre au collet, la variété locale a enregistré à la fin de l'expérimentation un diamètre légèrement plus grand que ceux des variétés améliorées. Cela s'explique par l'adaptation de la variété locale aux conditions pédo-climatiques des sites d'expérimentation. Ngatsi (2014) et Kutnjem *et al.* (2018) ont trouvé les mêmes résultats dans le site de Megana. Bignon (1990), Chen *et al.* (2018) et Masso *et al.* (2018) soulignent que la variabilité du diamètre au collet est fonction : (1) de la variation de compétition individuelle des plants de maïs, (2) des micro-variations au niveau de la structure du sol, (3) et de la nature du cultivar.

S'agissant de la hauteur à l'insertion male et le nombre de feuilles, les résultats révèlent des différences significatives pour les trois (03) variétés de maïs et la variété locale a eu la plus grande taille avec plus de feuilles que les variétés améliorées. Ceci s'explique par le fait que chaque variété du maïs dispose des caractéristiques particulières parfois liées au génotype. Ces résultats ne sont pas similaires à ceux de Tshibingu *et al.* (2017) ou à ceux de Auwal *et al.* (2017) qui travaillait sur l'effet combiné des nutriments sur la croissance et le rendement du maïs. Ces auteurs expliquent les

résultats obtenus par le fait que la hauteur à l'insertion mâle et le nombre de feuilles sont une caractéristique variétale particulière. En effet, l'initiation de l'inflorescence mâle est le début de la phase de développement ou phase reproductrice (fabrication des organes reproducteurs (fleurs). Pendant cette phase il y a une différenciation du méristème végétatif apical en inflorescence mâle (panicule) (Anonyme, 2020). L'appareil foliaire est déterminé et se présente sous la forme d'ébauche foliaire, ce phénomène est particulier et se démarque de façon différente chez les variétés (Noyau Philippe, 2020). Dans le cadre de cette expérimentation, la variété locale qui dispose un caractère plus adaptatif de son environnement, présente une morphologie imposante que les variétés améliorées.

Concernant la surface foliaire, elle a été légèrement supérieure chez les variétés améliorées que la variété locale. Ceci dû aux caractéristiques morphogénétiques des variétés, et le phénomène d'adaptation des variétés aux conditions pédo-climatiques des sites d'expérimentation. Ndja'a (2016) a trouvé les résultats contradictoires dans le même site de Megana. Habtamu *et al*. (2019) travaillant sur l'effet combiné des nutriments sur la croissance végétative et phénoménologique du maïs en Ethiopie et Law-Ogbomo *et al.* (2017) travaillant sur l'influence d'utilisation de déjection animale sur la croissance et le rendement de maïs soulignent que les variations de croissance en champ observées entre les variétés locales et les variétés améliorées de maïs seraient une conséquence de nature génotypique. Mais il arrive souvent que les variétés améliorées bénéficient le plus souvent de ces conditions qui influencent la croissance à causes de son patrimoine génétique amélioré (Kutnjem, 2018).

L'analyse de variance relative à l'effet des variétés sur la résistance à la verse dans les deux sites d'expérimentation a montré que contrairement aux variétés améliorées, la plus faible résistance à la verse a été observée chez la variété locale. Ces résultats se justifieraient par la grande taille de la variété locale. Comme il a été démontré par Rurangwa *et al.* (2018) et Syamsul *et al.* (2019), plus la hauteur de la plante est élevée, plus elle est sensible à la verse. En outre, les caractéristiques morphogénétiques des variétés et les conditions écologiques locales qui ont influencé les conditions de croissance des plantes seraient les facteurs déterminants de cette sensibilité à la verse.

L'analyse de variance relative à l'effet des variétés sur le nombre de jours à la floraison mâle a montré que la variété locale est plus tardive que les variétés améliorées. Ces résultats montrent que les jours à la floraison mâle constituent un caractère lié au facteur génotypique. Pour Yusuf *et al.* (2019) et Kutnjem *et al.*, 2018, le nombre de jours à la floraison mâle est une caractéristique variétale importante car il permet de classer les variétés en différentes catégories selon le cycle végétatif (cycle court, cycle moyen et le cycle long). Lors de l'expérimentation sur le terrain, les

variétés améliorées ont été plus précoces (floraison rapide) que la variété locale. Cette précocité des variétés améliorées serait liée à l'apport non excessif des amendements associé au caractère génotypique des variétés.

Comme pour les paramètres agronomiques, l'apport des amendements organiques (compost et parches de café) et minéraux (engrais NPK (20-10-10)) a influencé tous les paramètres de rendement. Le nombre d'épi par plante, la longueur et le diamètre d'épi, le poids de grains par épi et le rendement en maïs grain ont été sensiblement affectés par l'apport du compost, de fumure des parches de café et de l'engrais NPK (20-10-10).

S'agissant du nombre d'épi par plante : les traitements fertilisants ont produit plus d'épis par plante de maïs que le témoin. Ceci dû au fait que l'apport des engrais minéraux ou organiques modifie les propriétés des sols et favorise dans certaines conditions la productivité des plantes. Gnimassoun *et al.* (2020), Sekumade *et al.* (2017), Jenkins *et al.* (2018) affirment que les amendements organiques et inorganiques, lorsqu'ils sont utilisés aux doses recommandées, peuvent contribuer à modifier positivement le nombre de tubercules de pomme de terre et le nombre d'épis par plante de maïs. Pour ces auteurs, certaines modifications des caractéristiques du sol dues à l'apport des fertilisants jouent probablement un rôle (capacité d'échanges des cations, capacité de rétention en eau), sans exclure l'intervention possible d'autres facteurs comme l'augmentation de la rhizogenèse chez la pomme de terre et la plante du maïs.

Quant aux effets des traitements fertilisants observés se rapportant à la longueur et le diamètre de l'épi, il s'observe des différences significatives au seuil de 5 % de probabilité. Le maïs sous l'application des fumures organiques, a donné des épis ayant une longueur et un diamètre supérieurs par rapport aux épis du maïs issus du traitement témoin. Ceci se justifie par la nature intrinsèque et parfois extrinsèque des caractéristiques propres à chaque variété du maïs. Kahndo *et al.* (2015) ont obtenu des résultats contradictoires. Ces auteurs soulignent que, la longueur et le diamètre d'épi du maïs seraient des caractères intrinsèques d'une variété, et ces caractères ne sont pas modifiables par le niveau initial de fertilité du sol. Pour eux, ils attribuent le phénomène à un avortement des grains après floraison. C'est surtout la réduction du nombre d'ovules avant l'anthèse. Plus la hauteur de l'épi est réduite et le nombre des grains faible, plus le diamètre de l'épi est réduit. Les comportements qui se dégagent de divers traitement seraient liés d'une part à la propriété intrinsèque de la dite variété et d'autre part à l'environnement édapho-climatique du milieu d'étude.

S'agissant du poids de grain par épi, les moyennes de rendements en grains de maïs obtenus sous divers fertilisants indistinctement de leur nature, montre un gain significativement perceptible en poids par rapport au témoin dans cette étude. Ceci confirme l'interaction positive des substrats organiques et inorganiques constatés déjà au niveau de la croissance, comme l'ont aussi remarqué Chen *et al.* (2018). En outre, l'impact positif des fumures apportées sur les paramètres de rendement du maïs avait été aussi rapporté par Nkongolo *et al.* (2015) et Mulamba *et al.* (2016). Il se dégage des résultats enregistrés dans cette étude que les traitements fertilisants utilisés dans les parcelles expérimentales disposent d'un potentiel ou pouvoir fertilisant capable de contribuer à l'augmentation des paramètres de rendement du maïs.

S'agissant du rendement en grains du maïs, des différences significatives ont été observées lors de la première et de la deuxième année d'expérimentation dans les deux sites d'études. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les traitements T_3 (engrais NPK) et T_2 (compost), le rendement intermédiaire avec T_1 (parches de café) et le plus bas avec T_0 (témoin non fertilisé). A la fin de l'étude, le classement des traitements selon leur influence positive sur le rendement a été le suivant : $T_3=T_2>T_1\geq T_0$. Ces résultats montrent qu'à quelques exceptions concernant l'engrais NPK comme le soulignent Noyau Philippe (2020), Syamsul *et al.* (2019), Hijbeek *et al.* (2017), l'utilisation des fertilisants organiques (compost et parches de café) augmentent la productivité des plantes avec un avantage de compost sur la fumure des parches de café. Pour Wang *et al.* (2017) ; Zhao *et al.* (2016) ; Gomez *et al.* (2006) ; Anonyme (2020), cette amélioration du rendement par l'apport des fertilisants organiques notamment le compost est dû d'une part à l'amélioration des qualités physiques (structure, porosité) et chimiques (teneur en azote, en carbone et en oligoéléments) des sols, d'autre part à la présence d'une microflore abondante et diversifiée qui peuvent agir soit directement sur la minéralisation de la matière organique soit en orientant l'activité de la microflore tellurique.

En fonction de l'indice d'acceptabilité (IA), les traitements T3 (IA = 2,98), T2 (IA = 2,92) dans le site de Nkolfon et T3 (IA = 2,78), T2 (IA = 2,73) ont un indice d'acceptabilité supérieur à 2. Cela s'explique par leur rendement élevé et par conséquent leur bénéfice brut élevé. Ces traitements peuvent être proposés aux paysans avec plus de chance d'adoption. Mais lorsqu'on connait le faible pouvoir d'achat de la plupart des paysans de la zone d'étude et l'indisponibilité d'engrais minéral NPK (20-10-10) l'option T2 (traitement à base de compost des déchets ménagers) est la plus recommandable.

Comme pour les paramètres agronomiques, l'effet variétal a influencé tous les paramètres de rendement de maïs. Le nombre d'épi par plante, la longueur et le diamètre d'épi, le poids de grains par épi et le rendement en maïs grain ont été sensiblement affectés par l'effet variétal.

S'agissant du nombre d'épi par plante : les variétés améliorées ont produit plus d'épis par plante de maïs que la variété locale. Ceci est dû aux caractères particuliers des variétés améliorées qui leur confère un avantage en termes de rendement. Moussa (2018) travaillant sur les performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs au sud-ouest du Niger, souligne que l'écart du nombre d'épis observé entre la variété locale et les variétés améliorées serait dû au caractère sélectif des variétés améliorées qui leur confère plus des avantages en termes d'amélioration des paramètres de rendement que la variété locale.

Pour ce qui est du poids moyen de grains par épi et du rendement, les résultats montrent que l'utilisation des variétés améliorées de maïs en provenance de l'IRAD a permis d'augmenter significativement le rendement du maïs par rapport à la variété locale, montrant ainsi l'importance de la création des nouvelles variétés de maïs (Thé Charles *et al.,* 2011; Haq *et al.,* 2013). En effet, en milieu paysan, avec l'utilisation des variétés locales dégénérées, les rendements du maïs n'excèdent pas une tonne par hectare alors qu'il avoisine 6 tonnes par hectare dans les stations de recherche (Nyembo, 2010). Et dans les conditions de cet essai, les rendements en maïs grains ont varié de 2 à 4 tonnes, montrant qu'avec les variétés améliorées le rendement moyen peut être multiplié de l'ordre de 2 fois. Ceci est en parfait accord avec les résultats obtenus par de nombreux chercheurs. Aux Etats-Unis d'Amérique, dans les 100 % d'augmentation de rendement de maïs, 40 % sont dû à l'amélioration des pratiques culturales et 60 % sont liés à l'amélioration génétique et les rendements du maïs sont passés de 1 $t.ha^{-1}$ dans les années 1930 à 5 $t.ha^{-1}$ dans les années 1990 (Troyer, 1990). Kahndo *et al.* (2006) ; Anonyme (2020), indiquent que la recherche pour améliorer le potentiel du rendement tient une place importante dans les programmes d'amélioration en Afrique sub-saharienne. Dans le même ordre d'idées, plusieurs études comparant les rendements de variétés améliorées de maïs aux variétés locales ont noté une augmentation significative des rendements en Afrique centrale et de l'Est (Ajala *et al.,* 2007), en Afrique australe (Sibiya *et al.,* 2013), Afrique de l'ouest (Kamara *et al.,* 2006), Afrique du Nord (Kusaksiz, 2010) et même au moyen Orient (Jamshidian *et al.,* 2013). Nguetta *et al.* (2006), au Congo Brazaville, ont montré que les rendements du riz pluvial sont passés de 2 à 4 tonnes par hectare avec l'utilisation des variétés améliorées. Toutefois, l'évaluation des variétés ne peut se réduire à prévoir leurs performances dans différents environnements pédo-climatiques. Les variétés testées ont donné des rendements en maïs grains similaires à celles actuellement utilisées, dans des conditions de la Région du Centre, et

présentent des potentialités intéressantes pour la promotion de la culture du maïs dans ladite Région. A Lubumbashi en RDC, Nyembo *et al.* (2012) évaluant les effets des doses croissantes des fertilisants inorganiques et du fractionnement des engrais azotés sur deux variétés de maïs (Pan 63 et Unilu), ont montré que les variétés Pan 63 et Unilu ont présenté des potentialités similaires. Toutefois, les variétés qui combinent des faibles valeurs des paramètres de croissance parallèlement aux valeurs élevées des paramètres de rendement et de résistance à la verse seraient les plus recommandables aux paysans. Ces paramètres agronomiques sont importants dans les programmes de sélection de matériel (Koutsika-Sotiriou et Kragounis, 2005 ; Nguetta *et al.,* 2006 ; Nyembo, 2010 ; Jamshidian *et al.*, 2013 ; Anonyme, 2020). En effet, l'utilisation des variétés améliorées est une réponse à la problématique de faible rendement et de stress abiotique comme les fortes pluies accompagnées de vents violents, pouvant entrainer des baisses drastiques de la production de maïs (Nyembo, 2010). En outre Nyembo souligne que les maladies parasitaires contribuent aussi à une baisse drastique du rendement du maïs.

L'évaluation de l'état phytosanitaire des plantes de maïs a montré que l'incidence et la sévérité des différentes maladies parasitaires recensées dans les deux sites d'études ont varié en fonction du temps. Les traitements fertilisants ont significativement influencé l'incidence et la sévérité du charbon d'épi, de la fusariose d'épi et de l'helminthosporiose à la fin de l'expérimentation (16SAS).

Les résultats obtenus concernant le charbon d'épi dans les sites de Megana et de Nkolfon montrent que les parcelles fertilisées à base de compost et des parches de café ont été plus attaquées par la maladie. Ceci s'explique par la richesse desdites parcelles en azote qui favorise le développement de l'agent pathogène. Lynch *et al.* (1990) expliquaient déjà l'affection du charbon d'épi vis-à-vis des milieux riches en azote en démontrant que *Ustilago maydis*, agent pathogène du charbon d'épis est un champignon saprophyte des milieux riches en azote.

Concernant les autres maladies fongiques notamment la fusariose d'épis et l'helminthosporiose, le traitement à base de compost a présenté des taux d'incidence et de sévérité faibles dans les deux sites d'études comparativement aux autres traitements fertilisants. Ces résultats peuvent s'expliquer par la présence dans le compost des microorganismes et même d'une substance qui pourrait diminuer l'activité des maladies fongiques. Cohen *et al.* (1998) ; Larbi (2006) démontraient dans leurs travaux la présence des substances fongistatiques dans le compost qui inhiberaient l'activité des pathogènes fongiques. Pedneault (1994) a démontré que la fertilisation organique comparée à la fertilisation chimique procurerait à la plante une résistance naturelle progressive face aux infections. De même, comme l'ont énoncé Wickland *et al.* (2001), il

se serait produit une réaction d'hyperparasitisme entre les microorganismes antagonistes apportés par le compost et les pathogènes fongiques. Ce phénomène d'hyperparasitisme aurait réduit voir annulé l'action de ces pathogènes sur les plantes de maïs. Ces résultats contredisent ceux de Valenzuela *et al.* (1995) qui, après une étude comparative entre l'effet de la fertilisation chimique et celle organique (le compost urbain) sur l'état sanitaire des plantes, sont parvenus à conclure que l'utilisation des fertilisants organiques ne réduiraient pas significativement l'infestation des cultures par les pathogènes comparée à des cultures n'utilisant que des fertilisants chimiques. Cette hypothèse se vérifie avec la fumure à base des parches de café utilisée qui n'a pas procuré aux plantes de maïs une grande résistance contre les maladies parasitaires, le taux d'incidence et de sévérité dans ces parcelles sont proches des parcelles témoins. Cela s'expliquerait par le fait que, la fumure des parches de café n'ayant pas subit le même mode de fabrication que le compost n'aurait pas incorporé lors de son prélèvement pour l'application en champ des germes antagonistes. Azzizi (2019) va plus loin en démontrant que la parche de café est constituée des plusieurs composés biologiquement actifs notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes, des tanins et qui ont un pouvoir antioxydant potentiel, mais ces composés se désagrèrent progressivement avec la décomposition de la parche. Ainsi, la parche décomposée ayant perdu ses composés biologiquement actifs par volatisation ou autres voies, agit comme une simple fumure (fertilisant organique). Pandey *et al.*, (2000) soulignent que la matière résiduelle qu'est la parche de café dispose d'une capacité antioxydante potentielle attribuée aux composés phénoliques et les flavonoïdes qu'elle contient. Pour bénéficier de cette source d'antioxydants naturels et moins coûteuse que les antioxydants synthétiques, il faut proceder par leur extraction avant la décomposition de la parche de café.

En somme, Serra-Wittling et *al.* (1997) ont démontré que l'application de compost fait à partir des déchets ménagers permettait progressivement d'augmenter la suppression de *Fusarium roseum sambucinum* responsable des taches argentées sur la pomme de terre.

Pour la fusariose et l'helminthosporiose, des diminutions des taux d'incidence et de sévérités ont été enregistrées dans les parcelles fertilisées à base de compost contre des augmentations chez les autres traitements. Ces résultats se justifieraient par le fait que le compost stimule l'activité des microorganismes du sol qui produisent des effets antagonistes en contact de l'agent pathogène. Soobhany *et al.* (2015) mentionnent que l'effet positif du compost en plein champ contre les maladies des plantes repose probablement sur plusieurs facteurs : la fertilisation des plantes, l'amélioration de la structure du sol, la stimulation de l'activité microbienne du sol, ou l'activité des microorganismes du compost lui-même. Pour Sandson *et al.* (2019) ; Larbi (2004), ces

résultats pourraient aussi être expliqués par le fait que, le compost appliqué serait doté d'un nombre et d'une diversité importante de microorganismes qui ont un pouvoir suppressif sur l'agent pathogène. En effet, ces microorganismes agiraient soit en entrant en compétition (espace vital, eau, nutriments) avec l'agent pathogène, soit en secrétant des substances nocives (toxines) pour leur survie ce qui aurait contribué à diminuer voir supprimer l'agent pathogène. L'effet du compost est d'autant plus évident lorsque le sol est déséquilibré ou cultivé de manière très intensive (Fuchs, 2002). Cet effet bénéfique sur la santé des plantes est un des facteurs qui différencie le compost des autres matériaux organiques. Par exemple, LaMondia *et al.* (1999) ont démontré que les symptômes causés par *Verticillium dahliae* et *Pratylenchus penetrans* sur la pomme de terre ont pu être réduits par l'ajout de compost de fumier de champignons, mais non pas par de la paille.

Concernant la sensibilité des variétés du maïs contre les maladies parasitaires, toutes les variétés de maïs testées ont été plus ou moins infestées dans les deux sites d'expérimentation. Les principales maladies inventoriées qui sont celles les plus fréquemment citées dans la littérature notamment : le charbon d'épis (*Ustilago maydis),* l'helminthosporiose (*Helminthosporium turcicum)* et la fusariose d'épis (*Fusarium* sp) ont attaqué les plants avec des taux d'incidence et de sévérité variables.

Dans l'étude menée, les trois variétés ont été attaquées par le charbon d'épis, mais la variété locale s'est montrée légèrement moins sensible à la maladie que les variétés améliorées. Ces résultats contredisent ceux de Thé *et al.* (2007). Ces résultats s'expliquent par le fait que la variabilité génotypique des variétés CMS 8501 et CMS 8704 due à leur caractère de sélectivité et d'amélioration, les rend parfois vulnérables à certaines maladies comme le charbon d'épi surtout si le substrat de culture est riche en matière organique. Aussi, la capacité des différentes variétés à résister aux contraintes climatiques et physicochimiques des sols du site d'expérimentation pourraient expliquer ces phénomènes.

Concernant la fusariose et l'Helminthosporiose, les variétés améliorées ont présenté des taux d'incidence légèrement supérieur à celui de la variété locale. Mais les taux de sévérité des variétés améliorées sont soit statistiquement similaires ou légèrement supérieurs à celui de la variété locale. La variabilité génotypique pourrait expliquer ce phénomène. Comme le soulignait Thé *et al.* (2007), les variétés améliorées notamment CMS8501 et CMS8704 ont été produites pour résister aux contraintes phytosanitaires et physicochimiques des sols des différentes zones agro-écologiques du Cameroun, mais il arrive souvent des cas particuliers (ou isolés) où l'on peut constater le phénomène de la non résistance de ces mêmes variétés aux contraintes phytosanitaires et physicochimiques de certains sols.

A l'issue des données obtenues en champs qui ont montré que le compost des déchets ménagers peut réduire l'incidence et la sévérité des maladies fongiques, une étude *in vitro* de l'effet d'extrait aqueux stérilisé et non stérilisé de compost des déchets ménagers sur la croissance mycélienne de l*'Helminthosporium turcicum* a été effectuée. L'analyse statistique fait apparaître qu'il y a bien une interaction significative entre les extraits aqueux (stérilisé et non stérilisé) de compost et *l'Helminthosporium turcicum* testé. Les résultats de l'essai *in vitro* montrent que le rapport d'extraction eau/compost et la durée de l'extraction n'influencent pas la capacité d'extrait aqueux de compost à inhiber la croissance mycélienne de *l'Helminthosporium turcicum*. Aussi, les deux extraits testés (stérilisé et non stérilisé) ont réduit de manière significative la croissance radiale de la souche d*'Helminthosporium turcicum* avec un pourcentage d'inhibition de l'ordre de 95,89 % chez l'extrait stérilisé à la concentration C3 (2ml d'extrait aqueux de compost) et de 76,92 % chez l'extrait non stérilisé. Plusieurs suggestions se dégagent de ces résultats : (1) l'extrait aqueux de compost des déchets ménagers contiendrait des microorganismes qui pourraient être à l'origine de la production des substances suppressives responsables des mécanismes d'inhibition de la croissance mycélienne de *l'Helminthosporium turcicum*. Copeman *et al.* (2000) ont isolé à partir d'extraits des composts des déchets ménagers plusieurs espèces antagonistes de champignons et de bactéries, auxquelles ils ont attribué l'effet suppressif des extraits. Kavroulakis *et al.* (2005) ont révélé que les mécanismes suggérés pour l'activité des extraits de compost sur les agents pathogènes des plantes sont donc l'induction de la résistance par stimulation de l'activité β-1,3-glucanase et l'inhibition directe des pathogènes. (2) Le principe actif responsable de l'inhibition de la croissance mycélienne de *l'Helminthosporium* pourrait être des substances ou des métabolites du compost résistant à la chaleur. Larbi (2006) confirme à partir de ses travaux ce principe actif thermostable. Pour cet auteur, les principes actifs responsables de l'inhibition des agents pathogènes notamment *Venturia inaequalis* des plantules de pommier ou *Plasmopara viticola* des plantules de vigne sont des métabolites du compost solubles à l'eau et résistants à la chaleur. Les résultats similaires ont été obtenus par Cronin *et al.* (1996). Ces auteurs soulignent que ces métabolites du compost solubles à l'eau et résistants à la chaleur doivent être déjà actifs relativement à petite concentration, ce qui explique que les rapports d'extraction ne jouent pas de rôle sur l'efficacité des extraits. Cronin *et al.* (1996) ont également pu mettre en évidence, dans leurs extraits de composts de champignonnière, qu'une substance de faible poids moléculaire et thermostable était principalement responsable de l'inhibition de la germination de conidies de *Venturia inaequalis*. Toutefois, d'après ces auteurs, cette substance pourrait être produite par des microorganismes anaérobiques durant l'incubation de l'extrait. Dans le cas du présent travail nous pensons que la substance responsable de l'inhibition *d'Helminthosporium turcicum* est déjà présente dans le

compost du fait que la stérilisation de l'extrait aqueux du compost n'a pas abîmé son pouvoir inhibiteur. Cependant les résultats obtenus ne permettent pas de dire si cette substance provient de la matière organique décomposée ou si elle est produite par les microorganismes pendant le processus de compostage. Ainsi, différentes substances semblent, suivant les situations, être impliquées dans les mécanismes d'inhibition. Ceci n'est a priori pas étonnant car la nature et les caractéristiques des composts peuvent fortement varier. Une caractérisation plus fine ou approfondie de ces composés pourrait être un moyen pour optimiser l'efficacité des extraits.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

Cette recherche a permis d'étudier comment les engrais organiques pourraient être utilisés comme suppléments des engrais conventionnels et des produits phytosanitaires qui ne sont pas du tout abordables par la plupart des petits exploitants agricoles des pays à revenu faible ou intermédiaire, en plus de poser des problèmes environnementaux et sanitaires. Il a donc été utilisé les fumures à base des parches de café et le compost des déchets ménagers produit par la technique du compostage en andain amélioré en comparaison avec l'engrais inorganique NPK (20-10-10) au même taux d'application d'azote. D'après les résultats, on peut conclure que les fumures à base des parches de café et le compost des déchets ménagers apportent les macronutriments (N, P et K) qui améliorent la croissance et le rendement du maïs. De plus, les amendements organiques notamment avec le compost des déchets ménagers peuvent être aussi efficaces que les engrais inorganiques lorsque les nutriments essentiels des cultures (N, P, K) sont appliqués au même taux. Pour cette étude, la croissance et le rendement du maïs ont augmenté de manière significative avec l'application du compost des déchets ménagers sans différence significative avec l'engrais NPK (20-10-10). Tous les deux traitements (compost et engrais NPK (20-10-10)) ont un indice d'acceptabilité supérieur à l'indice seuil (IA>2) et par conséquent, ils sont économiquement viables. Mais en se référant au faible pouvoir d'achat de la plupart des paysans de la zone d'étude et l'indisponibilité d'engrais minéral NPK (20-10-10) l'utilisation de compost des déchets ménagers pour la culture du maïs est la recommandable.

Les bénéfices agronomiques liés à l'utilisation des composts sont nombreux, c'est en améliorant les propriétés physiques et chimiques et en stimulant l'activité biologique que les composts favorisent la fertilité des sols. Les principaux avantages apportés par l'utilisation de compost en plein champ sont directement liés d'une part à sa teneur en matière organique, à sa capacité à générer de l'humus stable, et d'autre part à la stimulation de l'activité microbienne du sol et à celle des microorganismes du compost lui-même. Afin d'assurer le succès de l'utilisation de compost, il est important d'assurer sa qualité. Comme tous les paramètres de production sont difficilement connus et maîtrisés, un système d'assurance qualité, combinant des analyses chimiques et des tests biologiques, doit être mis en place pour permettre d'avoir le compost le plus approprié aux différentes conditions d'utilisation pratique. Ceci est d'autant plus important qu'un compost de moindre qualité peut non seulement ne pas se montrer bénéfique, mais peut même engendrer des dégâts aux plantes, soit par phytotoxicité, soit par les agents pathogènes qu'il contient. Le second point important à considérer est l'optimisation d'une utilisation raisonnée de compost, c'est-à-dire d'optimiser cette opération suivant les conditions présentes – type de sol, culture, conditions climatiques, etc. - et les buts recherchés – effet fertilisant à court terme,

amélioration de la structure du sol à long terme, rééquilibrage microbiologique du sol, etc. Les instruments à disposition pour réaliser ceci sont le type de compost, son degré de maturité, la période de son application, les quantités amendées.

Concernant l'effet phytosanitaire, il est évident que l'apport de compost et ses extraits pour lutter contre les maladies telluriques et protéger les feuilles des plantes ne constituent pas des techniques pouvant totalement résoudre les problèmes. Considérant les résultats du présent travail, il apparait clairement que ces techniques peuvent avoir le potentiel de réduire significativement la pression des maladies, mais ceci ne doit représenter qu'une étape dans la protection des plantes. Il faut donc associer à ces techniques d'autres méthodes de production notamment la combinaison des méthodes de travail du sol, à une fumure et une irrigation raisonnées, à l'emploi d'antagonistes spécifiques, ainsi qu'à la combinaison entre l'emploi de compost dans le sol et d'extrait de compost sur les feuilles. C'est par cette voie que nous pourrons mettre en place une méthode de production de plantes stables, économiquement rentables et respectueuses de l'environnement.

PERSPECTIVES

Les résultats du présent travail montrent que le compost se présente comme une opportunité à l'amélioration des paramètres de croissance et de rendement du maïs. Ainsi, le contrôle biologique des pathogènes fongiques du maïs avec les composts et leurs extraits sont possibles à condition que tous les facteurs impliqués dans la production et l'utilisation des composts soient définis et maintenus constants. A l'issue de cette investigation, plusieurs questions ont pu être élucidées, alors que d'autres nouvelles ont émergé.

Les limites à franchir par des travaux futurs concernent les aspects suivants :

- Les résultats obtenus mettent en évidence l'importance de la conduite du compostage sur la qualité du produit fini et sur les propriétés suppressives des composts. Le rôle exact de divers paramètres influençant la qualité biologique des composts et leur gestion sont encore mal connus. Une meilleure connaissance des processus mis en jeu à ce niveau permettrait vraisemblablement d'améliorer la qualité des résultats.
- De grandes lacunes concernent encore la connaissance d'une part des mécanismes impliqués dans la suppression des maladies et d'autre part l'influence des divers paramètres du compostage sur le potentiel phytosanitaire de compost et de leur extrait. Les composés chimiques et microbiens impliqués doivent être mieux caractérisés à travers des analyses chimiques et des tests microbiologiques.
- Un facteur important qui n'a pas été évalué mais qui pourrait jouer un rôle dans l'efficacité de l'utilisation des composts est la combinaison de l'application de compost dans le sol et des extraits de compost sur les feuilles de la plante. Cette technique pourrait apporter des avantages en stimulant au mieux la résistance de la plante aux maladies et autres stress.
- Des essais dans les conditions pratiques, particulièrement en ce qui concerne l'effet des extraits de composts sur les pathogènes foliaires, sont indispensables afin de mieux juger le potentiel de telles méthodes et de caractériser les risques éventuels pouvant découler de cette technique.
- La réalisation d'une analyse du sol après récolte dans les parcelles où les fertilisants organiques ont été appliqués et d'une analyse de la plante à la récolte afin de mieux évaluer la teneur en élément nutritif donc la plante a besoin dans le but d'effectuer une fertilisation contrôlée afin d'éviter toutes pertes ou tout excès qui pourrait être néfaste pour la plante.
- La réalisation d'une analyse de l'effet residuel du compost dans le sol est importante pour maximiser le paquet technologique et surencherir la rentabilité économique à long terme de cette technologie.

BIBLIOGRAPHIE

Aboulam, S., 2005. *Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tricompostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière*. Thèse de doctorat, Institut National polytechnique de Toulouse, 218 p.

Abraao S., 1994. *La diffusion du maïs au Nord Cameroun : dynamique de l'innovation et culture technique locale.* Thèse de Doctorat en Géographie, Ecole des hautes études en sciences sociales, 448 p.

Achoundong G., 1996. Les forêts sommitales du Cameroun : Végétation et flores des collines de Yaoundé *BFF* 247 : 37-52

Adekiya A.O., Agbede T.M., 2017. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (Lycopersicon esculentum Mill), *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 383–388.

Adelekan B. A., Oluwatoyinbo F. I. & Bamgboye A. I., 2010. Comparative effets of undigested and anaerobically disgested poultrymanure on the growth and yield of maize (*Zeamays* L.). *Afri. J. Env. Sci. Techn.,* 4(2): 100-107.

Ahuja L.R., 2003. Quantifying agricultural management effects on soil properties and processes, *Geoderma* 116: 2 p.

Ajala S.O., Menkir A., Kamara A.Y., Alabi S.O., Abdulai M.S., 2007. Breeding strategies to improve maize for adaptation to low soil nitrogen in West and Central Africa. African Crop Science Conference Proceedings, 8 : 87-94

Albiach, R., R. Canet, F. Pomares, and F. Ingelmo, 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*, 77 : 109-114.

Ali-Olubandwa A. M, Odero-Wanga D., Kathuri N. J., Shivoga W. A., 2010. Adoption of improved maize production practices among small scale farmers in the agricultural reform era: the case of western province of Kenya. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, 17: 21-30.

Aliyu L., 2000. Effet and mineralfertilizers on growth, yield and composition of Pepper (Capsicumannuum L.). Biol. Agric. Hortic., 18 (1) : 29-36.

Ambassa-kiki R., Nel D., 1999 - Effects of different land management techniques on selected topsoil properties of a forest Ferralsol. Soil & Tillage Res., 52 : 259-264.

Ambassa-kiki R., Tchienkoua M., Agoume V., 1995 - Site and soil characterization report. In "AMBASSA-KIKI, R. (Ed.), Land Clearing on Acid Soils in Forested Regions in Central Cameroon" JRA/IB SRAM, Yaoundé, Cameroun: 14-27.

Amir, S. (2005). *Contribution à la valorisation des boues de station d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost*. Thèse de doctorat, Institut National polytechnique de Toulouse, France, 302p.

Anonyme, 1987. Guide sur les engrais et la nutrition des plantes. Bulletin FAO, Engrais et nutrition végétale, 190 p.

Anonyme, 1991. Le memento de l'agronome, Ministère de la coopération et du développement 4^{iéme} édition. *In* : *Techniques rurales en Afrique*, Paris: 258p.

Anonyme, 1993. Méthode de caractérisation des ordures ménagères, MODECOM TM – Manuel de base édité par l'ADEME Centre d'Angers, Septembre 1993 - Réf 1601 - Coll., « Connaître pour agir », 64 p.

Anonyme, 1993. Le maïs dans la nutrition humaine. Alimentation et nutrition. Collection n°25. FAO Ed, Genève, 119 p.

Anonyme, 1998. "Le compostage des déchets organiques des ménages en Allemagne - Etat de l'art et retours d'expérience. ADEME Editions, Paris, France.188 p.

Anonyme, 1999. Les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés : techniques et recommandations. ADEME Editions, Paris, 106 p.

Anonyme, 2000. Déchets municipaux 2ème édition. ADEME édition, Paris, 11 p.

Anonyme, 2001. "Déchets organiques - Essai agronomique de plein champ d'un compost de déchets verts (résultats de la 8ième année d'expérimentation). ADEME édition, Paris, 105 p.
Anonyme, 2001. "Compost maturity index." California Compost Quality Council (C.C.Q.C). 26 p.
Anonyme, 2004. Word population in 2300. United Nations, New York. Rapport final, 95 p.
Anonyme, 2005 a. Gestion des déchets ménagers ; Etude de préfiguration de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères ; Rapport intermédiaire : Version définitive, 101 p.
Anonyme, 2005b. Mieux connaître les déchets produits à l'échelle du territoire d'une collectivité locale; Guide Méthodologique de l'ADEME; Version Expérimentale, 111p.
Anonyme, 2006. Stratégie de développement du Secteur Rural. Synthèse du volet agriculture et développement rural. Cameroun: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 216 p.
Anonyme, 2007. PIB et PNB de l'Afrique sub-saharienne. CIA's World Fact Book, Atlas Economique Mondial. 43-67.
Anonyme, 2008. Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 p.
Anonyme, 2008. La crise du maïs au Cameroun. Comment lutter contre la crise du maïs. 12 p.
Anonyme, 2008. Conditions de vie des populations et profil de pauvreté au Cameroun en 2007. Rapport principal de la troisième enquête camerounaise auprès des ménages. Cameroun, Institut National de la Statistique (INS), 102 p.
Anonyme, 2008. Catalogue varietal des cultures vivrières. Céreales (maïs, riz), Légumineuses (haricot, soja, niébé), Plantes à tubercules (manioc, patate douce, pomme de terre), Bananier. Appui du projet CTB/MINAGRI, Service National des Semences (SENASEM), Kinshasa, 153p.
Anonyme, 2009. Déclaration conjointe sur la sécurité alimentaire mondiale (Initiative de l'Aquila pour la sécurité alimentaire), Sommet du G8, 104 p.
Anoyme, 2009a. Agri-Stat n°15, 101 p.
Anonyme, 2009b. Early warning information flash, rapport MINADER N°0016, 4 p.
Anonyme, 2010. Projet d'appui au développement des filières agricoles (PADFA), document de conception final ; rapport principal, 82 p.
Anonyme, 2012. Evolution de la collecte des déchets solides municipaux à Douala par la Société Hygène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM), Journal of waste management, 5p.
Anonyme, 2012a. Annuaire des statistiques du secteur agricole Campagnes 2009 et 2010, 65 p.
Anonyme, 2012 b. Fiche technique culturale du maïs. CDDR-SAILD, 18 p.
Anonyme, 2014. Fertilité des sols et agriculture : La nutrition chez les végétaux. 12-21.
Anonyme, 2016. Projections Démographiques et Estimations des Cibles Prioritaires des différents Programmes et Interventions de Santé, rapport conjoint de l'Institut National de la Statistique (INS) et Fonds des Nations Unies pour la Population (UNFPA), 144 p.
Anonyme, 2017. Atlas des statistiques de l'environnement au Cameroun. Rapport INS, 85 p.
Anonyme, 2018. Annuaire statistique du Cameroun : cadre physique et climatologie du Cameroun. Rapport INS, 64 p.
Anonyme, 2018. Techniques aérobiques de compostage des biodéchets urbains. Rapport ADEME, 46 p.
Anonyme, 2020. L'agro-écologique en pratiques, rapport Agrisud international, 212 p.
Anonyme, 2020. Quel prix pour le maïs sur pied en 2020 ? Agricultures et Territoires, Chambre d'agricultures Pays de la Loire, 5 p.
Anonyme, 2020. Guide du compostage à la ferme, Agricultures et Territoires, Chambre d'agricultures Pays de la Loire, 80 p.
Anteneh Argaw, 2017. Organic and inorganic fertilizer application enhances the effect of Bradyrhizobium on nodulation and yield of peanut (Arachis hypogea L.) in nutrient depleted and sandy soils of Ethiopia. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* volume 6, 219–231.
Assani Bin Lukangila Mick, Mwangalalo Alal, Ekondo Okesse Augustin, Mutomb Munung, Ilunga Tshibingu Meschac, and Kanyenga Lubobo Antoine, 2015. La combinaison d'engrais

minéraux et de l'herbicide sur un Ferral sol est-elle une alternative pour accroitre le rendement du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) par une gestion des mauvaises herbes à Lubumbashi R.D. International *Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, 9 (4) : 1765-1772.

Assobhei O., 2009. Ralbi : un procédé biotechnologique innovant pour la Bioremédiation des eaux usées domestiques. *Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques*, 11 p.

Auwal Tukur W, Amit K., 2017. Effect of Integrated Nutrient Management on Growth and Yield Parameters of Maize (zea mays l.) As well as Soil Physico-chemical Properties. *Biomed J Sci & Tech Res* 1(2) : 6 p.

AZZIZI Hanaa, 2017. Effets de la consommation du café sur le statut oxydant/antioxydant des étudiants de l'Université de Tlemcen, mémoire de master en nutrition et santé, 67 p.

Baghdadi Ali, Ridzwan Halim A., Ghasemzadeh Ali, Mohd Fauzi Ramlan and Siti Zaharah Sakimin, 2018. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. *PeerJ 6:e5280*; 26 p.

Ben Hassine H., Aloui T., Gallali T., Bouzid T., El Amri S., Ben Hassine R., 2008. Évaluation quantitative et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosol.* 19 (2): 4-17.

Bernal M.P., Navarro M.A., Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Cegarra J., 1998. "Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil." *Biochem. Soil Biol*. 30(3): 305-313.

Bhatt K R., Bhattachan B K., Marahatta1 S., Adhikari J B., 2020. Yield Performance of Maize (Zea mays L.) Under Different Combinations of Organic and Inorganic Nutrient Management During Spring at Rampur, Chitwan, Nepal. *Acta Scientific Agriculture* 4(1): 120-127.

Biey M.E., 2001. *Small-scale biotreatment of domestic refuse*. Thesis doctor in applied biological sciences. Faculteit Landbouwkundje en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, 220 p.

Bignon J., 1990. Agrometéorlogie et physiologie du maïs grain dans la Communauté Européenne. Office des publications officielles des Communautés Européennes. 198 p.

Block D. 1997. Disease suppression on the links. *BioCycle*, 38: 62-65.

Boehm M.J., Hoitink H.A.J., Hadar Y., 1993. Mechanisms of suppression of soil borne plant pathogens in compost-amended substrates. In: Hoitink H.A.J., Keener H.M. (eds.), Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects, *HortScience*, 601-621.

Bokla Merissa, 2019. Waste Collection Guide for Norfolk Country Tourism, 36 p.

Bolan N. S., Adrianob D. C., Natesana R., Koob B.J., 2003. Effects of Organic Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil. *Journal of Environmental Quality* 32:120-128.

Bonhomme R, Ruget F, Derieux M, Vincourt P., 1982. Relations entre production de matière sèche et énergie interceptée chez différents génotypes de maïs. *C R Acad Sc* Paris, sér III 294 : 393-398

Bouharmont J., 1998. *Bases agronomiques de la production végétale*. Université catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique, 398-376.

Bourdu R. et Gregory N., 1983. Etude comparée du début de la croissance chez divers génotype de maïs. Agronomie, 3, 761-770.

Boyer J. 1982. Les sols ferrallitiques (Tome X) : facteur de fertilité et utilization des sols. *Documentations Techniques*, n° 52, ORSTOM, Paris, France, 76 p.

Brady N.C., Weil R.R., 2002. *The nature and properties of soils.* 13th edition. Pearson Education, *Inc.*, New Jersey, USA. 960 p.

Bresson L. M., Koch C., Le Bissonnais Y., Barriuso E., Lecomte V., 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal* 65:1804-1811.

Brewer L.J., Sullivan D.M., 2003. "Maturity and stability evaluation of composted yards trimmings." *Compost Science & Utilization* 11 (2): 96-112.

Brunetti G., Plaza C., Clapp C.E., Senesi N., 2007. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(6):1355-1365.

Brunner K.S., and Seemuller E., 1993. Infection studies with Phytophthora species inraspberry and investigations on the effect of composts and preceeding crops on infection by *P. fragariae* var. *rubi*., Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 45:1-6.

Bulluck L.R., Barker K.R. and Ristaino J.B., 2002. Influences or organic and synthetic soil fertility amendments on nematode trophic groups and community dynamics under tomato. *Applied Soil Ecology* 21, 233-250.

Bustamante M.A., Paredes C., Marhuenda-Egea F.C., Perez-Espinosa A., Bernal M.P., Moral R., 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*, 72: 551– 557.

Cambardella C.A., Richard T.L., Russell A., 2003. Compost mineralization in soil as a function of composting process conditions. *European Journal of Soil Biology*, 39 (3): 117-127.

Canet R., Pomares F., 1995. "Changes in physical, chemical and physicochemical parameters during the composting of municipal solid waste in two plants Valencia." *Bioresource Technology* 51: 259-264.

Castaldi P., Garau G., Melis P., 2004. Influence of compost from sea weeds on heavy metal dynamics in the soil-plant system. *Fresenius Environment Bulletin*, 13:1322-1328.

Celik I., Ortas I., Kilic S., 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78 (1): 59- 67.

Changa C.M., Wang P., Watson M.E., Hoitink H.A.J., Michel F.C., 2003. "Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures." *Compost Science & Utilization* 11 (2): 125-143.

Charnay F., 2005. *Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost*. Thèse de Doctorat N° 56. Université de Limoges, 325 p.

Chef D.G., Hoitink H.A.J., Madden L.V., 1983. Effects of organic components in container media on suppression of fusarium wilt of chrysanthemum and flax. *Phytopathology* 73: 279-281.

Chefetz B., Hatcher P.G., Hadar Y., and Chen Y., 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality*, 25:776-785.

Chen G., Cao H., Liang J., Ma W., Guo L., Zhang S., Jiang R., Zhang H., Goulding K., Zhang F., 2018**.** Factors affecting nitrogen use efficiency and grain yield of summer maize on smallholder farms in the North China Plain. *Sustainability*, 10, 363.

Chen W., Hoitink H.A.J., Schmitthenner A.F., Tuovinen O.H., 1988a. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 78:314-322.

Chen W., Hoitink H.A.J., Schmitthenner A.F., 1988b. Microbial activity and biomass in container media predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 78:314-322

Chung Y.R., Hoitink H.A.J., 1990. Interactions between thermophilic fungi and *Trichoderma hamatum* in suppression of *Rhizoctonia* damping-off in a bark compostamended container medium. *Phytopathology*, 80:73-77.

Chung Y.R., Hoitink H.A.J., Dick W.A., Herr L.J., 1988a. Effects of organic matter decomposition level and cellulose amendment on the inoculum potential of *Rhizoctonia solani* in hardwood bark media. *Phytopathology*, 78:836-840.

Chung Y.R., Hoitink H.A.J., Lipps P.E., 1988b. Interactions between organic-matter decomposition level and soilborne disease severity. *Agriculture Ecosystems and Environement* 24:183-194.

Ciceri D., Allanore A., 2019**. L**ocal fertilizers to achieve food self-su_ciency in Africa. *Sci. Total Environ*., 648, 669–680.

Cohen R., Chefetz B., Hadar Y., 1998. *Suppression of soil-borne pathogens by composted municipal solid waste*. *In*: S. Brown, J.S. Angle, L. Jacobs (eds.). Beneficial co-utilization of agricultural, municipal and industrial by-products, Kluwer Academic Publishers, Dorcrecht, The Netherlands, 130 p.

Copeman R. J., Holl F. B., Chanway C. P., 2000. Evaluation of plant growth responses to IBR solid & liquid compost formulations. *Inter. Bio Recov. Corp*., 23 p.

Cotxarrera L., Trillas G.M.I., Steinberg C., Alabouvette C., 2002. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress Fusarium wilt of tomato. *Soil Biology and Biochemistry*, 34:467-476.

Craft C.M., Nelson E.B., 1996. Microbial properties of composts that suppress dampingoff and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. *Applied and Environmental Microbiology*, 62:1550-1557.

Cronin M.J., Yohalem D.S., Harris R.F., Andrews J.H., 1996. Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by compost extracts. *Soil Biology and Biochemistry*, 28:1241-1249.

Curea C., 2017. Sustainable Societies and Municipal Solid Waste Management in Southeast Asia, European Union raport. 25 p.

Dabin B., 1963. Appréciation des besoins en phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTROM, *Série Pédologique*, 3 :27-42.

Damien A., 2004. "Guide du traitement des déchets (3ème édition), Paris, France.431 p.

Darwin Habinsaran Pangaribuan, Kus Hendarto, Sheilla Elzhivago R., Ade Yulistiani, 2018. The effect of organic fertilizer and urea fertilizer on growth, yield and quality of sweet corn and soil health. *Asian J Agri & Biol*. 6(3):335-344.

Daujat A., Eveillard P., Herbert J. &Ignazi J.C., 2015. *Engrais*. Encyclopédie universel. 453 p.

Debos Z., Petersen K., Kure S.O., Ambus L.K. P., 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied Soil Ecology*, 19(3):237-248.

Delas Jacques, Molot Christian, 1983. Effet de divers amendements organiques sur les rendements du maïs et de la pomme de terre cultivés en sol sableux. *Agronomie, EDP Sciences*, 3 (1) :19-26.

Delassus M., 1968. Principales maladies du maïs dans l'Ouest du Cameroun. *Agro. Trop.*, 23 (4): 429 – 434.

Diab H.G., Hu S., Benson D.M., 2003. Suppression of *Rhizoctonia solani* on impatiens by enhanced microbial activity in composted swine waste-amended potting mixes. *Phytopathology*, 93:1115-1123.

Dissanayake N., Hoy, 1999. Organic material soil amendment effects on root rot and sugarcane growth and characterization of the materials. *Plant Disease*, 83:1039-1046.

Ditzler C.A. and Tugel A.J., 2002. Soil quality field tools: Experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute. Agronomy Journal 94, 33-38.

Dongmo A. L., Dugue P., Vall E., Lassouarn J., 2009. 'Optimiser l'usage de la biomasse végétale pour l'agriculture et l'élevage au Nord-Cameroun', communication présentée au Colloque Prasac, Savanes africaines en développement : innover pour durer, 20-24 avril 2009, Garoua, Cameroun 12 p.

Eden R, 1993. Effet des fientes de volaille de canaux dans les couloirs de Leuceana leucocephala sur le maïs cultivé sur terre de barre. Thèse d'ingénieur agronome, 73p.

Edward Argar, 2014. Municipal Waste Management Strategy 2016 – 2031 of westminster City, 56p.

Ekobo C.E., 2006. Biodiversité et gestion durable des ressources génétiques du maïs au Cameroun. 12 p.

Ekrem Ozlu, Saroop Sandhu S., Sandeep Kumar and Arriaga Francisco J., 2019. Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota. *Scientifique reports,* 11 p.

Epstein E., Taylor J.M., Chaney R.L., 1976. Effets of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical proporties. *Journal of Environmental Quality*, 5:422-426.

Erhart E., Burian K., Hartl W., and Stich K., 1999. Suppression of *Pythium ultimum* by biowaste composts in relation to compost microbial biomass, activity and content of phenolic compound. *Journal of Phytopathology*, 147:299-305.

Filippi C., Bagnoli G., 1992. A relation between nitrogen deficiency and protective effect against tracheo-fusariosis (*Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*) in carnation plants. *Zentralblatt fur Mikrobiologie* 147:345-350.

Fofiri E J., Ndamé J P., Temple L., Dury S., Ndjouenkeu R., Simeu Kamdem M., 2010. L'émergence du maïs dans la consommation alimentaire des ménages urbains au Nord-Cameroun. *Economie rurale,* 319: 65-79.

Francou C., 2003. *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents,* Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris- Grigon, 289 p.

Fuchs J., 1995a. Quelle qualité de compost pour l'utilisateur? *Herausgeber Büro Compost*. 97-103.

Fuchs J., 1996. Influence de la qualité biologique des composts sur les plantes et leur santé. *Biophyt AG. CH-5465,* Mellikon, 13 p.

Fuchs J., Bieri M., 2000. Neue Pflanzentests, um die Kompostqualität zu charakterisieren. Agrarforschung 7: 314-319.

Fuchs J., Galli U., Schleiss K., Wellinger A., 2001. Directive de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. *CH-3322, Schönbühl,* 11 p.

Fuchs J., 2002. Practical use of quality compost for plant health and vitality improvement. In: S. Klammer (ed.), Microbiology of Composting, 435-444.

Fuchs J., and Larbi M., 2004. Disease control with quality compost in pot and field trails. Paper presented at International Conference on soil and Composts eco-biology. SoilACE, Biomase Peninsular, C/Cartagena, 58, 1, SP-Madrid 28028. León-Spain, 15- 17. Sep. 2004:157-166.

Fusillier J.-L., 1993. La filière maïs au Cameroun – quelles perspectives de développement de la production de maïs ? Montpellier, Multigr. CIRAD, 58 p.

Gala T. J., Camara M., Yao-Kouame A., Keli Z. J., 2011. Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci*., (46) : 3153-3162.

Gallais A., 1989. *Théorie de la sélection en amélioration des plantes*. Masson, Paris, 588 p.

Garcia C., Hernandez T., Costa F., Pascual A., 1992. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination experiments. *J. Sci. Food Agric.*, 59: 313-319.

Garcia C., Roldan A., Hernandez T., 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *J. Environ. Qual*., 26: 285-292.

Gaussen H., Leroy J.F., Ozenda P., 1982. *Précis de Botanique, Végétaux supérieurs.*Tome II Masson, Paris, 579 p.

Gay J.P., 1984. *Fabuleux maïs, histoire et avenir d'une plante*. AGPM éditions, France, 295 p.

Gergely Tóth, Tamás Kismányoky, Piroska Kassai, Tamás Hermann, Oihane Fernandez-Ugalde and Brigitta Szabó, 2020. Farming by soil in Europe: status and outlook of cropping systems under different pedoclimatic conditions, PeerJ, 18 p.

Girardin P., 1999. *Écophysiologie du maïs*. AGPM éditions, Montardon, 146 p.

GNIMASSOUN Edwige-Gwladys Kawojou, Djétchi ETTIEN Jean Baptiste et MASSE Dominique, 2020. Caractérisation des propriétés physico-chimiques et chimiques d'un compost issu d'un mélange de rafles de palmier et de fientes de volaille au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(1): 289-305.

Godden B., 1986. "Les tests enzymatiques et chimiques de maturité des composts." *Compost Information*, 22: 20-24.

Gomez E., Ferreras L., Toresani S., 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresource Technol*., 97:1484-1489.

Gottesman A., 1989. *Effects of compost amendement on protected vegetable production in container media*. Dissertation. Faculty of Agriculture the Hebrew University of Jerusalam, 153 p.

Grebus M.E., Watson M.E., Hoitink H.A.J., 1994. Biological, chemical and physical properties of composted yard trimming as indicators of maturity and plant disease suppression. Compost Science and Utilization 2: 57-71.

Gros A., 1976. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 130 p.

Guittonny-Larchevêque M., 2004. *Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : Comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement*, Thèse de Doctorat, Université Paul Cezanne, 227 p.

Habtamu Yigermal, Kelemu Nakachew & Fenta Assefa, 2019. Effects of integrated nutrient application on phenological, vegetative growth and yield-related parameters of maize in Ethiopia: *A review, Cogent Food & Agriculture*, 5:1, 13 p.

Haq M.I.U., Ajmal S., Kamal N., Khanum S., Siddique M., Kiani M. Z., 2013. Generation mean analysis for grain yield in maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23 (4): 1146-1151.

Hardy G.E.S.J., Sivasithamparam K., 1991. Suppression of *Phytophthora* root rot by a composted Eucalyptus bark mix. *Australian Journal of Botany*, 39: 153-159.

Harender R., Kapoor I.J., and Raj H., 1997. Possible management of *Fusarium* wilt of tomato by soil amendments with composts. *Indian Phytopathology*, 50: 387-395.

Harrington J. F. et Minges P. A., 1954. Vegetable Seed Germination, California Agricultural Extension Leaflet, 267 p.

Haruta S., Nakayama T., Nakamura K., Hemmi H., Ishii M., Igarashi Y., Nishino T., 2005. Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 99: 11 p.

Haug R.T., 1993. "The practical handbook of compost engineering." *Boca Raton*, Florida 4: 647-717.

Heller W.E., 1999. Nitrogen mineralisation of composts in an incubation assay. OT: Stickstoff-Mineralisierung aus Komposten im Brutversuch. *Agrarforschung* 6:75-77.

Hijbeek R., van Ittersum M.K., ten Berge H.F., Gort G., Spiegel H., Whitmore A.P., **2017.** Do organic inputs matter–a meta-analysis of additional yield effects for arable crops in Europe. Plant Soil, 411, 293–303.

Hogg D., Barth J., Favoino E., Centemero M., Caima V., Amlinger F., Devliegher W., Guide pour les Références bibliographiques, 193 p.

Hoitink H.A.J., Grebus M.E., 1994. Status of biological control of plant diseases with composts. Compost Science and Utilization, *HortScience* 2: 6-12.

Hoitink, H.A.J., Stone A.G., Han D.Y., 1997. Suppression of plant diseases by composts. *HortScience* 32:184-187.

Holland M.D., Allen R.G., Campbell K., Grimble R.J., Stickings J.C., 1992. Natural and human resource studies and landuse option. Department of Nyong and So'o. Cameroon. Natural Resources Institute, Kent. 206 p.

Hoornweg D., Thomas L., 1999. "What a waste: Solid waste management in Asia." Washington D.C, The World Bank report. 15 p.

Houot S., Rose J., 2002. « Déchets (agricoles, urbains, industriels) », Prospective SIC 2002 Synthèse de l'atelier n° 8 ; Division « Surfaces et Interfaces Continentales » ; *INSU*, 16 p.

Hsieh W. H., Goh T.K., 1990. Cercospora and similar fungi from Taiwan. Maw Chang Book Compagny, Taiwan 154 p.

Iakimenko O., Ottabong E., Sadovnikova L, Persson J., Nilsson I., Orlov D., and Ammosova Y., 1996. Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components content of humic substances and mineralisation of organic carbon and nitrogen in incubated soils. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 58: 121-126.

Iannotti D.A., Pang T., Toth B.L., Elwell D.L., Keener H.M., Hoitink H.A.J., 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Sci. Util*. 1, 52- 65.

Iannotti D.A., Grebus M.E., Toth B.L., Madden L.V., Hoitink H.A.J., 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. Environmental quality 23:1177-1183.

Ibukun Oluwa Moyin Jesu Emmanuel, 2018. Domestication and Responses of Wheat (Triticum aestivum L) Growth, Yield Parameters, Quality Indices and Soil Fertility improvement to Different Organic Fertilizers. *Curr Inves Agri Curr Res* 2(3) : 11 p.

Inbar Y., Hadar Y., Chen Y., 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *Journal of Environmental Quality*, 22: 857-863.

Izhar Ali, Khan Asad Ali, Fazal Munsif, Liang He, Khan Aziz, Ullah Saif, Wajid Saeed, Iqbal Anas, Adnan Muhammad, Jiang Ligeng, 2019. Optimizing rates and application time of potassium fertilizer for improving growth, grain nutrients content and yield of wheat crop. *De Gruyter*, 9 p

Jama B., Palm C.A., Buresh R.J., Niang A.I., Gachengo C., Nziguheba G., 2000. Tithonia as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review. *Agroforestry Systems*, 49, 201-221.

Jamshidian P., Golparvar A.R., Naderi M.R., Darkhal H., 2013. Phenotypic correlations and path analysis between ear yield and other associated characters in corn hybrids (Zea mays L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2: 1273-1276.

Jenkins G.P., Miklyaev M., Afra S., Kuo C.Y., **2018.** National Parameters and Commodity Specific Conversion Factors for Project Evaluation in Uganda. JDI Exec. Programs, 167 p.

Jimenez E.I., Garcia V.P., 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 38 : 331-343.

Jjagwe J., Komakech A.J., Karungi J., Amann A., Wanyama J., Lederer J., **2019.** Assessment of a Cattle Manure Vermicomposting System Using Material Flow Analysis: A Case Study from Uganda. Sustainability, 11, 573 p.

Kahndo P D., Akanvou L., Gnonpo J N., Kouamé P L., 2015: Évaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (*Zea mays L*.) produites en Côte d'Ivoire. *Afrique Science* 11(3): 181 – 196.

Kaho F., Yemefack M., Yongue-Fouateu R., Kanmegne J., Bilong P., 2007, Potentials of Calliandra calothyrsus Meissner for improving soil fertility and crop performance in the Forest Savannah-Transition Zone of Cameroon, *Nigerian Journal of Soil and Environmental Research*, 7:33-44.

Kaho F., Nyambi Na-ah G., Yemefack M., Yongue-Fouateu R., Amang-Abang J., Bilong P., Tonyé J., 2009, Screening of seven plant species for short term improved fallow in the humid forest zone of Cameroon, Communication in Soil Science and Plant Analysis, 40, 10 p.

Kaho F., Yemefack M., Feujio-Teguefouet P., Tchantchaouang J.C., 2011. Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferralitique au Centre Cameroun. *Tropicultura*, 29 (1): 39-45.

Kamara A., Kureh I., Menkir A., Kartung P., Tarfa B., Amaza P., 2006. Participatory on-farm evaluation of the performance of drought-tolerant maize varieties in the Guinea savannas of Nigeria. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4: 192–196.

Kanyankogote P., Van Ranst E., Verdoody A., Baert G., 2005. Effet de la lave trachybasaltique broyée sur les propriétés chimiques de sols de climat tropical humide. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 12 (4) : 301-311.

Kavroulakis N., Ehaliotis C., Ntougias S., Zervakis G. I., Papadopoulou K. K., 2005. Local and systemic resistance against fungal pathogens of tomato plants elicited by a compost derived from agricultural residues. *Physiol. Mol. Plant Pathol*., 66 :163–174.

Kolédzi K E., Baba G., Feuillade G., Matejka G., 2010. Caractérisation physique des déchets solides urbains à Lomé au Togo, dans la perspective du compostage décentralisé dans les quartiers. *Déchets, Sciences et Techniques*. 9-15.

Koledzi K E., 2011. *Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de LOMÉ (TOGO): approche méthodologique pour une production durable de compost.* Thèse doctorale de l'Université de Limoges, 224 p.

Kombele B.M.F., 2004. *Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette central congolaise; cas des series Yangambi et Yakonde*. Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux, 421 p.

Koutsika-Sotiriou M.S., Kragounis M.S., 2005. Assessment of maize hybrids. *Maydica* 50: 63-70.

Koy K.R., 2009. *Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau de Batéké (R D Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux.* Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Université de Gent, 323 p.

Kusaksiz T., 2010. Adaptability of some new maize (Zea mays L.) cultivars for silage production as main crop in Mediterranean environment. *Turk. J. of Field Crops*, 15(2): 193-197.

Kuter G.A., Nelson E.B., Hoitink H.A.J., and Madden L.V., 1983. Fungal population in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conductive to Rhizoctonia solani damping-off. *Phytopathology*, 73 : 1450-1456.

Kutnjem Daouda; Ndongo Bekolo, Ambang Zachée, Esoh Elamé, Mamadou Mounpoubeyi Njipit, Patrice Ngatsi Zemko, and Tientcheu Tongue, 2018. Effet varietal et des types de fumure sur les maladies parasitaires de la culture du maïs au Cameroun. Am. J. Innov. Res. App. Sci. 7(3): 137-146.

Kutnjem Daouda, Ndongo Bekolo, Ambang Zachée, Esoh Elamé, Mamadou Mounpoubeyi Njipit, et Patrice Ngatsi Zemko, 2018. Evaluation de l'effet varietal et phytosanitaire des types de fumure sur les maladies physiologiques de la culture du maïs au Cameroun. Am. J. Innov. Res. App. Sci. 7(3): 147-158.

LaMondia J.A., Gent M.P.N., Ferrandino F.J., Elmer W.H., Stoner K.A., 1999. Effect of compost amendment or straw mulch on potato early dying disease. *Plant Disease*, 83: 361-366.

Landon J.R., 1991. *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Longman, Booker Take limed, Oxon, UK. 474p.

Larbi M., 2006. *Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques*. Thèse doctorale de l'Université Neuchâtel Institut de Botanique (Laboratoire sol et végétation), 161 p.

Lasaridi K.E., Stentiford E.I., 1998. "A simple respirometric technique for assessing compost stability." *Water Research*, 32 (12): 3717-3723.

Law-Ogbomo K.E., Osaigbovo A.U., Kadiri I.H., 2017. Influence of some animal manures on growth and yield of maize (Zea mays L.) under a humid ultisols environment, 15 p.

LeclercB., 2001. Guide des matières organiques. ITAB, 2e éd., Tome 2, Paris, 91p.

Lee J.J., Park R. D., 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth, *Bioresource Technology*, 93 (1), 21-28.

Lee R., Dewey, 2012. The Georgia Corn Diagnostic Guide: A comprehensive guide for troubleshooting problems in corn, University of Georgia Cooperative Extension, 7 p.

Lehmann J., Gaunt J. et Rondon M., 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems. A review. Mitigation Adaptation Strategies Global Change, 11, 403-427.

Levanon D., and Pluda, 2002. Chemical, Physical and Biological Criteria for Maturity in Composts for Organic Farming. Compost Science and Utilization, 10:339-346.

Litterick A.M., Watson C.A. and Atkinson D., 2002. Crop protection in organic agriculture - a simple matter? Proceedings of the Crop Protection in Northern Britain Conference, 19-26.

Lorgeou J., 1991. Des références pour les variétés. Dans physiologie et production du maïs, INRA, Paris, 291-305.

Lynch, J.M., 1990. *The Rhizosphere*. John Wiley & Sons, Ltd, New York. 458p.

Ma L.P., Qiao X.W., Gao F. and Hao B.Q., 2001. Control of sweet pepper fusarium wilt with compost extracts and its mechanism. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* 7, 84-87.

Maftoun M., Moshiri F., Karimian N., Ronaghi A.M., 2004. Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties, *J. Plant Nutr.* 27(9):1635-1651.

Magdi T.A., Horiuchi T., Oba S., 2004. Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (Vicia faba L.) growth and soil properties. *Bioresource Technol*., 93 (2):183-189.

Mahmood F., Khan I., Ashraf U., Shahzad T., Hussain S., Shahid M., Abid M., Ullah S., 2017**.** Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 17, 22–32.

Mandelbaum R., Hadar Y., 1990. Effects of available carbon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. *Phytopathology*, 80:794-804.

Mannix S. P., Shin H., Masaru H., Rumiko S., Chie Y., Koichiro H., Masaharu I., and Yasuo I., 2001. Denaturing gradient gel Electrophoresis analyses of microbial community from fiel-scale composter. *J. Biosci. Bioenginer*, 91: 159-165.

Marcellin M., 1979. Etude fine de la croissance de jeunes plantes de maïs cultivées en conditions limitantes. Thèse 3ème cycle, Paris VI. 69 p.

Marchand C.L., Berthaud J., Clerget B., Ditinger J., Reynaud B., Dzido J.L., 1997. Maize. *In* : Charrier A. (Ed). *L'amélioration des plantes tropicales*. INRA et ORSTOM, Paris 6: 401-427.

Maryse C., 2005. *Histoires de maïs, d'une divinité amérindienne à ses avatars transgéniques*. *CTHS*, Paris, 326-344.

Masso C., Baijukya F., Ebanyat P., Bouaziz S., Wendt J., Bekunda M., Vanlauwe, B., 2017**.** Dilemma of nitrogen management for future food security in sub-Saharan Africa—*A review. Soil Res*., 55, 425–434.

Matejka G., Barbier J., De Las Heras F., Klein A., Paqueteau F., Kebe A., 2001. Composting of urban refuse in Labé (Guinea): process optimization and agricultural value; Cagliari (Sardinia) *Eighth International Waste Management and Landfill Symposiuim (CISA: Environ. Sanitary Engineering Centre*) 1 – 5 Oct. 10 p.

Mathieu B., 1996. *Histoire naturelle, agricole et économique du maïs*. Paris, 423 p.

Mathur S.P., Owen G., Dinel H., and Schnitzer M., 1993a. Determination of compost biomaturity. *Biological Agriculture and Horticulture*, 10: 65-85.

Mathur S. P., Kongsdal O., 2003. *Common laboratory seed health testing methods for detection fungi*, Kandrups Bogtrykkeri edition. 436p.

Maybelline E., Abdou M., 2012. *Production et transformation du maïs*. Collection Pro-Agro, CTA Wageningen, Pays – bas. ISF Cameroun Douala- Bassa, 11 p.

McArthur J.W.; McCord G.C., 2017**.** Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *J. Dev. Econ*., 127, 133–152.

Meoun N., Le Clerc, F., 1999. Identification de sources des métaux lourds dans les ordures ménagères, *Creed*., 68-76.

Miquel M., 2001. *Rapport sur les métaux lourds et leurs effets sur l'environnement et la santé*. Paris, Sénat. 365 p.

Mohamed Didi, 2020. Evaluation of the antioxidant activity of the coffee parchment. Scientific Study and Research, 32 p.

Moreland C. C., 2018. Council's Waste and Litter Strategy 2018-2022 outlines an innovative and bold plan to change the way waste is managed in our city. 40 p.

Moudingo E.J., 2007. Situation des forêts au Cameroun. Cameroon Wildlife Conservation Society. 24 p.

Moule C., 1971. *Céréales, phytotechnique spéciale.* La Maison Rustique, Paris France, INRA. 235 p.

Mouria Btissam, Ouazzani-Touhami Amina et Douira Allal, 2013. Effet du compost de Trichoderma harzianum sur la suppression de la verticilliose de la tomate, *J.Appl. Biosci.*, 13p.

Moussa S., 2018. Performances agro-morphologiques des variétés locales et ameliorées de maïs au sud-ouest du Niger. *J. Appl. Biosci*., 17 p.

Mrabet L., Belghyti D., Loukili A., Attarassi B., 2011. Étude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue Afrique science 07(2) 10 p.

Mulaji K. C., 2011. *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la Province de Kinshasa*, Thèse de Doctorat de l'Université de Liège, Gembloux, Belgique, Agro-Bio Tech., 172 p.

Mulamba P, Masengu Tshibuyi T, Tshibangu K G, 2016. Contribution à l'étude de la gestion intégrée de la fertilité du sol pour la culture de maïs (Zea mays) dans la Région de Mbujimayi, RDC. *J. Appl. Biosc.* 99 : 9416 – 9422.

Muna-Mucheru M. *et al*., 2007. Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District. Agrofor. Syst., 69, 189-197.

Mustin M., 1987. *Le Compost, Gestion de la Matière Organique*, F. Dubusc eds, Paris. 957 p.

Muyayabantu GM., Kadiata B.D., Nkongolo K.K., 2012. Response of maize to different organic and inorganic fertilization regimes in monocrop and intercrop systems in a Sub-Saharan Africa region. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 3(2): 42-48.

Nakasaki K., Hiraoka S., Nagata H., 1998. A new operation for producing diseasesuppressive compost from grass clippings. *Applied and Environmental Microbiology* 64:4015-4020.

Nankam C., 1990. Cereal pathology. NCRE annual report of activities, 19 p.

N'Dayegamiye A., Isfan D., 1991. Chemical and biological changes in compost of wood shavings, sawdust and peat moss. *Canadian Journal of Soil Science* 71:475-484.

N'Dayegamiye A., Royer R., Audesse P., 1997. Nitrogen mineralization and availability in manure composts from Quebec biological farms. *Canadian Journal of Soil Science* 77:345-350.

N'Dayegamiye A., Giroux M., Royer R., 2005. Effet des apports d'automne et de printemps de fumier et de boues mixtes de papetières sur le rendement, la qualité de la pomme de terre et l'efficacité de l'azote. *Agrosolutions*, 18(1) : 25-34.

Ndja'a T. B. B., 2016. *Effet du compost des ordures et de la fiente de volailles sur la croissance, l'état phytosanitaire et le rendement de deux variétés de maïs (Zea mays L.)* Mémoire de Master en Biologie des organismes végétaux, Université de Yaoundé 1, 65 p.

Ndjouenkeu R., Fofiri Nzossié E. J., Kouebou C., Njomaha C., Grembombo A. I., Koussou M. O., 2010, Le maïs et le niébé dans la sécurité alimentaire urbaine des savanes d'Afrique Centrale. "ISDA 2010, Montpellier: France 17 p.

Nelson E.B., Boehm M.J., 2002. Microbial mechanics of compost-induced disease suppression. *BioCycle*, 43:45-47.

Ngatsi Z.P., 2014. *Inventaire, incidence et sévérité des maladies sous parcelles de maïs (zeamays L) en fonction des variétés et la technique de désherbage (manuelle ou chimique).* Mémoire de master, Université de Yaoundé 1, 46p.

Ngonkeu M. E., 2009. *Tolérance de certaines variétés de maïs aux sols alumiques et manganiques et diversité moléculaire et fonctionnelle des mycorhizes à arbuscules*. Thèse de doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé I, 224 p.

N'Goran A., Kanga N., 2000. Influence d'un précèdent de légumineuse herbacée et d'une jachère courte de deux ans sur la productivité du maïs au Nord de la Côte d'Ivoire. *In :* Floret CH., Pomader R. & Libbey J. (Eds). *La jachère en Afrique Tropicale*. Eurotext, Paris, 616-621

Nguetta A.S.P., Lidah J.Y., Ebelebe C.N.P., Guei R.G., 2006. Sélection des variétés performantes de riz pluvial (*Oryza* sp) dans la région subéquatoriale du Congo Brazzaville. *Afrique Science* 2 (3) : 352-364.

Nicolardot B., Germon J.C., Chaussod R., Catroux G., 1982. "Une technique simple pour déterminer la maturité des composts urbains. *Compost Information* 10: 4-8.

Ngoh Dooh J.P., Ambang Z., Ndongo B., Heu A., Kuete T.W., 2014. Effet of extracts of Thevetia peruviana (Pers.) K. Schum on development of Phytophtora megakarya, causal agent of black pod disease of cocoa. *J Appl. Biosc*. 77 : 6564-6574.

Ngo-Samnick E L., Escalante-Ten Hoopen M., Maïga A., 2012. Production et transformation du maïs, *collection Pro-Agro et Centre technique de cooperation agricole et rurale*, Wageningen – Pays-Bas, 32 p.

Nkongolo M.M, Mukendi K.R., Tshimbombo C.J., Mutombo J.M.T., Kalambaie M.B.M., 2015. Étude comparative de quelques fertilisants (Bat-guano et DAP) sur le rendement du niébé (*Vigna unguiculata, L. Walp*.) dans la région de Gandajika (RDC) *J. Appl. Biosci*., 92 : 8651 – 8658.

NOYAU Philippe, 2020. Bulletin de santé du végétal : cas du Maïs, écophyto, 11 p.

Nripendra Pratap Singh, M. K. Singh, Sachin Tyagi and Shashank Shekhar Singh, 2018. Effect of Integrated Nutrient Management on Growth and Yield of Rice (Oryza sativa L.), *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 11 p.

Nyassé S., 1992. *Structure d'une population de Phytophtora spp. Des cacaoyères camerounaises atteintes de la pourriture brune*. Mémoire de diplôme de recherche universitaire ENSAT, Toulouse. 43 p.

Nyassé, 1997. *Etude de la diversité de Phytophtora megakarya et caractérisation de la résistance du cacoyer (Theobroma cacao L.) à cet agent pathogène*. Thèse de Doctorat. Inst. Nat. Polytech. De Toulouse. 133 p.

Nyembo K., 2010. *Augmentation du rendement du maïs (Zeamays L.) par l'exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga*. Thèse de doctorat, Université de Lubumbashi, 157p.

Nyembo K. L., Useni S. Y., Mpundu M. M., Bugenne M. D., Kasongo L.E., Baboy L. L., 2012. Rentabilité économique de nouvelles variétés de maïs (*Zea mays L.*) à Lubumbashi, Sud- Est de la RD Congo. *J. Appl. Biosci*., 59: 4286-4296.

Okalebo J.R., Gathua K.W., Woomer P.L., 2002. Laboratory Methods for Soil and Plant Analysis: A *Working Manual. TSBF*, Nairobi, 30 p.

Ondo A.S., 2006. *Caractérisation de quelques isolats de P. megakarya, agent causal de la pouriture brune des cabosses de cacaoyer* (*Theobroma cacao* L.) Mémoire de DEA, Université de Yaoundé 1, 58 p.

Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research,* 79: 131-143.

Pare T., Dinel H., Moulin A.P., Townley-Smith L., 1999. Organic matter quality and structural stability of a Black Chernozemic soil under different manure and tillage practices. *Geoderma*, 91(4):311-326.

Pascual J.A., Garcia C., Hernandez T., 1999. "Comparaison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality." *Bioresource Technology* 68: 255-264.

Pauwels J.M., Van R.E., Verloo M., Mvondo Ze A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie Méthode d'Analyses de Sols, Engrais et de Plantes, Equipement, Gestion de Stocks de Verrerie et de Produits Chimiques. *Publications Agricoles* 28, édité par l'AGCD. 22 p.

Phae C.G., Sasaki M., Shoda M., Kubota H., 1990. Characteristics of Bacilllus subtillis isolated from composts suppressing phytopathogenic microorganism. *Soil Science and plant Nutrition* (36): 575-586.

Pianamonti F., Genevini P., Petruzzelli G., 1997. The problem of heavy metals in compost. *Informatore Agrario Supplemento*, 53: 44, 57-59.

Pedneault A., 1994. Les effets des composts sur les plantes. Quebec vert, Quebec, 18-20.
Picard D., 1991. Physiologie et production du maïs. Paris, Éditions Quae, 15-78.
Postma J., Montanari M., Paul H.J.F., Boogert V.D., 2002. Establishment and disease suppressive activity of fungal antagonists introduced in different types of compost and potting soil. *Paper read at Microbiology of composting, at Innsbruck*, 21 p.
Puyuelo B., Gea T., Sanchez A., 2010. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. Article in press *Chemical Engineering journal* (2010), doi:10.1016/j.cej.2010.09.011
Renard F., Foucart G., 2008. Les maladies foliaires de la fin de végétation en culture de maïs. CIPF-Centre pilote en culture de maïs. *Laboratoire d'Ecophysiologie et d'Amélioration Végétale. UCL-Louvain-la-Neuve.* 6 p.
Ringer C.E., Millner P.D., Teerlinck L.M., Lyman B.W., 1997. Suppression of seedling damping-off disease in potting mix containing animal manure composts. *Compost Science and Utilization* 5:6-14.
Ristanovic D., 2001. Mains (*Zea mays L.*). *In:* Raemaekers R.H. (Ed*). Agriculture en Afrique tropicale*. GeoKintGraphics, Bruxelles Belgique, 44-69.
Rouanet G., 1984. *Le technicien d'agriculture tropicale: le maïs*. Edition la Maisonneuve et Larose, Paris. 142 p.
Roy S., Leclerc P., Auger F., Soucy G., Moresoli C., Cote L., Potvin D., Beaulieu C., and Brzezinski R., 1997. A novel two-phase composting process using shrimp shells as an amendment to partly composted biomass. Compost Science and Utilization 5:52-64.
Rurangwa Edouard, Vanlauwec Bernard, Gillerb Ken E, 2018. Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yields of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize, *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 11 p.
Ryckeboer J., 2001. *Biowaste and waste composts: microbiological and hygienic aspects-suppressiveness to plant diseases*. Ph.D., *Applied Biological Sciences*, KUL, Leuven, 247p.
Rynk R., 2003. "The art in the science of composting." Compost Science & Utilization, 11(2) : 94-95.
Salah BenYoussef, Salma Kachout S., Sourour Abidi, Bilal Saddem, Jamila Ismail and Hichen Salem B., 2019. Effect of Different Levels of Nitrogen Fertilization on Forage Yields and Quality of Hairy Vetch (Vicia villosa, Roth) Triticale (Xtritcosecale, Witmack) Mixtures. *The Open Agriculture Journal*, 11 p.
Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Paredes C., Bernal M.P., 2001. "Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, Ec and maturity of the composting mixtures." *Bioresource Technology*, 78 : 301- 308.
Sandson Katie and Broad Leib Emily, 2019. BANS AND BEYOND: Designing and Implementing Organic Waste Bans and Mandatory Organics Recycling Laws. Report of Harvard Law School Food Law and Policy Clinic, 85 p.
Sawadogo H., 2006. *Fertilisation organique et phosphate en système de culture Zaï en milieu soudano-sahelien du Burkina Faso*. Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux, Belgique, 219 p.
Schleiss K., Fuchs J., and Galli., 2002. Anforderung der VKS-Richtlinie 2001 versus Güterkriterien der Bundesgütegemeinschaft Kompost BGK. Müll und Abfall, 11:618- 626.
Sebastia J., Labanowski J., Lamy I., 2007. Changes in soil organic matter chemical properties after organic amendments. *Chemosphere*, 68(7) : 1245-1253.
Sekumade A.B., 2017**.** Economic Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on the Yield of Maize in Oyo State, Nigeria. Int. J. Agric. Econ., 2, 63–68.
Serra W.C., Houot S., Alabouvette C., 1996a. Increased soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. Soil Biology and Biochemistry 28:1207-1214.
Serra-Wittling C., Alabouvette S., Houot S., Rouxel F., 1997. *Suppressiveness of Municipal Soil Waste Compost to Plant DiseasesInduced by SoilbornePathogens*. Modern Agriculture and the Environment, 373-381.

Shuyan Li, Jijin Li, Bangxi Zhang, Danyang Li, Guoxue Li1 & Yangyang Li, 2017. Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. *Scientific reports.*9 p.

Sibiya J., Tongoona P., Derera J., Makanda I., 2013. Farmers' desired traits and selection criteria for maize varieties and their implications for maize breeding: A case study from KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 114 (1): 39–49.

Sitinjak L., Purba E., 2018. Response to growth and production of green beans (Vigna radiata L.) in various cropping spots and fertilizer provision of layer chickens. *Earth Environ. Sci*. 7 p.

Soclo H.H., Aguewe M., Adjahossou B.C., Houngué T., Azontondé A.H., 1999. Recherche de compost type et toxicité résiduelle au Bénin." *TSM (*9): 68-76.

Soobhany N., Mohee R., Garg V.K., 2015. Recovery of nutrient from Municipal SolidWaste by composting and vermicomposting using earthworm Eudrilus eugeniae. *J. Environ. Chem. Eng*., 3, 2931–2942.

Soudi B., 2001. Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost. Cas des petites et moyennes communes au Maroc. (Actes édition), 102 p.

Soudi B. 2005. Le compostage des déchets de cultures sous serre et du fumier. Transfert de Technologies en Agriculture. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, IAV Hassan II*, 6 p.

Soumaré M., Tack F.M.G., Verloo M.G., 2003. "Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali."*Bioresource Technology* 86: 15-20.

Subhan A., Khan Q.U., Mansoor M., Khan M.J., 2017. Effect of organic and inorganic fertilizer on the water use efficiency and yield attributes of wheat under heavy textured soil. *Sarhad Journal of Agriculture*, 33(4): 582-590.

Svecnjak Z., Varga B. &Butorac J., 2006. Yield components of apical and subapical earcontributing to the grain yieldresponses of prolificmaizeat high and low plant populations. *Agr. Crop. Sci.*, 192: 37 - 42.

Syamsul Bahri, Asmuddin Natsir, Syamsuddin Hasan, Sirajuddin SN., 2019. Combination urea and compost fertilizer with different defoliation affected corn and peanut production based on integrated farming system. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 11 p.

Tchoumakov A., Zaharova, 1990. *Statistic of disease development. Disease damages caused in crop production*. *Agro Prom Izdat*, Moscou, 53p.

Temple L, Kwa M, Tetang J, Bikoï A., 2011. Organizational determinants of technological innovation in food agriculture and impacts on sustainable development. *Agronomy* for sustainable development 31: 745-55.

Temple L., Minkoua J.R., 2013. Conditions socio-économiques de la diversification horticole dans les systèmes de productions cacaoyers du sud Cameroun. In « Cultures pérennes tropicales: Enjeux économiques et écologiques de la diversification ».*Edition Quae*, 197-208.

Thé C., Zonkeng C., Delphine M.L., Tsoata E., Yvette C.M., 2011. Inhibition de la croissance et du rendement du maïs (*Zea mays L.*) en sols très acides au Cameroun, et identification de critéres précoces de tolérance a la toxicité. *Tropicultura*. 29 (2):94-100.

Theodore M., and Toribio J.A., 1995. Suppression of *Pythium aphanidermatum* in composts prepared from sugarcane factory residues. *Plant and Soil*, 177: 219-223.

Thomas C.L., Acquah G.E., Whitmore A.P., McGrath S.P., Haefele S.M., 2019**.** The Effect of Different Organic Fertilizers on Yield and Soil and Crop Nutrient Concentrations. Agronomy, 9, 776.

Thorsm Smestad B., Tiessen H., Buresh K.J., 2002, Short fallows of Tithonia diversifolia and Crotalaria grahamiana for soil fertility improvement in Western Kenya, Agroforestry Systems, 55: 181-194.

Tilston E.L., Pitt D., and Groenhof A.C., 2002. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. *New Phytologist* 154:731-740.

Touzard J M, Temple L, 2012. Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire : vers un nouvel agenda de recherche ? *Cahiers Agricultures* 21(5): 293-301.

Troeh F.R., Thompson L.M., 2005. *Soils and soils fertility*. 6th edition. Blackwell publishing, Oxford, UK, 489 p.

Troyer A., 1990. Retrospective view of corn genetic resources, *J. here.* 81: 17-24.

Tshibingu M. R., Tshilumba M. T., Mpoyi M. B., Mutamba N. B., Kabongo M. D., Meschack T. I., Ngoie K. J., Nyembo N. D., Munyuli M. T., 2017. Evaluation de la productivité du maïs (*Zea mays L.*) sous amendements organique et minéral dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo, *J. Appl. Biosci.*, 9 p.

Tshimbombo Jadika, Mbuya Kankolongo, Mukendi Tshizembe, Bombani Bongali, Majambu Banga Banga, Kaboko Kasongo, Mulumba Badibanga et Kamukenji Nam' a Mbaji, 2018. L'influence des fertilisants organiques liquides D.I. GROW et inorganiques NPK 17-17-17 + Urée sur le rendement et la rentabilité de la culture du maïs à Ngandajika, *J. Appl. Biosci*. 7 p.

Tuitert G., Bollen G.J., 1996. The effect of composted vegetable, fruit and garden waste on the incidence of soilborne plant diseases. In: Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes, and T. Papi (eds.), The Science of composting: part 2, *Blackie Academic & Professional an imprint of Chapman & Hall*, 1365-1369.

Useni Y. S., Baboy L. L., Nyembo K. L., Mpundu M. M., 2012. Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants organiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays L.* cultivées dans la région de Lubumbashi. *J. Appl. Biosci*., 54: 3935-3943.

Vagstad N., Broch-Due A., Lymgstad I., 2001. Direct and residual effets of pulp and papermillsludge on cropyield and mineral. Soil use and Management, 17: 173-178.

Valenzuela H.R., Hamasaki R., 1995. Effect of compost and synthetic nitrogen fertilizez on growth an nematode infestation in lettuce and Brasil. *Hort. Sci*., 30 (4): 134-138.

Van Wambeke A., 1981. Criteria for classifying tropical soils by age, *J. Soil Sc*., 13, 124-132.

Voland R.P., Epstein A.H., 1994. Development of suppressiveness to diseases caused by *Rhizoctonia solani* in soils amended with composted and non composted manure. *Plant Disease* 78:461-466.

Voundi J.C., 1998. *Utilisation des déchets de l'industrie du bois en vue de l'amélioration de la fertlité chimique de sols acides tropicaux*. Thèse de doctorat, Faculteit Landbouwkundige en Toepegaste Biologische Wetenschapen, Universiteit Gent, 194 p.

Waas E., Adjademé N., Bideaux A., Deriaz G., Diop O., Guené O., Laurent F., Meyer W., Pfammatter R., Schertenleib R., Touré C., 1996. "Valorisation des déchets ménagers organiques dans les quartiers populaires des villes africaines." Genève, Suisse, *SKAT*. 142p.

Wang P., Chang C.M., Watson M.E., Dick W.A., Chen Y., Hoitink H.A.J., 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biol. Biochem*., 36, 767–776.

Wangungu C.W., Mwangi M., Gathu R., Muasya R., Mbaka J., Kori N., 2011. Reducing died back disease incidence of passion épi in Kenya through management practices. *Afr Crop Sci*., 35 (10): 499 - 502.

Wang X-X, Zhao F, Zhang G., Zhang Y. and Yang L., 2017. Vermicompost Improves Tomato Yield and Quality and the Biochemical Properties of Soils with Different Tomato Planting History in a Greenhouse Study. *Front. Plant Sci.* 11 p.

Weltzien HC., 1992. Biocontrol of foliar fungal disease with compost extracts. In Andrews JH., Hirano SS. (eds.). Microbial Ecology of leaves. New York: Springer-Verlag, 430–450.

Westphal E., Embrechts J., Ferweda J.D., Van Gilsmeens H.A.E., Mutsaers H.J.W., 1985. *Cultures vivrières tropicales avec références spéciales au Cameroun*. Pudoc, Wageningue, 514 p.

Wickland L., Murray T., Jimerson J., 2001. Brewing up solutions to Pest Problems. *Biocycle.* 42(3): 64-66.

Widmer T.L., Graham J.H., Mitchell D.J., 1998. Composted municipal waste reduces infection of citrus seedlings by Phytophthora nicotianae. *Plant Disease* 82: 683-688.

Wiklund Jonna, 2017. E*ffects of wood ash on soil fertility and plant performance in southwestern Kenya*, Master's Thesis in Soil Science Agriculture Programme – Soil and Plant Sciences Swedish University of Agricultural Sciences, 54 p.

Wong J.W.C., Ma, K.K., Fang K.M., Cheung C., 1999. "Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong." *Bioresource Technology* 67(1): 43-46.

Yerina Mugica, Andrea Spacht, Alice Henly, 217. San Francisco composting from fork to farm and back, 4 p.

You M.P., Sivasithamparam K., 1994. Hydrolysis of fluorescein diacetate in an avocado plantation mulch suppressive to *Phytophtora cinnamoni* and its relationship with certain biotic and abiotic factors. *Soil Biology and Biochemistry* 26:1355-1361.

Yu H., Huang G.H., 2009. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste. Bioresour. *Technol*., 100: 205–211.

Yusuf T M., Olowoake A A., 2019. Rising to the challenge of low soil fertility in nigeria; sustainable maize crop production under moringa oleifera technology. Invited paper presented at the 6th African Conference of Agricultural Economists, September 23-26, Abuja, Nigeria,17 p.

Zaheer Ahmad, Qudrat Ullah Khan, Abdul Qadoos, Muhammad Jamil Khan, Abida Saleem and Zarina Bibi, 2020. Humic acid, an effective amendment used for amelioration of Phosphatic fertilizer and enhancing maize yield. Pure and Applied Biology. Vol. 9 (1)750-759.

Zhao Xiu-lan1, LI Bi-qiong, NI Jiu-pai, XIE De-ti, 2016. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1): 232–240

Zhang W., Han D. Y., Dick W. A., Davis K. R., Hoitink H. A. J., 1998. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and arabidopsis. *Phytopathol*., 88 : 450-455.

Zurbrugg C., Ahmed R., 1999. "Enhancing Communauty Motivation and Participation in Solid, *Waste Management*, 4 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Exemple de relevés des données brutes du Diamètre au collet à 16 SAS dans le site de Megana pendant la première annéede production

Bloc	Variété	Données brutes du Diamètre au collet à 16 SAS						MOYENNE
		Traitement	P_1	P_1	P_1	P_1	P_1	
B1	V1	To	1,9	2,2	2,1	1,2	1,1	1,7
		T1	1,9	1,9	2,1	2,1	2,4	2,08
		T2	2,1	2,1	2,3	2,1	2,6	2,24
		T3	1,7	2,1	2,3	2,3	2	2,08
	V2	To	2	1,5	1,7	1,7	1,8	1,74
		T1	1,8	1,5	1,6	1,7	1,7	1,66
		T2	2,1	2,1	2,3	2,6	2,5	2,32

		T3	2,1	2,1	2,2	2,3	2,2	2,18
	V3	To	1,4	1,2	1,3	1,1	1,3	1,26
		T1	1,5	1,6	1,3	1,5	1,3	1,44
		T2	1,9	1,8	1,4	1,5	1,6	1,64
		T3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,52
B2	V1	To	1,9	1,8	1,9	1,9	2	1,9
		T1	2,4	2,3	2	2,1	2	2,16
		T2	2,7	2,5	2,9	2,6	2,5	2,64
		T3	2,5	2,4	2,5	2,1	2,3	2,36
	V2	To	1,1	1	1,6	1,1	1,3	1,22
		T1	0,9	1,2	1,5	1,4	1,6	1,32
		T2	1,5	1,4	1,6	1,7	1,4	1,52
		T3	1,1	1,4	1,6	1,3	1,7	1,42
	V3	To	0,9	1,1	1,4	0,8	1	1,04
		T1	1	1,1	1,2	1,1	1	1,08
		T2	1,2	1,4	1,6	1,4	1,5	1,42
		T3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,4	1,42
B3	V1	To	2	2,1	1,6	1,5	1,5	1,74
		T1	2	2,4	1,9	1,8	1,8	1,98
		T2	2,2	2,8	2,5	2,4	2,9	2,56
		T3	2,3	2,3	2,1	2,4	2,8	2,38
	V2	To	1,4	1,5	1,7	1,4	1,7	1,54
		T1	1,6	1,6	1,9	1,7	1,7	1,7
		T2	2	1,9	1,9	2,2	2,3	2,06
		T3	2,1	2,3	2,1	1,9	2,2	2,12
	V3	To	1,2	1,3	1,1	1,2	1,9	1,34
		T1	1	1,2	1	1,2	1,3	1,14
		T2	1,5	1,6	1,3	1,5	1,5	1,48
		T3	1,7	1,5	1	2,3	1,4	1,58
B4	V1	To	2	1,9	1,6	1,5	1,5	1,7

		T1	2	2,4	1,9	1,8	1,8	1,98
		T2	1,9	2,4	2,5	2,6	2,6	2,4
		T3	2,3	2,3	2,1	2,4	2,8	2,38
	V2	To	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,58
		T1	1,6	1,6	1,9	1,7	1,7	1,7
		T2	2	2,4	1,9	2,2	2,3	2,16
		T3	2,3	2,2	2,1	2,3	2,2	2,22
	V3	To	1,2	1,3	1,1	1,2	1,9	1,34
		T1	1	1,2	1	1,2	1,3	1,14
		T2	1,7	1,6	1,8	1,5	1,9	1,7
		T3	1,7	1,5	1,4	2,3	1,4	1,66

	T0	T1	T2	T3	MOYENNE
V1	1,76 ± 0,09	2,05 ± 0,09	2,46 ± 0,18	2,3 ± 0,15	2,14 ± 0,13
V2	1,52 ± 0,22	1,59 ± 0,18	2,01 ± 0,35	1,98 ± 0,38	1,78 ± 0,28
V3	1,25 ± 0,14	1,2 ± 0,16	1,56 ± 0,13	1,54 ± 0, 1	1,39 ± 0,13
MOYENNE	1,51 ± 0,15	1,62 ± 0,14	2,01 ± 0,22	1,94 ± 0,21	

Annexe 2 : Démarche d'analyse des données brutes du Diamètre au collet à 16 SAS dans le site de Megana pendant la première annéede production

Variétes	Traitements	Bloc I	Bloc II	Bloc III	Bloc IV	Total	Moyenne	Ecar-type
V1	To	1,7	1,9	1,74	1,7	7,04	1,76	0,09521
	T1	2,08	2,16	1,98	1,98	8,2	2,05	0,08717
	T2	2,24	2,64	2,56	2,4	9,84	2,46	0,177388
	T3	2,08	2,36	2,38	2,38	9,2	2,3	0,146969
	TOTAL1	8,1	9,06	8,66	8,46		8,57	0,400499
							Moyenne	0,126688
V2	To	1,74	1,22	1,54	1,58	6,08	1,52	0,217868
	T1	1,66	1,32	1,7	1,7	6,38	1,595	0,18430

	T2	2,32	1,52	2,06	2,16	8,06	2,015	0,34693
	T3	2,18	1,42	2,12	2,22	7,94	1,985	0,37891
	TOTAL2	7,9	5,48	7,42	7,66		7,115	1,10747
							Moyenne	0,282002
V3	To	1,26	1,04	1,34	1,34	4,98	1,245	0,14177
	T1	1,44	1,08	1,14	1,14	4,8	1,2	0,16248
	T2	1,64	1,42	1,48	1,7	6,24	1,56	0,131656
	T3	1,52	1,42	1,58	1,66	6,18	1,545	0,10115
	TOTAL3	5,86	4,96	5,54	5,84		5,55	0,419682
	TOTAL	21,86	19,5	21,62	21,96		21,235	1,16543
							Moyenne	0,13426

1) TC= 150,31
2) TOTAL: somme des carrés de tous les traiments - TC; Total= 158,70 - 150,31 = 8,39
3) PARCELLE PRINCIPALE (PP): SOMME DES TOTAUX AU CARRE DIVISE PAR LE NBRE DE TRAITEMENT -TC; PP= 624,17/4-(150,31)= 57,75
4) Varietes (V): soe V1 au carré+ soe V2 au carré+soe V3 au carré divisé (nbre bloc Xnbre traitements)-TC V= 2 477,93/(4x4)-150,31 = 4,56
5) Blocs (B): somme des grda totaux au carré divisée (nb de variétéXnbre traitement)-TC Bloc= 1 829,76 / (3x4)-150,31 = 2,17
6) erreur des parcelles principales (EPP): PP- (V+B); EPP=57,75-(4,56+2,17) = 51,02
7) SOUS PARCELLE (SP) = somme des carrés de tous les elts du tableau variétéxtraitement/4(NBR DE BLOC)-TC; SP= 628,9156/6 - 150,31= 45,50
ou 7) CALCUL DE LA SOUS PARCELLE : somme carré des V1 +V2+V3 (ddl variétéXddl Traitements)-TC;
8) CALCUL TRAITEMENTPAR SOUS PARCELLE = CARRE DES TOTAUX VARIETES DIVISE PAR '(NBRE VARIETE X NBRE BLOC)-TC; TSP = 1 829,7564/(3x4)- 150,31 = 2,17
9) TRAITEMENT Xvarietes: SP-(Variétés+Traitements) ou N°7-(N°4+N°8), TXV¨= -45,50 - (4,56+2,17) = 52,23
10) ERREUR DE LA SP: TOTAL - (PP+ Traitements+ Variétés X Traitements) ou N°2-(N°3+N°8+N°9)= 8,39-(57,75+2,17-52,23) = 0,7
ESP=8,39 - (5,73+2,17-52,23)= 52,72

Source de	Tableau. Analyse de variance d'une expérience en split plot sur Maïs

variation	ddl	S.C.E	C.M	Fcal	Flu	Probabilité (P)	CV
Parcelles principales (PP) :							
Variétés	2	4,56	2,28	5,54*	4,76	0,011	1,59
Blocs	3	2,17	0,72	4,78	5,14	0,001	1,09
Résiduelle (erreur des PP)	11	51,02	4,64				
Sous-parcelles (S-P):							
Traitements	3	2,17	0,72	4,33*	3,55	0,001	1,22
Traitements x Variétés	6	52,23	8,71	0,69	2,93		
Erreur des S-P	47	0,7					

Annexe 3 : Normes d'interpretation des analyses chimiques des sols (ORSTROM) d'après Sawadogo (2006)

Ech (à 2 mm)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
P_{ass} (%)	< 0,03	0,03 à 0,05	0,05 à 0,1	0,1 à 0,2	> 0,2
P_{tot} (%)	< 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	1,5 à 3,0	> 3,0
N_{tot} (%)	< 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	1,5 à 2,5	> 2,5
Matière oragnique	< 10	10 à 20	20 à 30	30 à 50	> 50
Ca^{+2} méq/100g MS	< 1,0	1,0 à 2,3	2,3 à 3,5	3,5 à 7,0	> 7,0
Mg^{+2} méq/100g MS	< 0,4	0,4 à 1,0	1,0 à 1,5	1,5 à 3,0	> 3,0
K^{+} méq/100g MS	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	> 0,8
Na+ méq/100g MS	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 0,7	0,7 à 2,0	> 2,0
SBE méq/100g MS	< 2	2 à 5	5 à 10	10 à 15	> 15
CEC méq/100g MS	< 5	5 à 10	10 à 25	25 à 40	> 40
TS (%)	< 15	15 à 40	40 à 60	60 à 90	>90
C/N	Très bas	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé
	<8	8 à 10	10 à 15	15 à 25	> 25
K/CEC	Carence en K	Besoin elevé en K	Besoin faible en K	Pas besoin immédiat	
	< 1	1 à 2	2 à 5		
Mg/K	Carence en Mg	Bon	Carence en K		
	< 2	2 à 20	> 20		
N/P	Carence en P	Carence en N	Carence en K		
	> 2	< 2			

Pass : phosphore assimilable, Ptot : phosphore total, Ntot: azote total, SBE: somme des bases échangeables, CEC : capacité d'échange cationique, TS : taux de saturation.

Annexe 4 : Données moyennes mensuelles sur la température et la pluviométrie des sites d'études

Tableau: Données moyennes mensuelles sur la température et la pluviométrie entre 2013 et 2016 dans la localité d'Akonolinga.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
T °C	24,5	25,31	25,43	24,73	25,02	23,6	23,4	24,1	23,7	24,54	24,13	25,14	24,47
P (mm)	13,4	38,75	114,4	181	194,2	142,95	103,25	114,4	234,65	284	106,9	20,45	127,86

Dans le même ordre d'idée, les données fournies par le centre climatique mondial révèlent que le site de NKolfon présente 134,28 mm de pluie comme moyenne mensuelle des précipitations pendant une période de 4 ans. Le tableau IX présente de façon explicite l'ensemble des données mensuelles sur la température et la pluviométrie pendant une durée de 4ans.

Tableau: Données moyennes mensuelles sur la température et la pluviométrie 2015 et 2018 dans la localité de Nkolfon.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
T °C	25,4	26,02	24,95	24,77	25,53	24,03	23,63	24,32	22,79	24,45	24,35	25,43	24,64
P (mm)	14,2	37,68	110,72	195	196,3	154,52	115,51	110,2	237,55	290,4	116,9	32,45	134,28

Il ressort de ces tableaux que trois mois sont écologiquement secs (P < 40 mm), en l'occurrence Décembre, Janvier et Février. Le mois d'octobre est le plus pluvieux.

Annexe 5: Quelques illustrations photographiques

Fig. Etat de croissance du maïs en Champ 6 SAS au moment du sarclage

Fig. Récolte du maïs en Champ à 16 SAS.

Annexe 6: Articles publiés