

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

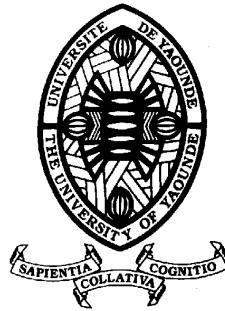
CENTRE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN  
SCIENCES DE LA VIE, SANTE ET  
ENVIRONNEMENT

\*\*\*\*\*

UNITE DE RECHERCHE ET DE  
FORMATION DOCTORALE EN  
SCIENCES DE LA VIE

\*\*\*\*\*

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*

RESEARCH AND DOCTORATE  
TRAINING UNIT IN LIFE SCIENCES

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE PHYTOBIOCHIMIE ET D'ETUDES DES PLANTES MEDICINALES

LABORATORY OF PHYTOBIOCHEMISTRY AND MEDICINAL PLANT STUDIES

Effet des extraits de *Callistemon citrinus* et d'un Biofertilisant à base de  
*Tithonia diversifolia* et de la Bouse de vache sur la Production et la  
Qualité des Fruits de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du Sol

Thèse redigée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/PhD en BIOCHIMIE

Option :

Biotechnologie et développement

Par :

NDONKEU MANGOUMOU Ghislaine

Matricule : 01T234

DEA Biochimie

Membres du jury



**PRESIDENT :** OBEN ENYONG Julius Professeur, Université de Yaounde I

**RAPPORTEUR :** MOUNDIPA FEWOU Paul, Professeur, Université de Yaounde I

NGUEFACK Julienne, Maître de Conférences, Université de Yaounde I

**MEMBRES :** KANSCI Germain, Professeur, Université de Yaounde I

AMBANG Zachée, Professeur, Université de Yaounde I

NGAKOU Albert, Professeur, Université de Ngaoundéré

Année académique : 2021/2022

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

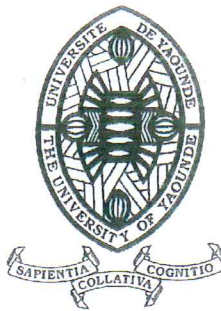
\*\*\*\*\*

FACULTE DES SCIENCES

B.P. 812 Yaoundé

\*\*\*\*\*

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

FACULTY OF SCIENCE

P.O.Box 812 Yaoundé

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

## ATTESTATION DE CORRECTION DE THESE DE DOCTORAT/Ph.D

Nous, membres du Jury de thèse de Doctorat / Ph.D de Madame **NDONKEU MANGOUMOU Ghislaine** (Matricule 01T234) préparée sous la co-direction des Professeurs **MOUNDIPA FEWOU Paul** et **NGUEFACK Julienne** et intitulée : « Effet des extraits de *Callistemon citrinus* et d'un biofertilisant à base de *Tithonia diversifolia* et de la bouse de vache sur la production et la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du sol » soutenue publiquement le 07 Décembre 2021 en vue de l'obtention du grade de Docteur / Ph.D en Biochimie, attestons que toutes les corrections demandées par le Jury de soutenance ont été effectuées.

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

Fait à Yaoundé le

Examineurs

Pr **AMBAKÉ** & **KANSSE**

Le président du Jury

**Julius E. Oben Ph.d**  
Professor



**LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS**

**ANNÉE ACADEMIQUE 2021/2022**

(Par Département et par Grade)

**DATE D'ACTUALISATION 22 Septembre 2021**

**ADMINISTRATION**

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

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

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

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

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

**Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche DAASR:**  
AJEAGAH Gidéon AGHAINDUM, *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. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOCHO 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 NGOUNOU Marcelline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	EWANE Cécile Anne	Maître de Conférences	En poste
17	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
18	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
19	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
20	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
21	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
22	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

23	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
24	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Chargée de Cours	En poste
25	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
26	DJUWKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
27	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
30	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
31	KOTUE KAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
32	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
33	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste

36	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
37	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
38	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

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

1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	DAARS/FS
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5	DZEUFIET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
7	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
9	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
10	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
11	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
12	NOLA Moïse	Professeur	En poste
13	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
14	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
15	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	<i>En poste</i>

16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
19	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
21	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
22	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
23	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste

24	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
25	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
26	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste

27	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
28	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
29	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
30	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste

42	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
43	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
44	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
45	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
46	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste

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

1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MBOLO Marie	Professeur	En poste
5	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
6	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
7	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

8	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
10	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	CT/ MINESUP
12	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
13	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
14	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
15	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
16	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste

18	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
19	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
20	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
21	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
22	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
23	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
24	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
25	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
26	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
27	KABELONG BANAHOU Louis-Paul-Roger	Assistant	En poste
28	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
29	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
30	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
31	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
32	TEMEGNE NONO Carine	Assistant	En poste

#### 4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (33)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Professeur	En poste
3	ELIMBI Antoine	Professeur	En poste

4	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>Recteur Univ.Ngaoundere</i>
5	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé deMiss.PR</i>
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UD</i> s
10	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>

11	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
12	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
13	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
14	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
15	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
16	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
17	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
18	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
19	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
20	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste

	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	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste



28	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
30	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste

31	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
32	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
33	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

#### 5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (34)

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/FSE
2	GHOGOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDS
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste
5	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/</i> <i>MINESUP/</i> Chef de Département
6	WANDJI Jean	Professeur	En poste

7	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DPSAA
8	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	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	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
18	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	Chef Service/MINESUP

19	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
20	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	En poste
21	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
22	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
23	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
24	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
25	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
26	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
27	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

28	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
29	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
30	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
31	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
32	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste

33	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
34	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste

### 6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (25)

1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i>

3	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
---	---------------	-----------------------	----------

4	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
5	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
6	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
7	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste

8	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
10	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
11	MONTHÉ DJIADEU Valéry M.	Chargé de Cours	En poste
12	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
13	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	Directeur adjoint Enset. Ebolowa
14	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste

18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
20	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
21	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
22	MAKEMBE. S. Oswald	Assistant	En poste
23	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
24	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

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

1	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	Chef de Département
2	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>Inspecteur MINESUP</i>

3	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
4	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
7	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste

8	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef service des programmes &amp; Diplômes/FS/UJI</i>
9	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
10	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

11	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
12	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
15	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
16	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
19	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
20	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargé de Cours	En poste
21	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
22	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
23	TCHANGANG Roger Duclos	Chargée de Cours	En poste
24	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargé de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargé de Cours	En poste

26	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
27	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
28	MBIAKOP Hilaire George	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	<i>Chef de Département</i>
---	-------------------------	------------	----------------------------

2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste

4	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
7	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	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	Assistante	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste

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

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. UN</i>
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
6	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département

9	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
12	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen FS Univ/Bda
13	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste

16	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
17	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18	ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
22	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
23	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
25	SAIDOU	Maître de Conférences	MINRESI
26	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28	VONDOU Derbetini ppolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UIYI</i>

30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
32	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
33	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. INADER
34	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
35	MEL' I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
36	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste

37	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmalima
38	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste

39	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste

### 10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)

1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
3	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NGOS III Simon	Professeur	En poste
6	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
7	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste

8	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
9	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
10	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
11	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
12	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
13	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/MINIMDT</i>
14	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
15	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
16	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
17	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	<i>Chef service Maintenance &amp; du Matériel/UYII</i>

18	TCHAKOUNTE J. épse NOUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
21	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. /MINTP</i>
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>

23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de Cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
28	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
29	LAMILEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de Cours	En poste
31	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
32	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	<i>CD/Uma</i>
34	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
36	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
37	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste

41	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
42	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste



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

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	14 (10)	13 (05)	3 (02)	<b>38 (18)</b>
BPA	15 (01)	8 (06)	18 (05)	05 (02)	<b>46 (14)</b>
BPV	07 (01)	9 (01)	8 (06)	07 (01)	<b>33 (9)</b>
CI	10 (01)	10 (02)	10 (02)	03 (0)	<b>33 (5)</b>
CO	6 (0)	21 (05)	05 (02)	02 (0)	<b>34(7)</b>
IN	2 (0)	1 (0)	14 (01)	08 (01)	<b>25 (2)</b>
MAT	2 (0)	8 (0)	15 (01)	05 (02)	<b>30 (3)</b>
MIB	3 (0)	4 (02)	05 (01)	06 (02)	<b>18 (5)</b>
PHY	15 (0)	14 (02)	09 (03)	02 (0)	<b>40 (5)</b>
ST	7 (1)	15 (01)	18 (05)	02 (0)	<b>42(7)</b>
<b>Total</b>	<b>75 (5)</b>	<b>104 (29)</b>	<b>115 (31)</b>	<b>43 (10)</b>	<b>339 (75)</b>

Soit un total de **337 (75)** dont :

- Professeurs **75 (5)**
- Maîtres de Conférences **104 (29)**
- Chargés de Cours **115 (31)**
- Assistants **43 (10)**

( ) = Nombre de Femmes **75**

## **DEDICACE**

Je dédie cette thèse à:

L'ETERNEL, DIEU MISERICORDIEUX,

Mes parents: MANGOUMOU ANTOINE et MBIAMI NGUENDONG ESTHER

A mes frères et leurs familles respectives

## REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé dans les Laboratoires de Phytopathologie de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson; de Chimie Organique Structurale et Analytique (LACOSA) de l'Université de Yaoundé I; l'unité de recherche de Phytopathologie et Zoologie Agricole (UR\_PHYZA) et d'Analyse des sols et de Chimie de l'Environnement (URASCE) de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA) de l'université de DSCHANG; au Centre de Recherche en Alimentation et Nutrition (CRAN) de l'Institut de Recherche Médicale et d'études des plants médicinales (IMPM); au Laboratoire de Phytopathologie de l'Université de Modène et Reggio Emilia (UNIMORE) et à l'Ecole de Pharmacie de l'Université de Camérino (UNICAM) en Italie. Il a nécessité l'assistance de plusieurs personnes. J'exprime ici mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, plus particulièrement:

Pr Nguefack Julienne, qui a dirigé ce travail, je tiens à vous exprimer ma sincère reconnaissance pour la marque de bienveillance, la rigueur scientifique et le dynamisme dont vous avez fait preuve au cours de ce travail. Je vous rassure de ma profonde gratitude pour les efforts consentis malgré vos nombreuses occupations.

Pr Moundipa Fewou Paul, chef de Département de biochimie de l'Université de Yaoundé I, pour avoir supervisé ce travail malgré vos nombreuses responsabilités.

À tous les enseignants du Département de Biochimie pour leur encadrement, soutien ainsi que leur disponibilité ;

Pr Nkengfack Augustin Ephrem, Responsable du LACOSA de l'Université de Yaoundé I pour avoir permis la concentration des extraits hydroéthanoliques;

Pr WATIOH, Responsable de l'URASCE de la FASA de DSCHANG, pour sa collaboration dans l'analyse physico-chimique et la biomasse du sol;

Pr Djeugap Fovo Joseph, Responsable de l'UR\_PHYZA de la FASA de DSCHANG, pour sa collaboration dans l'isolement des pathogènes;

Pr Yaouba Aoudou, chef du Département de la Protection des Végétaux de la FASA de DSCHANG, pour sa collaboration dans l'analyse des échantillons de sol.

Pr. Nyegue Maximilienne Ascension, enseignante au Département de

Microbiologie de l'Université de Yaoundé I, pour sa collaboration dans la rédaction du protocole d'analyse microbiologique du sol et l'extraction des huiles essentielles;

Pr Stéfanie, responsable du Laboratoire de phytopathologie de l'Université de Moderna and Reggio Emilia, pour sa collaboration dans l'analyse quantitative de nos extraits;

Dr Kuate Jean, Responsable du Laboratoire de Phytopathologie de l'IRAD de Nkolbisson, Vous m'avez permis l'accès à vos laboratoires où une partie importante de ce travail a été réalisé, je vous en suis reconnaissante.

Dr. Kamgang Astride Franck, pour avoir accepté effectuer la détermination du profil phénolique des fruits de tomate au sein de votre équipe à l'Université de Camerino;

M. Baleba Roger, Chef adjoint du Laboratoire Contrôle de qualité au CRAN;

Aux membres de la "Crop Protection and Seed Health Unit" en particulier Docteur Dakole Daboy Charles, Dongmo Lekagne Joseph Blaise, Fouelefack François Romain, Mekam Noel Pascal, Dongmo Nanfack Albert, M. Fotio Daniel, Petchayo Sandrine, Azah Udom René, Nguepsi Jean Claude, Djoufack Metis Molière et Mengue Nkoulou Ghislain votre sens du travail bien fait et votre rigueur scientifique ont été d'une grande contribution dans la réussite de ce travail et m'ont toujours réconforté. Recevez ma sincère gratitude.

À mes neveux et nièces. Votre amour, votre patience, votre soutien, vos exigences et encouragements m'ont permis d'atteindre cet objectif, trouvez en ceci l'expression de ma profonde gratitude.

À mon partenaire TCHOULA NJIONHOU Bertrand pour son soutien affectif, moral et son apport dans nos business et à tous mes amis. Puisse Dieu vous le rendre. A tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail, qu'ils soient rassurés de ma profonde gratitude et reçoivent l'expression de ma singulière sympathie.

# SOMMAIRE

<b>DEDICACE</b> .....	xvii
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	xviii
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	xxiii
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	xxv
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	xxvii
<b>RESUME</b> .....	xxix
<b>ABSTRACT</b> .....	xxxi
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CONTEXTE ET JUSTIFICATION</b> .....	1
<b>CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	6
I.1. Généralités sur la Tomate .....	6
I.1.1. Historique .....	6
I.1.2. Taxonomie et Botanique.....	6
I.1.3. Ecologie .....	8
I.1.4. Culture de la tomate.....	9
I.1.5. Production de la tomate .....	10
I.1.6. Importance de la tomate.....	11
I.1.7. Contraintes liées à la production de la tomate .....	13
I.2. Généralités sur les méthodes de lutte contre les maladies des plantes de la tomate.....	17
I.2.1. Méthodes culturales .....	17
I.2.2. Méthodes physiques.....	18
I.2.3. Méthodes biologiques .....	18
I.2.4. Méthodes chimiques .....	18
I.2.5. Méthodes génétiques .....	18
I.2.6. Méthodes intégrées .....	19
I.2.7. Méthodes naturelles .....	19
I.3. Revue sur les plantes utilisées .....	20
I.3.1. <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray.....	20
I.3.2. <i>Callistemon citrinus</i> STAPF.....	22
I.4. Généralité sur le sol .....	23
I.4.1. Définition.....	23
I.4.2. Milieu physique .....	24

I.4.3. Eau du sol .....	25
I.4.4. Propriétés physico-chimiques du sol .....	25
I.4.5. Fertilisants azotés.....	27
I.4.6. Fertilisation azotée et question environnementale.....	28
I.5. Généralité sur la microflore du sol .....	29
I.5.1. Biomasse microbienne du sol .....	29
I.5.2. Microorganismes bénéfiques du sol .....	30
<b>CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	33
II.1. Matériel .....	33
II.1.1. Matériel végétal.....	33
II.1.2. Matériel fongique .....	33
II.1.3. Pesticide et biopesticide utilisés .....	33
II.1.4. Différents fertilisants azotés utilisés.....	33
II.1.5. Site expérimental.....	34
II.2. Méthodes .....	34
II.2.1. Préparation des extraits de plante utilisés.....	34
II.2.2. Criblage phytochimique des extraits de <i>Callistemon citrinus</i> et analyse du potentiel antioxydant.....	35
II.2.3. Souche de <i>Fusarium oxysporum</i> f sp <i>vasinfectum</i> .....	38
II.2.4. Différents traitements effectués en milieu sous-abri et en champ.....	40
II.2.5. Expérience en milieu sous-abri .....	41
II.2.6. Expérience en champ.....	42
II.2.7. Collecte des données des expériences effectuées en milieu sous-abri et en champ.....	44
II.2.8. Evaluation de la qualité nutritionnelle des fruits de tomate en champ et en milieu sous-abri et détermination de leur profil phénolique.....	45
II.2.9. Analyse du sol .....	57
II.3. Analyses statistiques.....	68
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	69
III.1. Paramètres agronomiques en milieu sous-abri et en champ .....	69
III.1.1. Caractères macroscopiques et microscopiques de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp <i>vasinfectum</i> .....	69
III.1.2. Composition chimique des extraits utilisés.....	69
III.1.3. Paramètres agronomiques de croissance en milieu sous-abri et en champ.....	70
III.1.4. Discussion sur les paramètres agronomiques des plants de tomate .....	93

III.2. Analyse des fruits de tomate produits en milieu sous-abri et en champ .....	98
III.2.1. Qualité nutritionnelle des fruits de tomate .....	98
III.2.2. Détermination du profil phénolique des fruits de tomate .....	107
III.2.3. Discussion sur la qualité nutritionnelle et profil phénolique des fruits de tomate .....	109
III.3. Analyse des paramètres physico-chimiques et de la microflore du sol .....	113
III.3.1. Paramètres physico-chimiques du sol .....	113
III.3.2. Biomasse microbienne du sol .....	123
III.3.3. Microflore du sol.....	124
III.3.4. Quelques indicateurs de la fertilité du sol en champ .....	130
III.3.5. Paramètres physico-chimiques et la microflore du sol .....	131
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> .....	137
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	138
<b>ANNEXES</b> .....	a

## LISTE DES ABREVIATIONS

AE:	: Aluminium échangeable
AFNOR:	: Association Française de Normalisation
AI:	: Sol amendé aux engrais inorganiques
AO:	: Sol amendé aux fertilisants organiques
Bv	: Bouse de vache
C. citrinus:	: <i>Callistemon citrinus</i>
C/N:	: Rapport carbone azote
CAL:	: Extrait aqueux de <i>Callistemon citrinus</i>
CAT	: Capacité antioxydante totale
CEC:	: Capacité d'échange cationique
CECE:	: Capacité d'échange cationique effective
CO:	: Carbone organique
Cont:	: Sol non amendé
DPPH	: 2,2-Diphényl-1-PicrylHydrazyl
E:	: Pulvérisation avec de l'eau
EAA	: Equivalent acide ascorbique
EAG	: Equivalent acide gallique
EC	: Equivalent catéchine
ETrolox	: Equivalent trolox
FAO:	: Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FASA:	: Faculté d'Agronomie et de Sciences Agricoles
FRAP	: Ferric-reducing Antioxydant Power
HCl:	: Acide chlorhydrique
HE:	: Huile Essentielle
HPLC:	: chromatographie Liquide Haute Performance
IRAD:	: Institut de Recherche Agricole pour le Développement
JMPS	: Réunion conjointe FAO/OMS sur les spécifications des pesticides
LACOSA:	: Laboratoire de Chimie Organique Structurale et Analytique
M	: Pulvérisation avec le mancozeb
MF	: Matière fraîche
MO:	: Matière organique
MS	: Matière sèche



NH <sub>3</sub> :	:	Ammoniaque
NH <sub>4</sub> :	:	Ammonium
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> :	:	Nitrite
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	:	Nitrate
Nt	:	Azote total
OMS:	:	Organisation Mondiale de la Santé
Pass:	:	Phosphore assimilable
PT	:	Polyphénols totaux
Rdt:	:	Rendement
S:	:	Somme des bases échangeable
Td	:	<i>Tithonia diversivolia</i>
UR_PHYZA	:	Unité de Recherche de Phytopathologie et de Zoologie Agricole
URASCE:	:	Unité de Recherche d'Analyse de Sols et de Chimie de l'Environnement
USDA	:	United States Department of Agriculture
V/T	:	Taux de saturation en bases
V <sub>1</sub> :	:	Variété de tomate Cobra
V <sub>2</sub> :	:	Variété de tomate RIO Grande

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Les principaux pays producteurs de la tomate en 2018 (FAOSTAT, 2020).....	10
<b>Tableau II:</b> Composition des fruits de tomate. consommables (Grasselly <i>et al.</i> , 2000).....	11
<b>Tableau III:</b> Composition en vitamine C et pigments exemple de quelques variétés de tomate récoltées et analysées 24h après récolte (Navez, 2011) .....	12
<b>Tableau IV:</b> Teneur en différents éléments fertilisants de la bouse de vache. ....	27
<b>Tableau V:</b> Teneur en différents éléments de feuilles sèches de <i>Tithonia diversifolia</i> .....	28
<b>Tableau VI:</b> Concentration de la gamme de standards des oligoéléments .....	51
<b>Tableau VII:</b> Composition en métabolites secondaires des extraits aqueux et hydroéthanolique de <i>Callistemon citrinus</i> .....	70
<b>Tableau VIII:</b> Influence des différents traitements sur la sévérité de la fusariose durant la culture de la tomate en milieu sous-abri .....	70
<b>Tableau IX:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 69 jours de culture .....	79
<b>Tableau X:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 76 jours de culture .....	80
<b>Tableau XI:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 83 jours de culture .....	81
<b>Tableau XII:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 90 jours de culture .....	82
<b>Tableau XIII:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 69 jours de culture .....	88
<b>Tableau XIV:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 76 jours de culture .....	89
<b>Tableau XV:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 83 jours de culture.....	90
<b>Tableau XVI:</b> Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 90 jours de culture .....	91
<b>Tableau XVII:</b> Teneurs en macronutriments des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ .....	99
<b>Tableau XVIII:</b> Teneurs en microéléments des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ .....	101

<b>Tableau XIX:</b> Composés bioactifs des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ .....	102
<b>Tableau XX:</b> Activités antioxydantes des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ .....	104
<b>Tableau XXI:</b> Corrélation de Pearson entre composés importants des fruits de tomate .....	105
<b>Tableau XXII:</b> Corrélation de Pearson entre composés importants des fruits de tomate du champ .....	106
<b>Tableau XXIII:</b> Profil polyphénolique des fruits de tomate .....	109
<b>Tableau XXIV:</b> Granulométrie des sols collectés en début et fin de culture de tomate .....	114
<b>Tableau XXV:</b> Granulométrie des sols collectés en début et fin de culture de tomate .....	116
<b>Tableau XXVI:</b> Macroéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri .....	117
<b>Tableau XXVII:</b> macroéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ .....	119
<b>Tableau XXVIII:</b> Microéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri .....	121
<b>Tableau XXIX:</b> Microéléments des sols collectés en début et fin de tomate en champ .....	122
<b>Tableau XXX:</b> Oligoéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri .....	125
<b>Tableau XXXI:</b> Oligoéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ .....	126
<b>Tableau XXXII:</b> Biomasse microbienne des sols collectés en début et fin de tomate en milieu sous-abri .....	127
<b>Tableau XXXIII:</b> Biomasse microbienne des sols collectés en début et fin de culture de .. tomate en champ .....	128
<b>Tableau XXXIV</b> Corrélation de Pearson entre quelques indicateurs de la fertilité du sol en champ .....	130

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Plant de tomate, (A): Plant entier, (B): Semences, (C): Feuilles, (D): Fleurs, (E): Fruits, (F): Tige et Racines Plant de tomate, A): Plant entier, (B): Semences, (C): Feuilles, (D): Fleurs, (E): Fruits, (F): Tige et Racines.....	8
<b>Figure 2:</b> Symptômes mildiou (A):sur le calice; (B) sur les feuilles; (C): sur le fruit de la tomate (photo Ndonkeu, 2017). .....	15
<b>Figure 3:</b> Flétrissement du plant de tomate (Photo Ndonkeu, 2017). .....	17
<b>Figure 4:</b> Plante de <i>Tithonia diversifolia</i> (Photo Ndonkeu, 2020) .....	21
<b>Figure 5:</b> Feuilles, fruits et fleurs de <i>Callistemon citrinus</i> .....	22
<b>Figure 6:</b> Schéma simplifié du complexe argilo-humique. ....	26
<b>Figure 7:</b> Bouse de vache (Photo Ndonkeu, 2020) .....	27
<b>Figure 8:</b> Site expérimental en champ .....	34
<b>Figure 9:</b> Incubation des fruits non et infectés, (A): fruits mûrs de tomate; (B): fruits non mûrs de tomate.....	39
<b>Figure 10:</b> Dispositif expérimental en champ, (A): bloc complètement randomisé, (B):plants de tomate âgés de 65 jours en champ. ....	43
<b>Figure11:</b> Echelle d'infection des plants âgés 65 jours.....	44
<b>Figure 12:</b> Aspect macroscopique et microscopique de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp vasinfectum (A): Croissance, (B): Conidies .....	69
<b>Figure 13:</b> Diagramme de corrélation entre sévérité de la maladie, pulvérisations et variété des plants de tomate en milieu sous-abri .....	71
<b>Figure 14:</b> Plants sains de Variété Cobra âgés de 76 jours pulvérisés avec CAL (A): plants issus du sol non amendé; (B): plants issus du sol amendé organiquement; (C): plants issus du sol amendé inorganiquement. ....	72
<b>Figure 15:</b> Variation du diamètre apical des plants sains de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en milieu sous-abri.....	74
<b>Figure 16:</b> Variation du diamètre distal des plants inoculés e deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines d en milieu sous-abri.....	75
<b>Figure 17:</b> Rendement de production de plants sains et inoculés de variétés de tomate Cobra et Rio en 2018.....	83
<b>Figure 18:</b> Variation du diamètre apical des plants de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en champ.....	85

<b>Figure 19:</b> Variation du diamètre distal des plants de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en champ.....	86
<b>Figure 20:</b> Rendement de production de la tomate de variétés de tomate Cobra et Rio pendant deux ans de culture en champ. ....	92
<b>Figure 21:</b> Diagramme de corrélations entre quelques composés bénéfiques des fruits de tomate du champ (A) et du milieu sous-abri (B) .....	108
<b>Figure 22:</b> Pourcentage des différents groupes de microorganismes dans différents sols, (A): milieu sous-abri; (B): champ .....	129
<b>Figure 23:</b> Diagramme de corrélation des indicateurs de la fertilité des sols en champ .....	131

## RESUME

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est un fruit cultivé non seulement pour sa rentabilité économique mais aussi pour sa qualité nutritionnelle. Cependant le rendement de production demeure faible à cause des attaques des pathogènes et insectes même lorsque les plants sont traités avec les intrants chimiques de synthèse. Ainsi, la présente étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de l'utilisation de l'extrait de *Callistemon citrinus* et d'un biofertilisant à base de *Tithonia diversifolia* et de la bouse de vache sur le rendement de production et la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et le sol.

Les expériences ont été menées en champ et en milieu sous-abri, les variétés utilisées étaient Cobra et Rio et les traitements appliqués étaient l'amendement (sol non amendé, amendement *Tithonia diversifolia* + bouse de vache et amendement NPK 21/8/8 + sulfate de potassium) et la pulvérisation (l'eau, l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5% (CAL) et mancozeb 5% (M)). En milieu sous-abri, les plants de tomate ont été inoculés avec une souche de *Fusarium oxysporum* f.sp vasinfectum. Les paramètres agronomiques ont été mesurés pendant 4 semaines à partir du 69<sup>ème</sup> jour après semis en milieu sous-abri et en champ. Pendant les deux premières semaines d'observation, une réduction de 56% de la sévérité de la fusariose a été observée chez les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL comparée aux mêmes plants pulvérisés avec M. En milieu sous-abri, le rendement de production (Rdt) le plus important de 690 g/plant a été enregistré chez les plants inoculés issus du sol amendé organiquement (AO) et pulvérisés avec CAL. En champ, le traitement AO.M a permis d'obtenir le meilleur Rdt comparé au traitement AI.M, soit une augmentation de 186% et la variété Cobra (107 t/ha) était 4 fois plus productive que la variété Rio (23,7 t/ha).

L'impact des intrants sur la qualité nutritionnelle des fruits a été déterminé en analysant: les macro et micro éléments, les composés bioactifs, les activités antioxydantes et en déterminant leur profil phénolique. Les fortes teneurs en fibres brutes (30,8%), zinc (35,8 µg/g MS), polyphénols totaux (253,7 mg EAG/100 g MS) et la meilleure capacité antioxydante totale (1334 mg EAA/ g MS) ont été enregistrées chez les fruits de tomate de variété Cobra (V1) pulvérisés avec CAL alors que les fruits de tomate de variété Rio (V2) étaient plus riches en fer (85,53 µg/g MS), manganèse (57,5 µg/g MS) et en lycopène (2,81 mg/100 g MS). Quatorze (14) polyphénols ont été déterminés, V1.CAL était le plus riche en acide shickimique (6692,16 mg/kg MS) et V2.CAL en acide carnosique (5905,90 mg/kg MS).

Pour une agriculture durable, l'analyse des propriétés physico-chimiques du sol ont montré que le sol AO demeure le plus riche en nutriments en milieu sous-abri. La capacité

d'échange cationique effective (45 cmol/kg) et du Ca (15 cmol/kg) étaient significativement plus élevées dans les sols amendés que dans le sol non amendé en champ. Le sol issu du champ paysan était plus riche en métaux lourds, avec une augmentation d'environ 42% du cuivre dans ce sol. Ce sol a aussi présenté la plus faible concentration en biomasse microbienne en carbone.

Ces résultats pourraient contribuer à réduire l'utilisation des intrants chimiques de synthèse tout en protégeant l'écosystème. L'utilisation de l'extrait aqueux de CAL comme biopesticide, de *Tithonia diversifolia* et de la bouse de vache comme biofertilisant est un atout pour les paysans car non seulement accessible, mais améliore la qualité des fruits de tomate obtenus.

**Mots clés:** Tomate, *Callistemon citrinus*, Bouse de vache, *Tithonia diversifolia*, Qualité nutritionnelle, Profil phénolique, Sol

## ABSTRACT

The tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is a vegetable cultivated not only for its economic profitability but also for the nutritional quality of its fruits. However, the production yield remains low due to pathogen and insect attacks despite the use of synthetic chemical inputs to treat the plants. Thus, the objective of this study was to assess the effect of the use of *Callistemon citrinus* extracts and a bio fertilizer composed of *Tithonia diversifolia* and cow dung on the yield and the quality of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and soil.

The varieties used during net house and field assay were Cobra and Rio varieties and treatments applied were amendment (soil non amended, amendment with *Tithonia diversifolia* + cow dung and amendment with NPK 21/8/8 + potassium sulfate) and the spraying (water, aqueous extract of *Callistemon citrinus* 5% (CAL) and mancozeb 5% (M)). In a net house, tomato plants were inoculated with a strain of *Fusarium oxysporum f.sp vasinfectum*. The agronomic parameters were measured for 4 weeks from the 69th day after sowing in a net house and under field condition. A 56% reduction in disease severity was observed in Cobra plants sprayed with the CAL compared to the same plants sprayed with M during the first two weeks of observation. In a net house, the highest yield 690 g/plant was obtained in plants inoculated grown in organically amended soil (OA) and sprayed with CAL. In the field, OA.M treatment gave the best yield compared to AI.M treatment with an increase of 186% and the Cobra variety (107 t/ha) was 4 times more productive than the Rio variety (23.7 t/ha).

The impact of the inputs on the nutritional quality of the fruits was determined by analysing the: macro and microelements, bioactive compounds, antioxidant activities and determining the phenolic profile. High levels of crude fibre (30.8%), zinc (35.8 µg/g MS), total polyphenols (253.7 mg EAG/100 g DM) and the best total antioxidant capacity (1334 mg EAA/g MS) were recorded in the Cobra variety of tomato fruits (V1) sprayed with CAL while Rio variety (V2) tomato fruits were higher in iron (85.53 µg/g MS), manganese (57.5 µg/g MS) and lycopene (2.81 mg/100 g MS). Fourteen (14) polyphenols were determined; V1.CAL was the richest in shickimic acid (6692.16 mg/kg DM) and V2.CAL in carnosis acid (5905.90 mg/kg DM).

For sustainable agriculture, the physicochemical properties analyse of the soil has shown that OA soil remains the most nutrient-rich soil in the net house. The effective cationic exchange capacity (45 cmol/kg) and Ca (15 cmol/kg) were significantly higher in amended soils than non amended soil in the field. The soil from the peasant field was richer in heavy



metals, with an increase of about 42% in copper in this soil. This soil also had the lowest microbial biomass in carbon concentration.

These results could help reduce the use of synthetic chemical inputs while protecting the ecosystem. The use of the aqueous extract of CAL as a bio pesticide, *Tithonia diversifolia* plus cow dung as a bio fertilizer is an asset for farmers because it is easily accessible and improve the quality of tomato fruits obtained.

**Keywords:** Tomato, *Callistemon citrinus*, Bouse de vache, *Tithonia diversifolia*, Nutritional Quality, Phenolic Profile, Soil

# INTRODUCTION GENERALE

# INTRODUCTION

## CONTEXTE ET JUSTIFICATION

La population mondiale en 2019 était estimée à 7,75 milliards d'habitants; cette dernière augmente chaque année d'environ 1,2%. En Afrique, on assiste à une augmentation de 30,71 millions par an (FAOSTAT in UNDESA, 2020). La division de la population des Nations Unies estime que d'ici 2050, il y'aura 9,7 milliards d'habitants sur terre soit environ 30% de plus qu'en 2019. Cette croissance démographique pourrait avoir comme conséquence une carence alimentaire chronique. C'est ainsi que pour la troisième année consécutive, la faim gagne davantage du terrain dans le monde. Le nombre absolu de personnes sous-alimentées c'est-à-dire souffrant d'une carence alimentaire chronique est passé de 804 millions en 2018 à plus de 821 millions en 2019. Ce nombre est plus élevé qu'il y'a de cela dix ans. Le monde souffre de la sous-alimentation; soit 21% en Afrique, 11,5% en Asie et 5% en Amérique du Sud (FAOSTAT, 2020). Il est très important de garantir la sécurité alimentaire pour maintenir la génération présente et future (Brar *et al.*, 2012). Et aussi, intensifier la culture des plantes riches en nutriments énergétiques, sels minéraux, vitamines comme celle de la tomate.

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est une plante herbacée cultivée pour son fruit charnu (Ahmed *et al.*, 2012); riche en vitamines A, B et C, en anthocyanines et composés phénoliques (Mutalib *et al.*, 2016). Ces derniers ont des propriétés antioxydantes (Kou *et al.*, 2009); anti-obésité (Abdul Kadir *et al.*, 2015); anti-cancéreuses Mutalib *et al.* (2017). En plus de ces valeurs, la tomate est économiquement rentable; ce qui justifie l'accroissement de sa production. En 2017, la production mondiale de la tomate était de 188 million de tonnes alors qu'au Cameroun, elle était à peine de 12,1 million de tonnes; soit plus de 15 fois inférieure à la production mondiale (FAOSTAT, 2020).

La baisse du rendement de production de la tomate peut être due à la qualité du sol entre autres sa déficience en micronutriments (Ejaz *et al.*, 2011). Les sols sont le produit et le support du développement de la végétation. Ils constituent le maillon central dans la régulation des grands cycles globaux tels que ceux de l'eau, du carbone et de l'azote (Gis Sol, 2011). Et la fertilité du sol est sa capacité à fournir des nutriments nécessaires aux plants pour une croissance convenable et un bon développement (Baker, 2010). Or, la tomate est une plante dont la culture exige des fortes teneurs en minéraux dans le sol, surtout pendant la nouaison où la nutrition optimale en potassium augmente (Huett et Dettmann, 1988). Cependant, le diagnostic de la fertilité des sols du Cameroun fait ressortir d'une part une faible fertilité due

aux conditions naturelles et d'autre part, un déclin de la fertilité résultant du mode de gestion inapproprié des sols qui de manière insidieuse induit la dégradation des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de ces sols (Golchin *et al.*, 1995; Tejada *et al.*, 2006). Parmi les causes les plus fréquentes de cette baisse de fertilité, on peut citer des déséquilibres alimentaires (eau, éléments fertilisants) Courchinoux (2008) et la pauvreté des sols en matière organique observée à la suite d'un amendement inadéquat ou à l'intensification de la production (Lompo *et al.*, 2009). Il existe plusieurs sources et types d'amendements organiques utilisés pour améliorer la fertilité et la qualité du sol de même que la productivité. Les matériaux utilisés pour l'amendement incluent les déchets animaux, ménagers, les engrais verts, composts et biosolides (Goss *et al.*, 2013). L'épandage du fumier ou compost permet de restaurer la fertilité du sol notamment en azote et matière organique (Seh *et al.*, 2012; Hannachi *et al.*, 2015). L'apport en matière organique qui en résulte améliore la stabilité du sol, ainsi que sa capacité de rétention en eau, le rendant par conséquent moins sensible à l'érosion (Seh *et al.*, 2012). Cet apport également augmente la biomasse microbienne du sol qui est directement liée à son activité microbienne. Les microorganismes du sol régulent la décomposition de la matière organique du sol et leur transformation en nutriments (Zhao *et al.*, 2017; Sorensen *et al.*, 2018).

La production de la tomate au Cameroun souffre encore de nombreuses contraintes biotiques. Une analyse phytosanitaire des cultures et un échantillonnage réalisés dans des sites de culture de la tomate au Cameroun dans les Régions du Centre (Yaoundé) et de l'Ouest (Dschang) ont révélé une récurrence des maladies fongiques causées par plusieurs champignons parmi lesquels *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary responsable du mildiou des Solanacées, *Alternaria* spp à l'origine de l'alternariose, *Pythium* spp responsable de la fonte des jeunes plants de tomate, *Rhizoctonia solani* responsable de la rhizoctonie et *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* qui cause le jaunissement foliaire, les flétrissements et la fonte des semis (Fontem, 2003). Ces champignons phytopathogènes causent des pertes en champs allant de 46 à 100% (Konje *et al.*, 2019). Les maladies bactériennes ont aussi été enregistrées; il s'agit de: flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* Smith et le chancre bactérien causé par *Clavibacter michiganensis* spp Fontem *et al.* (1999). On note également les pertes de production de plus de 90% liées à présence des insectes à l'instar de la mouche de fruit (*Dacus cucurbitae*) Goufo *et al.* (2010).

Pour faire face à ces contraintes, les agriculteurs utilisent les agrochimiques de synthèse (pesticides et fertilisants inorganiques). L'emploi des pesticides de même que leurs résidus posent un véritable problème de santé publique non seulement pour les paysans qui sont les

plus exposés, mais aussi pour la population en générale qui consomme les produits agricoles (Savary et Teng, 1994). On note un fort taux de toxicité aigüe, la survenue des maladies de Parkinson, de nombreux cancers dus au contact avec les pesticides (Elbaz *et al.*, 2004; Galanaud *et al.*, 2005) et aussi l'auto-empoisonnement et les dommages du système nerveux (Wang *et al.*, 2015). Bon nombre de pesticides chimiques utilisés en agriculture ont un large spectre et ne sont pas spécifiques à une cible, car ils peuvent détruire non seulement le pathogène ou le ravageur pour lequel ils ont été utilisés mais aussi éliminent la faune utile (abeilles, prédateurs, les parasitoïdes, les oiseaux, les vers de terre) et causent l'apparition des souches de pathogènes de plus en plus résistantes (Savary et Teng, 1994; Brar *et al.*, 2012). Les fertilisants inorganiques bien qu'ayant montré leurs efficacités, sont responsables de l'acidification des sols, de la diminution de l'activité microbiologique des sols (Monkiedje *et al.*, 2006) et de l'accumulation à long terme de métaux lourds dans le sol et l'eau. Ils se posent de ce fait un réel problème de santé publique (Zinkakuba *et al.*, 2019). Par conséquent, il devient impératif de privilégier les méthodes alternatives respectueuses de l'environnement et de la santé des animaux et des hommes. Crespo *et al.* (2011) ont montré que *Tithonia diversifolia*, est une source efficace en nutriments et peut améliorer les propriétés physico-chimiques du sol. De même, la bouse de vache a cette capacité de séquestrer le carbone dans le sol; de stocker et de libérer les éléments nutritifs sur une longue période (Diacono et Montemurro, 2010). En plus, *Callistemon Citrinus* est utilisé comme biopesticide en raison de son activité antifongique notamment contre les *Phytophthora infestans* de la tomate (Galani *et al.*, 2013; Dakole *et al.*, 2016) et contre *Alternaria padwicki*, *Bipolaris oryzae* du riz (Nguefack *et al.*, 2013).

Au Cameroun, la région du Centre produit abondamment la tomate et les paysans sont de plus en plus confrontés aux défis de rendement de production. L'utilisation des engrais organiques comme les feuilles de *Tithonia diversifolia* et la bouse de vache ; de même que le biopesticide à l'instar des extraits de *Callistemon citrinus* pourrait les aider non seulement à augmenter le rendement, mais également à améliorer la qualité des fruits produits, le sol et l'environnement. Voilà pourquoi notre recherche porte sur le thème : « Effet d'utilisation des extraits de *Callistemon citrinus* et d'un biofertilisant à base de *Tithonia diversifolia* et de la bouse de vache sur la production et la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du sol.

## QUESTIONS DE RECHERCHE

Comment les intrants organiques (*Tithonia diversifolia* et la bouse de vache, *Callistemon citrinus*) utilisés dans cette étude peuvent-ils augmenter la production et améliorer la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du sol ?

Plus précisément:

En quoi les intrants organiques (*Tithonia diversifolia* et la bouse de vache, *Callistemon citrinus*) vont-ils contribuer au contrôle des maladies de la tomate et l'amélioration des paramètres agronomiques ?

Dans quelles mesures les extraits de *Callistemon citrinus* vont-ils augmenter la qualité nutritionnelle des fruits de tomate ?

En quoi les intrants organiques (*Tithonia diversifolia* et la bouse de vache, *Callistemon citrinus*) vont-ils pouvoir préserver la teneur en nutriments du sol et la microflore à la fin de la culture de la tomate?

## HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Les intrants organiques (*Tithonia diversifolia* et Bouse de vache, *Callistemon citrinus*) contrôlent les maladies de la tomate et améliorent les paramètres agronomiques;

Les extraits de *Callistemon citrinus* augmentent la qualité nutritionnelle des fruits de tomate;

Les intrants bonifient le sol en nutriments et préservent la microflore du sol pendant la culture de la tomate.

## OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de ce travail était d'évaluer l'effet de l'utilisation des extraits de *Callistemon citrinus* et d'un biofertilisant (*Tithonia diversifolia* et bouse de vache) sur la production et la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du sol.

## OBJECTIFS SPECIFIQUES

Il s'agissait plus spécifiquement d':

- ❖ Evaluer l'effet combiné de *Tithonia diversifolia* + Bouse de vache et des extraits de *Callistemon citrinus* sur les paramètres agronomiques de la tomate en milieu sous-abri et en champ;

- ❖ Évaluer l'impact de ces traitements sur la qualité nutritionnelle des fruits de tomate et déterminer le profil phénolique de ces fruits;
- ❖ Analyser les propriétés physico-chimiques et la microflore bénéfique du sol durant la culture de la tomate ayant reçu ces traitements.

REVUE DE LA LITTERATURE



# CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTERATURE

## I.1. Généralités sur la Tomate

### I.1.1. Historique

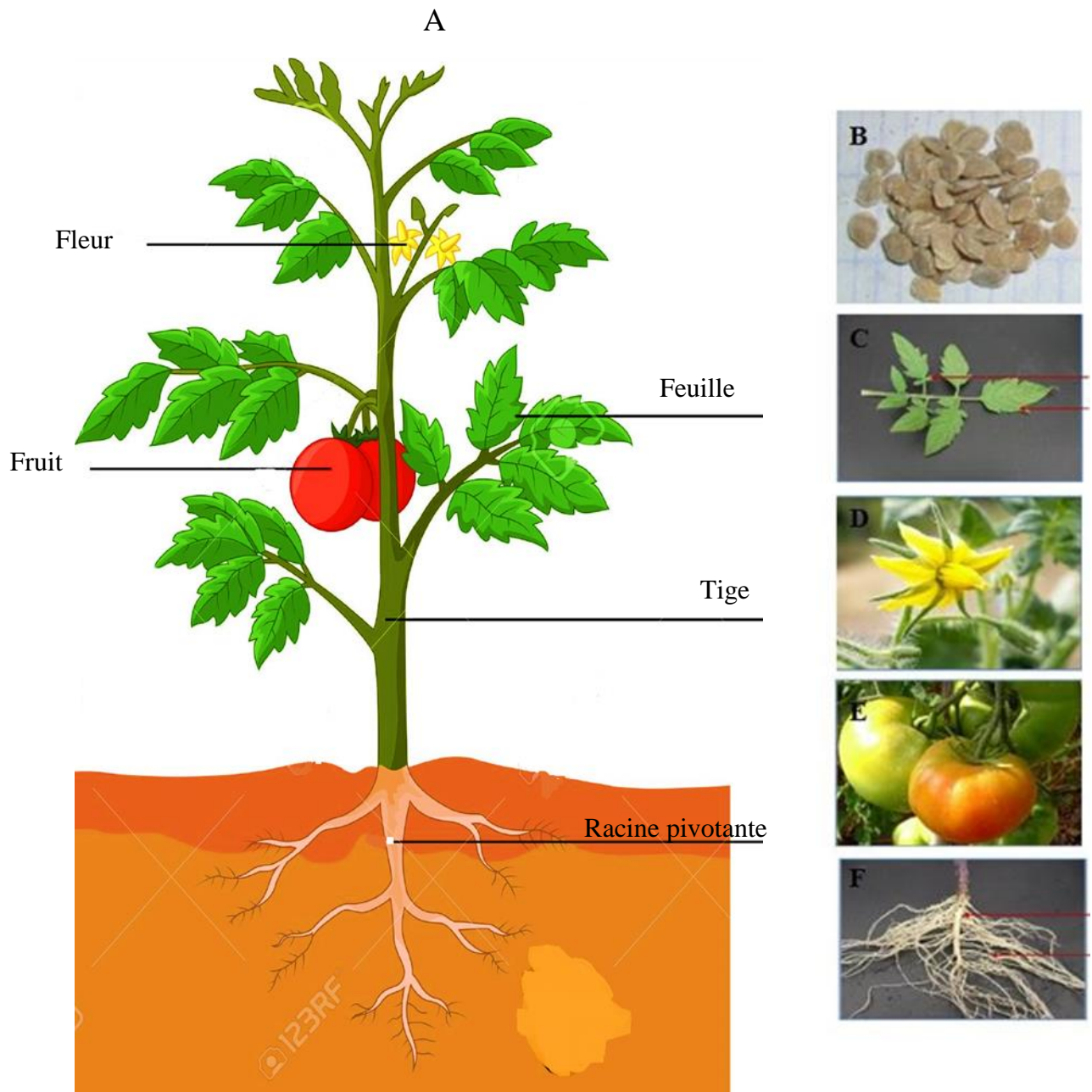
La tomate est originaire des côtes de l'Amérique du Sud, de l'Equateur au Chili (Tan *et al.*, 2010; Naika *et al.*, 2005). Elle a été domestiquée à partir de l'espèce *Lycopersicon esculentum* var *cerasiforme*, puis introduite en Méso-Amérique et cultivée uniquement dans la région de Vera Cruz par les Aztèques. La conquête du Mexique en 1519 permit à la tomate de traverser l'Atlantique. Elle fit son entrée officielle dans la botanique européenne en 1544 dans l'ouvrage du botaniste italien Petrus Matthiolus. Cependant, la littérature scientifique du début du 15<sup>ème</sup> siècle décrète la tomate impropre à la consommation car celle-ci, étant de la famille des Solanacées, est parente de la mandragore, une plante toxique (Paran et Van der Knaap, 2007). Dès le début du 17<sup>ème</sup> siècle, la tomate connaît une popularité grandissante des populations. Ce n'est qu'au milieu du 18<sup>ème</sup> siècle que la plante devint comestible (Dore et Varoquaux, 2006). A la fin de ce siècle, la plante se dispersait dans plusieurs endroits en Asie et en Amérique du Nord. Sa propagation continua au cours du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle et aujourd'hui, elle est cultivée partout dans le monde (Naika *et al.*, 2005).

### I.1.2. Taxonomie et Botanique

La tomate obéit à la classification suivante (USDA, 2013).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Sous-division	Spermatophyta
Division	Magnoliopsita
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Solanum L.</i>
Espèce	<i>Solanum lycopersicum</i>
Nom scientifique	<i>Solanum lycopersicum</i>
Nom commun	Tomato
Synonyme	<i>Lycopersicum esculentum</i>

La tomate est une plante herbacée annuelle. Sa forte racine pivotante pousse jusqu'à une profondeur de 0,5 m ou plus. Sa racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices. La tige de tomate pousse jusqu'à une hauteur de 2 à 4m; elle est pleine, fortement poilue et glandulaire. Les feuilles de tomate sont disposées en spirale 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm. Les fleurs sont bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En général, il y'a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y'a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 et 9 carpelles. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. Les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs. Le fruit quant à lui est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés. Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. Mille (1000) graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5gramme (g) (Naika *et al.*, 2005). La jeune plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de développer sa première inflorescence. La floraison débute 56 à 70 jours après semis avec une première inflorescence de 4 à 12 fleurs qui donnera le premier bouquet de fruits. La maturation des fruits intervient 42 à 56 jours après le plein développement de la fleur (Figure 1). Le cycle de production est compris entre 80 et 120 jours (Spooner *et al.*, 1993; Polese, 2007). Selon le nombre de feuilles qui séparent deux bouquets floraux, on distingue des variétés à croissance « déterminée » et des variétés à croissance « indéterminée » (Blancard *et al.*, 2009). Chez les variétés à croissance déterminée, les sympodes comportent 1 à 3 feuilles et la formation des inflorescences n'est pas suivie de rameaux à l'aisselle de la dernière feuille formée. A l'opposé, les variétés dites indéterminées présentent une croissance sympodiale. Chaque sympode est constitué de 3 feuilles, d'une inflorescence et des ramifications à l'aisselle des feuilles (Blancard *et al.*, 2009).



**Figure 1:** Plant de tomate, (A): Plant entier, (B): Semences, (C): Feuilles, (D): Fleurs, (E): Fruits, (F): Tige et Racines Plant.

### I.1.3. Ecologie

Ayant une origine tropicale, la tomate a des exigences particulières. Elle est sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds et est très exigeante en température. La température est le facteur déterminant dans la production de la tomate. Elle influence la croissance végétative, la formation des grappes florales, la fructification, le développement des fruits, le mûrissement et la qualité des fruits. Les basses températures ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) ralentissent la croissance et le développement des plantes. Il en résulte un raccourcissement des entrenœuds et la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production, en plus d'une

ramification des bouquets et des difficultés de nouaison. Par contre, les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui peut avorter et de la maturation des fruits (Chibane, 1999; OECD, 2016). Les températures optimales sont comprises entre 20 et 25°C le jour et 13-17°C la nuit.

La culture de la tomate peut supporter une humidité relative qui varie de très faible à très élevée. Une humidité relative de 75% est jugée optimale. La croissance est généralement favorisée par un taux élevé d'humidité relative, et un taux élevé durant le jour peut aussi améliorer la fructification. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres, avec moins de gerçures et sans défaut de coloration. Lorsque ce taux est bas, l'irrigation est absolument nécessaire, et lorsqu'il est élevé, des maladies peuvent se manifester, notamment le botrytis et le mildiou. La tomate est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. De même, la réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. Pour la culture des tomates, l'éclairage est plus d'importance durant les journées courtes et sombres de la fin d'automne et de l'hiver. En général, la tomate s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablolimoneuse est préférable (Elattir *et al.*, 2003). La culture de la tomate tolère une large gamme de pH, les sols fortement acide ou basique diminuent la taille des fruits (Doss *et al.*, 1977; Papadepoulos et Rendind, 1983; Elattir *et al.*, 2003). Néanmoins, dans les sols à pH basique, certains micro-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles à la plante.

#### **I.1.4. Culture de la tomate**

##### **I.1.4.1. Irrigation**

L'irrigation est très importante pour assurer le bon développement de la plante pendant la phase de croissance végétative, mais elle est encore plus importante pendant la formation des fruits (Naika *et al.*, 2005; Schiffers, 2011). Une carence en eau pendant cette période, entraîne la chute des bourgeons et des fleurs puis provoque le fendillement des fruits. Une alimentation en eau irrégulière provoque des nécroses apicales sur fruits (taches brun foncées concentriques au bout du fruit), dues au ralentissement de la migration du calcium vers les fruits. Cependant, des excès d'eau peuvent provoquer des carences en éléments minéraux (magnésium, phosphore, azote) et favoriser le développement des maladies fongiques, des moisissures ou des pourritures importantes des fruits (Naika *et al.*, 2005; Blancard *et al.*, 2009; Schiffers, 2011). Dans le cas de culture sur sols argileux, on choisira si possible l'irrigation gravitaire à la raie pour éviter de créer un milieu humide dans le feuillage (risques accrus d'attaques de champignons). En

l'absence de pluies, une périodicité de 3 à 4 jours semble indispensable pour l'irrigation (2 à 3 jours en sols sableux). (Courchinoux, 2008).

#### **I.1.4.2. Fertilisation**

La tomate réagit très bien à l'apport de fumier ou de compost bien décomposé réalisé avant la plantation. Attention toutefois aux germes présents dans ces apports naturels. Ils peuvent contenir des souches de maladies sous forme de champignons microscopiques, de virus ou de bactéries. D'où la nécessité de veiller à utiliser des composts bien décomposés.

L'utilisation d'engrais chimiques est toutefois recommandée, au moins pour restituer au sol les éléments fertilisants comme l'azote (N), le phosphore (P) et la potassium (K).

- L'azote est surtout utile pour assurer la croissance des parties vertes de la plante. L'excès d'azote peut prolonger la croissance végétative et retarder ainsi la production des fruits.
- Le phosphore est une source d'énergie pour la plante, il favorise notamment la croissance des racines et des tiges (Courchinoux, 2008).
- La potasse est importante pour l'équilibre de la plante et ses besoins se font surtout sentir pour la formation des fruits, d'où l'intérêt d'apporter cet élément juste avant la fructification.

La première fertilisation doit avoir lieu avant la préparation de la parcelle, afin d'enfouir l'engrais dans le sol, en le localisant à l'emplacement des futures lignes de tomates. Pour cet apport de « fond », il est recommandé d'utiliser un engrais complet de type 20-10-10. Pour une bonne croissance et la formation des fruits il est important d'apporter les engrais suivants de chaque côté des lignes de tomates : avant le premier buttage, il est recommandé d'utiliser le sulfate d'ammoniaque et avant le second buttage utiliser le sulfate d'ammoniaque et le sulfate de potasse (Courchinoux, 2008).

#### **I.1.5. Production de la tomate**

La tomate est cultivée dans de nombreux pays environ 177, sur la superficie estimée à 4782753 ha en 2018. Le développement que connaît la filière tomate depuis quelques années se caractérise par un niveau de production croissant. Les plus grands producteurs mondiaux en 2016 sont la chine, l'Inde, les Etats-Unis. Au Cameroun, la production est passée de 1127158 tonnes pour une superficie récoltée de 98910 ha en 2017 à 1068475 tonnes pour une superficie récoltée de 93762 ha en 2018 (FAOSTAT, 2020).

**Tableau I:** Les principaux pays producteurs de la tomate en 2018 (FAOSTAT, 2020)

<b>Pays</b>	<b>Production (t)</b>
Chine	61631581
Inde	19377000
Etats-Unis	12612139
Turquie	12150000
Egypte	6624733

## **I.1.6. Importance de la tomate**

### **I.1.6.1. Importance des constituants de la tomate**

Les fruits de tomate sont majoritairement constitués d'eau et contiennent peu de lipides et protides. La matière sèche des fruits est principalement composée de sucres (Tableau II). On rencontre également dans les fruits mûrs de tomate l'acide citrique, les vitamines A, C et E, les fibres (1,8%), les acides aminés essentiels, les sels minéraux (potassium, chlore, magnésium, phosphore) et les oligoéléments (fer, zinc, cuivre, bore, cobalt, iode, nickel). L'intérêt nutritionnel de la tomate réside également dans le fait que ces fruits contiennent de nombreux métabolites secondaires et des antioxydants (Grasselly *et al.*, 2000).

**Tableau II:** Composition des fruits de tomate consommables (Grasselly *et al.*, 2000)

<b>Nutriments (g/100g MF)</b>	<b>Variations</b>	<b>Minéraux (g/100g MF)</b>	<b>Variations</b>
<b>Eau</b>	93,4-95,2	<b>Ca</b>	9,7-15
<b>Protides</b>	0,9-1,1	<b>K</b>	202-300
<b>Lipides</b>	Trace-0,3	<b>Na</b>	3-11
<b>Glucides</b>	2,8-4,7	<b>P</b>	20-27
<b>Fibres</b>	0,5-1,5	<b>Fe</b>	0,2-0,6
<b>Sels minéraux</b>	0,6	<b>Mg</b>	3-11

La structure des phénols végétaux, leur confère une activité antioxydante aussi importante que celles des vitamines C et E (Rice-Evans *et al.*, 1997). Leur mode d'action est une combinaison de réactions chimiques (chélation de métaux, la donation d'hydrogène ou d'électron) qui interrompt les réactions d'oxydation de molécules, comme l'ADN, les lipides ou les protéines, en formant des radicaux plus stables et contribue à la baisse des teneurs en radicaux libres (Rice-Evans *et al.*, 1997; Sawa *et al.*, 1999; Hollman, 2001). Ces composés interviennent également à différents stades de développement des cancers, notamment en stimulant la mort de cellule et en inhibant certaines enzymes. Pendant longtemps, l'action

bénéfique de la consommation des fruits et légumes a été principalement reliée aux teneurs en composés antioxydants de ces aliments.

Les flavonoïdes ont un rôle de filtre contre le rayonnement UV, ce qui explique leur localisation dans les tissus externes (Gould et Lister, 2006). Les flavonoïdes comme les dérivées hydroxycinnamiques jouent un rôle important dans la résistance des plantes aux stress environnementaux (Walton et Brown, 1999). Lors de blessures ou d'attaques de pathogènes fongiques et bactériens, la synthèse de composés phénoliques est stimulée ou induite. Ces molécules, des phytoalexines, peuvent alors jouer un rôle de défense (Koes *et al.*, 1994; Macheix *et al.*, 2005). Les flavonoïdes ont une activité antiinflammatoire ce qui favorise la circulation capillaire et améliore le tonus veineux (Manthey, 2000; Kanaze *et al.*, 2003).

Le lycopène est l'antioxydant le plus actif des caroténoïdes alimentaires (Agarwal et Rao, 2000), qui donne sa couleur rouge à la tomate mûre. Il est également le caroténoïde prédominant de la tomate avec un taux de plus de 95% (Tonucci *et al.*, 1995).

Les teneurs en vitamine C et en pigments des fruits de tomate diffèrent selon les variétés.

**Tableau III:** Composition en vitamine C et pigments exemple de quelques variétés de tomate récoltées et analysées 24h après récolte (Navez, 2011)

Variétés	Composés bioactifs (mg/100g MF)		
	Vitamine C	Carotène	Lycopène
Labell	13,5	0,9	2,8
Picolino	24,4	1	2,9
Allessia	34,2	1,4	4,3
Cheers	15,8	1	2,1
Quest	12,8	0,8	3,6

### I.1.6.2. Importance économique de la tomate

Les tomates en boîte de conserve et séchées sont les produits de transformation économiquement importants. La tomate est devenue une importante culture lucrative et industrielle dans diverses régions du monde (Van der Vossen *et al.*, 2004).

Au Cameroun, la tomate produite est non seulement vendue localement mais aussi exportée dans la sous-région Afrique centrale (Fontem *et al.*, 1999; Ntonifor *et al.*, 2013). 17,7 tonnes et 1564,8 tonnes de tomate sous forme de fruits ont été respectivement exportées vers le Gabon et la Guinée Equatoriale en 2010 (Anonyme, 2011). Elle constitue donc un ensemble d'activités

lucratives, d'emploi pour plusieurs camerounais, surtout pour les populations évoluant dans le secteur informel des zones rurales et périurbaines (AGRISTAT, 2009).

### **I.1.7. Contraintes liées à la production de la tomate**

La culture de la tomate est confrontée à de nombreuses contraintes: exposition aux maladies virales, bactériennes et fongiques (mildiou, alternariose, anthracnose, septariose, fusariose), aux ravageurs et aux mauvaises conditions climatiques (FONTEM, 2003; Blancard, 2009).

#### **I.1.7.1. Contraintes liées aux ravageurs**

Dans la multitude de ravageurs de la tomate, on distingue:

- Les acariens (araignées rouges) se manifestent par la présence de petites ponctuations jaunes sur les folioles, de nombreuses toiles soyeuses, des plages luisantes sur tiges, des folioles de couleur vert bronze, le dessèchement et chute des folioles et des feuilles;
- Les Aleurodes (mouches blanches) à l'exemple de *Bemisia tabaci* interviennent dans la transmission des virus;
- Les Pucerons provoquent l'enroulement des feuilles, la crispation des jeunes folioles avec arrêt de croissance;
- Les noctuelles provoquent la perforation des folioles, trous sur fruits provoquant la maturation prématurée avec des cavités dans les fruits. L'espèce la plus fréquente: *Heliothes armigera*;
- Les thrips se manifestent par des tâches claires formées de petits points blancs nacrés brunissant peu à peu. Sur les jeunes pousses, la salive toxique induit un raccourcissement des entre-nœuds. Les thrips se nourrissent de grains de pollen, détruisent les étamines;
- Les mineuses provoquent des galeries sinueuses entre les épidermes. En cas de forte attaque par *Tuta absoluta*, il s'en suit un dessèchement total du feuillage (Snoussi, 2010).

#### **I.1.7.2. Contraintes liées aux pathogènes**

##### **I.1.7.2.1. Bactérioses**

La tomate est généralement la cible de plusieurs maladies bactériennes

- La gale bactérienne causée par *Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria* se manifeste par la formation sur les feuilles de petites taches aqueuses brunâtres entourées d'un halo jaune qui noircissent;



- Le flétrissement bactérien « bacteria wilt » de la tomate est causé par *Pseudomonas solanacearum* (*Ralstonia solanacearum*) et se manifeste par un ramollissement des feuilles qui fanent de façon unilatérale sans jaunir;
- La moucheture bactérienne causée par *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* se manifeste par des taches noires sur les feuilles, des taches brunes nécrotiques sur les fruits.

#### **I.1.7.2.2. Viroses**

- Le Virus de la Mosaïque du Tabac sur la tomate (Tobacco Mosaic tobamovirus, TMV) provoque l'apparition d'une mosaïque en zone claire et foncée sur les feuilles et se transmet par simple contact par les semences et les débris de végétaux laissés dans le sol (il n'est pas transmis par les insectes);
- Le virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate (Tomato Yellow Leaf Curl, Geminivirus III, TYLCV...) se manifeste par le rabougrissement buissonneux de la tomate et un enroulement apical des feuilles (Idrenmouche, 2011).

#### **I.1.7.2.3. Maladies causées par les nématodes**

Les nématodes de la tomate sont nombreux et se manifestent par la formation de nombreuses nodosités (gales) sur les racines avec comme conséquence une perturbation de l'absorption racinaire. On peut citer entre autres *Meloïdogyne icognita*, et *Meloïdogyne javanica*.

#### **I.1.7.2.4. Maladies fongiques**

##### **➤ Cas de l'alternariose**

C'est une maladie causée par *Alternaria solani*. Elle se manifeste par des taches brunes au collet en pépinière puis sur les feuilles en plein champ. Elles s'élargissent en forme circulaire et il s'en suit un dessèchement complet.

##### **➤ Cas de l'anthracnose**

C'est une maladie causée par le champignon *Colletotrichum coccodes*. La maladie apparaît vers la fin de la période végétative lorsque le climat est chaud et humide, le sol asphyxiant, les plants sénescents ou affaiblis par d'autres maladies ou carences minérales (azote, phosphore). Les symptômes en végétation apparaissent de manière sporadique et se manifestent surtout en provoquant des taches minuscules entourées d'une zone jaunâtre parfois sur les feuilles âgées et les tiges, un enroulement vers le haut, puis un dessèchement des tiges.

### ➤ Cas du mildiou

Le mildiou, encore appelé « late blight », est une maladie causée par le champignon *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, qui provoque une défoliation importante des plantes et le pourrissement des feuilles et des fruits de tomate (Agrios, 2005). Des taches grisâtres ou vertes brunes apparaissent tout d'abord autour du calice (Figure 2A), puis s'agrandissent en brunissant au fur et à mesure que le fruit grossit. Sur les feuilles de tomate, on note un pourrissement à l'extrémité (Figure 2B). Les fruits se voient contaminés sur pieds lorsqu'ils sont encore verts. La peau des fruits se ride, se craquèle et se déprime (Figure 2C). En dessous de cette peau, la chair demeure ferme, ne mûrit pas, et ultérieurement reste gorgée d'eau.



**Figure 2:** Symptômes mildiou (A): sur le calice; (B) sur les feuilles; (C): sur le fruit de la tomate (photo Ndonkeu, 2017).

### ➤ Cas de la fusariose

La fusariose est causée par *Fusarium oxysporum*. Ce mycète ne s'attaque qu'à certains cultivars. Les plantes infectées par ce mycète du sol présentent un jaunissement des feuilles et un flétrissement se propageant à partir de la base de la tige. Au départ, les symptômes ne sont visibles que sur une seule moitié de la surface des feuilles, des branches ou des plantes, avant de se propager à l'ensemble de la plante (Messiaen *et al.*, 1994; Arturo *et al.*, 2017). En pépinière, les plantules affectées voient leur croissance réduite. Les jeunes plants peuvent flétrir totalement et mourir. Une coupe dans la tige révèle une teinte brune des vaisseaux assez marquée. Ainsi, certaines vieilles feuilles présentent des jaunissements unilatéraux, c'est-à-dire affectant les folioles situées sur un côté des feuilles et un secteur du limbe, c'est une des caractéristiques des maladies vasculaires. Ces jaunissements des tissus foliaires sont souvent associés à des flétrissements plus ou moins importants ayant tendance à s'accroître aux

moments les plus chauds de la journée. Des feuilles finissent par se dessécher totalement, mais ne tombent pas. Par la suite, ces symptômes secondaires gagnent les autres folioles et se généralisent à terme à la plante qui, peut se dessécher totalement et mourir (Figure 3). Le système vasculaire est particulièrement affecté. Il prend une teinte brun sombre, ce qui différencie la fusariose de la verticilliose. (Michielse *et al.*, 2009).

### **Taxonomie et description morphologique de *Fusarium oxysporum***

Selon Michielse *et al.* (2009), la classification de *Fusarium oxysporum* est la suivante:

Règne:	Fungi
Division:	Ascomycota
Classe:	Sordariomycètes
Sous-classe:	Hypocreomycetidae
Ordre:	Hypocreales
Famille:	Nectriaceae
Genre:	<i>Fusarium</i>
Espèce:	<i>oxysporum</i>

*Fusarium oxysporum* a un thalle ayant un mycélium aérien feutré, blanc coloré de violet, avec un revers violet intense. Ce champignon produit des macroconidies et des microconidies (Sharma *et al.*, 2009). Les microconidies sont fusiformes à réniformes, présentant de 0 à 2 septa, agglomérées en fausses têtes, produites par de petites phialides lagéniformes dans le mycelium aérien (5-12 x 2,2-3.5 µm). Les macroconidies sont légèrement arquées, présentent 3 septa, sa cellule basale est pédicellée, sa cellule apicale est en crochet. Elles sont produites par des phialides sur des conidiophores ramifiés ou en sporodochies (27-46 x 3-4,5 µm). Les chlamydospores hyalines sont lisses ou rugueuses, globuleuses, terminales ou intercalaires, en chaîne, en paire ou isolées, formées dans l'hyphe ou les macroconidies (5 -15 µm de diamètre) (Kiran *et al.*, 2011).



**Figure 3:** Flétrissement du plant de tomate (Photo Ndonkeu, 2017).

## **I.2. Généralités sur les méthodes de lutte contre les maladies des plantes de la tomate**

Les méthodes de lutte contre la fusariose de la tomate et les autres maladies des plantes varient et dépendent de l'hôte, des interactions hôte-pathogènes et de la localisation du microorganisme.

### **I.2.1. Méthodes culturales**

Le contrôle cultural consiste à toutes les méthodes qu'un agriculteur peut appliquer pour contrôler les maladies des plantes à l'exclusion de l'utilisation des produits chimiques, des variétés résistantes et du contrôle biologique (Termorshuizen, 2011). Il dépend principalement de certaines actions du cultivateur telles que l'extirpation des plantes présentant des symptômes évidents de la maladie, planter des graines de variétés résistantes mais aussi planter des jeunes plants loin des plantes proche de la récolte. L'inconvénient de cette méthode se situe dans le fait que de nouvelles souches peuvent développer une habilité d'attaquer les nouvelles variétés. Les agriculteurs devraient être capable d'éviter ou de modifier les pratiques en matière de production, qui peuvent causer des dommages de germination des graines (Harapas *et al.*, 2010). D'autres bonnes pratiques incluent l'utilisation des graines saines, la création des conditions défavorables pour les microbes pathogènes, le labour profond des sols, la brûlure des résidus de plantes sèches et la croissance des plantes en milieu sous-abri pendant les périodes de prédominance élevée de parasite telle que les saisons de pluie (El-Mohamady *et al.*, 2014).

### **I.2.2. Méthodes physiques**

Elles utilisent les agents physiques tels que la température, l'air sec et divers types de radiations pour lutter contre les pathogènes. Les techniques généralement impliquées incluent: la stérilisation du sol par la chaleur, le traitement des semences par l'air chaud ou par l'eau chaude. Ces méthodes présentent cependant des inconvénients comme la lésion des tissus de la plante par certaines radiations utilisées, la destruction de la microflore du sol bénéfique à la plante, l'accumulation à un degré toxique des sels d'ammoniac dans le sol et les fruits traités (Agrios, 1997).

### **I.2.3. Méthodes biologiques**

Il s'agit d'une relation microorganisme-microorganisme ou plante-microorganisme dans laquelle un microorganisme ou une plante est utilisé pour contrôler un autre microorganisme. L'essor de la lutte biologique a longtemps été freiné par la position dominante de la lutte chimique dans les systèmes de production intensifs. La lutte biologique vise à contrôler les agents pathogènes aux moyens d'agents de contrôle biologique (Biological control agent: BCA) ainsi que les produits qui en dérivent (Lepoivre, 2003). Plusieurs antagonistes potentiels sont signalés dans la littérature : les bactéries (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* spp., etc.) comme les champignons (*Trichoderma polysporum*, *Chaetomium globosum*...); leurs performances ne semblent toutefois pas importantes en situation d'épidémie naturelle (Blancard *et al.*, 2012). Cependant les limites de la lutte biologique font que ces méthodes ne sont pas très répandues.

### **I.2.4. Méthodes chimiques**

C'est la méthode la plus utilisée à cause de son efficacité mais présente beaucoup d'effets néfastes sur l'environnement et sur la santé des consommateurs, ce qui a conduit ces dernières années à leur remplacement par l'utilisation de bio-fongicides comme lutte biologique. Il s'agit en effet d'une désinfection du sol à l'aide des fongicides chimiques dont le plus utilisé est le triazole et ces dérivés qui sont des composés très actifs grâce à leurs activités pharmacologique, antibactérienne et hypoglycémique (Hamoir *et al.*, 2001).

### **I.2.5. Méthodes génétiques**

Elles consistent à incorporer des gènes de résistance dans le génome des plantes d'intérêts, afin d'obtenir des variétés modifiées génétiquement et plus résistantes aux ravageurs et aux pathogènes. La variété de tomate Opal est l'exemple d'une variété qui présente une

résistance appréciable au mildiou. Ces méthodes sont non polluantes, mais les manipulations génétiques sont très coûteuses et nécessitent des équipements perfectionnés de laboratoire. Aussi, les ravageurs et certains pathogènes s'adaptent sans cesse aux nouveaux gènes (Savary *et al.*, 2000).

### **I.2.6. Méthodes intégrées**

Les méthodes intégrées sont reconnues comme une approche effective pour l'augmentation de la productivité agricole vue la dégradation de l'environnement sans cesse observée dans les pays en voie de développement (Waiganjo *et al.*, 2006). Les pratiques qui peuvent aider à avoir des sols sains incluent la rotation des cultures, addition de la matière organique ou l'utilisation des résidus des plantes lors du labourage. L'inclusion des engrais verts dans la rotation des cultures est une excellente manière de commanditer la fertilisation, de supprimer les mauvaises herbes et de disjoncter le cycle des parasites (Jeff, 2009).

En incorporant plusieurs espèces différentes de culture en rotation avec des engrais et/ou compost, cette pratique assure la diversité des sources de matière organique. Cette diversité conduit beaucoup plus à des sols équilibrés en minéraux et en une gamme d'éléments nutritifs qui devient disponible de manière lente avec le temps, réduisant le lessivage, la perte et la toxicité qui peuvent résulter de la disponibilité immédiate des fertilisants organiques ajoutés (Jeff, 2009). La rotation des cultures pour au moins 4 à 5 années, l'utilisation des organismes antagonistes naturels particulièrement *Bacillus* reconnu comme agent de contrôle biologique (BCA), les bonnes pratiques agricoles et l'utilisation des produits chimiques tels le prochloraz et le méthyl bromide sont certaines stratégies intégrées de commande pour le contrôle du flétrissement de la tomate causé par *Fusarium* (Ajilogba *et al.*, 2013).

### **I.2.7. Méthodes naturelles**

Elles consistent à l'amélioration de l'état sanitaire des végétaux ou des semences par l'utilisation des substances naturelles à effet pesticide extraites des végétaux. Ces substances naturelles agissent en stimulant de façon systémique le métabolisme ou en inhibant le développement local de l'inoculum, et sont en général peu ou pas phytotoxiques. Les méthodes de lutttes naturelles présentent l'avantage d'être facilement accessibles, moins toxiques pour l'homme, préservent l'équilibre de l'écosystème car moins polluantes (peu ou pas d'effets indésirables sur la santé de l'homme et l'environnement). Mieux encore les produits naturels issus des plantes sont renouvelable, facilement biodégradables, plus sélectives, efficaces et à spectre relativement large (Wanga *et al.*, 2002). Du fait des avantages que présentent les

méthodes naturelles, celles-ci constituent la principale alternative qui pourrait contribuer à réduire l'utilisation excessive des fongicides de synthèse, d'où le choix de ces derniers pour mener nos travaux. En plus, au Cameroun, les extraits de plantes locales ont démontré des propriétés inhibitrices contre certains pathogènes (Ndonkeu *et al.*, 2013; Petchayo *et al.*, 2013; Mekam *et al.*, 2019; Petchayo *et al.*, 2020).

### **I.3. Revue sur les plantes utilisées**

#### **I.3.1. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray**

##### **I.3.1.1. Généralités**

*Tithonia diversifolia* (*Td*) est originaire du Mexique, et est maintenant largement distribué dans l'ensemble des tropiques humides et sub-humides de l'Amérique centrale et du Sud, de l'Asie et de l'Afrique (Sonke, 1997). Cette plante a été probablement introduite en Afrique en tant que plante ornementale. Elle a été rapportée au Kenya (Niang *et al.*, 1996), Malawi (Ganunga *et al.*, 1998), Nigéria (Ayeni *et al.*, 1997), Rwanda (Drechsel et Reck, 1998) et le Zimbabwe (Jiri et Waddington, 1998). *Td* généralement connu sous le nom de "wild sunflower" (tournesol sauvage), est un arbuste doux et succulent qui croît à une taille de 2 à 3 mètres de haut et dont les feuilles sont alternativement placées le long de la partie majeure de la tige. Chaque feuille a 3 à 7 lobes avec les bords dentés, un apex aigu et un long pétiole. Les feuilles ont beaucoup de poils du côté inférieur, leur donnant une apparence (Gunasekera, 2009). Les nervures des feuilles sont parallèles. Les fleurs sont semblables à la plante de tournesol, *helianthus* mais sont plus petites. La fleur de *Td* se présente sous forme de disque ayant environ 6 à 13 centimètres de long. La plante fleurit et produit des graines tout au long de l'année (Figure 4). Chaque tige mature peut soutenir plusieurs fleurs au-dessus des branches (Orwa *et al.*, 2009). Les graines légères peuvent facilement être dispersées par le vent, l'eau et les animaux (Jama *et al.*, 2000).

*Tithonia diversifolia* est un arbuste commun sur des frontières, des prairies et des terres accidentées en Afrique de l'Est. On le trouve aujourd'hui dans les provinces occidentales et centrales, dans des régions côtières et des vallées. Il se développe dans les régions de 550-1950 m d'altitude, de température moyenne annuelle de 15 - 31<sup>0</sup>C et les précipitations moyennes annuelles de 1000 -2000 mm.



**Figure 4:** Plante de *Tithonia diversifolia* (Photo Ndonkeu, 2020)

### I.3.1.2. Classification taxonomique

*Tithonia diversifolia* obéit à la classification du Département de l'Agriculture des Etats-Unis: (USDA, 2017)

Règne	Plantae
Embranchement	Tracheobionta Sous-embranchement Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Asterales
Famille	Asteraceae
Genre	<i>Tithonia</i> Desf. ex Juss.
Espèce	<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray

### I.2.1.3. Utilisation et importance

*Tithonia diversifolia* (*Td*) est un engrais vert confirmé pour sa teneur élevée en nutriments essentiels et efficace pour l'amélioration de la fertilité et de la culture du sol (Olabode *et al.*, 2007). Les extraits de *Td* protègent les récoltes contre des termites (Adoyo *et al.*, 1997) et contiennent les produits chimiques qui empêchent la croissance d'autres plantes (Tongma *et al.*, 1997) et le contrôle des insectes (Dutta *et al.*, 1993). Les utilisations rapportées de *Td* incluent le fourrage (Roothaert et Paterson, 1997), nourriture de la volaille (Odunsi *et al.*, 1996), bois de chauffage, compost, délimitation de terre, contrôle de l'érosion des sols (Ng'inja *et al.*, 1998), matériaux de construction et d'abri pour la volaille (Otuma *et al.*, 1998). Les extraits de *Td* ont également une valeur médicinale pour le traitement de l'hépatite (Kuo et Chen, 1997) et le contrôle de la dysenterie amibienne (Tona *et al.*, 1998).



### I.3.2. *Callistemon citrinus* STAPP

#### I.3.2.1. Généralités

Le genre *Callistemon* est une plante retrouvée en Australie, en Amérique tropicale, en Angleterre et en Afrique. C'est une plante appartenant à la famille des Myrtacées, qui sont des arbres ou arbustes aromatiques avec le parfum du citron. Ils ont environ 0,5 à 7m de long et 0,7m de large. C'est un arbuste dont les branches sont droites. Les feuilles de cette plante sont vertes, piriforme avec un apex aigu. Elles sont jaunâtres quand elles sont encore jeunes mais à maturité elles ont une couleur vert-foncé. L'arrangement des feuilles est alternatif. Elle a des nervures centrales et latérales. Les fleurs sont moins nombreuses et ont environ 5 à 10 centimètres de longueur. De couleur rouge lumineux, elles sont soutenues dans les transitoires (Figure 5). Le nom commun de cette plante, "bottlebrush" décrit la fleur rouge lumineuse de cette plante transitoire (Oyedeji *et al.*, 2009). Les fruits ont une forme ovoïde et ont moins de 13 centimètres de diamètre. *C.citrinus* est résistant à la sécheresse et peut tolérer n'importe quel sol excepté les sols alcalins ou très pauvres.



**Figure 5:** Feuilles, fruits et fleurs de *Callistemon citrinus*

#### I.3.2.2. Taxonomie

Taxonomie de *C. citrinus* selon le système d'information taxonomique intégrée (ITIS) 2013.

Règne	Plantae
Embranchement	Viridiaeplantae

Division	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae
Genre	Callistemon
Espèce	Callistemon citrinus (Curtis) skeels
Nom commun	Red bottlebrush, Lemon bottlebush
Synonyme	<i>Callistemon lanceolatus</i> , <i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) stapf.

### **I.3.2.3. Importance et utilisation**

*C. citrinus* est généralement utilisé comme plante ornementale le long des bordures de route à l'instar de celles présentes au sein du campus de l'université de Yaoundé I. *C. citrinus* est également visité par des abeilles pour son nectar et possède aussi des propriétés fongicides (Dongmo *et al.*, 2010). *C. citrinus* a également été rapporté comme présentant une gamme variée d'activité antimicrobienne contre les bactéries susceptibles d'espèces *Bacillus* telles que *Salmonella typhi*, *Streptococcus pyogenes*. Ces résultats ont été examinés et rapportés nécessaire de les comparer aux effets antibiotiques standards (Seyydnejad *et al.*, 2010). *C. citrinus* est également utilisé pour la lutte biologique comme alternative à la lutte chimique à cause des effets antifongiques qu'il présente notamment sur *Phytophthora infestans* de la tomate (Galani *et al.*, 2013; Dakole *et al.*, 2016), sur *Alternaria padwickii* et *Bipolaris oryzae* du riz (Nguefack *et al.*, 2013).

## **I.4. Généralité sur le sol**

### **I.4.1. Définition**

Le sol provient en général de l'altération sur place de la roche mère sous-jacente, sous l'influence de facteurs physiques, chimiques et biologiques. La roche mère est aussi appelée sous-sol.

La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant plusieurs horizons; elle classe les sols et étudie leur évolution.

L'agronomie s'intéresse surtout à la couche arable et au sol sous-jacent, étudiés grâce à l'examen d'un profil cultural.

La couche arable correspondant en général à l'horizon superficiel A des pédologues. Elle est travaillée par l'agriculteur (labours et façons culturales); elle reçoit amendements et

engrais. Sa couleur est en général plus foncée que celle de l'horizon sous-jacent par suite d'une teneur plus élevée en matière organique.

L'horizon sous-jacent constitue une zone intermédiaire, d'épaisseur très variable, entre la couche arable et la roche mère. Il contribue plus ou moins, selon les sols et la façon dont il est exploré par les racines, à la nutrition des plantes en éléments minéraux et en eau. Son importance est grande, tant pour le raisonnement de la fertilisation que pour l'implantation racinaire qui doit être facilitée au maximum (UNIFA, 1998).

#### **I.4.2. Milieu physique**

Le sol comprend quatre composants principaux : l'air, l'eau, les constituants minéraux et la matière organique. L'espace poreux (air et eau) peut occuper près de la moitié du volume total. Les proportions entre air et eau sont soumises à de grandes fluctuations, mais l'état d'humidité optimum pour la croissance des plantes correspond à des volumes sensiblement égaux en air et en eau (UNIFA, 1998).

##### **I.4.2.1. Constituants du sol**

Le sol est constitué des éléments minéraux regroupés en particules: argile, limon et sable. La texture du sol est le premier paramètre physique du sol qui permet de définir les proportions respectives de sable, limon, et argile. Sa connaissance est utile pour prévoir le comportement global du sol (réserve en eau, battance, etc.), son potentiel de production, les dates et types d'interventions culturales. Pour déterminer cette texture, le tamisage d'un sol à travers un tamis est nécessaire pour séparer les cailloux et graviers de la terre fine. On procède à une analyse physique de cette terre fine, d'après la classification conventionnelle des particules minérales. Les analyses physiques d'un sol sont interprétées en fonction de la CEC (capacité d'échange cationique) ou en fonction de la quantité et de la nature des argiles ; qui sont constituées des silicates d'alumine hydratées et souvent colorées en rouge par des oxydes de fer. Ces particules argileuses jouent un rôle important dans la mise en réserve des éléments nutritifs présents dans le sol (UNIFA, 1998).

##### **I.4.2.2. Matière organique**

La fraction solide de la terre fine comprend généralement 2 à 5 % de matière organique et 95 à 98 % de matière minérale. La matière organique (M.O) comprend tous les constituants du sol formés d'hydrate de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et le plus souvent d'azote, et ne comprend pas les êtres vivants. A cet effet, on distinguera d'une part, la matière organique libre,

séparable par des moyens physiques et correspondant aux débris végétaux (résidus culturels divers, racines mortes), d'autre part, la matière organique liée, non séparable par des moyens mécaniques, c'est-à-dire associée aux minéraux du sol (constituants biologiques ou humifiés). Une partie de la M.O donne naissance à une matière de couleur foncée, l'humus, qui est l'ensemble des constituants organiques du sol n'ayant plus d'organisation biologique (végétale, animale, bactérienne) identifiable, issus de l'évolution biochimique généralement lente des diverses matières organiques présentes ou incorporées au sol (UNIFA, 1998).

#### **I.4.2.3. Relation matière organique/matière minérale**

Dans le sol, la présence du calcium permet la floculation des colloïdes qui sont des substances insolubles qui peuvent se mettre en suspension dans l'eau et y demeurer à l'état dispersé. Une association des deux forme le complexe argilo-humique, essentiellement chargé négativement, dont l'humus joue un rôle protecteur vis-à-vis de l'argile. Les éléments constitutifs de la fraction "terre fine" soudés par l'humus forment des agrégats, ayant une certaine stabilité, qui ménagent entre eux des espaces lacunaires remplis d'air et d'eau. Les agrégats se rassemblent à leur tour pour former des mottes (UNIFA, 1998). La forme, la taille et la disposition des agrégats caractérisent la structure du sol. Celle-ci doit être à la fois : stable (pour que les racines puissent explorer en permanence un grand volume de terre) et poreuse, de façon à permettre la circulation de l'air et de l'eau (UNIFA, 1998).

#### **I.4.3. Eau du sol**

La réserve en eau du sol assure la quasi-totalité des besoins en eau de la plante: selon les espèces végétales, il faut de 250 à 800 litres d'eau pour former 1 kilo de matière sèche. Par ailleurs, l'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol. L'alimentation du végétal s'effectue à partir de la solution du sol à travers les surfaces absorbantes des racines (UNIFA, 1998).

#### **I.4.4. Propriétés physico-chimiques du sol**

##### **I.4.4.1. Pouvoir adsorbant du complexe argilo-humique**

Un sel minéral, en dissolution dans l'eau du sol, s'y trouve en partie à l'état dissocié, c'est-à-dire scindé en deux ions. L'un chargé négativement : l'anion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), l'autre chargé positivement : le cation ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  etc.). Le complexe argilo-humique possède la propriété de retenir à sa surface certains ions de la solution du sol (pouvoir adsorbant) (Figure 6). Chargé négativement, il attire surtout les cations (UNIFA, 1998).



**Figure 6:** Schéma simplifié du complexe argilo-humique.

#### **I.4.4.2. Capacité d'échange d'ion entre le complexe et la solution du sol**

Dans la solution entourant les molécules colloïdales, les cations se déplacent continuellement. Les cations en mouvement représentent les éléments minéraux à l'état échangeable et sont biodisponibles. L'hydrogène ( $H^+$ ) est le cation le plus énergiquement retenu ; viennent ensuite les oligo-éléments, le calcium ( $Ca^{2+}$ ), le magnésium ( $Mg^{2+}$ ), l'ammonium ( $NH_4^+$ ), le potassium ( $K^+$ ) et, loin derrière, le sodium ( $Na^+$ ). L'anion phosphate ( $PO_4H^{2-}$ ) est fixé sur le complexe argilo-humique par l'intermédiaire d'ions  $Ca^{2+}$  et sur les hydroxydes de fer et d'alumine chargés positivement. D'autres anions (borate, sulfate) sont faiblement fixés. Les chlorures et les nitrates ne sont pas retenus par le sol. Dans un cas, Le complexe adsorbant d'un sol est saturé quand tous les ions  $H^+$  sont remplacés par des cations tels que  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ . La quantité maximum de cations qu'un sol peut fixer détermine la capacité totale d'échange (T) ou Capacité d'échange cationique CEC exprimée en centimole par kilogramme (cmol/Kg) de terre sèche et fine. Elle varie selon les sols (quantité et nature de l'argile - taux de matière organique) de 2 à 50. Elle est faible quand elle est inférieure à 10 et élevée quand elle est supérieure à 20 (1cmol/Kg = 1meq/100 g) (UNIFA, 1998).

#### **I.4.4.3. Réaction du sol ou pH eau**

La concentration en ions hydrogène  $H^+$  d'un milieu chimique détermine sa réaction mesurée par le pH, qui varie de 0 à 14. Le pH d'un sol est la mesure de la quantité d'ions  $H^+$  libres dans l'eau (pH eau): c'est l'acidité active. Mais les ions  $H^+$  de la solution sont en équilibre avec ceux fixés par le complexe qui représentent l'acidité potentielle. Cette dernière est de 1.000 à 100.000 fois plus élevée que l'acidité active. Le sol est acide pour une valeur de pH eau inférieure à 6,8,

neutre pour un pH eau compris entre 6,8 et 7,2 et alcalin pour un pH eau supérieur à 7,2 (UNIFA, 1998).

#### **I.4.5. Fertilisants azotés**

##### **I.4.5.1. NPK Comme engrais azoté**

Le NPK est un engrais composé de 3 éléments fertilisants principaux à savoir l'azote, le phosphore et le potassium. La signification de NPK se fait selon le principe de codification internationale, les emballages des engrais vendus dans le commerce comportent la mention NPK suivie de 3 chiffres. Exemple 21. 8. 8 qui est un NPK riche en azote. On aura 21% de N, 8% P, 8% K.

##### **I.4.5.2. Bouse de vache et *Tithonia diversifolia* comme engrais organique**

###### **I.4.5.2.1. Bouse de vache**

Les restitutions du bétail sont les produits de la digestion ruminale puis intestinale de la vache qui n'ont pas été intégrés par l'organisme (Figure 7). La matière sèche est constituée de la fraction non digérée de la ration alimentaire essentiellement composée de fragments de tissus lignifiés, de sclérenchymes et de tissus vasculaires avec en outre des éléments minéraux ayant échappé à la dégradation microbienne dans le réticulo-rumen, à la dégradation dans la caillette et l'intestin grêle et, à la fermentation microbienne dans le gros intestin. Les différents éléments excrétés à travers les fèces sont principalement les phosphates, le calcium et le magnésium sans oublier l'azote alors que les excréta liquides en revanche drainent, potasse, sodium ainsi qu'une forte proportion de l'azote restitué (Lancon, 1978).

**Tableau IV:** Teneur en différents éléments fertilisants de la bouse de vache.

<b>Eléments fertilisants</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>Mn<sup>2+</sup></b>
<b>% MS fécale</b>	2,87	0,99	1,31	1,95	0,64	0,38	0,026



**Figure 7:** Bouse de vache (Photo Ndonkeu, 2020)

#### I.4.5.2.2. *Tithonia diversifolia*

La matière organique de *Tithonia diversifolia* est une source de nutriment pour plusieurs cultures. Les feuilles fraîches ou sèches sont riches en éléments fertilisants avec de proportions citées dans le Tableau III.

**Tableau V:** Teneur en différents éléments de feuilles sèches de *Tithonia diversifolia*

Eléments fertilisants	N	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Treneur (%)	3,5	0,37	4,1	2,6	0,41

#### I.4.6. Fertilisation azotée et question environnementale

Mal maîtrisée, la fertilisation perturbe fortement l'ensemble du cycle de l'azote. Les pertes d'azote du système sol-plante via la lixiviation, le ruissellement ou l'érosion se produisent lors d'une mauvaise synchronisation entre l'offre et la demande en N couplée à des pluies excessives ou des irrigations. L'importance relative de chacune de ces pertes varie d'un site à l'autre et d'année en année. Sous les climats où les précipitations dépassent l'évapotranspiration ou dans le cas des champs irrigués, les pertes par lixiviation peuvent être considérables. Enfin, la perte d'azote par voie gazeuse constitue le mécanisme dominant dans beaucoup d'agrosystèmes. Les processus de perte incluent la volatilisation, la nitrification et la dénitrification, et ont pour résultat le dégagement d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), de monoxyde d'azote (NO), de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et du diazote (N<sub>2</sub>) dans l'atmosphère (Arkum, 2012).

##### I.4.6.1. Emission atmosphérique d'ammoniac et d'oxyde d'azote

L'ammoniac dégagé par volatilisation est le principal facteur d'origine agricole responsable de la pollution atmosphérique avec de nombreux impacts. Il est constamment formé dans les sols en raison de la dégradation biologique des composés organiques et des engrais minéraux et organiques apportant du NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Arkum, 2012).

Le N<sub>2</sub>O est un des gaz dits à effet de serre, constituant 6% de l'effet de serre anthropique, et contribuant par ailleurs à l'épuisement de la couche d'ozone stratosphérique. Le NO joue également un rôle important dans la chimie atmosphérique en participant à la régulation de l'équilibre d'oxydation de l'atmosphère. Dans l'atmosphère, le NO s'oxyde en peroxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Les retombées d'oxyde d'azote (sous forme de NO et NO<sub>2</sub>) participent à l'acidification et à l'eutrophisation des écosystèmes (Arkum, 2012).

#### **I.4.6.2. Lessivage du nitrate**

Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) issu du processus de nitrification de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) des engrais ou de la matière organique du sol, est sujet au lessivage constituant ainsi le facteur prépondérant de la pollution des aquifères par l'azote et l'eutrophisation des milieux aquatiques, océaniques ou continentaux. La quantité et l'intensité des précipitations, la quantité et la fréquence de l'irrigation, l'évapotranspiration, la température, la texture et la structure du sol, le labour et les pratiques culturales, la quantité et la forme de l'engrais azoté utilisé sont des paramètres influençant les quantités de  $\text{NO}_3^-$  présentes dans le sol et leur lessivage vers les eaux souterraines (Asselin, 1993). Par ailleurs, de grandes quantités d'azote adsorbé par les particules du sol (en particulier l'azote organique et le  $\text{NH}_4^+$ ) peuvent être transportées lors de l'érosion des terres. Ces pertes sont avec les pertes par lessivage, responsables de l'eutrophisation des eaux de surface (Arkum, 2012).

### **I.5. Généralité sur la microflore du sol**

#### **I.5.1. Biomasse microbienne du sol**

La notion de biomasse microbienne recouvre l'ensemble des micro-organismes du sol (bactéries, champignons, etc.). La biomasse microbienne est donc une mesure globale, représentant une quantité de carbone " vivant " dans le sol. Le résultat peut être exprimé en valeur absolue (mg de C par kg de sol) mais également en pourcentage du carbone organique total du sol (ITAB, 2002).

Les facteurs influençant la biomasse microbienne du sol sont: les éléments nutritifs (la matière organique du sol, l'humus), la température du sol, l'humidité, le degré d'aération, la porosité et la structure sont surtout des facteurs de régulation des processus biochimiques. D'autres facteurs plus généraux qui interviennent dans l'évolution physico-chimique du sol participent également à l'écologie des microbes ; il faut citer les changements climatiques saisonniers et le couvert végétal (Sasson, 1967).

Les activités microbiennes sont en étroite interaction avec les transformations géochimiques abiotiques; elles sont plus marquées en conditions anaérobies (Dassonville *et al.*, 2004). Dans ces dernières conditions, les activités microbiennes affectent le pH par la production par la consommation microbienne de  $\text{H}^+$ , de  $\text{CO}_2$ , de  $\text{NH}_4^+$ , de  $\text{HS}^-$ , d'acides organiques (Ponnamperuma, 1972; Reddy *et al.*, 1998). Le niveau d'oxydoréduction en influence les différents couples redox dont  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Fe}_3^+/\text{Fe}_2^+$ ,  $\text{H}^+/\text{H}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{HS}^-$ ,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ , et les concentrations en ligands organiques (acetate, propionate, and butyrate) (Peters et Conrad,



1996) et minéraux pouvant complexer des métaux. Les activités microbiennes affectent aussi les phases solides. Ainsi, les réactions d'adsorption/désorption sont affectées par les productions microbiennes ( $H^+$  et autres cations) qui interagissent avec les phases solides selon leurs caractéristiques spécifiques (Stumm et Morgan, 1996).

Les conséquences des activités microbiennes peuvent être partiellement tamponnées par l'existence de phases solides réactives (carbonates, oxydes et oxyhydroxydes métalliques) via les processus de dissolution ou de précipitation. Mais, les activités microbiennes dépendent elles-mêmes des caractéristiques géochimiques du milieu et de leur évolution. Ces derniers affectent la disponibilité en substrats, en solution, à l'interface liquide/solide (Vavilin *et al.*, 1996), à la faisabilité des réactions microbiennes, à travers les mécanismes d'inhibition par des espèces chimiques ( $NO_2^-$ , acides gras volatils...) et les régulations thermodynamiques ( $H_2$ ). Au travers de ces mécanismes, les couplages entre activités microbiennes et transformations géochimiques abiotiques conditionnent l'apparition et/ou le devenir de certaines pollutions ( $NO_3^-$ , métaux lourds...).

Les méthodes d'étude des dynamiques microbiennes du sol sont:

- Les méthodes les plus utilisées pour estimer la biomasse des sols sont les techniques de fumigation/incubation au chloroforme (Jenkinson et Powlson, 1976), fumigation/extraction au chloroforme (Vance *et al.*, 1987), et de respiration induite par un substrat (Anderson et Domsch, 1978).
- Les dynamiques microbiennes peuvent aussi être appréhendées par les méthodes de dénombrement indirect et direct. La première consiste en un comptage indirect sur des milieux de culture (Josephson *et al.*, 2000). La seconde méthode consiste en un comptage direct par observation au microscope (Roane et Pepper, 2000).
- Les techniques de biologie moléculaire basées sur l'étude de l'ADNr 16S permettent d'atteindre l'ensemble des groupes microbiens présents dans le sol y compris ceux qui ne sont pas cultivables (Kemp et Aller, 2003; O'Donnell et Görres, 1999).

### **I.5.2. Microorganismes bénéfiques du sol**

La microflore tellurique est principalement dominée par des bactéries suivies des champignons, des algues et des protozoaires. Les bactéries et les champignons sont les organismes dominants (Hoorman et Islam, 2010). Tous participent d'une manière ou d'une autre à la formation et à l'évolution de sol (GOBAT *et al.*, 2003). Il existe des interactions nutritionnelles entre les microorganismes du sol. Un microorganisme dépend d'un autre

microorganisme pour la dégradation de produits ou de substrats spécifiques, ou différents microorganismes sont en compétition pour le même substrat (Trevors et Van Elsas, 1997 in Djigal, 2003). Dans d'autres cas, un microorganisme peut exercer un effet nuisible sur les autres microorganismes, par exemple par la production d'antibiotiques ou de composés toxiques.

#### **I.5.2.1. Bactéries du sol**

Les bactéries aérobies du sol participent essentiellement dans les réactions d'oxydation de la matière organique alors que celles anaérobies assurent les réactions de réduction au cours de fermentations. Les hétérotrophes peuvent être saprophytes, elles minéralisent la matière organique morte (nécromasse), d'autres sont appelées « humifiantes » (Vitousek et Howarth, 1991). Quelles soient autotrophes, hétérotrophes, aérobies ou anaérobies, toutes exigent des conditions abiotiques assez strictes : un pH neutre, une humidité moyenne, une température plutôt basse (bactéries psychrophiles) et différents oligoéléments (Vitousek et Howarth, 1991). Les bactéries du sol *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* assurent l'oxydation de l'ion ammonium (nitrification) (Duchaufour, 2001). Le passage entre l'atmosphère et la biomasse se fait exclusivement via la fixation biologique grâce aux cyanobactéries, aux bactéries impliquées dans la fixation symbiotique (*Rhizobium*, *Frankia*), aux bactéries impliquées dans la fixation associative (*Azospirillum*) et aux bactéries impliquées dans la fixation libre (*Azotobacter*, *Clostridium*). Elles représentent 50% de la source d'azote des systèmes terrestres (Schimann, 2005). Les bactéries interviennent aussi dans la stabilisation des particules de la taille des argiles et des limons (Fletcher *et al.*, 1980 ; Tisdall, 1994 in Annabi, 2005). Elles synthétisent des substances gluantes telles que les polysaccharides et peuvent constituer le centre de formation de microagrégats (Robert et Chenu, 1992 in Annabi, 2005).

#### **I.5.2.2. Champignons du sol**

Les champignons du sol peuvent être des champignons supérieurs (basidiomycètes et ascomycètes), des levures ou des champignons inférieurs, souvent regroupés sous le nom de moisissures (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, etc.). Ils sont hétérotrophes et leur nombre varie de  $10^5$  à  $10^6$  cellules/g de sol (Maier *et al.*, 2000). Les populations fongiques exigent la richesse du sol en matière organique. Dans les sols riches, elles oscillent entre 1 et 2 tonnes à l'hectare. Les champignons interviennent principalement dans la dégradation des sucres complexes (cellulose, lignine) et dans les processus d'ammonification (dégradation des matières azotées). La grande majorité de ce groupe microbien est saprophyte, mais un bon nombre d'espèces sont des parasites redoutables. Certaines espèces vivent en symbiose avec les plantes supérieures (mycorhizes) et leurs

apportent des éléments nutritifs, essentiellement le phosphore utile à la croissance d'une part et d'autre part elles renforcent leurs défenses naturelles vis-à-vis du stress biotique ou abiotique. Les champignons sont efficaces dans la stabilisation des agrégats de sol, car ils ont la capacité de lier les particules du sol via plusieurs mécanismes (rétention mécanique, adhésion par les glues fongiques ...). En effet, de nombreux champignons secrètent des substances agréant à fort pouvoir collant comme les polysaccharides et les gommes (Molope *et al.*, 1987 in Annabi, 2005). Les mycéliums des champignons consolident également la structure du sol par enchevêtrement mécanique des particules minérales entre les hyphes et/ou par la résistance mécanique des filaments fongiques aux contraintes physiques (Degens, 1997 in Annabi, 2005). D'après Dommergues et Mangenot (1970), les champignons ayant l'effet le plus marqué dans le processus d'agrégation et de stabilisation des agrégats sont des espèces saprophytes appartenant essentiellement aux genres *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Mucor*, *Sclerotium*, diverses levures et des Basidiomycetes.

#### **I.5.2.3. Algues du sol**

Les algues sont photoautotrophes et sont surtout présentes sur la surface du sol ou en sub-surface pour recevoir un minimum d'éclairage nécessaire pour la photosynthèse. Certaines sont hétérotrophes (*Euglènes*) peuvent vivre plus profondément. De nombreuses algues sont entourées d'une couche mucilagineuse abritant de nombreuses bactéries. Elles sont de l'ordre de 5000 à 10000 cellules/g de sol. (Maier *et al.*, 2000). Quatre groupes majeurs sont retrouvés dans le sol, il s'agit des algues vertes, vert-jaune ou rouges et des cyanobactéries. Elles participent aux processus de formation de sol, certaines espèces ont la capacité de fixer l'azote (Wild, 1993). Les Algues agrègent les particules élémentaires en surfaces des profils et contribuent ainsi en association avec les Champignons filamenteux ainsi qu'à la formation de croûtes (structure continue) notamment sur les sols sableux

#### **I.5.2.4. Protozoaires du sol**

La plupart sont hétérotrophes, certains sont phototrophes; ils se nourrissent de bactéries, de levures, de champignons et d'algues, ils peuvent être impliqués dans la décomposition de la matière organique (Maier *et al.*, 2000; Wild, 1993).

## MATERIEL ET METHODES

## CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II.1. Matériel

#### II.1.1. Matériel végétal

Les plantes utilisées étaient *Callistemon citrinus* (CAL) et de *Tithonia diversifolia* (Td). Ces espèces végétales ont été récoltées très tôt le matin dans la ville de Yaoundé, Région du Centre et identifiées à l'herbier National du Cameroun à Yaoundé. Les récoltes se sont déroulées au mois d'Août. Les parties de plantes (feuilles) récoltées ont été séchées à température ambiante (25-27°C) pendant 10 à 14 jours. Les parties sèches de chaque plante ont été écrasées à l'aide d'un moulin à grain jusqu'à l'obtention d'une poudre fine puis conservées.

Les semences de tomates : semence de tomate hybride F<sub>1</sub> (Cobra) variété améliorée de la société TECHNISEM et semence de tomate hybride F<sub>2</sub> (Rio) variété de la société RIO Grande ont été achetées dans un agro shop du marché Mokolo à Yaoundé pour les essais en milieu sous-abri et en champ.

#### II.1.2. Matériel fongique

La souche de *Fusarium oxysporum* f.sp vasinfectum (FOV) a été isolée au Laboratoire de Phytopathologie de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson à partir des plants de tomate présentant les symptômes de la fusariose, provenant de la localité de Zamakoue-barrière/Mbalmayo.

#### II.1.3. Pesticide et biopesticide utilisés

Le pesticide de synthèse plus précisément le fongicide était le mancozeb (800 g/kg Mancozèbe) acheté dans un agro shop du marché Mokolo à Yaoundé et préparé à la concentration de 5%.

Le biopesticide a été obtenu à partir des extraits aqueux et hydroéthanolique de *Callistemon citrinus* (CAL). Les extraits aqueux et hydroéthanolique ont été préparés respectivement aux concentrations 5% et 2%.

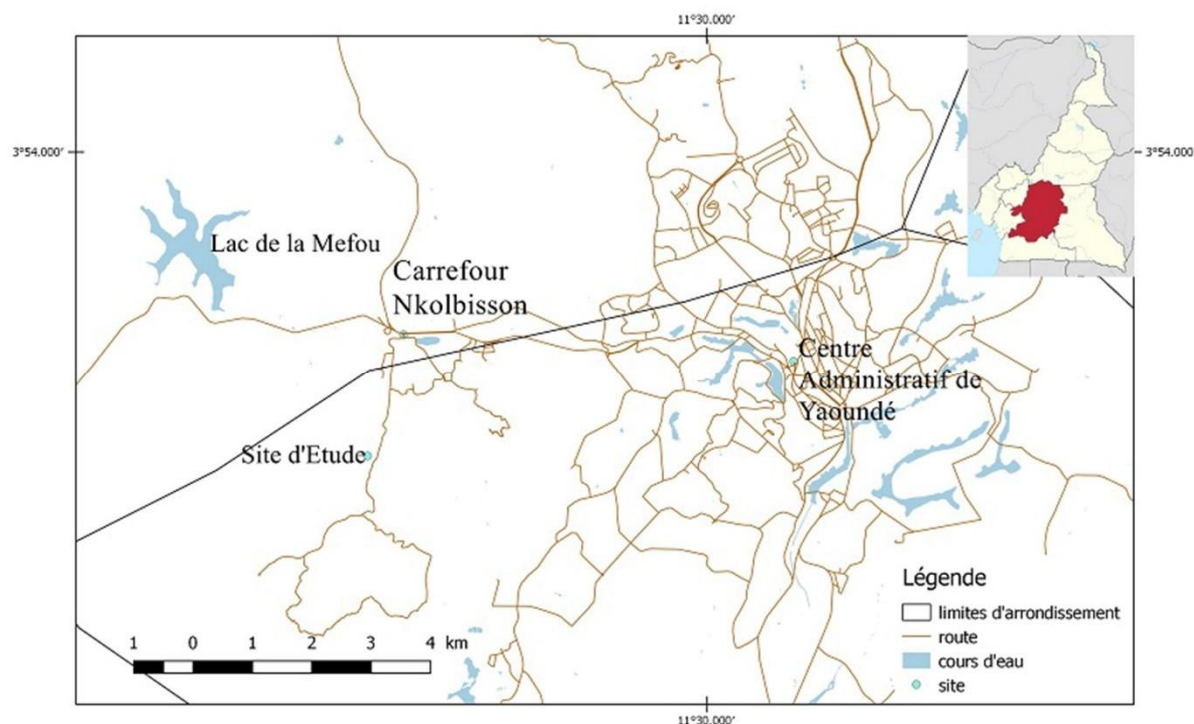
#### II.1.4. Différents fertilisants azotés utilisés

Les fertilisants de synthèse: engrais N/P/K 21/8/8 et le sulfate de potassium.

Les fertilisants naturels: les poudres de Td et la bouse de vache. La bouse de vache a été récoltée à la ferme de l'IRAD de Nkolbisson, séchée en plein air, débarrassée des débris (cailloux) et écrasée à l'aide d'un moulin à grain.

### II.1.5. Site expérimental

L'essai en champ a été mené à Nkolbisson-Yaoundé (Eloundem) région du Centre. Paramètres géographiques: altitude 711m, latitude 3°51'14"N, longitude 11°44'26"E. Cette localité appartient à la zone V (zone forestière bimodale) des cinq zones agro écologiques du Cameroun (Figure 8), caractérisée par une pluviométrie annuelle de 1500 à 2000 mm, deux saisons humides distinctes ; des sols ferrallitiques, acides, argileux, faible capacité de rétention des éléments nutritifs.



**Figure 8:** Site expérimental en champ

## II.2. Méthodes

### II.2.1. Préparation des extraits de plante utilisés

#### II.2.1.1. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE) ont été extraites du matériel végétal sec de CAL par hydrodistillation pendant 5h utilisant un appareillage de type Clevenger tel que recommandé par Amvam *et al.*, 1998. Les huiles essentielles recueillies ont été séchées dans une colonne de sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) et conservées à la température de 2 à 4° C dans des flacons de verre fumés bien remplis et fermés hermétiquement. Le rendement en huile essentielle a été calculé suivant la formule :

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

### II.2.1.2. Extraction hydroéthanolique 70%

Cent (100) grammes de poudre de matériel végétal ont été délipidés dans 300mL d'hexane pure pendant 24 heures. Le résidu récupéré après filtration a été séché à température ambiante jusqu'à évaporation complète de l'hexane, puis introduit dans un erlenmeyer contenant 600mL d'éthanol 70% et laissé pour extraction pendant 24 heures. Le mélange résultant a été filtré et le filtrat récupéré a été centrifugé à 7000 tours pendant 10 minutes. Enfin, l'alcool a été évaporé du surnageant obtenu et le surnageant débarrassé d'alcool a été lyophilisé. Le lyophilisat obtenu a été pesé et conservé dans un flacon étiqueté à l'abri de l'humidité et de la chaleur. Le rendement d'extraction a été calculé suivant la formule :

$$Rdt (\%) = \frac{\text{Masse du Lyophilisat (g)}}{\text{Masse du matériel végétal (g)}} \times 100$$

### II.2.1.3. Extraction aqueuse

Cinq Cent (100) grammes de poudre de matériel végétal ont été introduits dans un sceau contenant 10L d'eau et laissés pour extraction pendant 24 heures. Le mélange résultant a été filtré et le filtrat récupéré utilisé comme biofongicide.

## II.2.2. Criblage phytochimique des extraits de *Callistemon citrinus* et analyse du potentiel antioxydant

Les analyses préliminaires des extraits aqueux et hydroéthanolique bruts ont été effectuées pour évaluer leur composition phytochimique en phénols, flavonoïdes, tannins. En même temps, le potentiel antioxydant a été mesuré selon les méthodes standards de spectrométrie ; l'absorbance a été lue par le spectrophotomètre (Modèle V-550 UV-vis, JASCO Labor-und Datentechnik GmbH Deutschland, Germany).

### II.2.2.1. Détermination de la teneur en phénols totaux

Les phénols totaux ont été déterminés avec les réactifs Folin-Ciocalteu selon la méthode décrite par Singleton et *al.* (1999).

#### Principe:

Ce dosage est fondé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu consiste à une solution jaune

acide (Ac) contenant un complexe polymérique d'ions (hétéro polyacides). En milieu alcalin, le réactif de Folin-Ciocalteu oxyde les phénols en ions phénolates et réduit partiellement ses hétéro polyacides d'où la formation d'un complexe bleu Singleton *et al.* (1999).

#### **Mode opératoire:**

Dans un tube, ont été introduits; un petit volume d'eau distillée (1,975  $\mu\text{L}$ ), 25  $\mu\text{L}$  d'extrait (aqueux (EA) ou éthanolique (EE)) préalablement dilué et 125  $\mu\text{L}$  de réactifs Folin-Ciocalteu, le mélange a été ensuite agité. Après une minute, 20 % de carbonate de sodium aqueux (375  $\mu\text{L}$ ) ont été ajoutés, le mélange a été agité et laissé à l'obscurité à température ambiante pendant 120min. La détection des phénols s'est effectuée à la longueur d'onde de 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Un essai blanc ou témoin (25  $\mu\text{L}$  d'eau) a été réalisé dans les mêmes conditions.

Préparations des étalons: Les étalons ou standards ont été préparés en dissolvant 5 à 50 mg d'acide gallique dans 100 mL d'eau. Les différentes gammes concentrations étaient: 50, 100, 250, 500 mg/l.

La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en phénols et les résultats ont été exprimés en mg d'acide gallique /g d'extrait (Annexe 1).

#### **II.2.2.2. Détermination de la teneur en flavonoïdes totales**

La teneur en flavonoïdes totales a été déterminée selon la méthode décrite par Zhishen *et al.* (1999).

##### **Principe:**

La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode adoptée par Zhishen *et al.* (1999) avec le trichlorure d'aluminium et la soude. Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes et la soude forme un complexe de couleur rose qui adsorbe dans le visible à 510nm.

##### **Mode opératoire:**

Deux cent (200)  $\mu\text{L}$  d'extrait (EA ou EE) préalablement dilué et 800  $\mu\text{L}$  d'eau distillée ont été introduits dans un tube. Au temps  $t_0$ , 5% de nitrite de sodium  $\text{NaNO}_2$  (60  $\mu\text{L}$ ) ont été ajouté au mélange. Après 5min ; 10% de solution aqueuse de  $\text{AlCl}_3$  (60 $\mu\text{l}$ ) ont été ajoutés au mélange. Après 6 min, 400  $\mu\text{l}$  de  $\text{NaOH}$  1M et 480  $\mu\text{l}$  d'eau distillée ont été ajoutés et le mélange a été agité. L'absorbance a été directement mesurée à la longueur d'onde de 510 nm. Un essai blanc ou témoin (200  $\mu\text{L}$  d'eau) a été réalisé dans les mêmes conditions.



Préparations des étalons: Les étalons ou standards ont été préparés en dissolvant 2,5 à 25 mg de catéchine dans 100 mL d'eau. Les différentes gammes concentrations étaient : 25, 50, 100, 250 mg/l.

La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en flavonoïdes et les résultats ont été exprimés en mg de catéchine/g d'extrait (Annexe 1).

### **II.2.2.3. Détermination de la teneur en tannins totaux**

La teneur en tannins totaux a été mesurée selon la méthode de Verzelloni *et al.* (2010).

#### **Principe:**

Cette méthode est basée sur une réaction avec le chlorure ferrique, le mélange de l'extrait tannique avec le réactif chlorure ferrique provoque la coloration rouge violet du complexe d'où la formation des ions.

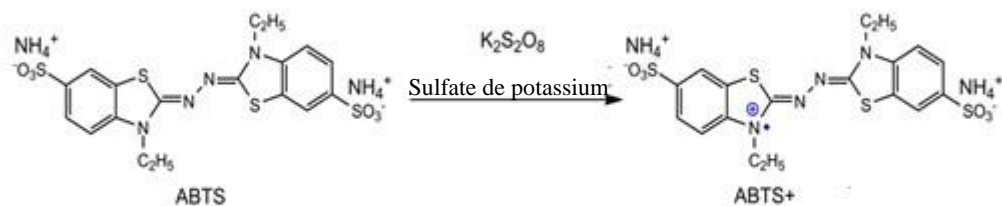
#### **Mode opératoire:**

Un (1) mL d'extrait (EA ou EE) bien dilué a été ajouté à 2 mL de solution protéique standard de sérum d'albumine bovin (dissoute à la concentration de 1 mg/mL dans 0,20 mol/l de tampon acétate pH 5, contenant 0,17 mol/l de chlorure de sodium). Le mélange a été déposé à température ambiante pendant 15 min et centrifugé ensuite à 5000g pendant 15 min. le surnageant a été jeté et le culot lavé avec le tampon acétate. Le précipité a été alors dissout dans 4 mL de solution triéthanolamine- dodécyl sulfate de sodium (SDS) contenant 1% de SDS et 5 % (v/v) de triéthanolamine. Les tannins ont été déterminés en mélangeant 2 mL de fraction tannin avec 0,5 mL de réactif de chlorure ferrique (0,01 mol/l de chlorure ferrique dans 0.01 mol/l de HCl). Quinze (15) min après ajout de réactif de chlorure ferrique, l'absorbance a été déterminée à la longueur d'onde de 510 nm.

La courbe de régression obtenue à partir des étalons de catéchine 'comme décrits plus haut) a été utilisée pour estimer la teneur en tannins et les résultats ont été exprimés en mg de catéchine/g d'extrait (Annexe 1).

### **II.2.2.4. Activité antioxydante**

L'activité antioxydante des extraits de plante a été mesurée particulièrement les cations de radicaux libres d'acide 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS), selon la méthode décrite par Re *et al.* (1999).



### Mode opératoire:

L'ABTS a été dissout dans l'eau à la concentration de 14 mmol/l. L'ABTS a été formé en mélangeant dans le rapport 1:1, la solution stock d'ABTS au persulfate de potassium 4,90 mM, le mélange obtenu a été laissé au repos à l'obscurité pendant 12-16 heures avant utilisation. La solution bleu-vert des radicaux d'ABTS obtenue a été diluée au tampon phosphate pH 7, à une absorbance à  $\lambda=734$  nm ( $0,05 \pm 0,70$ ). Quarante (40)  $\mu$ l d'extrait (EA ou EE) ou de solutions standards d'acide L-ascorbique ont été ajoutés à 1,96 mL de solution bleu-verte des radicaux d'ABTS obtenue. Le mélange protégé de la lumière a été incubé dans le spectrophotomètre Jasco V- 550 à 37°C pendant 10 min. la diminution de l'absorbance à  $\lambda=713$  nm a été déterminée au temps final  $t=10$ min.

Préparations des étalons: Les étalons ou standards ont été préparés en dissolvant 0,1 à 15 mg d'acide L-ascorbique dans 100 mL d'eau. Les différentes gammes de concentrations étaient: 1, 10, 50, 75, 150 mg/l.

La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer l'activité antioxydante et les résultats ont été exprimés en mg d'acide L-ascorbique d'extrait/g

(Annexe 1).

## II.2.3. Souche de *Fusarium oxysporum* f sp vasinfectum

### II.2.3.1. Isolement purification et identification

L'isolement des souches associées aux symptômes a été fait selon la méthode de **Riviera et al. (2006)** modifiée. Le matériel végétal (tiges, feuilles) présentant les symptômes de la maladie a été lavé à l'eau du robinet puis découpé en pièces de 5 mm au front de la croissance des nécroses. Ces pièces ont été successivement désinfectées à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 0,5 % pendant 3 minutes et d'éthanol à 70 % ceci pendant 3 min et suivi à chaque fois de deux rinçages à l'eau distillée stérile. Ces explants une fois séchés ont

été ensemencés sur le milieu PDA dans les boîtes de Pétri. Les cultures ont été incubées à la température ambiante au laboratoire de phytopathologie pendant trois jours. Les différentes colonies apparues ont été repiquées sur un nouveau milieu PDA. Les différentes souches obtenues ont été purifiées par culture successives sur milieu PDA jusqu'à l'obtention d'une colonie homogène. L'identification microscopique a été effectuée au laboratoire de Phytopathologie de l'IRAD à l'aide du microscope optique PERFEXSCIENCES.

### II.2.3.2. Test de phytopathogénéité

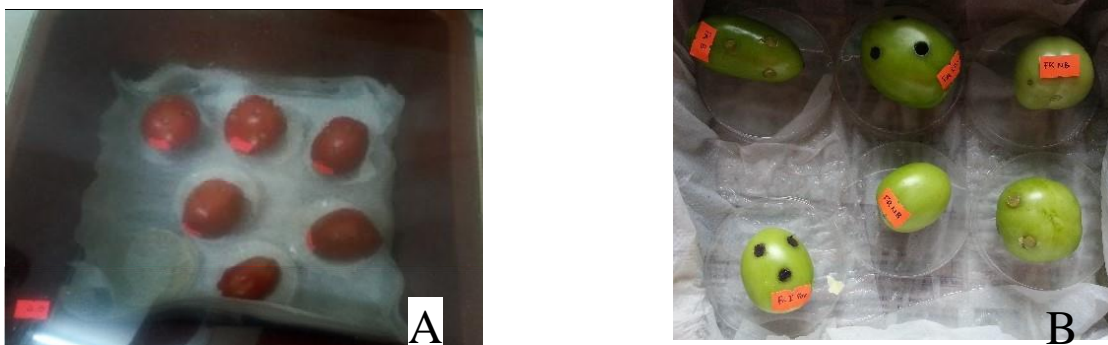
#### II.2.3.2.1. Test de phytopathogénéité sur fruits

Test de pathogénéité sur fruits s'est effectué selon la méthode de Xie et *al.* (2012).

Les fruits verts (6) et mûrs (6) de tomate ne présentant aucun symptôme de la maladie ont été utilisés. La surface de chaque fruit a été désinfectée avec l'éthanol 75% pendant 1 min et rincée deux fois à l'eau distillée stérile. Une fois séchés, certains fruits verts et mûrs ont été percés de trois trous distants de 2 à 3cm à l'aide d'une perforeuse stérile (diamètre = 1,5cm, de profondeur = 0,2cm).

La culture pure de *FOV* contenue dans la boîte de pétri, de même que le milieu PDA ne contenant aucune culture ont été perforés (d=1,5cm) et déposées dans les trous présents sur les fruits. Les fruits inoculés, non inoculés (ayant reçu le milieu PDA) et les fruits non blessés (non perforés) ont été transférés dans 4 bacs humides (température de 18°C et une humidité relative de 99) en raison de 6 fruits par bacs (Figure 9). L'expérience s'est déroulée pendant 5 jours (fruits mûrs) et 10 jours (fruits non mûrs ou verts). Deux expériences de 4 répétitions chacune ont été effectuées.

Les fruits présentant des nécroses ont été utilisés pour réisoler le pathogène *FOV*.



**Figure 9:** Incubation des fruits non et infectés, (A): fruits mûrs de tomate; (B): fruits non mûrs de tomate.

## **II.2.3.2.2. Test de phytopathogénécité sur plants de tomate**

### **a- Préparation de l'inoculum**

Les suspensions de conidies de *FOV* ont été préparées selon la méthode décrite par Boedo *et al.* (2012). Les cultures fongiques âgées de 14 jours cultivées sur milieu PDA ont été inondées avec de l'eau distillée stérile et les conidies ont été délicatement délogées avec une pipette pasteur recourbée. Les suspensions de mycélium et de conidies ont été ensuite filtrées à travers une mousseline stérilisée, la suspension de conidies collectée aseptiquement dans un tube à essai a été ajustée à une concentration finale de  $1 \times 10^5$  conidies/mL (Kumar et Srivastava, 2013) dans un volume final de 10 mL.

### **b- Infection des plants**

Cinq (5) mL de la suspension de conidies à une concentration finale de  $1 \times 10^5$  conidies/mL a été homogénéisée et introduite dans le sol à la base de chaque tige à proximité de la zone racinaire des plantes. Les plants ainsi inoculés ont été couverts à l'aide de sacs en polyéthylène noirs pendant 48 h afin de créer une humidité adéquate pour la croissance et le développement du pathogène.

## **II.2.4. Différents traitements effectués en milieu sous-abri et en champ**

### **II.2.4.1. Traitement des semences**

Les semences de tomate ont été traitées à l'aide d'une émulsion d'HE de CAL et d'agar-eau 0,1% pendant 30 min. L'HE a été mélangée à la proportion définie 1% v/v. Cette concentration a été choisie sur la base d'un screening qui a montré que les émulsions d'HE à cette concentration présentaient peu d'effets néfastes réels sur la germination des semences de tomate traitées. Cent (100) µl du mélange ainsi obtenu ont été appliqués à un gramme (1 g) de semences de tomate par référence à Adegoke et Odesola (1996).

### **II.2.4.2. Raisonnement de la fertilisation des sols en milieu sous-abri et en champ**

En milieu sous-abri tout comme en champ, les sols amendés ont été raisonnés à 5 g d'azote. Dès le début de la nouaison, les sols ont été encore amendés à raisonnement 2g de potassium/plant avec l'engrais organique (50g poudre de *Tithonia diversifolia* plus riche en potassium et calcium) et avec l'engrais inorganique (4 g de sulfate de potassium 50% K<sub>2</sub>O et 45% SO<sub>3</sub>).

### **II.2.4.3. Traitement ou pulvérisation des plants**

Les plants en milieu sous-abri tout comme en champ ont été pulvérisés une fois avec l'extrait hydroéthanolique de CAL (à la concentration 2%), une semaine avant transplantation. Après transplantation, les plants ont été pulvérisés avec l'extrait aqueux de CAL 5%, de mancozeb 5% et de l'eau. La fréquence de traitement était de 14 jours.

### **II.2.5. Expérience en milieu sous-abri**

#### **II.2.5.1. Préparation des terreaux ou substrats cultureux**

La terre noire achetée à Nkolbisson a été tamisée ( $\varnothing < 2\text{mm}$ ) et ses résidus jetés, le même processus a été effectué pour le sable Sanaga. La terre noire fine et le sable tamisé ont été mélangés à des proportions 2/1 (P/P) et le mélange ou substrats cultureux a été stérilisé dans un autoclave traditionnel selon le protocole appliqué à l'IITA (après apparition des premières vapeurs d'eau, stériliser pendant 6h de temps).

#### **II.2.5.2. Réalisation de la pépinière**

Cinq kilogrammes (5kg) des terreaux stérilisés ont été mélangés avec 100 g de poudre de *Tithonia diversifolia* puis déposés dans chaque bac (50 x 100 cm). Les terreaux présents dans chaque bac ont été arrosés avec 1 litre d'eau pendant 4 jours. Dans chaque bac mouillé, 5 lignes distantes de 10 cm ont été tracées et 20 graines de semences traitées ont été déposées sur chaque ligne et ces dernières ont été recouvertes par la terre fine. L'arrosage s'est fait à l'intervalle de 3 jours pendant un mois. La densité des plants dans chaque bac 90 plants/bac.

Deux bacs ont été utilisés pour chaque variété.

#### **II.2.5.3. Transplantation**

Quatre kilogrammes (4kg) de terreaux stérilisés ont été amendés ou non et déposés dans des seaux de 5 l. Certains terreaux ont été amendés à l'engrais inorganique; 26,2g de NPK 21/8/8 (sol AI), au fertilisant organique; 75g de *Tithonia diversifolia* + 100g de bouse de vache (sol AO) et d'autres terreaux n'ont subi aucun amendement (Cont). L'amendement des différents sols s'est effectué deux semaines avant la transplantation et les terreaux contenus dans les pots de 5 l ont été arrosés 4 fois à l'intervalle de 3 jours. Après un mois, les plants de tomate en pépinière ont été transplantés dans les pots en raison d'un plant de tomate par pot. Les plants de tomate de chaque variété ont été divisés en deux groupes:

Le groupe non inoculé ( $I_0$ ): les plants n'ont subi aucun traitement au moment de la transplantation

Le groupe inoculé à *FOV* (I<sub>1</sub>): les racines de chaque plant ont été trempées dans 5 mL de la suspension de conidies à une concentration finale de  $1 \times 10^5$  conidies/mL pendant 30 min et le reste de suspension a été versée sur les racines au moment de la transplantation.

#### **II.2.5.4. Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental en milieu sous-abri était complètement randomisé et comportait trois blocs. Chaque bloc comportait quatre facteurs : deux facteurs ayant chacun 3 modalités et deux autres ayant chacun 2 modalités ; soit au total 36 traitements par bloc. Les différents facteurs étaient : l'amendement (non amendé « Cont », amendé au fertilisant organique «AO», amendé à l'engrais inorganique «AI»), la pulvérisation ou traitement (eau «E», extrait aqueux de *C. citrinus* «CAL» et mancozeb «M»), les variétés (Cobra «V1», Rio «V2») et l'inoculation (non inoculé «I0», inoculé «I1»). L'expérience en milieu sous-abri s'est déroulée deux fois. L'irrigation des pots s'est effectuée manuellement et chaque jour à l'aide des gobelets de 500mL de capacité.

#### **II.2.6. Expérience en champ**

##### **II.2.6.1. Dispositif expérimental**

L'expérience a été mise en place entre Avril et Septembre 2017, Décembre 2017 et Mai 2018 suivant un dispositif en blocs complets randomisés (Figure 10). Pour chaque expérience de trois répétitions, la combinaison de deux variétés de tomate (l'hybride Cobra et Rio), trois amendements différents (non amendé « Cont », amendé au fertilisant organique «AO», amendé à l'engrais inorganique «AI») et de trois pulvérisations (eau «E», extrait aqueux de *C. citrinus* «CAL» et mancozeb «M»). Chaque bloc contenait des planches 2x3x3, soit au total 18 planches. Chaque planche contenait 16 poquets ayant chacun un plant, soit un total de 16 plants par planches dont 4 plants d'intérêt sur lesquels ont été pris les paramètres de croissance et le rendement de production. Les dimensions de chaque planche étaient de 2mx2m, soit une superficie de 4m<sup>2</sup> pour chaque planche. Sur une planche, la distance entre 2 poquets de part et d'autre était de 0,5m ou 50 cm. La distance entre deux planches sur la verticale était de 0,5m et un couloir de 1m à l'horizontal.



**Figure 10:** Dispositif expérimental en champ, (A): bloc complètement randomisé, (B): plants de tomate âgés de 65 jours en champ.

#### II.2.6.2. Préparation du terrain, pépinière et entretien du site expérimental en champ

La pépinière de chaque variété a été réalisée sur une planche de 1m<sup>2</sup> amendée avec le mélange de poudres de feuilles de *Tithonia diversifolia* (*Td*) et bouse de vache (*Bv*). La dose utilisée était respectivement de 312,5 et 250 g/m<sup>2</sup>. Les plants de tomates transplantés étaient âgés de 35 jours et avaient trois à quatre vraies feuilles en pleine expansion. Tous les amendements organiques ont été appliqués une semaine avant transplantation. Cet amendement était constitué du mélange des poudres de feuilles de *Td* et de *Bv*. L'amendement inorganique était l'association du N/P/K 21/8/8 (26,2 g/plant) et de sulfate de potassium (50% K<sub>2</sub>O et 45% SO<sub>3</sub>) (4 g/plant); appliqué respectivement une semaine après transplantation et à la nouaison en champ.

Le sarclage a été effectué à l'intervalle de 4 semaines en saison pluvieuse et de 6 semaines en saison sèche. L'irrigation en champ s'est faite manuellement à l'aide des arrosoirs. La fréquence d'arrosage était d'une fois par jour. Le tuteurage s'est effectué à partir de la 12<sup>ème</sup> semaine après semis.

## II.2.7. Collecte des données des expériences effectuées en milieu sous-abri et en champ

### II.2.7.1. Sévérité de la fusariose

La sévérité de la maladie a été observée chez les plants inoculés après les 29<sup>ème</sup>, 36<sup>ème</sup>, 43<sup>ème</sup> et 50<sup>ème</sup> jour. L'échelle 0-5 de Weitang *et al.* (2004) (Figure 11) a été utilisée pour le calcul de sévérité de la maladie. La classification était la suivante : 0 = plants sains, 1 = 1-10% de feuilles présentant un début de flétrissement, 2 = 11-25% de feuilles avec flétrissement, 3 = 26-49% de feuilles montrant le flétrissement et la chlorose, 4 = 50-74% de feuilles montrant le flétrissement avancé et le développement des nécroses en surface, et 5 = feuilles totalement flétries.



**Figure11:** Echelle d'infection des plants âgés 65 jours

La sévérité de la maladie a été calculée selon la formule suivante:

$$SM (\%) = \frac{\Sigma(d.n)}{DN} \times 100$$

Où: d = échelle de sévérité; n = nombre de plants maladies ayant la même échelle;

N = nombre total de plants examinés;

D = le score le plus élevé.

### II.2.7.2. Prise des paramètres de croissance

Ces paramètres sont : le diamètre distal ou diamètre de la tige, le diamètre apical ou élongation du plant, le nombre de branches, le nombre de fleurs, le nombre de fruits. Ces paramètres ont été mesurés chaque semaine pendant un mois sur les plants de tomate âgés de 2 mois.

La mesure du diamètre apical de chaque plant a été effectuée par un mètre pliant depuis les feuilles cotylédonaires jusqu'au «V» formé entre la dernière feuille encore non épanouie et l'avant dernière feuille épanouie. La tige a été marquée par un marqueur pour faciliter les prises antérieures.



Le diamètre distal a été mesuré avec un pied à coulisse. Les données des autres paramètres ont été prises par comptage.

### **II.2.7.3. Calcul du rendement de production**

Le calcul du Rdt s'est fait par la méthode de sondages systémiques (Rosenfeld, 1953). Elle consiste à choisir objectivement un échantillon, bien que n'étant pas entièrement probabiliste.

Sur chaque planche, la surface d'intérêt a été délimitée ; les fruits mûrs ont été récoltés chaque semaine et pesés. La somme des pesées le long des semaines a permis d'obtenir le poids total des fruits, qui a été converti en tonne. Le rendement a été estimé en faisant le rapport poids total des fruits sur la superficie de culture.

$$Rdt (t/ha) = \frac{\text{Masse des fruits (t)}}{\text{Surface occupé par les plants (ha)}}$$

### **II.2.8. Evaluation de la qualité nutritionnelle des fruits de tomate en champ et en milieu sous-abri et détermination de leur profil phénolique**

#### **II.2.8.1. Evaluation de la qualité nutritionnelle des fruits de tomate en champ et en milieu sous-abri**

Les différents fruits mûrs de tomate de chaque traitement ont été récoltés chaque année pendant deux ans et ils ont été lavés, écrasés et séchés à 60°C, emballés, puis conservés à 4°C jusqu'au moment des analyses. Les composites de fruits secs des deux années de culture ont été utilisés pour les analyses.

##### **II.2.8.1.1. Détermination des macronutriments des fruits de tomate**

###### **a- Détermination de la teneur en cendres totales**

Les cendres totales ont été quantifiées par la méthode décrite par AFNOR (1982).

###### **Principe:**

Elle consiste à incinérer complètement un échantillon jusqu'à l'obtention des cendres blanches dans un four à moufle réglé à 550°C.

### **Mode opératoire:**

Les creusets en porcelaine contenant les échantillons issus de l'étuvage à 105°C (M<sub>2</sub>) ont été placés dans le four. Après incinération pendant 24 heures, les creusets ont été retirés du four à l'aide des pinces, refroidis dans l'atmosphère d'un dessiccateur et pesés (M<sub>3</sub>).

La teneur en cendres pour 100 g de matière sèche (MS) est calculée par la formule:

$$C(\%) = \left[ \frac{M_3 - M_1}{M_2} \right] \times 100$$

### **b- Dosage des lipides totaux**

Les lipides totaux ont été extraits au Soxhlet selon la méthode Russe décrite par Bourelly (1982).

#### **Principe:**

L'extraction est basée sur la solubilité différentielle des lipides dans les solvants organiques (hexane ou éther de pétrole). Elle se fait à chaud pendant une durée de 8 heures environ. Après cette opération, le solvant est éliminé par évaporation et l'huile est séchée à l'étuve.

#### **Mode opératoire:**

La prise d'essai séchée (1g), a été introduite dans les sachets de papier filtre séchés et tarés. L'extraction de l'huile a été effectuée au Soxhlet avec l'hexane pendant une durée de 12 heures. Après le retrait des échantillons du Soxhlet, ils ont été ensuite séchés à l'étuve pendant 3 heures et pesés. La teneur en huile a été calculée à 0% d'humidité par la différence de poids du sachet avant et après l'extraction complète des lipides.

La teneur en lipides totaux pour 100g d'échantillons (MS) est donnée par la formule suivante:

$$\text{Teneur en lipides totaux } (\%) = \frac{M_1 - M_2}{(M_1 - M_0)} \times 100$$

Où:

M<sub>0</sub> le poids du sachet de papier filtre vide;

M<sub>1</sub> le poids du sachet plein renfermant la prise d'essai avant son traitement (papier + prise d'essai);

M<sub>2</sub> le poids du sachet plein renfermant la prise d'essai après extraction d'huile (papier + prise d'essai + huile).

### **c- Dosage des fibres brutes**

#### **Principe:**

Les fibres brutes ont été déterminées par la méthode de Wolff, 1968. Cette méthode a consisté à traiter l'échantillon à ébullition par l'acide sulfurique et ensuite par la soude. Le résidu obtenu a été séché, calciné et pesé.

#### **Mode opératoire:**

Une quantité M de l'échantillon a été introduite dans un bécher contenant de l'acide sulfurique 0,255 N. Le mélange a d'abord été porté ébullition pendant 30 mn, ensuite filtré. Puis, de la soude 0,313 N a été ajoutée au résidu et le mélange porté à nouveau à ébullition pendant 30 mn. Après filtration, le résidu a été lavé 3 fois à l'eau distillée chaude et 2 fois à l'acétone. Le résidu insoluble a été séché à 105°C pendant 8h et pesé (M<sub>1</sub>). Ce résidu a été soumis à une incinération à 550°C pendant 3h et les cendres ont été pesées (M<sub>2</sub>).

La teneur en fibres brutes (g/ 100 g MS) est donnée par l'expression:

$$\text{Teneur en fibres brutes (\%)} = (M_1 - M_2)(100 - TL)/M$$

TL: teneur en lipides de l'échantillon;

M: Poids de la matière sèche délipidée;

M<sub>1</sub>: Poids de la capsule + échantillon lavé et séché;

M<sub>2</sub>: Poids de la capsule + échantillon sorti du four puis refroidi.

### **d- Dosage des sucres totaux**

L'extraction des sucres totaux a été effectuée selon la méthode de Cerning et Guilbot (1973) et le dosage par la méthode à l'anthrone de Hedge et Hofreiter (1962).

#### **Principe:**

Elle consiste à extraire les sucres dans de l'alcool à chaud et à doser les sucres extraits avec de l'anthrone.

#### **Mode opératoire:**

##### **Extraction des sucres:**

Quarante (40) mL de solution hydroéthanolique (80 %) ont été introduits dans un ballon contenant 1 g d'échantillon sec puis le mélange a été chauffé à reflux sous agitation continue à l'aide d'un barreau magnétique pendant 15 mn après ébullition de l'éthanol. L'extrait a été

recupéré dans une fiole jaugée de 100 mL et l'opération répétée 3 fois. Le surnageant recueilli a été filtré dans un bécher à l'aide du papier Whatmann et introduit dans une fiole de 100 mL.

**Dosage:**

Préparation de la solution réactive: 2,5 mL d'anthrone (Ci= 0,2 %) dans l'acide sulfurique concentré.

La solution standard ou étalon (glucose, Ci= 1 g/l) préparée avec l'extrait hydroéthanolique (80 %) puis diluée au 1/100<sup>ème</sup> et introduit dans une fiole de 100 mL. La gamme utilisée: 15 µg/mL et 30 µg/mL.

La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en glucose et les résultats ont été exprimés en mg de glucose (Annexe 2).

Le blanc a été préparé pour chaque essai

Tous les essais ont été effectués en triplicate.

La quantité de chaque prise d'essai sera déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage.

$$TS (\%) = \frac{qXVtXD}{MSXmX10^6} X100$$

TS: teneur en sucres solubles;

q: quantité de glucose (µg) correspondant à la DO lue;

MS: matière sèche; m: prise d'essai;

Vt: volume total d'extrait de sucre;

D: dilution. 10<sup>6</sup>

**e- Dosage des protéines brutes**

L'azote est déterminé après minéralisation des échantillons selon la méthode de

Kjeldahl (AFNOR, 1984) et le dosage selon la technique colorimétrique de Devani *et al.* (1989).

**Principe:**

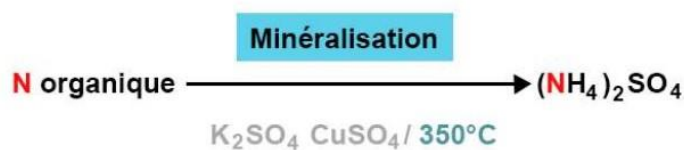
La minéralisation est basée sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence du catalyseur de minéralisation Dumazert (Merck). Le dosage est basé sur la réaction de l'ammoniac avec l'acétylacétone et le formaldéhyde en milieu aqueux pour donner un produit jaune le 3,5- diacétyl 1,4-dihydrolutidine qui peut être absorbé à 412 nm.

## Mode opératoire:

Cette méthode comporte 2 étapes que sont la minéralisation, le dosage.

### Minéralisation

Précisément 1 g de matière sèche ou échantillon, 5 mL d'acide sulfurique concentré, une pincée de catalyseur de minéralisation ont été introduits successivement dans chaque matras de minéralisation. Ce matras a été porté sur une rampe de minéralisation jusqu'à l'obtention d'une solution limpide, soit 6 heures. Après refroidissement, le minéralisât a été récupéré dans une fiole jaugée et son volume complété à 50 mL avec de l'eau distillée.



### Dosage de l'azote

#### - Préparation des solutions

- Solution d'acétate de sodium (41 g/l) dans de l'eau distillée;
- Solution réactive (15 mL de formaldéhyde 37% et 7,8 mL d'acétylacétone; compléter le volume à 100 mL avec de l'eau distillée);
- Solution standard 0,04 mg d'azote/mL préparée à partir du  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (PM = 132,14 g).

La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en protéines et les résultats ont été exprimés en mg de sulfate d'ammonium (Annexe 2).

Tous les essais ont été effectués en triplicate.

Le pourcentage de protéines de chaque échantillon s'obtient en multipliant le pourcentage d'azote par le coefficient conventionnel 6,25 de conversion de l'azote en protéines (AOAC, 1975).

$$Q = q \times F \times 100 / MS \times m$$

Q: quantité totale d'azote dans l'échantillon (g/ 100g MS);

q: quantité d'azote dans chaque essai;

MS: matière sèche de l'échantillon analysé;

F: facteur de dilution;

m: masse de l'échantillon analysé;

$$\text{Protéines (\%)} = 6,25X Q$$

### **II.2.8.1.2. Détermination des micronutriments des fruits de tomate**

La poudre de tomate séchée a été analysée par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (Benton et Vernon, 1990) pour le dosage des minéraux: Fer, Manganèse, et Zinc.

#### **Principe:**

La méthode consiste à vaporiser l'échantillon liquide et à le chauffer à l'aide d'une flamme. La flamme est dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant les longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses, dont les longueurs d'onde correspondent à l'élément dosé, sont absorbées par les ions excités présents dans la flamme. L'absorption mesurée, est directement proportionnelle à la concentration de l'élément.

#### **Mode opératoire:**

##### **Minéralisation**

L'échantillon sec délipidé (0,5 g) a été pesé puis introduit dans une capsule en porcelaine préalablement lavée et rincée à l'acide nitrique 10% puis séchée à l'étuve pendant 30 min et au four pendant 3 h. Une capsule vide a servi de blanc. Les capsules ont été placées dans le four à 500° C pendant 24 h puis refroidit au sortir du four dans un environnement exempt de toute brise. On obtient un corps blanchâtre (cendres).

Les capsules ont été rincées avec 15 mL de solution d'aqua régia dans des tubes en propylène de 50 mL. A l'aide de l'agitateur mécanique, le mélange a été agité pendant 10 mn puis centrifugé à 3000 tr/mn pendant 10 mn également. Le surnageant qui est la solution échantillon a été récupéré pour les dosages.

#### **- Préparation des étalons**

##### **Solutions stocks:**

Fer, manganèse et zinc : Dans une fiole jaugée de 100 mL, ont été ajoutés: 8 mL de Fe 1000 ppm, 8 mL de Mn 1000 ppm, 2 mL de Zn 1000 ppm et le volume complété au trait de jauge avec la solution d'aqua régia.

##### **Solutions de travail:**

Fer, manganèse et zinc: Dans 5 tubes de 50 mL numérotés de 1 à 5 ont été ajoutés: 10 mL d'eau déionisée et 30 mL de solution d'aqua regia et l'ensemble agité. De ces tubes, ont été

prélevés respectivement 0; 0,5; 1; 1,5 et 2 mL de solution et qui ont été remplacés par les mêmes quantités de la solution stock. Le tout a été homogénéisé (Tableau VI).

#### **Concentrations de la gamme des standards:**

Les concentrations des différentes gammes de standards ainsi préparées ont été présentées dans le tableau suivant:

**Tableau VI:** Concentration de la gamme de standards des oligoéléments

		<b>Concentration (ppm)</b>				
$\lambda$ (nm)	<b>Tube N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
248,3	<b>Fe</b>	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
213,9	<b>Zn</b>	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
279,5	<b>Mn</b>	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00

#### **Préparation des échantillons**

Pour le dosage des oligoéléments (Fe, Zn, Mn), le surnageant n'a pas été dilué, environ 10 mL ont été utilisés. Deux tubes contenant les mêmes quantités de produits que tous les autres tubes et complétés au volume avec de l'eau désionisée ont été ajoutés pour chaque série de dosage.

Standards, échantillons et blancs ont été ensuite passés au spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme. La droite de calibration de chaque standard a permis de déterminer la concentration ( $\mu\text{g/g}$ ) de chaque minéral par projection des absorbances sur les courbes correspondantes (Annexe 3).

### ***II.2.8.1.3. Détermination des composés bioactifs des fruits de tomate***

#### **a- Dosage du Lycopène**

Le lycopène a été déterminé par la méthode de Benakmoum *et al.* (2008).

#### **Principe:**

La température de fusion du lycopène est 175°C, puisqu'il est liposoluble, son extraction se fait soit dans le cyclohexane ( $d=0,78$ ), le dichlorométhane ( $d=1,32$ ) et l'éthanol ( $d=0,79$ ). L'identification du lycopène se fait par spectrophotomètre à 472nm (Benakmoum *et al.*, 2008).

### **Mode opératoire:**

La poudre de tomate (0,1 g) a été introduite dans 10 mL de solution (hexane-acétone-éthanol, (50/50/25)). Après une agitation de 10 mn et une centrifugation à 5000 tours par mn pendant 15 mn, 1 mL de la phase organique a été ensuite extrait et dilué dans 9 mL d'hexane. Dans une cuve, un échantillon de la phase organique a été mis et l'absorbance mesurée à 472 nm.

Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

La teneur en lycopène est exprimée selon la formule suivante:

$$C (\mu\text{g/g}) = Abs_{472} \times F_d \times 10^6 \times V / 3450 \times 100 \times P$$

Où:

$F_d$ : Facteur de dilution;

V : Volume du solvant

d'extraction; 3450: Coefficient

d'extinction de l'hexane; P:

Poids de la prise d'essai.

### **b- Dosage de vitamine C**

La vitamine C a été déterminée par la méthode par titration de Katz (2013).

#### **Principe:**

Le principe de la titration repose sur la détermination de la concentration de vitamine C de la solution inconnue en ajoutant progressivement à un volume donné d'iodure de concentration connue à cette solution. Et en déterminant le volume de la solution d'iodure qui est ajouté pour atteindre l'équivalence, la concentration en vitamine C de la solution inconnue est définie.

#### **Préparation des solutions**

- Solution d'iodure (0,1 mol/l): l'iodure de potassium (3,32 g) et la diode (2,54 g) ont été pesés et introduits dans un bécher. Le mélange a été dissout avec de l'eau distillée et la solution de même que l'eau de rinçage ont été récupérées dans une fiole jaugée et le volume complété à 100 mL.
- Solution d'amidon (2%): 1g d'amidon soluble a été introduit dans une fiole jaugée de 50 mL contenant de l'eau distillée, puis le mélange a été chauffé sous agitation continue à l'aide d'un barreau magnétique jusqu'à dissolution complète. Le volume a été complété au trait de jauge puis refroidit avant utilisation.



- Extrait: 1 g de chaque échantillon a été dissout dans 100 mL d'eau distillée sous agitateur magnétique, puis le mélange a été filtré et le filtrat recueilli dans une fiole jaugée.
- Standard: l'acide ascorbique ou vitamine C (0,05 - 0,1g) ont été dissouts dans 25 mL d'eau distillée.

### Mode opératoire:

Vingt (20 mL) de chaque extrait ont été pipetés et introduits dans un bécher, puis ont été ajoutés 25 mL d'eau distillée et 1 mL de solution d'amidon. Le mélange sous agitation continue a été titré avec la solution d'iode. La fin de la titration a été identifiée par l'apparition d'une coloration bleu-nuit persistante.

Vingt (20 mL) de standard ont été mélangés à 25 mL d'eau distillée et à 5 gouttes d'amidon puis titrés.

Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

La masse (mg) de vitamine C a été calculée par la formule:

$$M = C \times V \times 176,12$$

M: masse (mg) de vitamine C;

C: concentration de la solution d'iode;

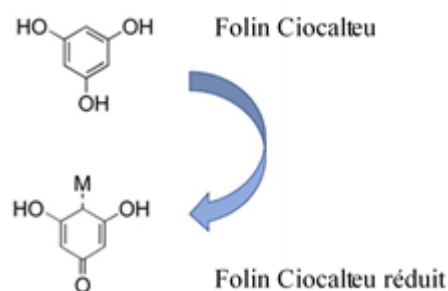
V: volume de titration;

176,12: poids moléculaire de la vitamine C.

### c. Détermination de la teneur en polyphénols (méthode de Folin-ciocalteu)

**Principe** (Singleton et Rossi, 1965):

Cette méthode est basée sur la réduction d'un chromogène phosphomolybdique par un oxydant et le changement de coloration résultant présente une absorbance maximale à 750 nm. Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et phosphomolybdique (réactif commercial) qui réagit avec les composés phénoliques pour développer une coloration verte dont l'absorption est mesurée à 765 nm après 30 min d'incubation à température ambiante.



## **Préparation de l'extrait**

Une masse de 0,5 g de poudre de tomate a été macérée dans 30 mL d'un mélange hydro-alcoolique EthOH (éthanol-eau) (1/1 v/v) pendant 24 heures à une température ambiante. Ce mélange a été filtré sur papier whatman et le résidu obtenu est repris pour une deuxième fois avec un volume de 50 mL du même mélange hydro-alcoolique pendant 24 heures à température ambiante. L'extrait hydro-alcoolique a été agité au vortex, puis centrifugé à 4000 tr/min pendant 5 minutes. L'éthanol a été évaporé du surnageant par rota vapeur à 65 °C et l'extrait phénolique conservé à 6°C jusqu'à utilisation.

### **Mode opératoire:**

La concentration des polyphénols de l'extrait a été mesurée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu (Sigma Chemical Co. St Louis, MO) dilué 10 fois avant utilisation. Pour cela, après l'ajout de 0,5 mL d'extrait dans 2,5 mL de solution de Folin diluée (0,2 N), l'absorbance a été mesurée à 765 nm après 30 min de réaction à l'aide d'un spectrophotomètre de marque UV-VIS. L'acide gallique (Sigma) a été utilisé comme standard.

La teneur en phénols est exprimée en mg EAG/g de MS et représentée sur la courbe de régression (Annexe 4). Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

## **II.2.8.1.4. Evaluation du Potentiel Antioxydant In Vitro**

### **a- Capacité Antioxydante Totale (CAT)**

#### **Principe:**

Cette technique est basée sur la réduction du molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate  $\text{MoO}_4^{2-}$  en molybdène Mo (V)  $\text{MoO}^{2+}$  en présence des extraits pour former un complexe vert de phosphate/ Mo(V) à pH acide (Prieto *et al.*, 1999).

#### **Mode opératoire:**

Un volume de 0,1 mL de chaque extrait a été mélangé avec 1,9 mL de solution du réactif (mélange équivolume de 0,6 M acide sulfurique, 28 mM phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium). Les tubes ont été incubés à 95°C pendant 60 minutes. Après refroidissement, les absorbances ont été lues à 695 nm contre le blanc qui contenait 1,9 mL de la solution du réactif et 0,1 mL d'éthanol incubé dans les mêmes conditions que les échantillons. La capacité antioxydante totale a été exprimée en microgramme d'équivalents d'acide ascorbique par gramme de matière sèche (mg EAA/ g MS) en comparaison avec la courbe

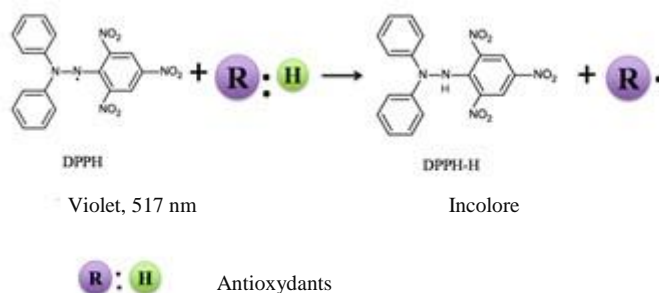
standard (Annexe 5) d'acide ascorbique obtenue à partir d'une gamme de concentrations d'acide ascorbique préparée dans les mêmes conditions (Prieto *et al.*, 1999).

Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

## b- Capacité à piéger le radical 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyle (DPPH•)

### Principe:

La méthode est basée sur la réduction d'une solution alcoolique de l'espèce radicalaire stable DPPH• en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH) et ce qui aboutit à la formation d'une forme non-radicalaire, le DPPH-H. La réduction du DPPH• en DPPH-H induit une perte de sa couleur violette (violet au jaune) qui peut être suivie à 517 nm. Ainsi, plus la perte de couleur est rapide; plus le donneur d'hydrogène est considéré comme un antioxydant fort (Brand-Williams *et al.*, 1995).



### Mode opératoire:

Un volume de 50 µl de différentes concentrations de chaque extrait a été ajouté à 2,950 mL de la solution DPPH• éthanolique fraîchement préparée (55µM). Après 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante, les absorbances ont été lues à 517 nm. Le contrôle a été préparé en mélangeant 50 µl d'éthanol 80% à 2,950 mL de la solution DPPH• éthanolique. Le Trolox utilisé comme standard et préparé à la même concentration que l'extrait. La capacité des extraits à piéger le radical DPPH• a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH• suivant l'équation:

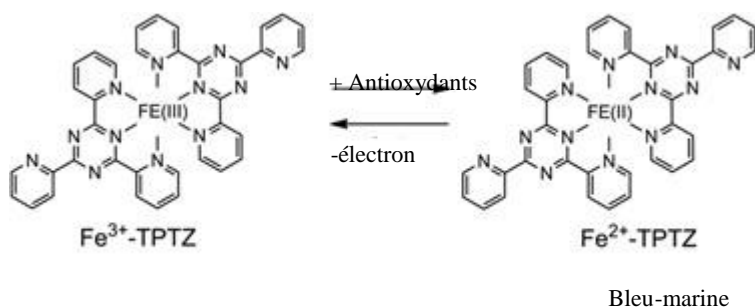
$$\text{Pourcentage d'inhibition}(\%) = \frac{(\text{Absorbance contrôle} - \text{Absorbance essai}) \times 100}{\text{Absorbance contrôle}}$$

Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

## b- Capacité à piéger le radical hydroxyle ( $\cdot\text{OH}$ ) réduction au fer (FRAP) (Oyaizu, 1986)

### Principe:

La méthode utilisée est celle décrite par Benzie et Strain (1996). Elle est basée sur la capacité des échantillons à réduire le fer à un pH (3,6) ; Une intense coloration bleue sera formée lorsque le complexe tripyridyltriazine ferrique est réduit en tripyridyltriazin ferreux et l'absorbance est mesurée à 593 nm.



### Mode opératoire:

Un volume de 1 mL d'extrait a été mélangé avec 2,5 mL de la solution tampon phosphate (0,2 M, pH = 6,6), 2,5 mL de ferrocyanure de potassium 1% et incubé dans un bain marie à 50°C pendant 20 minutes. Ensuite, 2,5 mL d'acide trichloroacétique 10% ont été ajoutés au mélange, puis ce dernier a été centrifugé à 4000 tr/min pendant 10 min. le surnageant (2,5 mL) a été alors mélangé à 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL de solution de chlorure ferrique 0,1%. L'intensité de la coloration bleu-vert a été mesurée à 700 nm. L'acide ascorbique a été utilisé comme standard à la gamme de concentration (0 – 0,3 mg/mL) (Annexe 5). Tous les échantillons ont été analysés en triplicate.

## II.2.8.2. Détermination du profil phénolique des fruits de tomate en champ et en milieu sous-abri

### a- Extraction des polyphénols

L'extraction des polyphénols a été effectuée par la méthode ultrasonication optimisée de Nzekoue *et al.* (2020).

Cinq (5) g de chaque échantillon ont été soniqués pendant 60 min avec 5 mL d'éthanol 70% en utilisant un bain ultrasonique FALC (FALC, Treviglio, Italie), à la fréquence de 40 kHz et la température 25°C. Après extraction, l'échantillon a été filtré avec le papier filtre et l'extrait obtenu a été collecté et conservé à l'obscurité à la température de 4°C avant analyse.

## **b- Analyse des polyphénols**

Les polyphénols de chaque extrait ont été analysés par la chromatographie liquide haute performance avec un détecteur diode (HPLC-DAD) selon la méthode reportée par Bendif *et al.* (2017).

L'étude par HPLC-DAD a été améliorée en utilisant le système modulaire HewlettPackard HP-1090 séries II (Palo Alto, CA, USA), équipé d'une pompe binaire, échantillonneur automatique et un détecteur à barette de diodes (DAAD, modèle 1046A HP). Les polyphénols ont été séparés via une colonne analytique Synerigi Polar-RP C18 4,6 mm x 250 mm, 4 µm) précédée par une cartouche de sécurité (Phenomenex, cheshire, U). La phase mobile a consisté à un mélange d'eau (A) et d'acétonitrile (B) avec 0,1% d'acide formique coulant à 0,8 mL/min dans les conditions gradients de: 0 min, 20% B; 0-15 min, 60% B; 15-25 min, 75% B; 25-30 min, 60% B; 30-35 min, 20% B. les spectres UV ont été enregistrés et différentes longueurs d'onde utilisées pour la détection des composés et la quantification. La longueur d'onde 230nm a été utilisée pour la détermination de l'acide shikimique, 256nm pour la rutine, l'hyperoside et la quercitine, 272 nm pour l'acide gallique, 280 nm pour l'hydrate de catéchine, l'épicatéchine, l'acide carnosique et le carnosol, 325 nm pour l'acide chlorogénique, l'acide néochlorogénique, l'acide 3,5-di-O-caffeoylquinique et l'acide rosmarinique. La température de la colonne a été réglée à 30°C et le volume d'injection était de 5 µl. Les chromatogrammes obtenus ont été reportés à l'Annexe 6.

### **II.2.9. Analyse du sol**

#### **II.2.9.1. Echantillonnage du sol**

En champ, la méthode utilisée pour l'échantillonnage des sols a consisté à fixer au hasard trois (3) points de prélèvement sur les diagonales de quelques parcelles du champ. A l'aide d'une tarière (barre de fer en forme de « T » terminant par une configuration hélicoïdale ou « vis sans fin », les échantillons de sol ont été prélevés à 20 cm de profondeur et mélangés dans un seau. Cinq cent (500) grammes de ce mélange ont été prélevés et versés dans chaque sachet plastique stérile étiqueté (un composite de la parcelle). Trois échantillons ont été prélevés au hasard sur toute la surface cultivée avant le début de l'expérience en champ ; et à la fin de l'expérience, les échantillons de sol ont été prélevés en fonction des différents traitements. En milieu paysan, 2 échantillons de sol ont été prélevés au début et à la fin de la culture de la tomate. Au total, 43 échantillons de sol (à raison de 4 échantillons en milieu paysan) ont été prélevés pour chaque expérience.

En milieu sous-abri, les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une machette et conservés dans les sachets plastiques étiquetés. Au début de l'expérience, 3 échantillons de chaque sol amendé ont été prélevés et à la fin de l'expérience, les échantillons de sol ont été prélevés en fonction de chaque traitement. Au total, 24 échantillons de sol ont été prélevés à chaque expérience.

### **II.2.9.2. Conditionnement du sol**

Au laboratoire, les échantillons de sol ont subi un séchage à température ambiante pendant 7 jours. Ils ont ensuite été émiettés au moyen d'un mortier en porcelaine (30 cm de diamètre) et d'un pilon en porcelaine, puis passés dans un tamis en inox de 2 mm de mailles. La terre fine obtenue (< 2 mm) a été utilisée pour déterminer les paramètres physicochimiques du sol.

### **II.2.9.3. Analyse physico-chimique du sol**

Les paramètres physico – chimiques contenus dans les sols ont été analysés suivant les méthodes en vigueur à l'Unité de Recherche d'Analyse de Sols et de Chimie de l'Environnement (URASCE), préconisées par Pauwels *et al* (1992) et respectant les normes ISO, NF EN et AFNOR NF. Il s'agit de:

#### **II.2.9.3.1. Granulométrie**

##### **Principe:**

La granulométrie (sable, argile et limon) a consisté à la mise en suspension des particules minérales d'un échantillon de terre et stabilisation de cette suspension dans des conditions bien définies en particulier, destruction des agrégats. Séparation des différentes classes de particules par sédimentation par gravité pour les fractions (< 50 $\mu$ m) et par tamisage pour les fractions supérieures. Prélèvement des fractions fines par la méthode de la pipette Robinson – Köhn. Pesé du résidu solide après évaporation du liquide (norme NFX 31 - 107).

##### **Mode opératoire:**

Cinquante millilitres (50 mL) d'eau oxygénée 10 % ont été ajoutés à 20 g de terre fine dans un bêcher de 1 L recouvert d'un verre de montre et le mélange a été laissé au repos pendant 12h, ensuite chauffé doucement sur plaque chauffante puis porté à ébullition pendant 15 min. La suspension a été laissée à refroidir et complétée à 500 mL avec de l'eau distillée. Après sédimentation, le liquide surnageant clair a été enlevé. 250 mL de HCl 0,2 N ont été ajoutés ensuite au culot et le tout porté à ébullition pendant 15 min en remuant régulièrement.

L'ensemble a été laissé à sédimenter et le liquide surnageant clair a été enlevé. L'excès d'acide a été lavé avec plusieurs portions de 500 mL d'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un pH neutre (test au papier pH). La suspension a ensuite été tamisée à l'aide d'un tamis de maille 50 µm sous eau. Le tamisât (mélange d'argile et limon) a été transféré quantitativement dans une éprouvette de 1 L et 20 mL d'hexamétaphosphate de sodium 1N (dispersant) ont été ajoutés. Le refus du tamis (partie sableuse) a été introduit dans un creuset en verre taré et séché dans une étuve ventilée à 105 °C. Après refroidissement dans un dessiccateur, il a été pesé. L'éprouvette contenant le tamisât a été agité pendant 2 h sur un agitateur rotatif et le volume a été complété à 1000 mL avec de l'eau distillée. La suspension a ensuite été agitée énergiquement et manuellement à l'aide d'une tige munie d'une plaque en céramique perforée à son bout. La suspension a été aspirée à 10 cm de profondeur moyennant la pipette Robinson – Köhn et en fonction des différentes durées définies par la loi de Stokes. La suspension ainsi aspirée a été recueillie dans un creuset en verre taré et séché. L'ensemble a été refroidi dans un dessiccateur puis pesé afin de déterminer la fraction 'argile + limon'.

La fraction 'limon fin + argile' a été prélevée après 5 min tandis que la fraction argileuse a été prélevée après 8 h suivant leur vitesse de sédimentation selon la loi de Stokes.

Les mêmes procédés de séchage et de pesée ont été appliqués pour ces dernières fractions.

Les résultats obtenus sont multipliés par 100/20 pour les ramener en pourcentage (%) de terre sèche.

Calcul du %n de Limon:

$$\text{Limon (\%)} = (P - P_1) \times 25 \times 5$$

P: poids de l'Argile + Limon;

P<sub>1</sub>: poids d'Argile;

25: rapport 500 mL/20mL;

5: rapport 100 g/20 g (100 mL pour ramener le résultat final à 100g et 20 g pour la prise d'essai.

Calcul du pourcentage d'argile:

$$\text{Argile (\%)} = (P_1 - \text{surcharge d'hexamétaphosphate de sodium}) \times 25 \times 5$$

Calcul du pourcentage de Sable:

$$\text{Sable (\%)} = (\text{Poids de la tare avec résidu} - \text{Poids de la tare}) \times 5$$

Les classes texturales ont été trouvées par l'usage du Triangle Textural USDA, une fois les proportions des différentes particules ou fractions texturales calculées.

#### **II.2.9.3.2. Détermination du pH-H<sub>2</sub>O**

Le pH a été mesuré par potentiométrie à l'aide d'un pH mètre de marque «Hanna Instruments» au moyen d'une électrode combinée dans l'extrait aqueux de sol dans le rapport 1/2,5 (norme ISO 10390).

##### **Mode opératoire:**

L'acidité réelle a été déterminée en introduisant 10 g de terre fine dans un bêcher de 100 mL. Vingt-cinq millilitres (25 mL) d'eau distillée ont été ajoutés et laissés à équilibrer pendant 16 h en remuant régulièrement au début avec un agitateur en verre. Le pH a été déterminé en plongeant directement l'électrode combinée du pH – mètre de marque 'Hanna instruments' dans la suspension de sol.

#### **II.2.9.3.3. Détermination de la matière organique**

##### **Principe:**

Le dosage de la matière organique a été réalisé par la méthode de Walkley et Black (1934) (norme AFNOR NFU 44-051). Cette méthode est basée sur l'oxydation du Carbone organique (CO) par le dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en milieu fortement acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Le titrage de retour de l'excès de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> par le sulfate ferreux (Fe SO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) permet de calculer la quantité de dichromate qui a été neutralisée par le carbone organique (CO). Le point d'équivalence est indiqué par le virage du diphénylamine du bleu au vert brillant.

##### **Mode opératoire:**

Un demi-gramme (0,5 g) de terre fine, 10 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,0 N et 20 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrés ont été successivement introduits dans un erlenmeyer de 500 mL et agités précautionneusement pour mélanger les réactifs. Le contenu de l'erlenmeyer a été laissé au repos pendant 30 minutes. De l'eau distillée a été ajoutée et le mélange a été agité encore. La diphénylamine a été ajoutée comme indicateur. Le contenu de l'erlenmeyer a été titré avec FeSO<sub>4</sub>, 7 H<sub>2</sub>O en présence de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> jusqu'au passage de la couleur bleu-foncée à la couleur vert brillant indiquant le point final du dosage (Walkley et Black, 1934). Un essai blanc ou témoin a été réalisé dans les mêmes conditions.

Le pourcentage de CO est calculé par la formule suivante:



$$CO (\%) = \frac{4 (V - V_0) 100 X P}{V}$$

$V_0$ : volume de  $Fe SO_4.7H_2O$  ajouté au témoin;

$V$ : volume de  $FeSO_4.7H_2O$  ajouté à l'échantillon;

$P$ : prise d'essai (0,5g de sol).

La teneur en matière organique (MO) est tirée de la relation:

$$MO (\%) = CO X 1,724$$

1,724: facteur de Sprengel pour les sols sous végétation naturelle

#### **II.2.9.3.4. Détermination de l'azote total**

##### **Principe:**

La détermination de l'azote total a été faite par la Méthode de Kjeldhal (norme NF ISO 11261). Elle consiste en la minéralisation complète de l'azote organique par traitement à chaud avec un mélange d'acide sulfurique concentré et d'acide salicylique, de catalyseurs ( $CuSO_4 + S$ ). La minéralisation est suivie d'une distillation par entraînement à la vapeur de l'azote sous forme de  $NH_3$ , après alcalinisation de l'extrait minéralisé avec du  $NaOH$ . Le distillat capté dans l'acide borique ( $H_3BO_3$ ) est ensuite titré avec l'acide sulfurique.

##### **Mode opératoire:**

##### **Minéralisation de l'azote organique**

Deux (2) grammes de terre fine ont été introduits dans un tube de minéralisation puis 7 mL du mélange acide sulfurique / acide salicylique ont été ajoutés et laissés réagir pendant 30 min. Après réaction, 0,5 g de thiosulfate de sodium et 0,2 g de catalyseur ( $K_2SO_4 + CuSO_4 + Sélénium$ ) ont été ajoutés. Le tube a été chauffé à 400 °C jusqu'à obtention de la couleur gris clair.

##### **Distillation de l'azote**

Le minéralisat ainsi obtenu a été laissé à refroidir puis 50 mL d'eau distillée ont été ajoutés. L'ensemble a été distillé par entraînement à la vapeur. L'ammoniac provenant du minéralisat a été recueilli dans 20 mL de mélange d'acide borique plus indicateur coloré (rouge

de méthyle + vert de bromocrésol dans l'éthanol) en faisant virer l'indicateur du rouge vineux au vert jusqu'à l'obtention de 150 mL de distillat.

### **Dosage de l'azote**

Le distillat a ensuite été titré sous agitation permanente moyennant un agitateur magnétique avec de l'acide sulfurique 0,01 N jusqu'au retour de la couleur initiale de l'indicateur coloré (rouge). Le témoin a été préparé dans les mêmes conditions.

La teneur en azote a été calculée par la formule:

$$N (mg/kg) = 14X (V - V_0)X t/P$$

V: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ajouté à l'échantillon;

V<sub>0</sub>: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ajouté  
au témoin; P: prise d'essai du  
sol en gramme (2g); t:  
normalité de l'acide (0.01N).

### **II.2.9.3.5. Détermination du phosphore assimilable**

#### **Principe:**

Le phosphore assimilable a été déterminé par colorimétrie au bleu de molybdène après extraction à la solution d'extraction acide (HCl + NH<sub>4</sub>F) de Bray II. Elle combine l'extraction du phosphore en milieu acide (HCl 0,1N) à la complexation par le fluorure d'ammonium (NH<sub>4</sub>F 0,03N) de l'aluminium lié au phosphore. Le dosage du phosphore extrait a été ensuite fait par spectrophotométrie avec le bleu de Molybdène, en utilisant un Spectrophotomètre d'absorption moléculaire à la longueur d'onde 665 nm (norme NF X 31 - 130).

#### **Mode opératoire:**

II a été effectuée par extraction de 2,5 g de terre fine avec 17,5 mL de la solution d'extraction constituée par le mélange NH<sub>4</sub>F 0,03 M et HCl 0,1 M (Bray et Kurtz, 1945). L'extraction s'est effectuée dans des tubes à essai de 50 mL manuellement pendant 45 secondes. L'ensemble a été filtré à l'aide de papiers filtres Whatman N° 42. Le dosage de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> s'est fait sur le filtrat par la méthode spectrométrique au bleu de molybdène (Watanabe et Olsen, 1965). A cet effet, le filtrat (10 mL) a été prélevé et acidifié avec de l'acide borique 5 %. L'agent de développement de la couleur (mélange sulfomolybdique) a été ajouté. Le témoin et les étalons ont été préparés de façon similaire avec 10 mL de la solution d'extraction, et l'intensité

de la couleur a été développée au bain – marie à 85 °C et mesurée comme absorbance lumineuse à la longueur d'onde de 665 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque 'Seartech 722 N' (Kuo, 1996).

Préparations des étalons: Les étalons ont été préparés à partir d'une solution mère de phosphore à 500 ppm. Les différentes concentrations étaient: 0 ppm constitué du K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm. La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en phosphore et les résultats ont été exprimés en mg de phosphore/kg de sol.

#### **II.2.9.3.6. Détermination des bases échangeables et de la capacité d'échange cationique**

##### **a- Bases échangeables**

##### **Principe:**

- Le calcium et le magnésium ; par complexométrie et méthode titrimétrique à l'EDTA d'un extrait à l'acétate d'ammonium à pH 7 de l'échantillon. (Norme AFNOR NF U44 -146) ;
- Le Potassium et le sodium; par photométrie de flamme par lecture directe dans un extrait à l'acétate d'ammonium à pH 7 de l'échantillon. (Norme AFNOR NF T90 - 019).

##### **Mode opératoire:**

La terre fine (2,5 g) a été introduite dans une seringue d'extraction contenant au préalable une couche de coton, le tout disposé sur le disque amovible d'un extracteur mécanique. Cinquante (50) mL d'acétate d'ammonium ont été introduits dans la seringue et l'extraction a été effectuée à vitesse lente pendant 16 h. Les extraits ont été ensuite transférés dans des fioles jaugées de 50 mL et complétés au trait de jauge. Le dosage de Ca + Mg a été effectué en introduisant 20 mL de l'extrait à l'acétate d'ammonium et 20 mL d'eau distillée dans un erlenmeyer de 100 mL. La soude 8M a été ajoutée jusqu'à l'obtention d'un pH 10. Un pH - mètre de marque 'Hanna Instruments' a été utilisé pour ajuster le pH. Un (1) millilitre de Mg – EDTA, 1 mL de KCN 5 % et 1 mL de triéthanolamine (TEA) et une pincée de l'indicateur coloré Noir Eriochrome T (NET) + KNO<sub>3</sub>. L'ensemble a été titré lentement avec le Na<sub>2</sub> – EDTA 0,002 M jusqu'au changement de coloration du violet au bleu pur.

La détermination de Ca seul a été effectuée en introduisant 20 mL de l'extrait à l'acétate d'ammonium et 20 mL d'eau distillée dans un erlenmeyer de 100 mL. Le pH de la suspension

a été ajusté à 12,5 à l'aide de NaOH 8M. Ensuite, 1 mL de KCN 5 %, 1 mL de TEA et une pincée de l'indicateur de Patton et Reeder. L'ensemble a été titré lentement avec le Na<sub>2</sub>-EDTA 0,002 M jusqu'au changement de coloration du rouge vineux au bleu pur. Le dosage de K et Na a été effectué sur l'extrait à l'ammonium acétate par lecture directe par photométrie de flamme. La flamme utilisée pour les deux éléments était celle du mélange gazeux air – butane.

### **b- Capacité d'échange cationique**

#### **Principe:**

Elle consiste dans les conditions déterminées à permettre l'échange (percolation) entre les cations d'un échantillon de sol et les ions ammonium d'une solution aqueuse molaire et neutre d'acétate d'ammonium. L'élimination de l'ammonium en excès (percolation) au moyen d'alcool éthylique; extraction (agitation) des ions ammonium fixés, par une solution aqueuse et molaire de chlorure de sodium; et détermination de la capacité d'échange cationique par dosage des ions ammonium échangés.

#### **Mode opératoire:**

On utilise une colonne de percolation (qui ressemble au colonne de chromatographie) on ajoute du coton, puis une prise d'essai pour chaque sol égale à  $2,5 \pm 0,005$  g tamisé à 2 mm, puis on ajoute environ 75 mL d'acétate d'ammonium (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>, pH=7, 1 mol/L), que l'on laisse percoler. Au total, il faut réaliser cinq percolations. L'échantillon est ensuite rincé à l'alcool éthylique. Il est généralement nécessaire d'effectuer six rinçages pour obtenir une élimination complète des ions ammonium en excès. A la suite du rinçage, l'échantillon est mis à sécher pendant 24h à température ambiante. L'échantillon est placé dans un récipient à agitation. L'extraction des ions ammonium est réalisé grâce à ( $50 \pm 0,1$ ) mL de NaCl (1 mol/L). L'agitation dure 1 heure. La solution ensuite est filtrée (sur des filtres sans cendres).

Vingt-cinq (25) millilitres du filtrat sont versés dans le ballon d'un appareil à distiller à l'aide d'une pipette, ainsi que 10 mL de soude NaOH (33% dans l'eau (m/v)), ensuite on complète à 200 mL par l'eau distillée et on ajoute des régulateurs d'ébullition (comme par exemple des pierres ponce). Ajouter dans le récipient de récupération du distillat,  $40 \pm 0,1$  mL de l'acide borique (40 g/L) et quelques gouttes d'indicateur de Toshiro, plonger l'extrémité du réfrigérant sur une profondeur d'au moins de 1mL, dans le liquide de récupération, ajouter quelques gouttes de phénophtaléine dans le ballon de l'appareil à distiller (Vérifier l'étanchéité d'assemblage de l'appareil). On chauffe progressivement le ballon de façon à distiller environ 150 mL, en 30min. Après ce de temps, vérifier la neutralité du filtrat qui s'écoule à l'extrémité du réfrigérant au

moyen d'un papier pH ou phénophtaléine. Si la réaction est alcaline, on poursuit la distillation. Procéder au titrage d'ammoniaque par la solution sulfurique de 0,025 mol/L. Et en parallèle on effectue un essai à blanc (sans filtrat du départ), et on calcule comme suit:

$$T = (V_1 - V_2) \times 2,5C \times 50 \times 100/V$$

$V_1$ : volume de l'acide sulfurique utilisé pour l'essai, exprimé en mL;

$V_2$ : volume de l'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc, exprimé en mL;

C: est la concentration de l'acide sulfurique, en mol/L;

V: volume de prise d'essai pour la distillation, en mL;

m: prise d'essai, en g est de 2,5g.

La valeur de capacité d'échange cationique T est exprimée en centimoles de charges positives par kilogramme (cmoles+/ kg).

### **c. Capacité d'échange cationique effective (CECE)**

C'est un paramètre qui a été déterminé par addition de la somme des bases échangeables et de l'acidité échangeable et s'exprime en méq / 100 g.

### **II.2.9.3.7. Détermination des oligoéléments**

#### **Principe:**

Elle s'est effectuée par la méthode d'ammonium acétate + EDTA. Elle consiste à l'extraction par des solvants simulant par voie chimique l'environnement du sol en agissant sur les réactions de solubilisation, sorption et complexation. Les oligoéléments du sol extractibles étaient : le fer, le cuivre, le plomb et le zinc.

#### **Mode Opérateur:**

L'extraction de ces derniers a été effectuée après agitation de 20,0 g de terre fine et 100 mL de la solution d'extraction (ammonium acétate + EDTA à pH 4,65) sur table agitatrice pendant 30 min. Après filtration, les teneurs en oligoéléments ont été déterminées par lecture directe à l'aide d'un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA) à flamme air / acétylène de marque 'Rayleigh 130 B'.

### **II.2.9.3.8. Détermination de l'aluminium échangeable**

#### **Mode opératoire:**

Cinq (5) g de terre fine et 40 mL de KCl 1 N ont été introduits dans un erlenmeyer de 100 mL et agités sur table agitatrice pendant 30 min à 125 tours / min. L'ensemble a été sédimenté puis filtré et le filtrat a été recueilli dans une fiole jaugée de 100 mL. Vingt (20) mL de KCl 1 N ont été rajoutés dans la suspension de sol dans l'erlenmeyer, agités à la main puis laissés à sédimenter pendant 10 min et le surnageant a été filtré. Cette dernière extraction a été répétée trois fois et le volume de la fiole a été ajusté au trait de jauge à l'aide de la solution de KCl 1 N. Cinquante (50) mL de l'extrait ainsi obtenu ont été titrés à l'aide de NaOH 0,02 N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante pendant 30 s. L'acidité échangeable exprimée en méq / 100 g est déduite du volume de NaOH nécessaire pour atteindre le point équivalent.

### **II.2.9.3. Détermination de la biomasse microbienne du sol**

La détermination de la biomasse microbienne s'est faite par la méthode de Fumigation-Extraction (Chaussod *et al.*, 1988; Wu *et al.*, 1990). Pour chaque expérience, 6 répétitions de chaque traitement sont prélevées (trois échantillons de chaque traitement sont fumigés au chloroforme (CH<sub>3</sub>Cl) et trois autres non fumigés).

#### **Mode opératoire:**

La terre sèche a été fumigée par les vapeurs de chloroforme (lavé deux fois) dans les proportions 1:1, pendant 16 heures à l'obscurité et à une température de 20 °C. Après fumigation, les échantillons de sol ont été extraits par agitation du sol (125 oscillations/min) pendant 40 minutes dans la solution de sulfate de potassium 0,05 N (rapport sol / solution = 1 / 5), suivie de la centrifugation à 6000 tr / min pendant 10 minutes. Le surnageant a été utilisé pour déterminer les teneurs en azote, carbone et phosphore de la biomasse microbienne.

#### **II.2.9.3.1. Détermination de la biomasse microbienne en azote**

Sur une prise d'essai de 5 mL de surnageant de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, des échantillons fumigés et non fumigés, le dosage de l'azote total est fait selon la méthode de digestion Kjeldal (Bremner, 1965). Le calcul de l'azote de la biomasse microbienne est fait selon l'équation suivante (Brookes *et al.*, 1985):

$$BMN = [NF - NNF] / KeN$$

Avec,

BMN: la biomasse microbienne en azote;

NF: azote total dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol fumigé;

NNF: azote total dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol non fumigé;

KeN: coefficient d'efficacité d'extraction de l'azote organique microbien et de l'azote inorganique du sol. La valeur 0,68 indiquée par Brookes *et al.* (1985) a été considérée dans ce calcul.

La valeur finale du résultat a été exprimée en mg d'azote/kg de sol.

### **II.2.9.3.2. Détermination de la biomasse microbienne du sol en carbone**

Sur une prise d'essai de 5 mL de surnageant de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> des échantillons fumigés et non fumigés, le dosage du carbone total est fait selon la méthode de Walkey et Black. (1962).

Le calcul du carbone de la biomasse microbienne est fait selon l'équation suivante:

$$\text{BMC} = [\text{CF} - \text{CNF}] / \text{keC}$$

BMC: la biomasse microbienne en carbone;

CF: Carbone dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol fumigé;

CNF: Carbone dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol non fumigé;

KeC: coefficient d'efficacité d'extraction du carbone de la biomasse microbienne. La valeur de 0,38 indiquée par Vance *et al.* (1987) a été considérée dans ce calcul.

La valeur finale du résultat a été exprimée en mg de carbone/kg de sol.

### **II.2.9.3.3. Détermination de la biomasse microbienne en phosphore**

Sur une prise d'essai de 5 mL de surnageant de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> des échantillons fumigés et non fumigés, le dosage du phosphore total est fait selon la méthode de Murphy et Riley. (1962).

#### **Mode opératoire:**

Le surnageant (5 mL) a été prélevé et acidifié avec 5mL d'acide borique 5 % et 1 mL d'acide ascorbique 2 %. L'agent de développement de la couleur (mélange sulfomolybdique) a été ajouté. Le témoin et les étalons ont été préparés de façon similaire avec 5 mL de la solution d'extraction, et l'intensité de la couleur a été développée au bain – marie à 85 °C pendant 10 min et mesurée comme absorbance lumineuse à la longueur d'onde de 665 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque 'Seartech 722 N'.

Préparations des étalons: Les étalons ont été préparés à partir d'une solution mère de phosphore à 500 ppm. Les différentes concentrations étaient: 0 ppm constitué du K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 ppm, 2 ppm, 4 ppm. La courbe de régression obtenue à partir des étalons a été utilisée pour estimer la teneur en phosphore et les résultats ont été exprimés en mg de phosphore /kg de sol. Le calcul du phosphore de la biomasse microbienne est fait selon l'équation suivante

$$\text{BMP} = [\text{PF} - \text{PNF}] / \text{KeP}$$

BMP: la biomasse microbienne en phosphore;

PF: Phosphore dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol fumigé;

PNF: Phosphore dans le filtrat K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du sol non fumigé;

KeP: coefficient d'efficacité d'extraction du Phosphore de la biomasse microbienne. La valeur de 0,40 indiquée par (Brookes *et al.*, 1985).a été considérée dans ce calcul.

#### **II.2.9.4. Détermination de la microflore bénéfique du sol**

Le dénombrement des microorganismes a consisté à la suspension du sol suivie d'une succession de dilutions.

Deux (2) g d'échantillon de sol ont été dilués dans 18 mL d'eau physiologique stérile puis agités au vortex deux fois pendant 5 min. Pour cette suspension et les échantillons d'eau, des séries de dilutions décimales de (10<sup>-1</sup> à 10<sup>-9</sup>) pour les bactéries et de (10<sup>-1</sup> à 10<sup>-6</sup>) pour les champignons ont été effectuées. Après repos, 100µl de surnageant ont été déposés sur différents milieux de culture solides dépendant du microorganisme recherché: PDA

(Champignon), ASHBY (*Azotobacter*), King B (*Pseudomonas*) Winogradsky Agar (*Nitrobacter*, *Nitrosomonas*) (Annexe 7).

### **II.3. Analyses statistiques**

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique pour le calcul des moyennes, des écart-types et la recherche des différences significatives, en utilisant le logiciel SPSS 22.0. Le test ANOVA à un facteur couplé aux tests de StudentNewman-Keuls a été utilisé pour évaluer la Plus Petite Différence Significative (PPDS) à P < 0,05. Le logiciel XLSTAT 2007. ink 10.0 a été utilisé pour l'analyse en composante principale (ACP). Une analyse en composante principale (ACP) des différents paramètres agronomiques, biologiques et chimiques ont été déterminés au niveau des plants de tomates, des fruits de tomate et du sol.



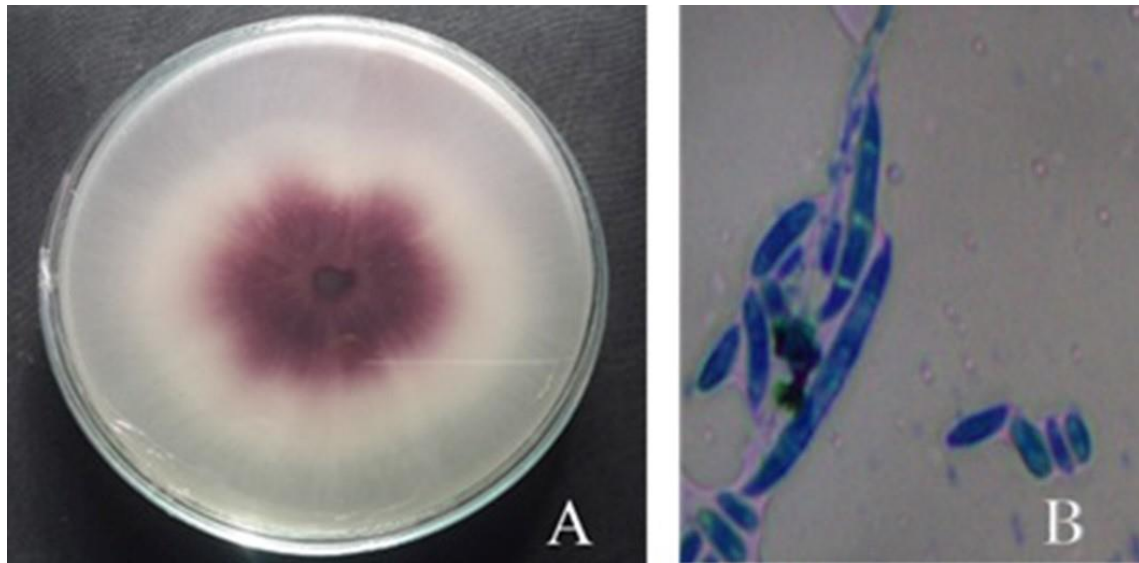
## RESULTATS ET DISCUSSION

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

### III.1. Paramètres agronomiques en milieu sous-abri et en champ

#### III.1.1. Caractères macroscopiques et microscopiques de *Fusarium oxysporum* f. sp *vasinfectum*

La Figure 12 ci-dessous présente les caractères macroscopiques et microscopiques du champignon utilisé (*FOV*).



**Figure 12:** Aspect macroscopique et microscopique de *Fusarium oxysporum* f. sp *vasinfectum* (A): Croissance, (B): Conidies

Sur milieu de culture PDA, le thalle de *FOV* a donné un mycélium aérien de couleur violette. La surface mycélienne violette claire et d'extrémité blanchâtre a été observée chez la culture jeune (2 à 3 semaines). Pour la culture vieillissante, sa surface était totalement violette. Les microconidies plus nombreuses étaient constituées de deux cellules et dispersées parmi le mycélium. Les microconidies étaient droites et fusiformes. Les macroconidies fusiformes plus ou moins incurvées et peu abondantes; ont présenté une cellule apicale crochue et une cellule basale pédicellée.

#### III.1.2. Composition chimique des extraits utilisés

Les différents extraits utilisés étaient: les extraits aux solvants (aqueux et hydroéthanolique) de *Callistemon citrinus* (CAL) et l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* pour le traitement des plants et des semences respectivement. Les tests phytochimiques effectués avec les extraits aqueux et hydroéthanolique de CAL ont permis d'obtenir les résultats présentés dans le Tableau VII.

La composition en métabolites secondaires était différente d'un extrait à un autre pour la même plante. L'EE de CAL était le plus riche en tanins et en phénols totaux. Son activité antioxydante était 4 fois supérieure à celle de l'EA de la même plante. L'EA de CAL a présenté la plus forte teneur en flavonoïdes (174,145 mg/l).

**Tableau VII:** Composition en métabolites secondaires des extraits aqueux et hydroéthanolique de *Callistemon citrinus*

CAL	Phénols totaux (mg/L)	Flavonoïdes (mg/L)	Tanins (mg/L)	Activité antioxydante (mg/L acide ascorbique/g extrait)
EA	29,96	174,15	11,14	1630,42
EE	47,54	112,29	36,56	6720

CAL: *Callistemon citrinus*, EA:Extrait aqueux; EE: Extrait hydroéthanolique

### III.1.3. Paramètres agronomiques de croissance en milieu sous-abri et en champ

#### III.1.3.1. Paramètres agronomiques de croissance en milieu sous-abri

##### III.1.3.1.1. Sévérité de la maladie chez les plants de tomate

La sévérité de la maladie (SM) a été estimée pendant 4 semaines chez les plants de tomate inoculés en utilisant l'échelle de Zeitang (2004) a donné les résultats résumés dans le Tableau VIII ci-dessous.

**Tableau VIII:** Influence des différents traitements sur la sévérité de la fusariose durant la culture de la tomate en milieu sous-abri

	Traitements	Sévérité de la maladie (%)			
		29 jours	36 jours	43 jours	50 jours
2017	E.V1	31,10±3,85 <sup>b</sup>	33,33±6,67 <sup>b</sup>	34,44±3,85 <sup>b</sup>	37,77±3,85 <sup>c</sup>
	CAL.V1	17,77±3,85 <sup>a</sup>	11,11±0,84 <sup>a</sup>	19,99±2,88 <sup>a</sup>	24,44±1,70 <sup>ab</sup>
	M.V1	33,33±6,67 <sup>b</sup>	28,88±3,85 <sup>b</sup>	24,44±5,09 <sup>a</sup>	19,99±1,66 <sup>a</sup>
2018	E.V1	28,88±5,35 <sup>bc</sup>	33,33±6,67 <sup>b</sup>	37,77±1,92 <sup>d</sup>	40,00±0,00 <sup>c</sup>
	CAL.V1	11,11±1,92 <sup>a</sup>	13,33±1,52 <sup>a</sup>	15,00±0,00 <sup>a</sup>	24,44±1,26 <sup>b</sup>
	M.V1	33,33±6,67 <sup>cd</sup>	24,44±5,09 <sup>b</sup>	15,55±0,38 <sup>a</sup>	15,55±0,95 <sup>a</sup>
2017	E.V2	35,55±1,92 <sup>b</sup>	37,77±5,35 <sup>b</sup>	35,55±5,09 <sup>b</sup>	41,11±9,62 <sup>c</sup>
	CAL.V2	31,10±4,19 <sup>b</sup>	31,11±1,92 <sup>b</sup>	37,77±2,54 <sup>b</sup>	35,55±6,93 <sup>c</sup>
	M.V2	28,88±2,49 <sup>b</sup>	28,88±5,09 <sup>b</sup>	26,66±2,08 <sup>a</sup>	28,88±1,92 <sup>b</sup>
2018	E.V2	37,77±1,92 <sup>d</sup>	35,55±5,09 <sup>b</sup>	38,88±3,56 <sup>d</sup>	40,00±5,00 <sup>c</sup>
	CAL.V2	19,99±3,33 <sup>b</sup>	24,44±1,92 <sup>b</sup>	30,00±0,00 <sup>c</sup>	35,55±6,93 <sup>c</sup>
	M.V2	28,88±3,85 <sup>c</sup>	26,66±2,88 <sup>b</sup>	21,11±1,92 <sup>b</sup>	26,66±2,88 <sup>b</sup>

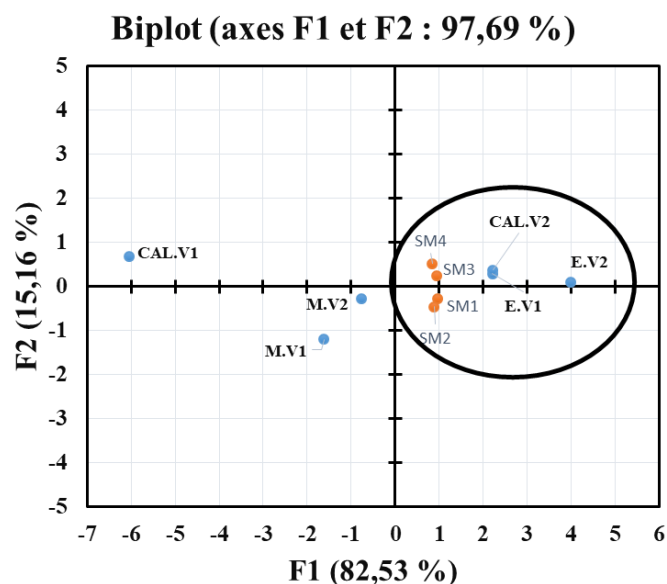
Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

Les plants de tomate de variété Cobra (V1) pulvérisés avec l'extrait de *Callistemon citrinus* (CAL) ont présenté les indices de sévérité les plus faibles à 29 et 36 jours après inoculation (JAI) durant les deux années de culture ( $P < 0,05$ ). Les valeurs de la SM enregistrées avec CAL.V1 étaient de 14,44% et 12,22% respectivement à 29 et 36 JAI. Les deux dernières semaines (43 et 50 JAI), le mancozeb (M) et CAL ont permis une réduction significative de la fusariose. Les valeurs de réduction liées à la SM enregistrées chez les plants M.V1 étaient de 43,92%, 54,3% respectivement à 43 et 50 JAI. Les plants de tomate CAL.V1 ont présenté une réduction de 51,11%, 37,1% respectivement à 43 et 50 JAI.

La Figure 13 présente la corrélation entre sévérité de la maladie et traitements appliqués.

Il ressort de cette figure que les résultats de l'analyse en composante principale ont été expliqués à 97,48%. Le diagramme de corrélation a présenté 2 groupes. Le 1<sup>er</sup> groupe non encerclé constitué des traitements CAL.V1, M.V1 et M.V2 n'était pas corrélé à la SM durant les 4 semaines de prise des paramètres. CAL.V1 était le traitement le moins sensible à la fusariose. Le second groupe encerclé constitué des traitements CAL.V2, E.V1 et E.V2 était le plus corrélé à la SM. La corrélation de Pearson au seuil de probabilité 5% montre qu'il existe des très fortes corrélations positives entre les deux premières semaines (0,93\*\*\*) et les deux dernières semaines (0,91\*\*\*) (Annexe 8).



**Figure 13:** Diagramme de corrélation entre sévérité de la maladie, pulvérisations et variété des plants de tomate en milieu sous-abri

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra; V2: variété Rio, SM1: indice de sévérité de la maladie à 29 JAI, SM2: indice de sévérité de la maladie à 36 JAI, SM3: indice de sévérité de la maladie à 43 JAI, SM4: indice de sévérité de la maladie à 50 JAI.

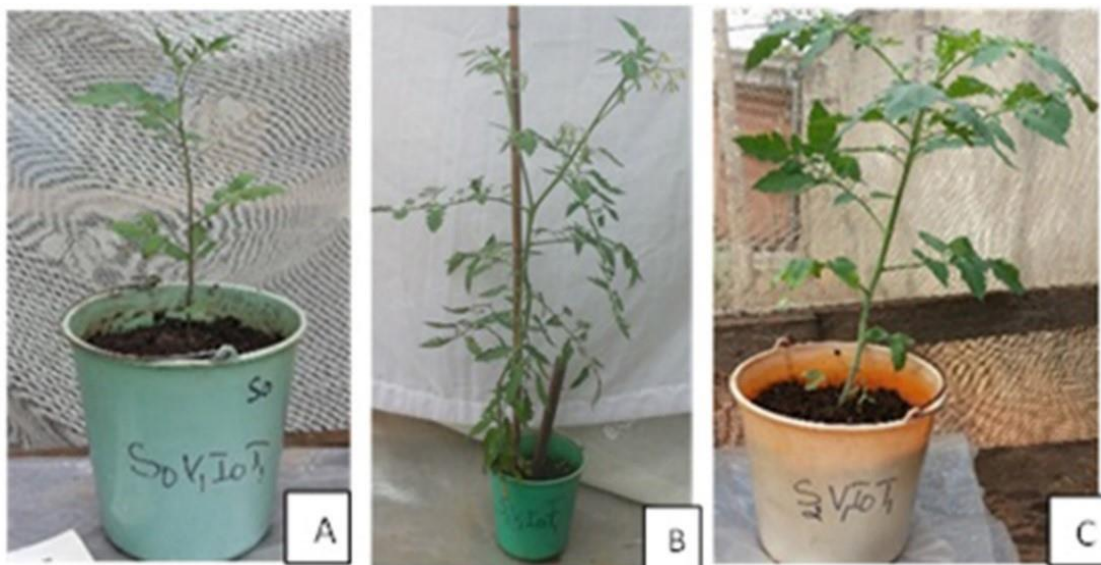
### III.1.3.1.2. Paramètres de croissance des plants de tomate

Les paramètres de croissance recherchés étaient: les diamètres apical (Annexe 9) et distal (Annexe 10); le nombre de feuilles, de fleurs et de fruits, et le rendement de production. Ces paramètres ont été évalués pendant 4 semaines chez les plants de tomate sains et inoculés.

#### a- Diamètre apical

Les résultats du diamètre apical observés pendant 4 semaines chez les plants de tomate sains issus des différents sols amendés sont représentés sur les Figures 14 et 15.

La Figure 14 a montré que la taille des plants varie en fonction du type de sol. Les plants issus des sols amendés ont présenté un Dap deux fois plus grand que celui des plants issus du sol contrôle (Figures 15). Chez les plants de variété Rio, la pulvérisation de ces derniers avec CAL a stimulé l'augmentation de la taille des plants comparés à celle des plants pulvérisés avec de l'eau. Ainsi, une augmentation de taille de 147, 202,65 et 152,06 % a été enregistrée chez les plants issus des sols Cont, amendé organiquement (AO) et amendé inorganiquement (AI) ( $P < 0,05$ ).

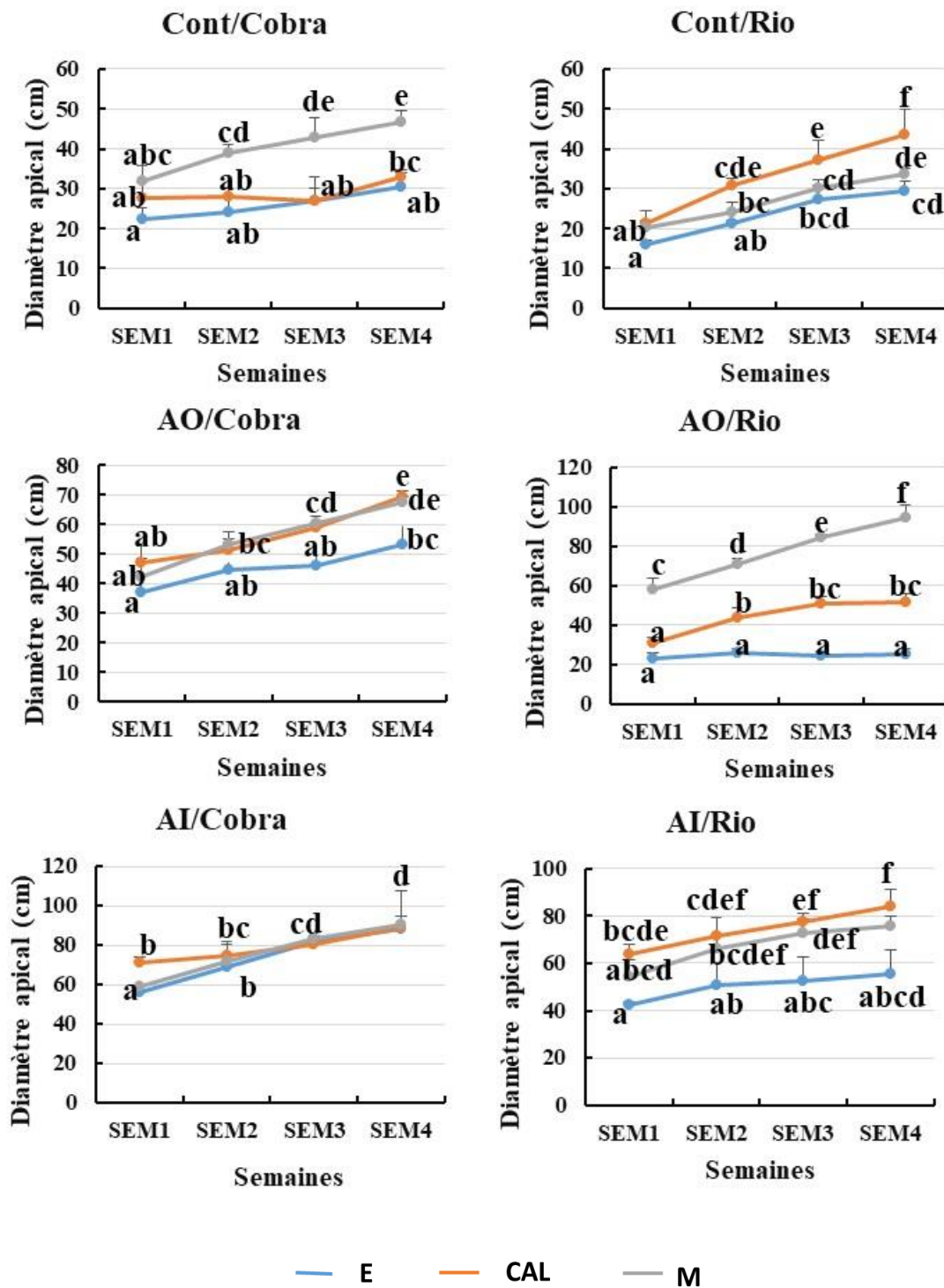


**Figure 14:** Plants sains de Variété Cobra âgés de 76 jours pulvérisés avec CAL (A): plants issus du sol non amendé; (B): plants issus du sol amendé organiquement; (C): plants issus du sol amendé inorganiquement.

#### b- Diamètre distal

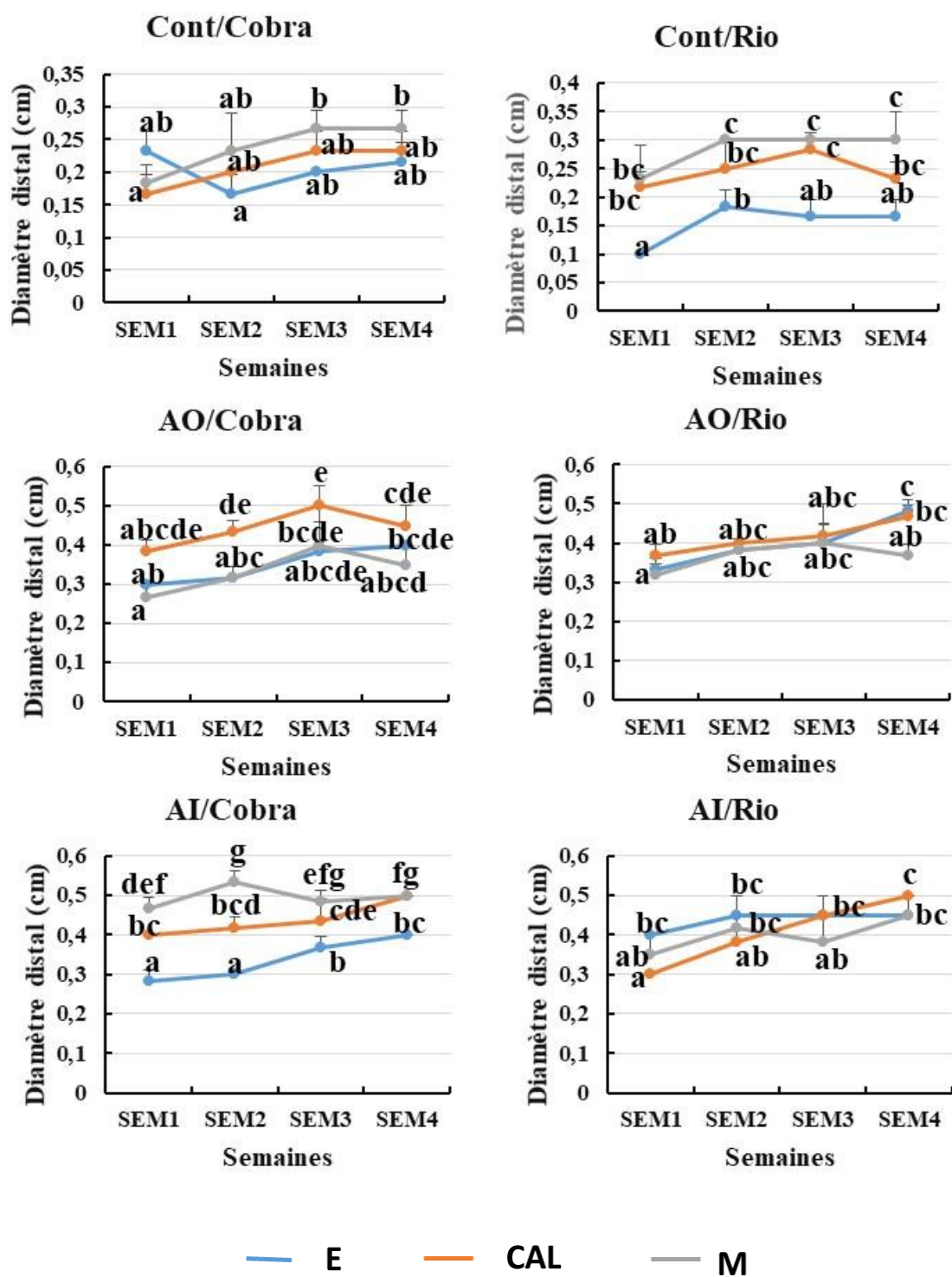
La Figure 15 représente les résultats du diamètre distal observés pendant 4 semaines chez les plants de tomate inoculés issus des différents sols amendés.

Les plants inoculés issus du sol Cont ont présenté un diamètre distal (Ddi) d'environ 0,3cm alors que ceux des sols amendés ont obtenu un Ddi de 0,5cm (Figure 15). Dans le sol Cont, les plants de variété Rio inoculés et pulvérisés avec de l'eau ont montré les Ddi les plus faibles avec des valeurs inférieures à 0,2cm ( $P<0,05$ ). Dans le sol AO, les plants de variété Cobra inoculés et pulvérisés avec CAL ont présenté les Ddi les plus élevés (0,44 cm) ; soit une augmentation en épaisseur de 125,71 et 133,33 % Comparée à celle des mêmes plants pulvérisés avec de l'eau et du mancozeb respectivement ( $P<0,05$ ). Et dans le sol AI, les Ddi des plants de variété Cobra inoculés et pulvérisés avec CAL (0,44 cm) étaient supérieurs à ceux des plants inoculés et pulvérisés avec de l'eau (0,34 cm) ( $P<0,05$ ).



**Figure 15:** Variation du diamètre apical des plants sains de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en milieu sous-abri

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cont: sol non amendé; AO: sol amendé organiquement; AI: sol amendé inorganiquement; Dap:diamètre apical.



**Figure 16:** Variation du diamètre distal des plants inoculés e deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines d en milieu sous-abri

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cont: sol non amendé; AO: sol amendé organiquement; AI: sol amendé inorganiquement; Ddi: diamètre distal.



### c- Autres paramètres agronomiques évalués chez les plants de tomate

Les Tableaux, IX, X, XI et XII, résument les paramètres agronomiques (nombre de branches, fleurs et fruits) enregistrés chez les plants sains et inoculés âgés de 69, 76, 83 et 90 jours en milieu sous-abri.

Du Tableau IX, il ressort que Seuls les plants inoculés de variété Cobra ayant reçu le traitement amendement organique et pulvérisation avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* (AO.CAL) ont produit des fruits après 69 jours. Les plants sains et inoculés de variété Cobra issus des sols amendés inorganiquement (AI) et pulvérisés avec CAL ont produit un plus grand nombre de fleurs soit 16,6 fleurs. Les plants sains issus des sols amendés ont présenté plus de branches que ceux issus du sol contrôle (Cont). En 2017, le nombre de branches des plants de variété Cobra ayant subi le traitement AO.CAL (13,66) était plus du double du nombre de branches des mêmes plants ayant subi le traitement Cont.CAL. Les plants inoculés ayant subi le traitement AO.CAL ont présenté le plus grand nombre de branches (13,8), soit une augmentation de 166,26% comparés aux plants inoculés ayant subi le traitement AO et pulvérisation au mancozeb (M). Les plants de variété Rio ayant reçu les traitements AO.M, AI.M et AI.CAL ont présenté le plus grand nombre de branches (>14). Et les plants sains et inoculés Rio issus des sols amendés et pulvérisés avec CAL et M ont produit plus de fleurs (>11).

La deuxième semaine, les plants sains ont produit plus de fruits (Tableau X). Cependant, les plants issus du sol Cont étaient dépourvus de fruits et de fleurs. Les plants inoculés de variété Cobra ayant reçu le traitement AO.CAL ont produit le plus grand nombre de fleurs (19,8 fleurs); soit 3 et 2 fois plus de fleurs que les plants inoculés de la même variété ayant reçu respectivement les traitements AO.M et AI.M. Dans le sol AI, la pulvérisation des plants sains de tomate Cobra avec CAL a permis d'avoir 2,4 fois plus de fleurs que la pulvérisation des mêmes plants avec le mancozeb. Des quantités importantes de fruits et fleurs ont été enregistrées chez les plants sains de variété Cobra issus des sols amendés. Par rapport à la 1<sup>ère</sup> semaine, une augmentation du nombre de fleurs de 125,86% a été observée la 2<sup>ème</sup> semaine chez les plants sains de variété Cobra issus des sols amendés et pulvérisés avec CAL. Les plants sains de la même variété issus du sol Cont ont obtenu moins de branches (8,02) que ceux issus du sol AO (12,87), soit une réduction du nombre de branches de 37,68%. Les plants inoculés de variété Cobra ayant subi le traitement AO.CAL ont présenté plus de branches (16,6) que les mêmes plants ayant subi le traitement chimique de synthèse (AI.M) (13,3). Les plants sains de variété Rio ayant reçu les traitements AO.M, AI.CAL et AI.M et les plants Rio inoculés ayant

reçu le traitement A.I.M ont enregistré le nombre le plus important de branches/plant (16), fleurs/plant (16) et fruit/plant (1).

Du Tableau XI, il ressort que dans les sols amendés, les plants sains de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont produit le plus grand nombre de fruits, soit 2,5 et 3,6 fruits dans les sols AO et AI respectivement. Dans le sol AO, la pulvérisation des plants de variété Cobra avec CAL a entraîné une importante floraison chez ces derniers comparée aux autres types de pulvérisation, soit une augmentation du nombre de fleurs de 181,57 et 156,81% par rapport à celle des plants pulvérisés à l'eau et au mancozeb respectivement. Les plants sains et inoculés de variété Cobra issus du sol AO ont présenté une moyenne de 13,13 branches/plant, soit environ deux fois plus de branches que ceux des plants issus du sol Cont. Les plants sains de variété Rio ayant reçu les traitements AO.M, AI.CAL et A.I.M et les plants inoculés Rio ayant reçu le traitement A.I.M ont enregistré le plus grand nombre de fruits (2) et fleurs (17). Contrairement à la 2<sup>ème</sup> semaine, une augmentation du nombre de branches de 123,5% a été observée la 3<sup>ème</sup> semaine chez ces mêmes plants.

Les plants sains et inoculés de variété Cobra ayant subi le traitement organique (AO.CAL) ont enregistré plus de fleurs (14,5) que les mêmes plants ayant reçu le traitement inorganique (A.I.M) (11 fleurs), soit une augmentation de la floraison de 131,8% (Tableau XII). Le nombre de branches/plant était plus important chez les plants sains issus du sol AO (13,8) et 2 fois supérieur à celui des mêmes plants issus du sol Cont. Le nombre de branches/plant de 8; 14,71 et 12,84 a été enregistré chez les plants inoculés Cobra issus respectivement des sols Cont, AO et AI. Soit une augmentation de 184,37 et 114,60 % du nombre de branches des plants du sol AO comparée à celle des plants issus des sols Cont et AI respectivement. Par rapport à la 1<sup>ère</sup> semaine, le nombre de branches/plant des plants inoculés Cobra issus des sols amendés ont augmenté de 3 branches. Chez les plants sains et inoculés de variété Rio, les traitements AO.M, AI.CAL et A.I.M ont stimulé la croissance du nombre de branches et de fleurs; avec une augmentation du nombre de branches de 164,2% la 4<sup>ème</sup> semaine comparée à la 1<sup>ère</sup> semaine.

#### **d- Rendement de production des plants de tomate sains et inoculés**

A maturité, les fruits ont été récoltés, pesés et le rendement calculé. La figure ci-contre représente le rendement de production (g/plant) des plants de tomate en fonction du traitement appliqué (Figure 17).

De la Figure 17, il apparaît que tous les plants inoculés issus des sols amendés et pulvérisés avec CAL ont présenté un rendement (Rdt) moyen de 600 g/plant, approximativement le double de celui des plants sains ayant reçu le même traitement ( $P < 0,05$ ). Les plants sains et inoculés ayant reçu le traitement AO.CAL ont obtenu les Rdts plus élevés comparés à ceux des mêmes plants ayant reçu le traitement AI.CAL, soit une augmentation du Rdt de 162,55 et 171,22% respectivement pour les plants inoculés et sains. Les plants de variété Rio issus du sol Cont ont présenté un Rdt nul exceptés les plants inoculés et pulvérisés avec CAL. Les plants issus du sol AO ont présenté un meilleur Rdt de production comparé à celui des plants issus du sol AI. Les plants sains ayant reçu le traitement organique ont présenté un Rdt de 483,814 g/plant, soit une augmentation de 134,05% comparée à celle des mêmes plants ayant reçu le traitement inorganique. Le Rdt le plus important a été enregistré avec les plants inoculés et pulvérisés avec CAL (695,506 g/plant), soit le triple de celui des mêmes plants ayant été pulvérisés avec le mancozeb.

**Tableau IX:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 69 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E.I0</b>	7,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I0</b>	6,0 ± 1 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,6 ± 1,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I0</b>	8,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9 ± 0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I0</b>	11 ± 1,7 <sup>bcdefgh</sup>	4 ± 0 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11 ± 1 <sup>cdefg</sup>	4 ± 0 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I0</b>	13,6 ± 1,5 <sup>ghij</sup>	6 ± 0 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13,6 ± 0,5 <sup>fghi</sup>	6,6 ± 0,5 <sup>e</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.M.I0</b>	12,3 ± 1,1 <sup>efghi</sup>	6 ± 0 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>efgh</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.E.I0</b>	12 ± 2,6 <sup>defghi</sup>	7 ± 0 <sup>d</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11 ± 1 <sup>cdefg</sup>	6,3 ± 0,5 <sup>de</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.CAL.I0</b>	16 ± 2 <sup>ij</sup>	16,6 ± 0,5 <sup>i</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	16,6 ± 0,5 <sup>ij</sup>	16,6 ± 1,1 <sup>k</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.M.I0</b>	16 ± 1 <sup>ij</sup>	5 ± 0 <sup>bc</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	16 ± 1 <sup>ij</sup>	5 ± 0 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.E.I1</b>	6,3 ± 0,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6 ± 1,7 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I1</b>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1,7 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I1</b>	9 ± 0 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I1</b>	11 ± 1 <sup>bcdefgh</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,6 ± 2,0 <sup>abcdefg</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I1</b>	14 ± 1 <sup>ghij</sup>	10,6 ± 1,5 <sup>fg</sup>	1 ± 0 <sup>c</sup>	13,3 ± 3,0 <sup>fghi</sup>	10,6 ± 0,5 <sup>h</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>c</sup>
<b>V1.AO.M.I1</b>	8,6 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.E.I1</b>	9 ± 2,6 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,3 ± 3,0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.CAL.I1</b>	10,6 ± 2,3 <sup>bcdefg</sup>	16,6 ± 0,5 <sup>i</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdefg</sup>	3 ± 0 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.M.I1</b>	11,3 ± 3,0 <sup>cdefgh</sup>	5 ± 0 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11,6 ± 3,5 <sup>defg</sup>	4,6 ± 1,1 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E.I0</b>	5,6 ± 1,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6 ± 1 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I0</b>	7,3 ± 1,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 1 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I0</b>	7,3 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I0</b>	7,3 ± 2,0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 1 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I0</b>	7 ± 1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 1,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I0</b>	15,3 ± 0,5 <sup>hij</sup>	9,3 ± 1,1 <sup>ef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	15,3 ± 1,5 <sup>hij</sup>	9,3 ± 0,5 <sup>g</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.E.I0</b>	11 ± 2 <sup>bcdefgh</sup>	8,3 ± 1,3 <sup>e</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11 ± 1 <sup>cdefg</sup>	8 ± 1 <sup>f</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.CAL.I0</b>	14 ± 2 <sup>ghij</sup>	11 ± 1,1 <sup>g</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13,6 ± 1,5 <sup>ghi</sup>	10,6 ± 1,1 <sup>h</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.M.I0</b>	17 ± 4 <sup>j</sup>	10 ± 1,7 <sup>fg</sup>	1 ± 0 <sup>c</sup>	17,3 ± 1,1 <sup>j</sup>	9,6 ± 1,5 <sup>gh</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>
<b>V2.Cont.E.I1</b>	7,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,3 ± 1,1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I1</b>	7 ± 0 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I1</b>	9,3 ± 1,5 <sup>abcdefg</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,3 ± 0,5 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I1</b>	9,6 ± 0,5 <sup>abcdefg</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,3 ± 1,1 <sup>abcdef</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I1</b>	9,6 ± 0,5 <sup>abcdefg</sup>	4,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,3 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	4,3 ± 0,5 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I1</b>	8,6 ± 1,5 <sup>abcde</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9 ± 0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.E.I1</b>	10,3 ± 2,0 <sup>abcdefg</sup>	5,6 ± 0,5 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,3 ± 2,0 <sup>abcdefg</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.CAL.I1</b>	10 ± 2 <sup>abcdefg</sup>	11 ± 1 <sup>g</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 1 <sup>abcdefg</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.M.I1</b>	11,6 ± 0,5 <sup>defgh</sup>	10 ± 1,7 <sup>f</sup>	1 ± 0 <sup>c</sup>	12 ± 1 <sup>efgh</sup>	14,3 ± 0,5 <sup>i</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

**Tableau X:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 76 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E.I0</b>	8,3 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I0</b>	6,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 0 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I0</b>	9,3 ± 0,5 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,6 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I0</b>	12,3 ± 2,3 <sup>bcdefgh</sup>	7,3±0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,6 ± 2,3 <sup>cdefghij</sup>	7,3±1,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I0</b>	13,6 ± 2,5 <sup>efgh</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	14 ± 2,6 <sup>fghijk</sup>	12 ± 1,7 <sup>bcde</sup>	1±0 <sup>bc</sup>
<b>V1.AO.M.I0</b>	17,6 ± 2,0 <sup>hi</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	1±0 <sup>b</sup>	18 ± 2,6 <sup>kl</sup>	9,3 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.E.I0</b>	12,3 ± 1,1 <sup>bcdefgh</sup>	12,3±2,5 <sup>cd</sup>	1±0 <sup>b</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>cdefghij</sup>	11,3 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.AI.CAL.I0</b>	17 ± 2,6 <sup>hi</sup>	17,6 ± 3 <sup>de</sup>	3±0 <sup>d</sup>	17,3 ± 0,5 <sup>ijkl</sup>	17,3±0,5 <sup>e</sup>	3 ± 0 <sup>d</sup>
<b>V1.AI.M.I0</b>	20 ± 1,7 <sup>i</sup>	7,3±0,5 <sup>abcd</sup>	1±0 <sup>b</sup>	19,3 ± 1,5 <sup>l</sup>	7 ± 0 <sup>abcde</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.Cont.E.I1</b>	5,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,6 ± 1,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I1</b>	9 ± 1,7 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,3 ± 1,1 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I1</b>	10 ± 2 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,6 ± 0,5 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I1</b>	12,3 ± 0,5 <sup>bcdefgh</sup>	7,3±0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 1 <sup>abcde</sup>	6,3±0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I1</b>	16,6 ± 1,5 <sup>hi</sup>	20±4,3 <sup>e</sup>	2 ± 0 <sup>c</sup>	16,6 ± 1,1 <sup>hijkl</sup>	19,6±5 <sup>def</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>c</sup>
<b>V1.AO.M.I1</b>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	7±0 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdefg</sup>	7±2 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.E.I1</b>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	3,3±0,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,3 ± 2,3 <sup>abcdefg</sup>	3,3±0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.CAL.I1</b>	12,3 ± 1,1 <sup>bcdefgh</sup>	9±2,6 <sup>abcd</sup>	1 ± 0 <sup>b</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>cdefghij</sup>	9,3±0,5 <sup>abcde</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.AI.M.I1</b>	13,6 ± 0,5 <sup>efgh</sup>	9±2 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13,3 ± 1,1 <sup>efghijk</sup>	9,3±0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E.I0</b>	6,6 ± 1,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 1,7 <sup>3abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I0</b>	9 ± 1 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,6 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I0</b>	8 ± 1,7 <sup>abcde</sup>	1 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,3 ± 0,5 <sup>abcdef</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I0</b>	7,6 ± 2,0 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,6 ± 2,0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I0</b>	8,3 ± 1,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I0</b>	17,6 ± 2,5 <sup>hi</sup>	15±0 <sup>d</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	17,6 ± 1,1 <sup>ijkl</sup>	14,6 ± 0,5 <sup>bcde</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AI.E.I0</b>	12,6 ± 3,2 <sup>cdefgh</sup>	10,6±2 <sup>abcd</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	13 ± 2,6 <sup>defghijk</sup>	10,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AI.CAL.I0</b>	17,3 ± 2,5 <sup>hi</sup>	15,6±2,3 <sup>d</sup>	1±0 <sup>b</sup>	17 ± 3 <sup>hijkl</sup>	16,3 ± 1,5 <sup>de</sup>	1±0 <sup>bc</sup>
<b>V2.AI.M.I0</b>	20,6 ± 4,5 <sup>i</sup>	17,3±2,3 <sup>de</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	21 ± 1 <sup>m</sup>	16,3 ± 1,5 <sup>de</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E.I1</b>	7,3 ± 1,5 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I1</b>	7,3 ± 1,5 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I1</b>	10,6 ± 2,0 <sup>abcdefg</sup>	1,6±0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 1 <sup>abcdef</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I1</b>	12 ± 1 <sup>bcdefgh</sup>	4±0 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11,6 ± 0,5 <sup>bcdefgh</sup>	4±0 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I1</b>	14,3 ± 2,3 <sup>fgh</sup>	7,3±2 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13,3 ± 0,5 <sup>efghijk</sup>	7±0 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I1</b>	10,6 ± 1,5 <sup>abcdefg</sup>	5,6±1,1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,6 ± 2,0 <sup>abcdefg</sup>	5,6±0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.E.I1</b>	13,3 ± 1,1 <sup>defgh</sup>	10,6±1,1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13 ± 0 <sup>defghijk</sup>	10,6±1,1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.CAL.I1</b>	13,6 ± 1,1 <sup>efgh</sup>	11±1,7 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,6 ± 0,5 <sup>cdefghij</sup>	10,6±1,1 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.M.I1</b>	16 ± 2 <sup>ghi</sup>	17±2,6 <sup>de</sup>	2,6±0,5 <sup>cd</sup>	15,6 ± 4,0 <sup>ghijkl</sup>	16,6±2,8 <sup>e</sup>	1,3±0,5 <sup>c</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

**Tableau XI:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 83 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E.I0</b>	7 ± 2 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7,3 ± 2,3 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I0</b>	7 ± 0 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	8 ± 0 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I0</b>	8,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	9 ± 1,7 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I0</b>	13,3 ± 1,5 <sup>defg</sup>	7,6±0,5 <sup>c</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>	13,3 ± 1,5 <sup>fgh</sup>	7,6±1,1 <sup>def</sup>	1,3±0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.AO.CAL.I0</b>	12,6 ± 1,5 <sup>defg</sup>	14±0 <sup>h</sup>	2,6±0,5 <sup>f</sup>	12,6 ± 1,1 <sup>efgh</sup>	13,6 ± 0,5 <sup>i</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>de</sup>
<b>V1.AO.M.I0</b>	16 ± 2,6 <sup>fgh</sup>	9±1 <sup>cde</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>	16 ± 2 <sup>h</sup>	8,6± 0,5 <sup>efg</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.ALE.I0</b>	13,6 ± 2,3 <sup>defg</sup>	11±0 <sup>ef</sup>	1,9 ± 0,5 <sup>de</sup>	13 ± 1 <sup>fgh</sup>	11±1,7 <sup>gh</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.AI.CAL.I0</b>	13,3 ± 0,5 <sup>defg</sup>	8,6 ± 1,1 <sup>cd</sup>	3,3 ± 0 <sup>g</sup>	14,3 ± 3,5 <sup>gh</sup>	9±2 <sup>efg</sup>	4 ± 0 <sup>f</sup>
<b>V1.AI.M.I0</b>	20,6 ± 3,7 <sup>hij</sup>	7,6±1,1 <sup>c</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	20,3 ± 1,1 <sup>i</sup>	7,6±0,5 <sup>def</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.Cont.E.I1</b>	7 ± 1,7 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 1 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I1</b>	9 ± 1 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,3 ± 1,1 <sup>abcd</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I1</b>	9,6 ± 2,3 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,3 ± 2,0 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I1</b>	14,3 ± 1,1 <sup>defg</sup>	10,6±0,5 <sup>def</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13,3 ± 1,1 <sup>fgh</sup>	10±1 <sup>gh</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I1</b>	14,6 ± 3,0 <sup>efg</sup>	23,6±1,5 <sup>j</sup>	1 ± 0 <sup>bc</sup>	13,6 ± 1,1 <sup>fgh</sup>	21±3,6 <sup>k</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.AO.M.I1</b>	13,3 ± 3,2 <sup>defg</sup>	9,3±1,1 <sup>cde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11,6 ± 1,5 <sup>cdefgh</sup>	9,3±2,3 <sup>efg</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.ALE.I1</b>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdef</sup>	3,3±0,5 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>	11 ± 0 <sup>bcdefgh</sup>	3,3±0,5 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.CAL.I1</b>	17 ± 4,5 <sup>ghi</sup>	12±2 <sup>fgh</sup>	0±0 <sup>a</sup>	15,6 ± 1,1 <sup>h</sup>	10,6±1,5 <sup>gh</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.M.I1</b>	14,6 ± 2,5 <sup>efg</sup>	14±1 <sup>h</sup>	1,2 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	13,3 ± 0,5 <sup>fgh</sup>	13,6±1,5 <sup>i</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E.I0</b>	5 ± 1 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I0</b>	6,3 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	6,3 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I0</b>	6,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	1± 0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	6,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I0</b>	7,3 ± 1,5 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I0</b>	9,3 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	9,3 ± 2,5 <sup>abcdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I0</b>	20,3 ± 1,5 <sup>hij</sup>	13,3±2 <sup>gh</sup>	2,3±0,5 <sup>ef</sup>	20,3 ± 3,0 <sup>i</sup>	13±1 <sup>hi</sup>	2 ± 0 <sup>cd</sup>
<b>V2.ALE.I0</b>	12,3 ± 2,3 <sup>bcdefg</sup>	7,3±1,1 <sup>c</sup>	1,2 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	12,3 ± 2,3 <sup>efgh</sup>	6,6±0,5 <sup>cde</sup>	1 ± 0 <sup>b</sup>
<b>V2.AI.CAL.I0</b>	21 ± 3 <sup>ij</sup>	11,3±1,1 <sup>efg</sup>	1 ± 0 <sup>bc</sup>	21 ± 1,7 <sup>i</sup>	10,6±0,5 <sup>gh</sup>	1,6 ± 0 <sup>bc</sup>
<b>V2.AI.M.I0</b>	24 ± 2 <sup>j</sup>	17,6±0,5 <sup>i</sup>	1,3±0,5 <sup>bcd</sup>	23,6 ± 3,2 <sup>i</sup>	17,3±2,3 <sup>j</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V2.Cont.E.I1</b>	6,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I1</b>	6,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I1</b>	10 ± 0 <sup>abcdef</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,6 ± 1,1 <sup>abcdef</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I1</b>	14 ± 1 <sup>defg</sup>	5±0 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 1 <sup>defgh</sup>	5±0 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I1</b>	13 ± 0 <sup>defg</sup>	5±0 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>efgh</sup>	4,6±0,5 <sup>bc</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AO.M.I1</b>	13 ± 1,7 <sup>defg</sup>	7±2,6 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,6 ± 1,5 <sup>efgh</sup>	6,6±0,5 <sup>cde</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.ALE.I1</b>	13,3 ± 3,0 <sup>defg</sup>	7,6±1,1 <sup>c</sup>	2±0 <sup>de</sup>	13 ± 2,6 <sup>fgh</sup>	7±1 <sup>cde</sup>	2±0 <sup>cd</sup>
<b>V2.AI.CAL.I1</b>	13,6 ± 2,5 <sup>defg</sup>	11,3±1,1 <sup>efg</sup>	0±0 <sup>a</sup>	13,3 ± 0,5 <sup>fgh</sup>	10,3±1,5 <sup>gh</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AI.M.I1</b>	20 ± 0 <sup>hij</sup>	17,3±2,3 <sup>i</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>f</sup>	20 ± 3,4 <sup>i</sup>	17,3±1,1 <sup>j</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>e</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

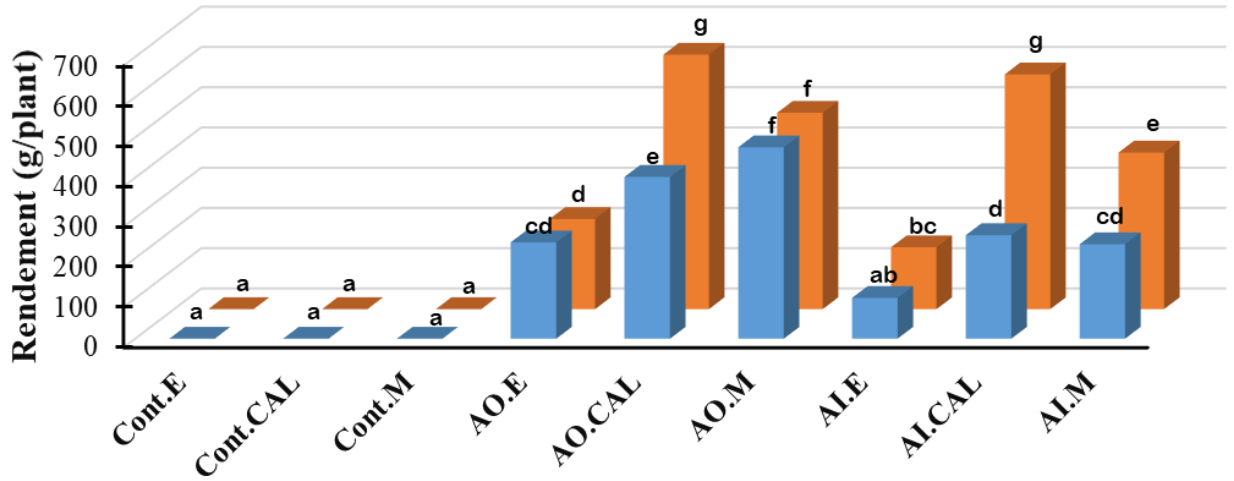
**Tableau XII:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate sains et inoculés après 90 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E.I0</b>	8 ± 1 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>abcdef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I0</b>	5,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	6 ± 0 <sup>ab</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M.I0</b>	8,3 ± 0,5 <sup>abcdef</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	8,6 ± 0,5 <sup>abcdefg</sup>	1,6±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I0</b>	13,6 ± 0,5 <sup>ghijkl</sup>	6 ± 1 <sup>de</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>	13,6 ± 1,1 <sup>ghij</sup>	5,6 ± 1,1 <sup>bc</sup>	1,3±0,5 <sup>bcd</sup>
<b>V1.AO.CAL.I0</b>	13,3 ± 2,8 <sup>efghijk</sup>	13±1 <sup>hij</sup>	2,3±0,5 <sup>d</sup>	13,3 ± 1,5 <sup>efghij</sup>	12,3 ± 1,5 <sup>fghi</sup>	2±0 <sup>d</sup>
<b>V1.AO.M.I0</b>	18 ± 1,7 <sup>kl</sup>	12,3±1,1 <sup>ghi</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>	17,3 ± 1,5 <sup>ijkl</sup>	12,6±1,1 <sup>ghi</sup>	1,3±0,5 <sup>bcd</sup>
<b>V1.AI.E.I0</b>	13 ± 1,7 <sup>defghijk</sup>	10,3±0,5 <sup>gh</sup>	3 ± 0 <sup>e</sup>	13 ± 0 <sup>efghij</sup>	10,3±1,1 <sup>efg</sup>	3 ± 0 <sup>e</sup>
<b>V1.AI.CAL.I0</b>	12,6 ± 2,0 <sup>cdefghijk</sup>	6 ± 0 <sup>de</sup>	3,3 ± 0,5 <sup>e</sup>	12,6 ± 2,3 <sup>defghij</sup>	5 ± 0 <sup>bc</sup>	3 ± 0 <sup>e</sup>
<b>V1.AI.M.I0</b>	19 ± 4,5 <sup>l</sup>	9,6 ± 1,5 <sup>fg</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	18,6 ± 1,1 <sup>kl</sup>	9 ± 1,7 <sup>de</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.Cont.E.I1</b>	7,6 ± 1,5 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7,6 ± 0,5 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL.I1</b>	9 ± 1 <sup>abcdefg</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7,6 ± 1,1 <sup>abcde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V1.Cont.M.I1</b>	10,3 ± 1,5 <sup>abcdefgh</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	10 ± 1,7 <sup>abcdefgh</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E.I1</b>	14,6 ± 1,1 <sup>ghijkl</sup>	12±3,4 <sup>ghi</sup>	0±0 <sup>a</sup>	14 ± 1,7 <sup>ghij</sup>	10,6 ± 1,1 <sup>efg</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL.I1</b>	15,3 ± 0,5 <sup>hijkl</sup>	19±2 <sup>l</sup>	2±0 <sup>d</sup>	13,6 ± 2,0 <sup>ghij</sup>	19,3 ± 1,1 <sup>k</sup>	1,9±0,5 <sup>d</sup>
<b>V1.AO.M.I1</b>	13,6 ± 0,5 <sup>ghijkl</sup>	16 ± 2,6 <sup>k</sup>	0±0 <sup>a</sup>	13 ± 3,6 <sup>efghij</sup>	17±2,6 <sup>j</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.E.I1</b>	8 ± 2 <sup>abcdef</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>de</sup>	0±0 <sup>a</sup>	8 ± 0 <sup>abcdef</sup>	5,3±0,5 <sup>bc</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V1.AI.CAL.I1</b>	10,6 ± 0,5 <sup>abcdefghi</sup>	16 ± 1 <sup>k</sup>	2,3±0,5 <sup>d</sup>	10,6 ± 1,5 <sup>bcdefghi</sup>	18,3±1,5 <sup>jk</sup>	2±0 <sup>d</sup>
<b>V1.AI.M.I1</b>	11,6 ± 2,3 <sup>bcdefghi</sup>	11,6 ± 3 <sup>ghi</sup>	2,2±0,5 <sup>d</sup>	11,6 ± 0,5 <sup>cdefghi</sup>	10,3±0,5 <sup>efg</sup>	1,9±0,5 <sup>d</sup>
<b>V2.Cont.E.I0</b>	5,3 ± 1,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	5 ± 1 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I0</b>	6,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>b</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	6,3 ± 1,5 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I0</b>	7 ± 1,7 <sup>abc</sup>	0,6±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7 ± 1 <sup>abc</sup>	0,6±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I0</b>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I0</b>	10 ± 1 <sup>abcdefgh</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	10,3 ± 2,0 <sup>abcdefghi</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M.I0</b>	21,3 ± 6,0 <sup>ijklm</sup>	14,3±2,5 <sup>ijk</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>d</sup>	21,3 ± 5,5 <sup>l</sup>	14,3±0,5 <sup>i</sup>	2±0 <sup>d</sup>
<b>V2.AI.E.I0</b>	10,6 ± 1,1 <sup>abcdefghi</sup>	4±0 <sup>bcd</sup>	1,9 ± 0,5 <sup>cd</sup>	11,3 ± 1,1 <sup>bcdefghi</sup>	4 ± 0 <sup>b</sup>	1,9 ± 0,5 <sup>d</sup>
<b>V2.AI.CAL.I0</b>	20,6 ± 3,5 <sup>kl</sup>	10,6 ± 0,5 <sup>gh</sup>	2±0 <sup>d</sup>	21 ± 3,6 <sup>l</sup>	10±1 <sup>ef</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>
<b>V2.AI.M.I0</b>	26,3 ± 1,1 <sup>m</sup>	15 ± 1 <sup>jk</sup>	0±0 <sup>a</sup>	27 ± 4,5 <sup>lm</sup>	14,6±2,8 <sup>i</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E.I1</b>	6,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	6 ± 0 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL.I1</b>	6 ± 0 <sup>a</sup>	2,3±0,5 <sup>abc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	6 ± 1 <sup>ab</sup>	2±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M.I1</b>	10 ± 1,7 <sup>abcdefgh</sup>	1,3±0,5 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	9,6 ± 0,5 <sup>abcdefg</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E.I1</b>	15 ± 3 <sup>hijkl</sup>	5±0 <sup>cde</sup>	0±0 <sup>a</sup>	14 ± 2,6 <sup>ghij</sup>	4,6±0,5 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL.I1</b>	16,6 ± 2,8 <sup>ijkl</sup>	4,6±0,5 <sup>cde</sup>	1±0 <sup>bc</sup>	15,3 ± 0,5 <sup>hijk</sup>	4,6±0,5 <sup>b</sup>	1±0 <sup>bc</sup>
<b>V2.AO.M.I1</b>	16 ± 1 <sup>ijkl</sup>	7,6 ± 1,1 <sup>ef</sup>	0±0 <sup>a</sup>	15,6 ± 0,5 <sup>ijk</sup>	7,3±0,5 <sup>cd</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AI.E.I1</b>	12,3 ± 1,5 <sup>cdefghij</sup>	5 ± 0 <sup>cde</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>	11 ± 1 <sup>bcdefghi</sup>	5±0 <sup>bc</sup>	1,6±0,5 <sup>cd</sup>
<b>V2.AI.CAL.I1</b>	13,3 ± 2,0 <sup>efghijk</sup>	11,6±1,5 <sup>ghi</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	13,6 ± 1,5 <sup>ghij</sup>	11,6±2 <sup>fgh</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.AI.M.I1</b>	22 ± 1 <sup>l</sup>	14 ± 1,7 <sup>ijk</sup>	5,3±0,5 <sup>f</sup>	21,6 ± 0,5 <sup>l</sup>	13,3±1,5 <sup>hi</sup>	5,6±0,5 <sup>f</sup>

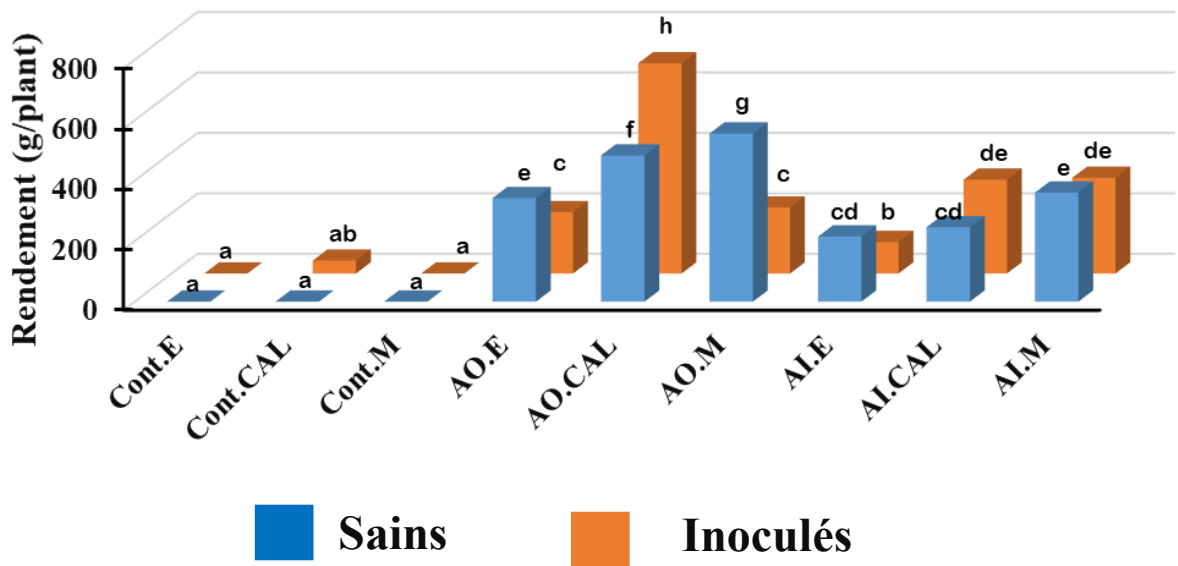
Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

## Cobra



## Rio



■ Sains      ■ Inoculés

**Figure 17:** Rendement de production de plants sains et inoculés de variétés de tomate Cobra et Rio en 2018

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%.



### **III.1.3.2. Paramètres agronomiques de Croissance des plants de tomate en champ**

Les paramètres recherchés étaient les diamètres apical et distal, le nombre de feuilles, de fleurs et de fruits, et le rendement de production. Les paramètres ont été évalués pendant 4 semaines chez les plants de tomate en champ.

#### **III.1.3.2.1. Diamètre apical**

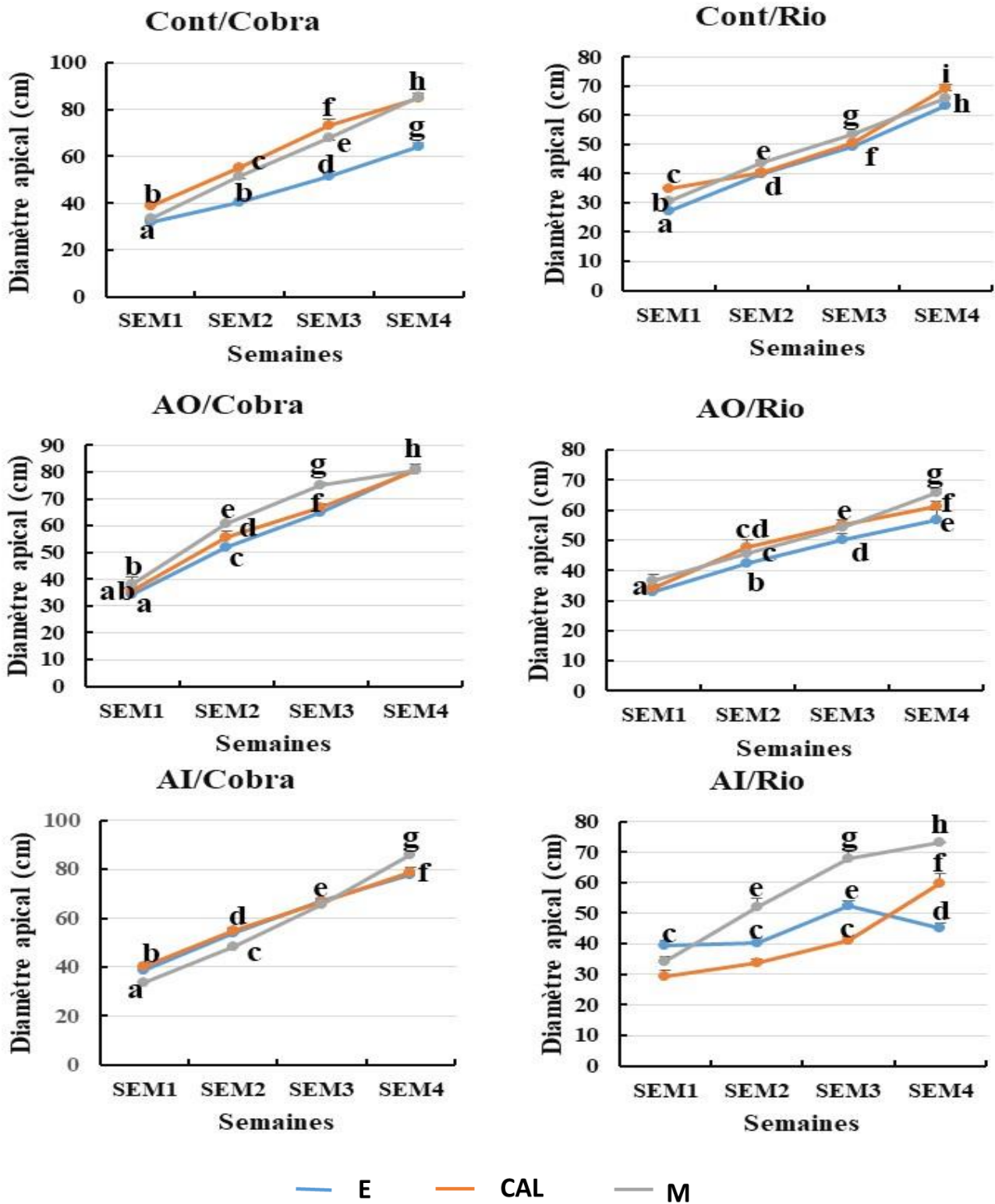
La variation du diamètre apical de deux variétés des plants de tomate en champ est représentée sur la Figure 18.

Chez tous les plants de tomate, le diamètre apical était croissant durant les semaines d'observation. Les plants de tomate de variété Cobra ont présenté le diamètre apical (Dap) le plus important d'environ 85 cm contrairement aux plants de variété Rio qui ont présenté un Dap de 70 cm ( $P < 0,05$ ). Dans le sol Cont, les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont présenté un Dap significativement plus élevé que celui des mêmes plants pulvérisés avec de l'eau ; soit une augmentation de 132,38%.

#### **III.1.3.2.2. Diamètre distal**

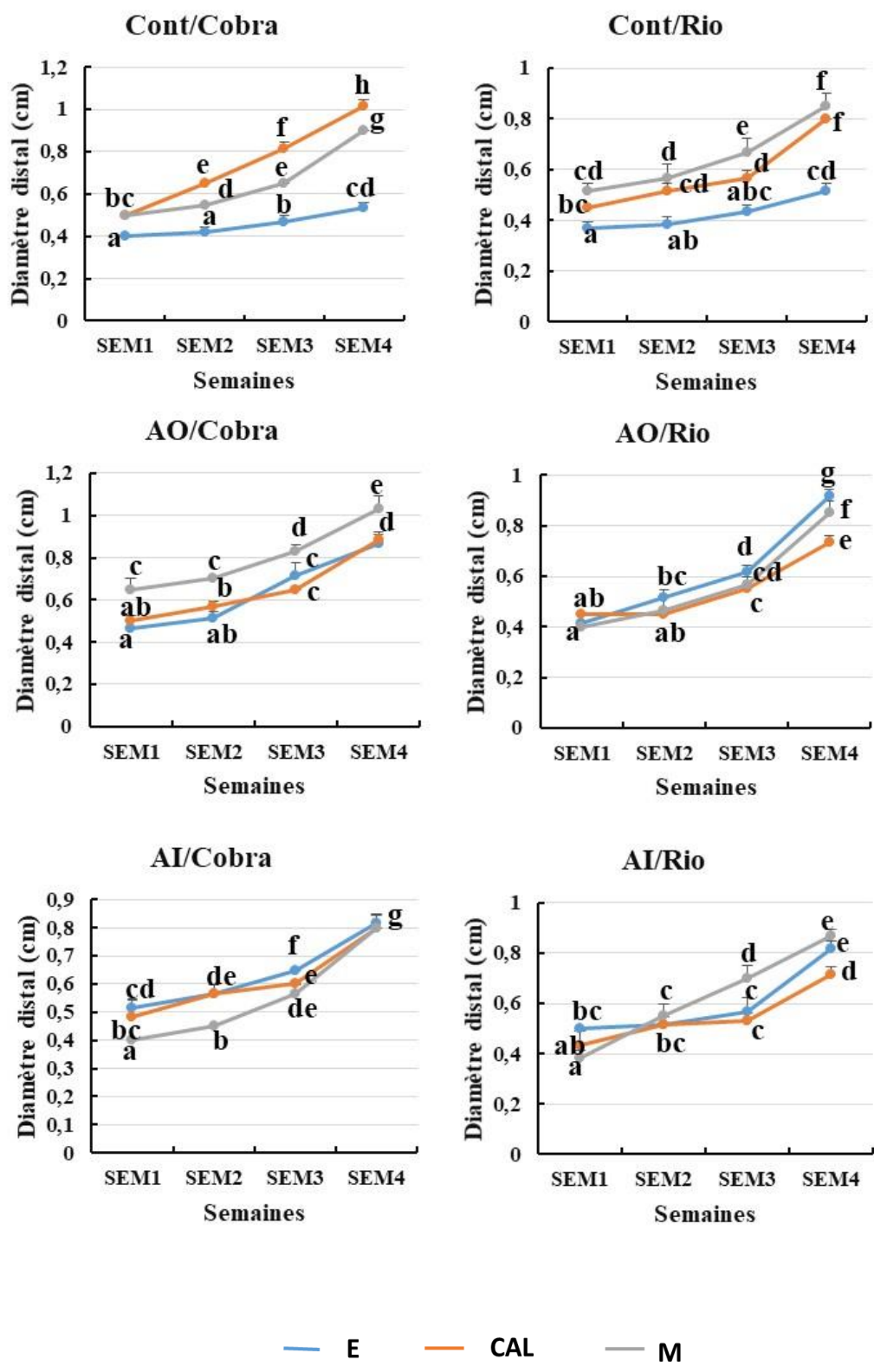
La Figure 19 représente la variation du diamètre distal pendant les quatre semaines d'observation en champ (Annexe 12).

L'augmentation en épaisseur était croissante le long des 4 semaines. Les diamètres distaux (Ddi) n'étaient pas significativement différents dans les sols amendés. Dans le sol Cont, les deux dernières semaines d'observation, les plants de variété cobra pulvérisés avec CAL ont présenté un Ddi moyen de 0,91 cm contrairement aux mêmes plants pulvérisés avec de l'eau (0,5 cm); soit une augmentation de 182% ( $P < 0,05$ ). Alors que chez les plants de variété Rio, ceux pulvérisés avec CAL ont permis une augmentation du Ddi de 144,68% contrairement aux mêmes plants pulvérisés avec de l'eau.



**Figure 18:** Variation du diamètre apical des plants de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en champ

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cont: sol non amendé; AO: sol amendé organiquement; AI: sol amendé inorganiquement; Dap: diamètre apical.



**Figure 19:** Variation du diamètre distal des plants de deux variétés de tomate Cobra et Rio en fonction des semaines en champ

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cont: sol non amendé; AO: sol amendé organiquement; AI: sol amendé inorganiquement; Ddi: diamètre distal.

### III.1.3.2.3. Autres paramètres agronomiques évalués chez les plants de tomate

Les Tableaux XIII, XIV, XV et XVI résument les paramètres agronomiques (nombre de branches, fleurs et fruits) enregistrés chez les plants âgés de 69, 76, 83 et 90 jours en champ.

La première semaine d'observation (69 jours après semis), dans tous les types de sols, les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont présenté le plus grand nombre de branches (environ 9 branches/plant) (Tableau XIII). De même, le plus grand nombre de fleurs a été enregistré chez les plants ayant reçu le traitement AI.CAL (>5 fleurs). Les plants de variété Rio qui ont présenté le plus grand nombre de branche étaient ceux ayant reçu le traitement AI.CAL.

La deuxième semaine (Tableau XIV), les fruits étaient plus abondants en 2018 qu'en 2017. Les plants de variété Cobra étaient les plus productifs, soit 2,35; 3,5 et 1,8 fruits respectivement chez les plants issus des sols Cont, AO et AI. Dans le sol Cont, les plants de variété Cobra et pulvérisés avec CAL (CAL.V1) ont obtenu le plus de fleurs (22,6 fleurs). Le nombre de branches a augmenté la 2<sup>ème</sup> semaine chez les plants CAL.V1 issus des sols Cont et AO (14,5 et 13,7 branches respectivement) par rapport à la 1<sup>ère</sup> semaine; avec une augmentation respective de 161,11 et 151,2%. Chez les plants de variété Rio, le nombre de branches/plant a varié selon les types d'amendement. Le nombre de branches/plant de 6, 8 et 11 ont été enregistré chez les plants issus des sols Cont, AO et AI respectivement.

La troisième semaine (Tableau XV), le plus grand nombre de fruits a été observé en 2018, avec une moyenne de fruits par plant de 3,5; 5,96 et 5,1 chez les plants issus des sols Cont, AO et AI respectivement. Dans le sol Cont, les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont obtenu le plus de fleurs (35,5 fleurs), soit une augmentation de 157,07% par rapport à la 2<sup>ème</sup> semaine. Le nombre de branches des plants issus du sol Cont a augmenté de 127,39% allant de 14,6 branches la 2<sup>ème</sup> semaine à 18,4 branches la 3<sup>ème</sup> semaine. Les plants de variété Rio issus du sol AO ont le plus produit de fruits (3,5) en 2018. Chez ces derniers, le nombre de branches et de fleurs par plant a varié selon les différents types d'amendement. Les valeurs de 6, 13 et 12 branches/plant; 9, 14 et 13 fleurs/plant ont été enregistrées chez les plants Rio issus respectivement des sols Cont, AO et AI.

La quatrième semaine (Tableau XVI), le nombre de fruits par plant observé en 2018 était de 7,38; 9,33 et 7,85 respectivement chez les plants issus des sols Cont, AO et AI. Le nombre de fleurs des plants de variété Cobra ayant été pulvérisé avec CAL n'a pas significativement augmenté. Le nombre de branches des mêmes plants issus du sol AO a augmenté la 4<sup>ème</sup> semaine (16,89) par rapport à la 3<sup>ème</sup> semaine (13,81). Le nombre de fruits par

plant était de 3, 4 et 5 respectivement chez les plants de variété Rio issus des sols Cont, AO et AI. En 2018, les plants Rio pulvérisés avec CAL et issus des sols Cont et AI ont présenté plus de 20 fleurs et les plants Rio ayant reçu le traitement Cont.CAL ont enregistré le plus de branches/plant (18).

**Tableau XIII:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 69 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E</b>	7 ± 1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 0 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL</b>	9 ± 0 <sup>def</sup>	4 ± 2 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9 ± 0 <sup>e</sup>	7,3 ± 2,3 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.M</b>	7,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 0 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.E</b>	5,3 ± 1,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.CAL</b>	8 ± 0 <sup>cde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 0 <sup>de</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AO.M</b>	7 ± 1 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AIE</b>	10,6 ± 1,1 <sup>f</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 0 <sup>f</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.AICAL</b>	9,6 ± 0,5 <sup>ef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9 ± 1 <sup>e</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>
<b>V1.AIM</b>	6,3 ± 0,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,5 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.E</b>	7 ± 0 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7 ± 0 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL</b>	5 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M</b>	5,3 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E</b>	9,3 ± 0,5 <sup>def</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9 ± 1 <sup>e</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.CAL</b>	5,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M</b>	5,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	5 ± 1 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AIE</b>	7,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	1 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	7,6 ± 0,5 <sup>cde</sup>	3,6 ± 1,1 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AICAL</b>	7 ± 2 <sup>abcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AIM</b>	6 ± 1 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6 ± 0 <sup>ab</sup>	3 ± 0 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

**Tableau XIV:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 76 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E</b>	8,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	1 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,3 ± 0,5 <sup>c</sup>	3 ± 1,7 <sup>b</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V1.Cont.CAL</b>	14 ± 1 <sup>g</sup>	20,6 ± 0,5 <sup>g</sup>	1 ± 0 <sup>b</sup>	15 ± 1 <sup>h</sup>	24,6 ± 0,5 <sup>i</sup>	3 ± 1 <sup>cd</sup>
<b>V1.Cont.M</b>	10,6 ± 0,5 <sup>de</sup>	5 ± 1 <sup>cd</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	11,3 ± 0,5 <sup>ef</sup>	16,3 ± 2 <sup>h</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>c</sup>
<b>V1.AO.E</b>	11,3 ± 0,5 <sup>ef</sup>	6,6 ± 1,5 <sup>de</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 1 <sup>efg</sup>	12,6 ± 2,5 <sup>g</sup>	3 ± 0 <sup>cd</sup>
<b>V1.AO.CAL</b>	13,3 ± 0,5 <sup>g</sup>	8 ± 0 <sup>e</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	14 ± 1 <sup>gh</sup>	11,6 ± 1,5 <sup>fg</sup>	4 ± 1 <sup>d</sup>
<b>V1.AO.M</b>	9,3 ± 1,1 <sup>bcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	10,3 ± 0,5 <sup>de</sup>	8,6 ± 0,5 <sup>cfef</sup>	3 ± 1 <sup>cd</sup>
<b>V1.ALE</b>	16 ± 1,7 <sup>h</sup>	11,3 ± 0,5 <sup>f</sup>	1 ± 0 <sup>b</sup>	17 ± 1 <sup>i</sup>	16 ± 1 <sup>h</sup>	1,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.ALCAL</b>	13 ± 1 <sup>fg</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>cd</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	12,6 ± 0,5 <sup>fg</sup>	7,6 ± 1,1 <sup>cde</sup>	1,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.ALM</b>	13 ± 1 <sup>fg</sup>	7,6 ± 1,5 <sup>e</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	13,3 ± 0,5 <sup>fgh</sup>	10 ± 0 <sup>efg</sup>	2 ± 1 <sup>bc</sup>
<b>V2.Cont.E</b>	6 ± 1 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL</b>	6 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6,3 ± 0,5 <sup>ab</sup>	2,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.M</b>	7,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	3,6 ± 1,1 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8 ± 1 <sup>bc</sup>	9 ± 1 <sup>def</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.E</b>	10,3 ± 0,5 <sup>cde</sup>	4,6 ± 0,5 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10,3 ± 0,5 <sup>de</sup>	7,3 ± 1,5 <sup>cde</sup>	1 ± 0 <sup>ab</sup>
<b>V2.AO.CAL</b>	6 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	6 ± 0 <sup>a</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AO.M</b>	7,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>cd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	9,3 ± 0,5 <sup>cd</sup>	6,6 ± 1,1 <sup>cde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.ALE</b>	8,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	2 ± 0 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 1,73 <sup>efg</sup>	5,6 ± 1,1 <sup>bcd</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.ALCAL</b>	9,6 ± 1,5 <sup>bcde</sup>	3,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,3 ± 0,5 <sup>efg</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.ALM</b>	10,6 ± 0,5 <sup>de</sup>	4,3 ± 2 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12,3 ± 1,5 <sup>efg</sup>	8,6 ± 2,5 <sup>cdef</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

**Tableau XV:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 83 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E</b>	10,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	5,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	11,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	9 ± 1 <sup>b</sup>	2 ± 1 <sup>bc</sup>
<b>V1.Cont.CAL</b>	16,6 ± 2,0 <sup>fg</sup>	31 ± 1 <sup>h</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>f</sup>	22,6 ± 1,5 <sup>i</sup>	40 ± 1,7 <sup>j</sup>	7,6 ± 2 <sup>fg</sup>
<b>V1.Cont.M</b>	17,6 ± 1,1 <sup>g</sup>	25,3 ± 3,7 <sup>g</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>g</sup>	20 ± 1 <sup>h</sup>	31,3 ± 2 <sup>h</sup>	7,6 ± 0,5 <sup>fg</sup>
<b>V1.AO.E</b>	16,3 ± 1,5 <sup>efg</sup>	20,3 ± 0,5 <sup>f</sup>	1,2 ± 0,5 <sup>bc</sup>	17,6 ± 0,5 <sup>g</sup>	26,6 ± 1,1 <sup>g</sup>	8 ± 0 <sup>g</sup>
<b>V1.AO.CAL</b>	11,6 ± 0,5 <sup>cd</sup>	18,3 ± 1,1 <sup>f</sup>	2 ± 0 <sup>cd</sup>	15,3 ± 0,5 <sup>defg</sup>	25,3 ± 1,5 <sup>fg</sup>	7,6 ± 1,1 <sup>fg</sup>
<b>V1.AO.M</b>	14,3 ± 0,5 <sup>e</sup>	4,6 ± 1,5 <sup>ab</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>d</sup>	15,6 ± 1,1 <sup>efg</sup>	16,6 ± 0,5 <sup>cd</sup>	10,6 ± 0,5 <sup>h</sup>
<b>V1.ALE</b>	21 ± 0 <sup>h</sup>	27 ± 5,1 <sup>g</sup>	4,6 ± 0,5 <sup>e</sup>	22 ± 1 <sup>i</sup>	35 ± 5,1 <sup>i</sup>	3,6 ± 0,5 <sup>cde</sup>
<b>V1.AI.CAL</b>	12 ± 1 <sup>d</sup>	20,3 ± 0,5 <sup>f</sup>	2 ± 1 <sup>cd</sup>	14,6 ± 1,5 <sup>def</sup>	22 ± 0 <sup>efg</sup>	3,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V1.ALM</b>	15,6 ± 1,1 <sup>efg</sup>	19 ± 3,6 <sup>f</sup>	1,9 ± 0,5 <sup>cd</sup>	17 ± 1 <sup>fg</sup>	26,6 ± 2 <sup>g</sup>	2 ± 1 <sup>bc</sup>
<b>V2.Cont.E</b>	8,3 ± 0,5 <sup>a</sup>	2 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	8,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	4 ± 0 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL</b>	11 ± 0 <sup>bcd</sup>	9,6 ± 0,5 <sup>bcde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	13 ± 1 <sup>b</sup>	11 ± 1 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>
<b>V2.Cont.M</b>	11 ± 1 <sup>bcd</sup>	12 ± 1 <sup>de</sup>	1,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>	11,6 ± 0,5 <sup>b</sup>	16,3 ± 1,5 <sup>cd</sup>	3,3 ± 0,5 <sup>cd</sup>
<b>V2.AO.E</b>	11,6 ± 0,5 <sup>cd</sup>	13 ± 2 <sup>de</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>d</sup>	14 ± 0 <sup>de</sup>	22 ± 2 <sup>efg</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>de</sup>
<b>V2.AO.CAL</b>	9,3 ± 0,5 <sup>abc</sup>	6,6 ± 1,1 <sup>abc</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 0 <sup>ab</sup>	9,6 ± 1,1 <sup>b</sup>	2 ± 0 <sup>bc</sup>
<b>V2.AO.M</b>	14,6 ± 0,5 <sup>ef</sup>	14,3 ± 1,1 <sup>e</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	15,6 ± 1,5 <sup>efg</sup>	17 ± 1 <sup>cde</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>
<b>V2.ALE</b>	8,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	5,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	15,3 ± 1,1 <sup>defg</sup>	16 ± 3,6 <sup>c</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.AI.CAL</b>	10 ± 1 <sup>abcd</sup>	8,3 ± 2,5 <sup>bcd</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>d</sup>	7 ± 0 <sup>fg</sup>	17 ± 1 <sup>cde</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>
<b>V2.ALM</b>	11 ± 1 <sup>bcd</sup>	11,3 ± 3,7 <sup>cde</sup>	5,9 ± 0,5 <sup>f</sup>	13 ± 1 <sup>cd</sup>	21,3 ± 4 <sup>def</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

**Tableau XVI:** Paramètres agronomiques de croissance chez les plants de tomate en champ après 90 jours de culture

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés					
	Br	FL	Fr	Br	FL	Fr
<b>V1.Cont.E</b>	12,6 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	8 ± 0 <sup>bc</sup>	3,9 ± 0,5 <sup>bc</sup>	14,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	14,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>	5,3 ± 1,1 <sup>abcd</sup>
<b>V1.Cont.CAL</b>	19,3 ± 2,0 <sup>fg</sup>	30,6 ± 2 <sup>g</sup>	13,3 ± 2,1 <sup>f</sup>	18,3 ± 1,5 <sup>def</sup>	38,3 ± 2 <sup>j</sup>	14,6 ± 2,2 <sup>h</sup>
<b>V1.Cont.M</b>	23 ± 0 <sup>h</sup>	32,6 ± 1,5 <sup>g</sup>	11,6 ± 0,5 <sup>e</sup>	24,3 ± 1 <sup>g</sup>	34,3 ± 0,5 <sup>i</sup>	12,6 ± 0,5 <sup>gh</sup>
<b>V1.AO.E</b>	15 ± 1,7 <sup>cde</sup>	17,6 ± 3,2 <sup>e</sup>	9 ± 1,7 <sup>de</sup>	19 ± 2,6 <sup>ef</sup>	21,6 ± 0,5 <sup>d</sup>	12,2 ± 3,3 <sup>gh</sup>
<b>V1.AO.CAL</b>	15 ± 2 <sup>cde</sup>	17,6 ± 2 <sup>e</sup>	8,2 ± 2,5 <sup>d</sup>	15 ± 0 <sup>bc</sup>	23,3 ± 2 <sup>def</sup>	10,6 ± 0,5 <sup>fgh</sup>
<b>V1.AO.M</b>	24,6 ± 1,1 <sup>h</sup>	23,6 ± 4 <sup>f</sup>	12,9 ± 3,3 <sup>def</sup>	30 ± 2 <sup>h</sup>	27,6 ± 1,5 <sup>fg</sup>	20,3 ± 3,1 <sup>i</sup>
<b>V1.ALE</b>	20 ± 1 <sup>g</sup>	24,6 ± 0,5 <sup>f</sup>	8,9 ± 0,5 <sup>de</sup>	20,6 ± 0,5 <sup>f</sup>	25,6 ± 0,5 <sup>efg</sup>	9,6 ± 1,1 <sup>efg</sup>
<b>V1.ALCAL</b>	16,6 ± 2,5 <sup>ef</sup>	22,6 ± 1,5 <sup>f</sup>	6 ± 1 <sup>cd</sup>	20,6 ± 2,3 <sup>f</sup>	32,6 ± 4,6 <sup>hi</sup>	12,6 ± 1,5 <sup>gh</sup>
<b>V1.ALM</b>	24 ± 1 <sup>h</sup>	26 ± 2,6 <sup>f</sup>	8,6 ± 0,5 <sup>de</sup>	25,3 ± 0,5 <sup>g</sup>	29,3 ± 0,5 <sup>gh</sup>	9,3 ± 0,5 <sup>efg</sup>
<b>V2.Cont.E</b>	9,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	2 ± 1 <sup>a</sup>	0 ± 0 <sup>a</sup>	12 ± 1 <sup>a</sup>	7,3 ± 0 <sup>a</sup>	1,6 ± 0,5 <sup>a</sup>
<b>V2.Cont.CAL</b>	17,3 ± 2,5 <sup>efg</sup>	16 ± 2,6 <sup>cd</sup>	4,6 ± 1,5 <sup>c</sup>	18,6 ± 0,5 <sup>ef</sup>	23,6 ± 2,5 <sup>def</sup>	6,6 ± 1,5 <sup>cde</sup>
<b>V2.Cont.M</b>	15,6 ± 0,5 <sup>de</sup>	12,6 ± 2,5 <sup>cd</sup>	2,3 ± 0,5 <sup>b</sup>	16,6 ± 0,5 <sup>cde</sup>	16 ± 1 <sup>c</sup>	3,6 ± 0,5 <sup>abc</sup>
<b>V2.AO.E</b>	12 ± 1 <sup>bc</sup>	10 ± 1,7 <sup>bc</sup>	5 ± 0 <sup>cd</sup>	13,6 ± 2,3 <sup>ab</sup>	12,6 ± 2 <sup>bc</sup>	5,3 ± 0,5 <sup>abcd</sup>
<b>V2.AO.CAL</b>	8,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,5 <sup>bc</sup>	1 ± 0 <sup>ab</sup>	9 ± 0 <sup>a</sup>	9,6 ± 3 <sup>ab</sup>	2,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>
<b>V2.AO.M</b>	15,3 ± 0,5 <sup>cde</sup>	10,3 ± 1,1 <sup>bc</sup>	4,6 ± 1,1 <sup>c</sup>	15,6 ± 1,1 <sup>bcd</sup>	12,6 ± 0,5 <sup>bc</sup>	5 ± 1 <sup>abcd</sup>
<b>V2.ALE</b>	11 ± 1 <sup>ab</sup>	6,6 ± 2 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>ab</sup>	15,6 ± 1,1 <sup>bcd</sup>	11 ± 1 <sup>abc</sup>	6,3 ± 2 <sup>bcde</sup>
<b>V2.ALCAL</b>	11,5 ± 2,5 <sup>ab</sup>	8,6 ± 2,3 <sup>bc</sup>	3 ± 1 <sup>b</sup>	15,6 ± 1,1 <sup>bcd</sup>	20,6 ± 4 <sup>d</sup>	5,3 ± 1,5 <sup>abcd</sup>
<b>V2.ALM</b>	15,3 ± 0,5 <sup>cde</sup>	8 ± 2,6 <sup>bc</sup>	5,9 ± 0,5 <sup>cd</sup>	16 ± 1,7 <sup>bcd</sup>	14,3 ± 2 <sup>bc</sup>	7 ± 1 <sup>de</sup>

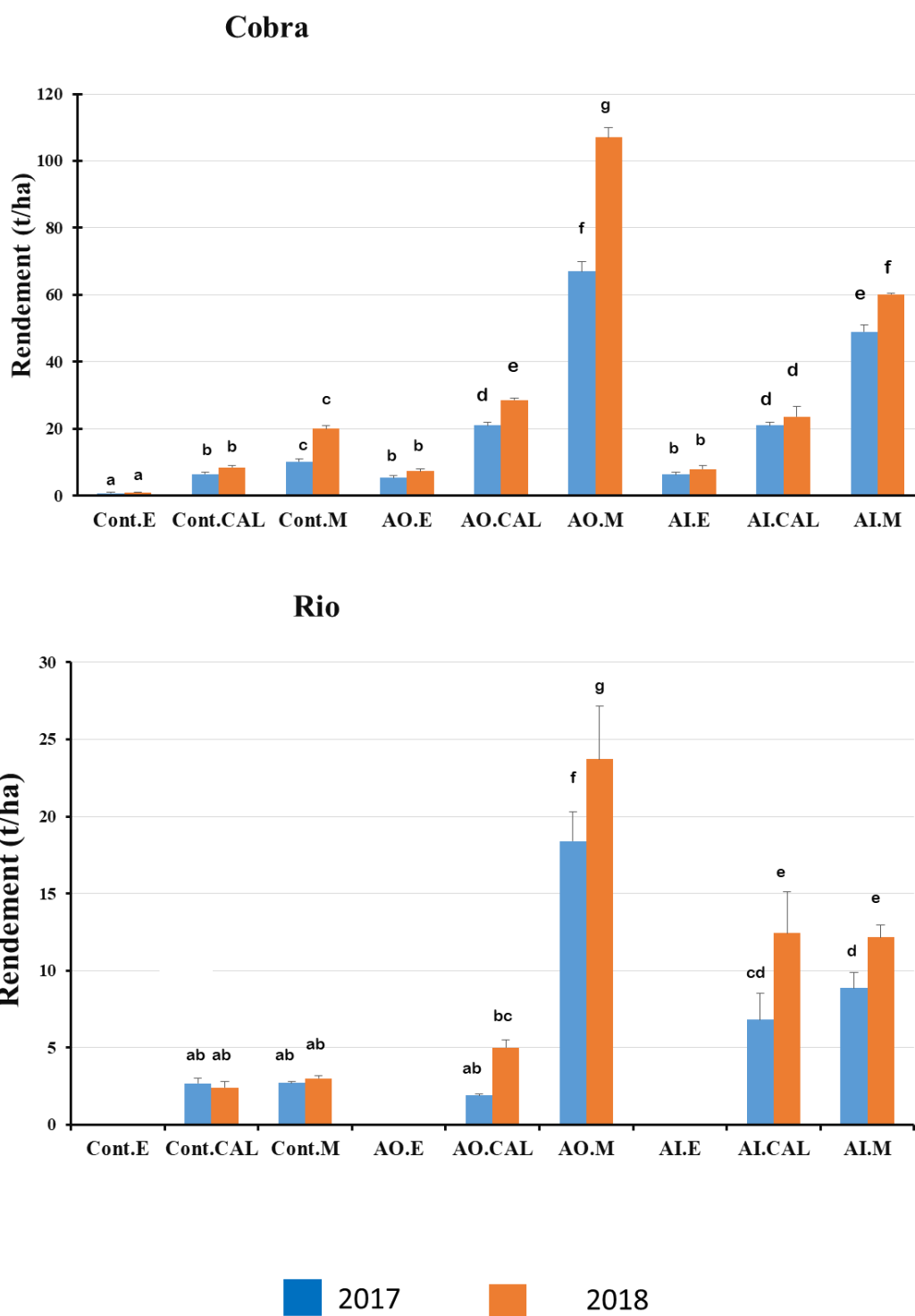
Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Br: branche, FL: fleur, Fr: fruit V1: variété Cobra; V2: variété Rio.

### III.1.3.2.4. Rendement de production des plants de tomate

La Figure 20 illustre les rendements de production de deux variétés de tomate obtenus durant les deux années de culture.





**Figure 20:** Rendement de production de la tomate de variétés de tomate Cobra et Rio pendant deux ans de culture en champ.

Le traitement amendement organique et pulvérisation au mancozeb (AO.M) était le meilleur traitement qui a permis d'obtenir un rendement (Rdt) de 107 et 23,7 t/ha chez les plants

de variété Cobra et Rio respectivement ( $P < 0,05$ ) (Figure 20). Ce traitement était plus efficace que le traitement amendement inorganique et pulvérisation des plants avec le mancozeb (A.I.M), soit une augmentation de la rentabilité due à l'amendement organique de 177,74 et 194,98 % chez les variétés cobra et Rio respectivement. Les plants de tomate des sols amendés ont présenté des Rdt significativement plus élevés en 2018 qu'en 2017, avec une augmentation de la production d'environ 130%. La tomate Cobra était plus productive et a présenté un Rdt 4 fois plus élevé que celui de la tomate Rio. Tous les plants de variété Rio pulvérisés avec de l'eau ont présenté un rendement (Rdt) nul. Les rendements les plus bas en deçà de 5t/ha ont été enregistrés chez les plants cultivés dans le sol non amendé.

#### **III.1.4. Discussion sur les paramètres agronomiques des plants de tomate**

Dans cette étude, après isolement du pathogène *Fusarium oxysporum f sp vasinfectum* (FOV), préparation des extraits aqueux et hydroéthanolique de *Callistemon citrinus* et analyse quantitative de leurs métabolites secondaires, les paramètres agronomiques ont été déterminés en milieu sous-abri et en champ.

##### **III.1.4.1. Caractères macroscopiques et microscopiques de *Fusarium oxysporum f. sp vasinfectum***

Sur milieu de culture PDA, le thalle de FOV a donné un mycélium aérien de couleur violet. La surface mycélienne violette claire et d'extrémité blanchâtre a été observée chez la culture jeune (2 à 3 semaines). Pour la culture vieillissante, sa surface était totalement violette. Cette caractéristique macroscopique est similaire à celle obtenue par Asif *et al.* (2020) qui avec le même pathogène ont observé sur milieu PDA un mycélium blanc laineux et une coloration rose à violette au revers de la boîte de pétri. Cette similarité avec nos résultats pourrait s'expliquer par l'utilisation du même milieu de culture qui était le PDA. En effet, les études d'Anand *et al.* (2018) ont montré que le pH et le milieu de culture influence la morphologie culturale de *Fusarium oxysporum f sp ciceci* (FOC). Dans le même sens, Khan *et al.* (2012) ont montré que la présence du glucose dans le milieu de culture comparée aux autres sources de carbone permettait une production importante de mycélium et que le pH variant entre 6,5 et 7,0 permettait une croissance mycélienne optimale.

La description microscopique des microconidies obtenue était similaire à celle des travaux d'Anand *et al.* (2018).

### **III.1.4.2. Composition chimique des extraits utilisés**

L'extrait hydroéthanolique (EE) de CAL était plus riche en tanins et en phénols totaux comparé à l'extrait aqueux (EA) qui était plus riche en flavonoïdes. Plusieurs études ont montré que différents solvants ont des capacités d'extraction différente en composés phénoliques dues à leur polarité (Babbar *et al.*, 2014; Ksouri *et al.*, 2008). Les résultats obtenus diffèrent de ceux de Fayemi *et al.* (2019) qui ont enregistré une teneur en polyphénols totaux plus élevée avec l'extrait aqueux de feuilles et fleurs de CAL que celle de l'extrait éthanolique. En plus de la polarité, le degré de dissolution ou la miscibilité affecte le rendement d'extraction des polyphénols totaux (Paluri *et al.*, 2012). Elle pourrait aussi être due à l'écologie et la localisation géographique de la plante. En effet, la concentration et la nature des composés phénoliques des plantes sont très sensibles aux conditions environnementales et climatiques (Tiwari *et al.*, 2011). Najjaa *et al.* (2020) dans leur étude ont montré que l'extrait aqueux des plantes *Cymbopogon schoeranthus* et *Crithmum maritimum* était 2 fois plus riche en phénols totaux, tanins et flavonoïdes que leur extrait hydroéthanolique. Cette forte concentration en composés phénoliques pourrait être due à la méthode d'extraction utilisée; car dans leur étude ils ont fait une extraction à chaud (105°C/15 min).

### **III.1.4.3. Paramètres agronomiques de croissance en milieu sous-abri**

#### **III.1.4.3.1. Sévérité de la maladie chez les plants de tomate**

Le 29<sup>ème</sup> et 36<sup>ème</sup> jour après inoculation (JAI), les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont présenté l'indice de sévérité de la maladie le plus faible (12,2%) contrairement aux mêmes plants pulvérisés avec le mancozeb (environ 30%), soit une réduction de la sévérité de 56%. Cette protection des plants par CAL pourrait s'expliquer par sa teneur en métabolites secondaires (Shopping et Elioff, 2017). En plus, l'analyse quantitative de l'EA de CAL a montré qu'il était riche en flavonoïdes. Or les propriétés antimicrobiennes des flavonoïdes ont été démontrées, particulièrement les propriétés des flavonones et les isoflavonoïdes (Li *et al.*, 2017). Les résultats obtenus avec CAL diffèrent de ceux de Mekam *et al.* (2019) qui 20 JAI ont enregistré l'indice de sévérité de la maladie de 56,67% chez les plants de tomate pulvérisés avec l'extrait hydroéthanolique d'*Euphorbia hirta* avant l'inoculation avec *Rhizoctonia solani*. Cette différence pourrait être due à la méthode d'inoculation, la virulence de l'agent pathogène utilisé, de la fréquence de pulvérisation, expliquant ainsi l'induction temporaire de la résistance par les éliciteurs.

### III.1.4.3.2. Croissance chez les plants

Les plants des sols amendés ont présenté un diamètre apical (Dap) deux fois plus grand que celui du plant issu du sol contrôle. Ceci pourrait s'expliquer par l'enrichissement des sols amendés en éléments nutritifs qui stimuleraient la croissance des plantes (Al-Busadi *et al.*, 2020). Et chez les plants de variété Rio, la pulvérisation de ces derniers avec CAL a stimulé l'augmentation de la taille des plants comparée à celle des mêmes plants pulvérisés avec de l'eau. Cette augmentation pourrait être attribuée aux caractères biostimulants des métabolites secondaires contenus dans CAL. En effet, certains polyphénols interviennent dans la synthèse des acides aminés aromatiques, qui entrent dans la synthèse des protéines responsables de la croissance de la plante (Borah, 2015). Aussi, les acides aminés appartiennent aux groupes de biostimulants naturels, de même que certains macrominéraux des plantes (Kocira *et al.*, 2015).

Dans le sol Cont, les deux dernières semaines d'observation, les plants de variété cobra pulvérisés avec CAL ont présenté un diamètre distal (Ddi) moyen supérieur à celui des mêmes plants pulvérisés avec de l'eau. Cette croissance en épaisseur entraînée par CAL pourrait être due à sa teneur en nutriments. En effet, les études de Cirillo *et al.* (2019) ont montré que les feuilles sèches de *Callistemon citrinus* contenaient le phosphore, le nitrate et l'azote total.

Dans le sol Cont, les plants inoculés et sains n'ont produit ni fleurs, ni fruits et le nombre de branches/plant était inférieur à 10. Cette faible croissance enregistrée dans le sol Contrôle contrairement aux sols amendés serait due à la pauvreté de ce sol en éléments nutritifs. Selon Ozturk et Ozer (2019), les facteurs tels que la fertilisation ou l'apport en nutriments affectent significativement la croissance de la tomate; particulièrement le calcium et le potassium qui influencent la formation des fruits de tomate. Le potassium est un élément que la tomate utilise en grande quantité (Schwarz *et al.*, 2013). Une différence de croissance est observée entre les deux variétés et durant les deux années de culture. Celle-ci pourrait être due au temps de semis et la différence génétique entre les variétés (Hossain *et al.*, 2014).

Le rendement nul enregistré par les plants de variété Cobra dans le sol Cont, s'expliquerait par la pauvreté de ces sols en éléments nutritifs tels que le potassium et le calcium. Dans leurs travaux, Nyangena *et al.* (2020) ont montré que des sols ayant de fortes concentrations en potassium et calcium permettaient une augmentation du rendement comparés aux sols ayant des faibles concentrations en ces éléments minéraux. Tous les plants inoculés issus des sols amendés et pulvérisés avec CAL ont présenté de meilleur rendement (Rdt) que celui des plants sains ayant reçu le même traitement. Ce bon Rdt obtenu par ces plants pourrait être dû à l'effet combiné des deux éliciteurs (FOV et CAL). En effet, les études de Suarez-

Fernandez *et al.* (2020) ont montré que le chitosane utilisé comme intrant pouvait dépolariser la membrane plasmique des cellules racinaires de la tomate causant la sécrétion des hormones telles que l'acide abscissique, l'acide indole acétique, l'acide jasmonique et l'acide gibbérellique impliquées dans la croissance des plantes et la maturité des fruits. Les plants de variété Rio issus du sol AO ont exhibé des meilleurs Rdts de production comparés aux plants issus du sol AI. Car la matière organique se dégrade lentement, permettant une libération progressive des éléments nutritifs, évitant ainsi leurs pertes par lessivage (Nguefack *et al.*, 2020). Les plants des 2 variétés ayant reçu le traitement organique ont présenté le Rdt le plus élevé. En plus des éléments nutritifs apportés par le fertilisant organique, l'extrait de CAL contiendrait des minéraux tels que le manganèse et le zinc jouant le rôle de biostimulant (Francesca *et al.*, 2020). Les biostimulants à base de plantes activent les cytokines à activité promotrice de la division cellulaire (Matsuo *et al.*, 2012). Egalement, les cytokines suppriment le stress induit par les radicaux libres par piégeage direct et préviennent la formation des espèces réactives oxygénées réactives en inhibant l'oxydation de la xanthine (Polo et Mata, 2018).

#### **III.1.4.3. Paramètres agronomiques de croissance en champ**

Chez tous les plants de tomate, le diamètre apical était croissant durant les semaines d'observation. Cette croissance pourrait s'expliquer par la succession de mitose réalisée par la plante pour le développement de ses organes; le diamètre apical (Dap) des plants de tomate de variété Cobra était plus important comparés aux plants de variété Rio. Cette différence de taille pourrait s'expliquer par un effet variété (Biswas *et al.*, 2015) ou par les caractéristiques génétiques propres à chaque variété (Klosterman *et al.*, 2014). Les résultats obtenus diffèrent de ceux de Mfombé *et al.* (2016) qui 2 mois après transplantation ont enregistré un Dap de 45 cm avec les plants de variété Cobra. Cette différence pourrait être attribuée aux caractéristiques géographiques du site de culture et au type d'amendement appliqué. En effet, ils ont mené leurs travaux au Mont Cameroun, qui présente les caractéristiques suivantes: précipitation annuelle de 2800 mm, Humidité Relative de 86%, sol volcanique et basique. Le type d'amendement appliqué était le mélange fiente de poule et NPK 20/10/10. Mukta *et al.* (2016), ont obtenu avec la variété de tomate Bari 14 une taille variant de 100 – 183 cm selon le type d'amendement appliqué et Saha *et al.* (2017) ont enregistré avec la même variété une taille comprise entre 65 et 78 cm. La différence observée pourrait s'expliquer par la dose et la nature du fertilisant appliqué, la texture du sol et le temps de prélèvement des paramètres de croissance. La taille des plants augmente avec le temps (Biswas *et al.*, 2015). Dans le sol Cont, les plants de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont présenté un Dap significativement plus élevé que celui des

mêmes plants pulvérisés avec de l'eau. Cette augmentation pourrait être attribuée à l'effet biostimulant des métabolites secondaires et primaires contenus dans CAL. Dans le même sens, Hayat *et al.* (2020) ont enregistré une augmentation significative de 120,4% de la taille des plants de tomate pulvérisés avec l'extrait aqueux d'ail comparée à celle des mêmes plants pulvérisés avec de l'eau.

Dans le sol Cont, la pulvérisation des plants des 2 variétés de tomate avec CAL a présenté le meilleur diamètre distal comparé à ceux pulvérisés avec de l'eau. Ceci pourrait être attribué aux minéraux présents dans l'extrait de CAL. En effet, Ali *et al.* (2015) dans leurs travaux ont montré que l'application foliaire du bore et du zinc augmentait la croissance et le Rdt de tomate.

Les plants ayant reçu le traitement organique ont montré une augmentation progressive du nombre de branches, allant de 9 branches/plant le 63<sup>ème</sup> jour à 17 branches/plant le 90<sup>ème</sup> jour. Ces résultats diffèrent de ceux de Kalbani *et al.* (2016) qui ont enregistré de valeurs de branches/plant de 1 – 2,7. Et cette différence serait due à la variété et aux conditions de culture. Au 63<sup>ème</sup> jour, les fleurs étaient presque absentes chez tous les plants. Coulibaly *et al.* (2019) ont montré que chez 15 lignées de tomate étudiées, le temps de floraison allait de 52 à 63 jours après semis. Cette différence pourrait être due aux conditions environnementales de la culture de tomate à l'instar des fortes températures qui entraîneraient une floraison précoce. Cependant, de très fortes températures impactent négativement la fertilisation et réduisent la viabilité du pollen (Colla *et al.*, 2017).

Le traitement amendement organique et pulvérisation des plants au mancozeb était plus efficace que le traitement amendement inorganique et pulvérisation des plants avec le mancozeb (A.I.M). Ce qui serait due à la nature de l'amendement organique. Ces résultats diffèrent de ceux de Diallo *et al.* (2018), qui dans leur étude ont montré que l'amendement minéral a permis d'obtenir le meilleur Rdt. Et ce dernier était 3 fois supérieur à celui de l'amendement organique. Cette faible production de tomate dans le sol ayant reçu l'amendement organique pourrait être due non seulement à la formulation du fertilisant, mais aussi au climat et au sol du milieu de culture. En effet, les fertilisants utilisés étaient la litière de *Faidherbia albida* et *Casuarina equisetifolia* qui en climat sahélien ont besoin d'au moins 7 mois de décomposition pour avoir un effet bénéfique sur la croissance (Diallo *et al.*, 2016). La variété Cobra était 4 fois plus productive que la variété Rio. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions environnementales propres à la culture de chaque variété et ceci contrôlé par le matériel génétique de chaque variété (Olaniyi *et al.*, 2010). Tous les plants de

variété Rio pulvérisés avec de l'eau ont présenté un rendement (Rdt) nul. Ce qui pourrait s'expliquer par la sensibilité de la variété Rio aux maladies (Ambang *et al.*, 2016).

## **III.2. Analyse des fruits de tomate produits en milieu sous-abri et en champ**

### **III.2.1. Qualité nutritionnelle des fruits de tomate**

#### **III.2.1.1. Teneurs en macronutriments**

Le Tableau XVII récapitule les teneurs en macronutriments des fruits de tomate issus du milieu sous-abri et du champ.

En milieu sous-abri, la teneur en fibres brutes a augmenté dans les fruits traités avec CAL et la teneur en lipides dans les fruits traités avec M. Les fruits issus des traitements CAL.V1 et E.V1 ont les plus grandes teneurs en sucres, supérieures à 1,5 mg/100g MS ( $P < 0,05$ ). Les teneurs en cendres totales les plus importantes ont été enregistrées dans les fruits M.V1 (8,47%), suivis des fruits CAL.V1 (5,48%), les autres fruits ayant des teneurs d'environ 3%.

En champ, les fruits de plants de tomate pulvérisés avec le mancozeb (M) ont enregistré le plus faible pourcentage en cendres soit une moyenne de 4,13%; suivi de celui des fruits des plants pulvérisés avec *Callistemon citrinus* (CAL) (9,75%) et de l'eau (10,19%). La pulvérisation des plants de tomate avec CAL a amélioré la teneur en macronutriments des fruits, excepté la teneur en sucres qui a été plus concentrée dans les fruits pulvérisés avec de l'eau (2,09 mg/100g MS) en moyenne. Les fruits de plants de variété Rio étaient plus riches en lipides que ceux de la variété Cobra. Toutefois, une teneur moyenne en lipides de 27,2% a été obtenue avec les fruits des 2 variétés pulvérisés avec de l'eau. Les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL (CAL.V1) étaient les plus riches en fibres brutes (40,72 %), soit 6 fois plus riches que ceux issus du champ paysan et pulvérisés avec de l'eau.

**Tableau XVII:** Teneurs en macronutriments des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ

Paramètres		Traitements						
		E.V1	CAL.V1	M.V1	CAL.V2	E.V2	M.V2	P.V2
Milieu Sous-abri	Teneur en cendres totales (%)	5,48±1,15 <sup>c</sup>	5,48±1,15 <sup>c</sup>	8,47±1,06 <sup>d</sup>	2,77±0,32 <sup>a</sup>	2,77±0,32 <sup>a</sup>	3,52±0,89 <sup>ab</sup>	
	Sucres totaux (mg/100g MS)	1,65±0,00 <sup>b</sup>	1,65±0,00 <sup>b</sup>	1,29±0,01 <sup>a</sup>	1,35±0,09 <sup>a</sup>	1,35±0,09 <sup>a</sup>	1,23±0,00 <sup>a</sup>	
	Protéines brutes (mg/100g MS)	4,14±0,11 <sup>a</sup>	4,14±0,11 <sup>a</sup>	3,63±0,32 <sup>a</sup>	3,73±0,24 <sup>a</sup>	3,73±0,24 <sup>a</sup>	3,68±0,40 <sup>a</sup>	
	Lipides totaux (mg/100g MS)	19,46±1,50 <sup>a</sup>	19,46±1,50 <sup>a</sup>	32,68±4,89 <sup>b</sup>	23,24±0,76 <sup>a</sup>	23,24±0,76 <sup>a</sup>	37,98±2,83 <sup>c</sup>	
	Fibres brutes (%)	26,25±0,60 <sup>d</sup>	26,25±0,60 <sup>d</sup>	22,12±1,92 <sup>c</sup>	4,16±0,66 <sup>a</sup>	4,16±0,66 <sup>a</sup>	22,01±0,60 <sup>c</sup>	
Champ	Teneur en cendres totales (%)	12,77±1,59 <sup>c</sup>	12,77±1,59 <sup>c</sup>	2,91±0,45 <sup>a</sup>	8,10±0,56 <sup>b</sup>	8,10±0,56 <sup>b</sup>	5,46±0,85 <sup>ab</sup>	17,63±4,35 <sup>d</sup>
	Sucres totaux (mg/100g MS)	1,28±0,04 <sup>b</sup>	1,28±0,04 <sup>b</sup>	1,25±0,08 <sup>b</sup>	2,03±0,05 <sup>d</sup>	2,03±0,05 <sup>d</sup>	1,08±0,01 <sup>a</sup>	1,41±0,01 <sup>c</sup>
	Protéines brutes (mg/100g MS)	5,04±0,96 <sup>c</sup>	5,04±0,96 <sup>c</sup>	3,48±0,37 <sup>a</sup>	3,94±0,09 <sup>ab</sup>	3,94±0,09 <sup>ab</sup>	3,56±0,26 <sup>a</sup>	12,91±0,61 <sup>d</sup>
	Lipides totaux (mg/100g MS)	21,87±2,04 <sup>a</sup>	21,87±2,04 <sup>a</sup>	24,28±0,95 <sup>ab</sup>	29,70±1,96 <sup>c</sup>	29,70±1,96 <sup>c</sup>	28,86±1,81 <sup>c</sup>	23,04±1,59 <sup>ab</sup>
	Fibres brutes (%)	40,72±2,67 <sup>c</sup>	40,72±2,67 <sup>c</sup>	24,09±3,26 <sup>b</sup>	4,33±0,58 <sup>a</sup>	4,33±0,58 <sup>a</sup>	23,99±3,42 <sup>b</sup>	6,79±0,31 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1:variété Cobra, V2: variété Rio



### III.2.1.2. Teneurs en microéléments

Les teneurs en microéléments des fruits ayant subi différents traitements sont représentés dans le Tableau XVIII.

De ce tableau, il ressort que les fruits de tomate pulvérisés avec CAL ont enregistré une teneur moyenne en Zn de 32,26 µg/g plus importante que celle des fruits pulvérisés avec le M (23,46 µg/g). Les fruits de tomate CAL.V2 étaient les plus riches en Mn (58,64 µg/g).

En champ, on observe un effet traitement; les fruits de tomate ayant été pulvérisés avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* (CAL) étaient plus riches en microéléments, suivis de ceux traités avec le mancozeb et les fruits pulvérisés avec de l'eau ayant les teneurs les plus faibles en tous les microéléments (Fe, Mn, Zn). Les fruits de tomate de variété Rio provenant du champ paysan (P.V2) ont présenté des teneurs en fer et en manganèse plus petites que les fruits de tomate Rio pulvérisés au mancozeb et issus de la parcelle expérimentale (M.V2); soit une réduction de 47,02 et 42,88% respectivement pour le Fe et le Mn.

### III.2.1.3. Composés bioactifs

Les fruits de tomate contiennent les composés bioactifs dont les teneurs ont été enregistrées dans le tableau ci-dessous.

En milieu sous-abri, la variété Cobra était significativement plus riche en polyphénols que la variété Rio (Tableau XIX). Les fruits de tomate pulvérisés avec M ont présenté les teneurs les plus faibles en composés bioactifs.

La concentration la plus élevée en polyphénols totaux de 318,84 mg EAG/100g MS a été observée chez les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL (CAL.V1) et elle était 2 fois supérieure à celle des fruits pulvérisés avec M (151,87 mg EAG/100g MS) ( $P < 0,05$ ). Les fruits du champ pulvérisés avec CAL étaient les plus concentrés en vitamine C, soit deux fois plus concentrés que les autres. Les fruits pulvérisés avec CAL ont obtenu des meilleures teneurs en lycopène, soit une augmentation de 174,78% et 153,57% par rapport aux fruits traités respectivement avec le mancozeb et de l'eau.

**Tableau XVIII:** Teneurs en microéléments des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ

Paramètres		Traitements						
		E.V1	CAL.V1	M.V1	E.V2	CAL.V2	M.V2	P.V2
Milieu Sous- abri	<b>Fer (µg/g)</b>	66,88±0,00 <sup>a</sup>	77,73±1,41 <sup>b</sup>	84,84±4,84 <sup>c</sup>	63,60±4,16 <sup>a</sup>	82,81±1,83 <sup>bc</sup>	76,95±2,75 <sup>b</sup>	
	<b>Manganèse (µg/g)</b>	30,00±0,00 <sup>a</sup>	45,34±4,28 <sup>b</sup>	51,13±5,94 <sup>b</sup>	28,41±0,44 <sup>a</sup>	58,64±3,09 <sup>c</sup>	47,49±0,50 <sup>b</sup>	
	<b>Zinc (µg/g)</b>	20,51±1,78 <sup>ab</sup>	33,90±2,77 <sup>c</sup>	25,02±0,94 <sup>c</sup>	18,18±0,49 <sup>a</sup>	30,56±0,00 <sup>d</sup>	21,90±0,99 <sup>b</sup>	
Champ	<b>Fer (µg/g)</b>	38,18±0,00 <sup>a</sup>	80,03±5,17 <sup>bc</sup>	90,25±5,10 <sup>cd</sup>	35,24±2,09 <sup>a</sup>	96,14±4,97 <sup>e</sup>	76,21±12,23 <sup>b</sup>	40,37±4,37 <sup>a</sup>
	<b>Manganèse (µg/g)</b>	19,96±4,79 <sup>a</sup>	34,28±2,88 <sup>c</sup>	52,77±0,92 <sup>e</sup>	18,88±2,88 <sup>a</sup>	56,55±2,90 <sup>e</sup>	46,29±3,72 <sup>d</sup>	26,44±1,50 <sup>b</sup>
	<b>Zinc (µg/g)</b>	21,50±2,97 <sup>a</sup>	37,72±4,81 <sup>c</sup>	25,48±4,42 <sup>ab</sup>	19,75±2,93 <sup>a</sup>	32,55±2,72 <sup>bc</sup>	21,86±2,71 <sup>a</sup>	30,94±4,92 <sup>bc</sup>

*Les valeurs moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).*

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra, V2: variété Rio.

**Tableau XIX:** Composés bioactifs des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ

Paramètres		Traitements						
		E.V1	CAL.V1	M.V1	E.V2	CAL.V2	M.V2	P.V2
Milieu Sous- abri	<b>Lycopène (mg/100g MS)</b>	35,51±5,14 <sup>bc</sup>	37,44±0,89 <sup>bc</sup>	21,75±5,20 <sup>a</sup>	31,08±4,49 <sup>b</sup>	41,54±0,86 <sup>c</sup>	22,99±2,64 <sup>a</sup>	
	<b>Vitamine C (mg/100g MS)</b>	85,33±1,33 <sup>a</sup>	85,33±0,00 <sup>a</sup>	84,24±1,70 <sup>a</sup>	85,54±0,71 <sup>a</sup>	85,45±0,49 <sup>a</sup>	86,18±0,42 <sup>a</sup>	
	<b>Polyphénols totaux (mg EAG/100g MS)</b>	186,27±0,68 <sup>d</sup>	190,95±4,87 <sup>d</sup>	68,49±8,19 <sup>b</sup>	95,62±1,39 <sup>c</sup>	88,27±9,15 <sup>c</sup>	57,17±2,40 <sup>a</sup>	
Champ	<b>Lycopène (mg/100g MS)</b>	19,52±0,36 <sup>b</sup>	26,60±0,29 <sup>c</sup>	15,13±1,13 <sup>a</sup>	17,08±0,26 <sup>a</sup>	29,61±0,30 <sup>d</sup>	17,03±1,79 <sup>a</sup>	15,93±0,15 <sup>a</sup>
	<b>Vitamine C (mg/100g MS)</b>	86,99±0,11 <sup>a</sup>	175,59±0,00 <sup>b</sup>	87,44±0,00 <sup>a</sup>	86,23±0,61 <sup>a</sup>	176,02±3,95 <sup>b</sup>	86,23±1,22 <sup>a</sup>	175,53±1,15 <sup>b</sup>
	<b>Polyphénols totaux (mg EAG/100g MS)</b>	184,77±18,24 <sup>c</sup>	318,84±13,43 <sup>e</sup>	164,23±4,08 <sup>b</sup>	197,23±8,55 <sup>c</sup>	242,32±17,40 <sup>d</sup>	139,51±0,70 <sup>a</sup>	233,85±6,09 <sup>d</sup>

*Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).*

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra, V2: variété Rio

#### **III.2.1.4. Potentiel antioxydant**

Les activités antioxydantes des fruits de tomates ayant reçu différentes pulvérisations ont été notées dans le Tableau XX.

En milieu sous-abri, les fruits de variété Cobra pulvérisés au mancozeb ont présenté les plus faibles activités antioxydantes, soient DPPH (21,33%), CAT (393,47 mg EAA/100g MS) et FRAP (23,35 mg EAA/100g MS). Et les meilleures activités ont été enregistrées avec les fruits de variété Cobra pulvérisés à CAL.

L'activité antiradicalaire la plus importante a été enregistrée par les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL (68,21%) (Tableau XVIII). Le pouvoir antioxydant réducteur FRAP était significativement plus élevé dans les fruits ayant subi les traitements CAL.V1, E.V1 et E.V2 avec une valeur d'environ 29 mg EAA/100g MS, comparés aux fruits pulvérisés avec le mancozeb qui ont montré les plus faibles valeurs en FRAP environ 27 mg EAA/100g MS ( $P < 0,05$ ). La capacité antioxydante totale (CAT) était plus élevée dans les fruits de variété Cobra que ceux de variété Rio.

**Tableau XX:** Activités antioxydantes des fruits de tomate cultivés en milieu sous-abri et en champ

		Traitements						
	Paramètres	E.V1	CAL.V1	M.V1	E.V2	CAL.V2	M.V2	P.V2
Milieu sous-abri	DPPH(%)	37,79±0,63 <sup>b</sup>	47,89±3,11 <sup>c</sup>	21,33±4,80 <sup>a</sup>	36,20±0,38 <sup>b</sup>	40,05±5,31 <sup>b</sup>	18,43±3,36 <sup>a</sup>	
	CAT (mg EAA/g MS)	1012±42,42 <sup>d</sup>	1121±7,62 <sup>e</sup>	393±12,65 <sup>a</sup>	573±27,62 <sup>b</sup>	692±4,49 <sup>c</sup>	730±49,43 <sup>c</sup>	
	FRAP (mg EAA/g MS)	28,64±0,37 <sup>d</sup>	28,26±0,13 <sup>d</sup>	25,35±0,05 <sup>a</sup>	28,21±0,25 <sup>d</sup>	27,51±0,04 <sup>c</sup>	26,12±0,09 <sup>b</sup>	
Champ	DPPH(%)	47,92±3,19 <sup>ab</sup>	68,21±0,11 <sup>c</sup>	45,87±1,42 <sup>a</sup>	43,12±5,25 <sup>a</sup>	44,16±3,96 <sup>a</sup>	52,56±3,52 <sup>b</sup>	42,86±0,81 <sup>a</sup>
	CAT (mg EAA/g MS)	1483±0,13 <sup>e</sup>	1547±0,27 <sup>f</sup>	1383±0,10 <sup>d</sup>	1146±0,40 <sup>b</sup>	1121±0,06 <sup>b</sup>	1057±0,63 <sup>a</sup>	1233±0,40 <sup>c</sup>
	FRAP (mg EAA/g MS)	28,04±0,15 <sup>cd</sup>	28,36±0,14 <sup>d</sup>	26,95±0,41 <sup>ab</sup>	28,62±0,39 <sup>d</sup>	27,57±0,23 <sup>bc</sup>	26,70±0,17 <sup>a</sup>	27,25±0,68 <sup>ab</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1:variété Cobra, V2: variété Rio, CAT: capacité antioxydante totale, FRAP: pouvoir antioxydant par réduction du fer.

### III.2.1.5. Corrélation entre les minéraux, les composés bioactifs et le potentiel antioxydant

#### III.2.1.5.1. Cas du milieu sous-abri

La corrélation de Pearson entre différents composés bénéfiques des fruits de tomate du milieu sous-abri est reportée dans le Tableau XXI

**Tableau XXI:** Corrélation de Pearson entre composés importants des fruits de tomate

Paramètres	PT	Vit C	LYCO	%I	CAT	FRAP	Fe	Mn	Zn
<b>PT</b>	<b>1</b>								
<b>Vit C</b>	0,294	<b>1</b>							
<b>LYCO</b>	<b>0,937***</b>	0,177	<b>1</b>						
<b>%I</b>	<b>0,954***</b>	0,049	<b>0,908***</b>	<b>1</b>					
<b>CAT</b>	0,723	0,421	0,445	0,649	<b>1</b>				
<b>FRAP</b>	<b>0,960***</b>	0,254	<b>0,850***</b>	<b>0,908***</b>	0,765	<b>1</b>			
<b>Fe</b>	-0,346	-0,397	-0,135	-0,256	-0,738	-0,262	<b>1</b>		
<b>Mn</b>	-0,225	-0,170	0,014	-0,185	-0,713	-0,193	<b>0,956***</b>	<b>1</b>	
<b>Zn</b>	0,405	-0,182	0,491	0,497	-0,061	0,487	0,676	0,689	<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont significativement différents à 0 au seuil de signification  $\alpha=0,05$ .*

PT: polyphénols totaux; Vit C: vitamine C; LYCO: lycopène; %I: pourcentage d'inhibition de l'activité antiradicalaire; CAT: capacité antioxydante totale, FRAP: pouvoir antioxydant par réduction du fer; Fe: fer; Mn: manganèse; Zn: zinc; \*\*\*: très forte corrélation.

A partir du tableau ci-dessous, on observe des très fortes corrélations positives entre les composés. Ainsi, les polyphénols totaux ont été corrélés au lycopène (0,937), à l'activité antiradicalaire (0,954) et la FRAP (0,960). Le lycopène quant à lui était corrélé à l'activité antiradicalaire (0,908) et la FRAP (0,850). De très fortes corrélations positives ont été notées entre l'activité antiradicalaire et la FRAP (0,908) et entre le fer et le manganèse (0,956).

Du diagramme de corrélation (Figure 21), la Figure 21A explique à plus de 76% les corrélations entre les traitements et certains composés bénéfiques des fruits de tomate en champ. Deux groupes ont été observés: dans le premier groupe, le traitement pulvérisation des fruits de variété Rio avec CAL (CAL.V2) stimule la teneur en minéraux (Fe, Mn) et dans le deuxième groupe, les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL (CAL.V1) ont impacté positivement les teneurs en composés antioxydants. De la Figure 21B, il ressort que résultats ont été expliqués à 85,4% et 3 groupes ont été observés. Dans le premier groupe, le

traitement CAL.V2 a permis d'avoir une bonne teneur en minéraux (Fe, Mn et Zn). Du deuxième groupe, le traitement CAL.V1 a augmenté la concentration des fruits en composés bioactifs (polyphénols totaux et lycopène) et les activités antioxydantes (DPPH et FRAF). Le troisième groupe laisse voir que le traitement fruits de tomate pulvérisés à de l'eau a influencé la Capacité antioxydante totale. Le traitement fruits de tomate pulvérisés avec le mancozeb ne permet pas d'obtenir des meilleures concentrations en composés bénéfiques.

### III.2.1.5.2.Cas du champ

La corrélation de Pearson entre différents composés bénéfiques des fruits de tomate du champ est résumée dans le Tableau XXII.

**Tableau XXII:** Corrélation de Pearson entre composés importants des fruits de tomate du champ

Paramètres	PT	Vit C	LYCO	%I	FRAP	CAT	Fe	Mn	Zn
<b>PT</b>	<b>1</b>								
<b>Vit C</b>	0,406	<b>1</b>							
<b>LYCO</b>	0,620	0,646	<b>1</b>						
<b>%I</b>	0,515	0,257	0,414	<b>1</b>					
<b>FRAP</b>	<b>0,833***</b>	0,370	0,438	0,507	<b>1</b>				
<b>CAT</b>	0,435	0,074	0,424	0,754	0,679	<b>1</b>			
<b>Fe</b>	-0,160	0,252	0,491	0,317	-0,428	0,068	<b>1</b>		
<b>Mn</b>	-0,421	0,163	0,320	0,032	-0,624	-0,110	<b>0,946***</b>	<b>1</b>	
<b>Zn</b>	0,465	<b>0,921***</b>	0,672	0,520	0,310	0,163	0,472	0,304	<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont significativement différents à 0 au seuil de signification  $\alpha=0,05$*

PT: polyphénols totaux; Vit C: vitamine C; LYCO: lycopène; %I: pourcentage d'inhibition de l'activité antiradicalaire; CAT: capacité antioxydante totale, FRAP: pouvoir antioxydant par réduction du fer; Fe: fer; Mn: manganèse; Zn: zinc; \*\*\*: très forte corrélation.

Du Tableau XXII, il ressort une très forte corrélation positive entre le pouvoir antioxydant réducteur du fer (FRAP) et les polyphénols totaux (0,833), la vitamine C et le zinc (0,921), le fer et le manganèse (0,946).

Les résultats expliquent à plus de 70% la corrélation entre les traitements et les variables (Figure 21A). Le facteur principal (44,96%) était formé par les composés bioactifs, le zinc et l'activité antioxydante; alors que le second facteur (31,10%) était formé par le fer et le manganèse. Les traitements n'ayant pas permis d'avoir des fortes concentrations en composés

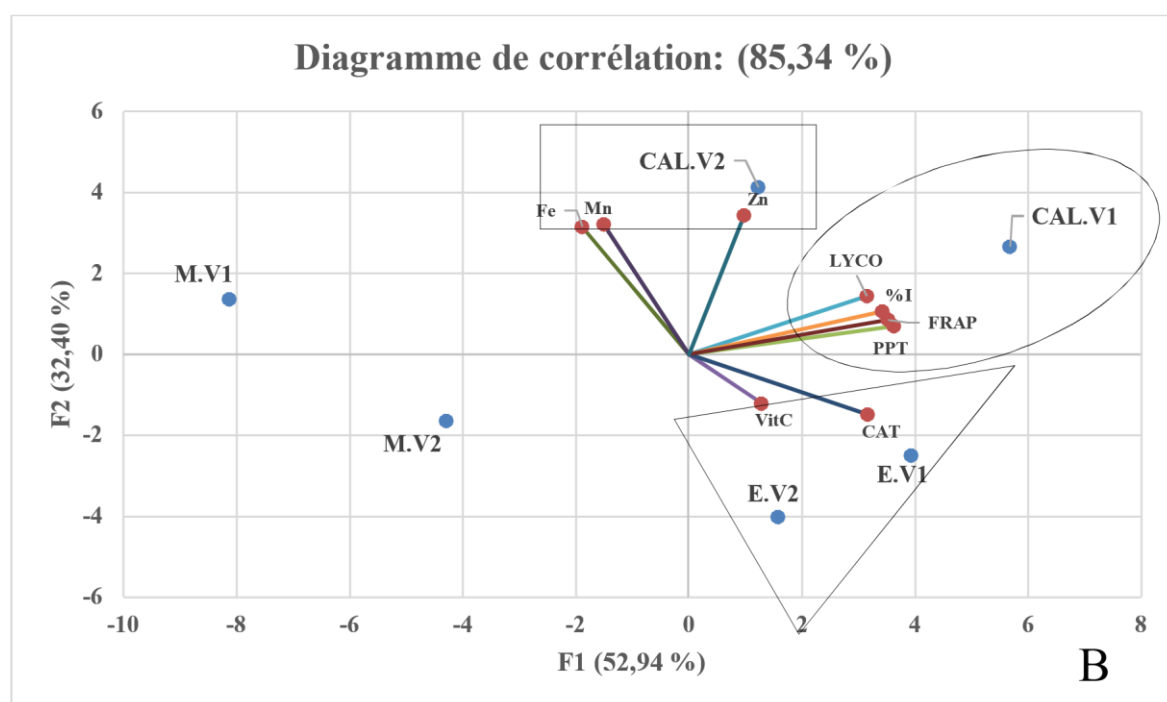
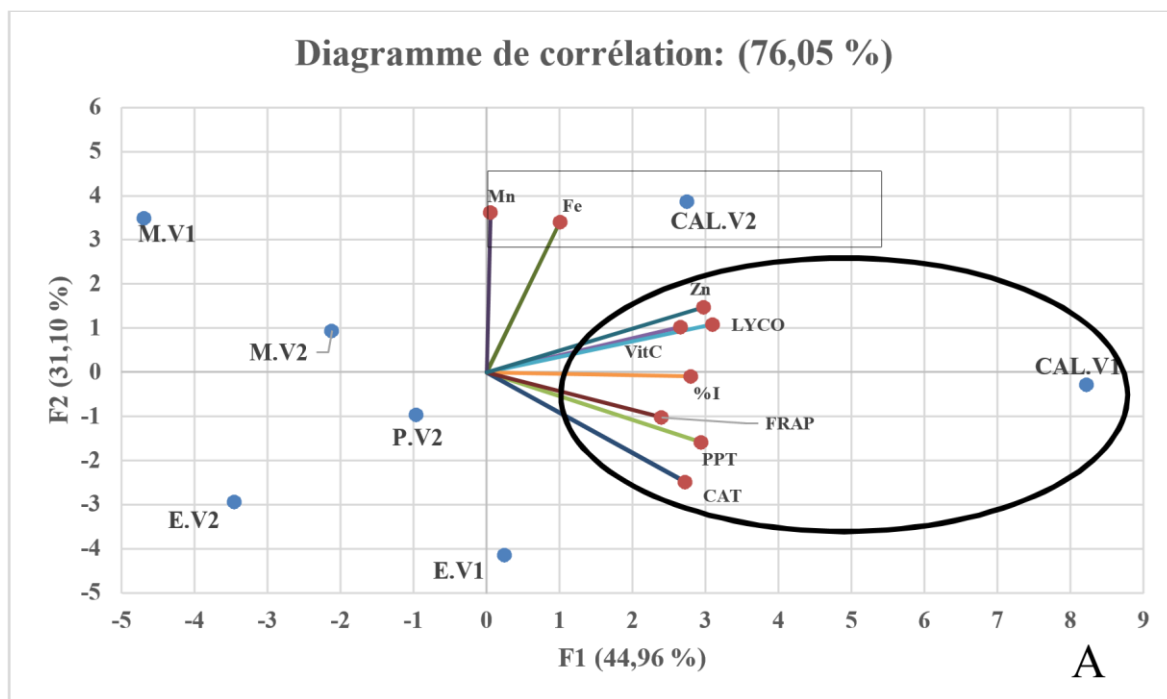
bénéfiques étaient: fruits Cobra pulvérisés avec le mancozeb (M.V1), fruits Rio pulvérisés avec de l'eau (E.V2), fruits Rio pulvérisés au mancozeb (M.V2), fruits Rio paysans (P.V2), et fruits Cobra pulvérisés avec de l'eau (E.V1). La teneur en minéraux dans les fruits de tomate particulièrement le fer et le manganèse a été affectée par le traitement fruits Rio pulvérisés avec CAL (CAL.V2). Tandis que les concentrations en composés bioactifs et le potentiel antioxydant des fruits ont été impactés par le traitement fruits Cobra pulvérisés avec CAL (CAL.V1).

### **III.2.2. Détermination du profil phénolique des fruits de tomate**

Le profil phénolique des fruits de tomate a été déterminé et les quantités des 14 composés phénoliques sont enregistrées dans le tableau XXIII.

De ce tableau, on observe que la variété Cobra était dépourvue de rutine et de catéchine; alors que la variété Rio en était dépourvue d'acide cinnamique, d'eugénol, d'acide néochlorogénique et de procianidine B<sub>2</sub>. En plus, la quantité totale des composés phénoliques était plus importante dans les fruits Rio; soit une augmentation de 123,51%. Pour tout type de composé phénolique déterminé, les meilleures concentrations en composés phénoliques ont été enregistrées dans les fruits pulvérisés avec CAL. La plupart de ces composés ont présenté des concentrations inférieures à 100 mg/kg, excepté l'acide gallique, l'acide cinnamique, l'eugénol et l'acide carnosique. Toutefois, les fruits de tomate de la variété Cobra et ceux de la variété Rio étaient les plus riches en acide shickimique (6204 mg/kg) et acide carnosique (5348 mg/kg) respectivement.





**Figure 21:** Diagramme de corrélations entre quelques composés bénéfiques des fruits de tomate du champ (A) et du milieu sous-abri (B)

E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra, V2: variété Rio, PT: polyphénols totaux; Vit C: vitamine C; LYCO: lycopène; %I: pourcentage d'inhibition de l'activité antiradicalaire; CAT: capacité antioxydante totale, FRAP: pouvoir antioxydant par réduction du fer; Fe: fer; Mn: manganèse; Zn: zinc.

**Tableau XXIII:** Profil polyphénolique des fruits de tomate

	Tomate Cobra	Tomate Cobra	Tomate Rio	Tomate Rio
	Traité à <i>Callistemon</i>	Non traité	Traité à <i>Callistemon</i>	Non traité
Polyphénols	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Acide shickimique	6692,16±168,15 <sup>d</sup>	5715,36±169,35 <sup>c</sup>	4706,70±214,55 <sup>b</sup>	3729,13±302,25 <sup>a</sup>
Acide romarique	28,53±3,45 <sup>b</sup>	20,00±2,10 <sup>a</sup>	31,40±0,70 <sup>b</sup>	22,66±2,80 <sup>a</sup>
Acide cinnamique	59,90±2,20 <sup>c</sup>	17,63±2,15 <sup>b</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
Eugénol	478,96±17,65 <sup>c</sup>	219,1±11,50 <sup>b</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
Acide carnosique	1536,76±114,45 <sup>b</sup>	985,30±142,40 <sup>a</sup>	5905,90±173,90 <sup>d</sup>	4790,60±202,20 <sup>c</sup>
Acide gallique	547,66±10,55 <sup>d</sup>	521,50±11,50 <sup>c</sup>	417,86±14,65 <sup>b</sup>	300,43±11,55 <sup>a</sup>
Acide néochlorogénique	43,70±5,70 <sup>b</sup>	38,20±1,90 <sup>b</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
Catéchine	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	553,26±21,65 <sup>c</sup>	502,03±18,20 <sup>b</sup>
Acide caféique	48,46±4,25 <sup>c</sup>	18,90±1,50 <sup>b</sup>	17,70±0,90 <sup>b</sup>	7,10±1,50 <sup>a</sup>
Procianidine B <sub>2</sub>	45,90±4,70 <sup>c</sup>	40,60±0,40 <sup>b</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>
Procianidine A <sub>2</sub>	18,26±1,75 <sup>b</sup>	26,13±2,65 <sup>c</sup>	3,33±0,35 <sup>a</sup>	1,03±0,05 <sup>a</sup>
Rutine	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,00±0,00 <sup>a</sup>	139,80±11,40 <sup>c</sup>	100,60±12,05 <sup>b</sup>
Florizine	24,90±2,90 <sup>b</sup>	27,96±3,25 <sup>b</sup>	5,70±0,40 <sup>a</sup>	3,10±0,30 <sup>a</sup>
Acide ursolique	35,90±2,50 <sup>c</sup>	40,06±1,15 <sup>d</sup>	27,60±2,10 <sup>b</sup>	18,80±1,80 <sup>a</sup>
Total	9561,1	7670,8	11809,2	9474,4

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK)

### III.2.3. Discussion sur la qualité nutritionnelle et profil phénolique des fruits de tomate

L'effet de l'eau (E), de l'extrait de *Callistemon citrinus* (CAL), et du mancozeb (M) sur la qualité nutritionnelle des fruits de tomate a été évalué à travers la détermination de la teneur des fruits de tomate en macronutriments (lipides, protéines, sucres totaux, fibres brutes); en minéraux (fer, manganèse et zinc); en composés bioactifs (polyphénols totaux, lycopène, vitamine C); et l'évaluation des activités antioxydantes (activité antiradicalaire, capacité antioxydante totale (CAT), pouvoir antioxydant par réduction du fer (FRAP)).

### **III.2.3.1. Qualité nutritionnelle des fruits de tomate produits en milieu sous-abri et en champ**

#### **III.2.3.1.1. Teneurs en macronutriments**

La teneur en cendres obtenue de poudres des fruits de tomate pulvérisés avec (CAL) (9,75%) était plus élevée que celle obtenue avec la poudre de tomate par l'USDA (8,91%), Srivastava et Kulshreshtha, 2013 (7,3%) et Harini *et al.*, 2019 (0,69%). La teneur en cendres est un indicateur de la teneur totale en minéraux d'un aliment et varie en fonction des techniques d'incinération ou modèle de prétraitements des échantillons (Bikila *et al.*, 2020). Les teneurs en sucres totaux obtenus dans les fruits étaient inférieures à 2%. Ce qui pourrait être dû à l'utilisation abusive des sucres pour promouvoir l'expansion des cellules des fruits et en tant que molécules signal pour contrôler le développement et le métabolisme des fruits (Kanayama, 2017). Farooq *et al.* (2020), dans leurs travaux ont obtenu des valeurs en sucres totaux variant entre 6 et 9% en fonction du type de prétraitement et du temps de stockage des tomates séchées. En plus, la variété Cobra était significativement plus riche en sucres totaux que la variété Rio. La teneur en sucre des fruits de tomate est un caractère multigénique complexe qui est intensément affecté par l'environnement (Hartl, 2011). La variété Rio était significativement plus riche en lipides, soit une augmentation d'environ 117 et 119% respectivement en champ et en milieu sous-abri. Ce qui pourrait être lié à un effet variété. La teneur en protéines obtenue en champ (fruits pulvérisés avec CAL, 4,9 g/100g MS) et en milieu sous-abri (4,11 g/100g MS) était supérieure à celle des fruits pulvérisés avec le Mancozeb (3,58 g/100g MS), montrant l'effet biostimulant des extraits de plantes. Karakashova *et al.* (2012) dans leur étude sur la qualité des fruits frais et secs de différentes variétés de tomate; ont montré que la teneur en protéines des fruits de variété Rio frais était de 0,58% et celle des fruits secs de 8,4%. Ces résultats diffèrent de ceux de Farooq *et al.* (2020), qui ont montré que le séchage diminue la teneur en nutriments des fruits de tomate. Toutefois, la teneur en protéine du champ paysan était plus élevée (12,91 g/100g MS), montrant que la dose d'engrais NPK utilisée pourrait influencer la teneur en protéines. En effet, la richesse des sols en éléments fertilisants N et K ont été reportés comme favorisant la croissance des plantes et le rendement de production (Stephen *et al.*, 2014). Les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL (CAL.V1) en champ étaient les plus riches en fibres brutes (40,72 %), que ceux des mêmes plants en milieu sous-abri (26,25%); soit une augmentation de 155,12%. Cette différence en fibres brutes pourrait être due aux conditions climatiques variables et à la technologie de culture (Hussen *et al.*, 2016). Ces résultats diffèrent de ceux de Bengtsson et Tornberg. (2011) qui ont obtenu dans

les tourteaux de tomate une teneur en fibres totales de 49,5%. Cela pourrait être dû aux différentes manières d'homogénéisation, ou à la microstructure fondamentale des parois cellulaires.

### **III.2.3.1.2. Teneurs en microéléments**

En champ comme en milieu sous-abri, les fruits de tomate traités avec CAL ont montré des valeurs en micro-minéraux significativement plus importantes. Les fruits de variété Rio pulvérisés avec CAL ont présenté des meilleures concentrations en fer (8,65 mg/100 g MS) et en manganèse (5,75 mg/100 g MS), alors que ceux de variété Cobra ayant reçu la même pulvérisation était le plus riche en zinc (3,58 mg/100 g MS). Ces résultats diffèrent de ceux d'Akubor et Owuse. (2020) qui ont obtenu avec la poudre de peau de tomate des concentrations plus faibles en fer et en zinc de 2,15 mg/100 g MS et 2,89 mg/100 g MS respectivement. Et diffèrent également des travaux d'Elbadrawy et Sello. (2016), qui ont reporté des valeurs de Fe (1,5 mg/100 g MS), Mn (1,4 mg/100 g MS) et Zn (3,12 mg/100 g MS) avec la peau de tomate. Ceci pourrait s'expliquer par la partie de la tomate utilisée (peau de tomate) et la température de séchage utilisée qui était de 32°C. Or les pelures de tomate contiennent la plupart des minéraux antioxydants en particulier le Cu, Ca, Zn, Mn, et ces derniers sont importants pour les enzymes antioxydantes *in vivo* et protègent donc le corps du cancer (Gonzalez *et al.*, 2011). Les fruits de tomate de variété Rio provenant du champ paysan (P.V2) ont présenté des teneurs en fer et en manganèse plus petites que les fruits de tomate Rio pulvérisés au mancozeb et issus de la parcelle expérimentale (M.V2); soit une réduction de 47,02 et 42,88% respectivement pour le Fe et le Mn. Les faibles concentrations en ces minéraux pourraient s'expliquer par une mauvaise absorption des oligoéléments dans le sol paysan due à l'utilisation accrue des engrais de synthèse (Dhaliwal *et al.*, 2019).

### **III.2.3.1.3. Composés bioactifs**

Les fruits de tomate pulvérisés avec CAL ont des teneurs en lycopène et vitamine C et polyphénols totaux plus élevées que ceux cultivées avec le produit chimique de synthèse mancozeb telle qu'obtenue par les travaux de Vinha *et al.* (2014) qui ont relevé une différence entre les traitements organiques et chimiques de plus de 20%, 30% et 24% respectivement avec le lycopène, la vitamine C et les polyphénols totaux. La concentration la plus élevée en polyphénols totaux de 318,84 mg EAG/100g MS a été observée chez les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL et elle était 2 fois supérieure à celle des fruits pulvérisés avec M (151,87 mg EAG/100g MS). Ces résultats diffèrent de ceux de Harini *et al.* (2019), qui dans leur étude sur les caractéristiques physico-chimiques des tranches de tomate séchées à l'aide d'un système

de séchage innovant ont obtenu des valeurs plus faibles en polyphénols totaux (PT) de l'ordre de 48,9 mg EAG/ 100 g MS. La différence observée serait due au processus de traitement des fruits et les techniques d'analyse utilisées. Bien qu'ayant utilisées les mêmes techniques d'extraction des PT et de lycopène que celles des travaux de Nikaolos *et al.* (2020); ils ont enregistré des concentrations plus faibles en lycopène (14,3 mg/100 g MF) et en PT (19,0 mg EAG/100g MF). Ceci pourrait s'expliquer par l'état physique des fruits de tomate analysés. En effet, plus la température des traitements est élevée, plus la teneur en composés bioactifs (PT, lycopène) augmente (Karakashova *et al.*, 2012; Katiru *et al.*, 2018). Dans le même sens, Aina *et al.* (2019), ont obtenu une valeur de PT inférieure à 4 mg EAG/ 100 g MS. Or, dans leurs travaux, ils ont menés les études dans les pots avec un sol limon-sableux et amendement organique (fiente de poule, bouse de vache) et inorganique (NPK 40/60/60). Cette différence pourrait être due également aux techniques d'analyse utilisées, les conditions de culture, les variétés de tomate (Kaur *et al.*, 2013). En plus de l'amendement, d'autres facteurs tels que la pulvérisation des plants, interviendraient dans la qualité nutritionnelle des fruits de tomate. Les fruits pulvérisés avec CAL étaient les plus riches en lycopène 39,49 mg/ 100g MS et vitamine C 175 mg/ 100g MS. Nour *et al.* (2018) ont enregistré dans leur étude sur les composés nutritionnels et bioactifs des résidus de tomate (pelure et graines) séchés des teneurs en lycopène de 51,06 mg/100g MS tandis que Chandra et Ramalingam (2011) ont obtenu en fonction des variétés des valeurs en acide ascorbique de 60-96 mg/ 100 g MS et en lycopène variant de 19-41 mg/ 100g MS.

#### **II.2.3.1.4. Potentiel antioxydant**

Les plus faibles valeurs de FRAP (26 mg EAA/100g MS) ont été enregistrées avec les fruits des variétés Cobra et Rio pulvérisés au mancozeb; Les fruits de variété Cobra pulvérisés avec CAL ont présenté une meilleure activité antiradicalaire (68,21%) et une bonne capacité antioxydante totale (CAT). Ceci pourrait s'expliquer par l'action supplémentaire des composés contenus dans l'extrait aqueux de CAL qui interviendraient dans le métabolisme de biosynthèse de ces composés bioactifs par les plants de tomate (Fernandez-Moreno *et al.*, 2017); le type de solvant d'extraction et le type de production (organique ou conventionnelle) (Borguini *et al.*, 2013).

En champ comme en milieu sous-abri, des très fortes corrélations positives ont été enregistrées entre PT et FRAP ( $r = 0,92$ ,  $P \leq 0,05$ ). Ces résultats corroborent avec ceux de Vinha *et al.* (2014), qui ont également obtenu des fortes corrélations positives entre PT et FRAP ( $r = 0,719$ ,  $P < 0,05$ ). Cette forte corrélation pourrait être liée à la forte teneur des PT dans les fruits

de tomate comparés aux autres composés antioxydants. En milieu sous-abri, il existe des très fortes corrélations positives entre le lycopène - FRAP ( $r = 0,8$ ,  $P \leq 0,05$ ), lycopène - DPPH ( $r = 0,90$ ,  $P \leq 0,05$ ). La tomate possède de bonnes propriétés antioxydantes dues à plusieurs composés antioxydants tels que: les caroténoïdes, les flavonoïdes, l'acide ascorbique et les PT présents en quantité considérable (Kavitha *et al.*, 2014).

### **III.2.3.2. Profil phénolique**

Les fruits pulvérisés avec CAL ont des teneurs plus élevées en polyphénols déterminés (PD) que ceux du témoin (pulvérisé avec de l'eau). Ceci pourrait s'expliquer par la richesse de ces extraits en molécules qui stimuleraient la production des composés phénoliques. Chez les plants pulvérisés avec CAL, les fruits issus des plants de variété Rio étaient plus riches en PD que ceux de la variété Cobra ayant subi le même traitement. Bhandhari *et al.* (2016) ont montré que 119 fruits de tomate de génotypes différents avaient des teneurs en phénols significativement différentes. Leur méthodologie d'analyse quantitative était similaire à la nôtre. Les fruits de variété Cobra étaient dépourvus de rutine. Ces résultats diffèrent de ceux de Delgado-Vargas *et al.* (2018) où la rutine était le composé le plus abondant dans la tomate cerise (139,8 mg/kg). Cette différence serait liée à l'effet variété (Kaur *et al.*, 2013). Les fruits Cobra et Rio ont présenté des teneurs en acide gallique supérieures à 300 mg/kg. Ces résultats diffèrent de ceux de Nour *et al.* (2018) qui ont obtenu des teneurs en acide gallique de 17,2 mg/kg. Les fruits Cobra étaient les plus riches en acide shikimique; or ce dernier est l'intermédiaire clé de la voie de synthèse des acides aminés aromatiques et par conséquent utilisé en industrie pharmaceutique (Borah, 2015). En plus, l'acide shikimique est un intermédiaire pour la production des médicaments efficaces contre la grippe (Singh *et al.*, 2020). Par contre, les fruits de la variété Rio étaient les plus riches en acide carnosique qui a les propriétés antimicrobiennes et présente des caractéristiques importantes pour la santé humaine et la nutrition (Birtic *et al.*, 2015).

## **III.3. Analyse des paramètres physico-chimiques et de la microflore du sol**

### **III.3.1. Paramètres physico-chimiques du sol**

#### **III.3.1.1. Granulométrie du sol prélevé en début et en fin de la culture**

##### **III.3.1.1.1. En milieu sous-abri**

Le tableau XXIV résume la granulométrie du sol en milieu sous-abri au cours des deux années de culture.

**Tableau XXIV:** Granulométrie des sols collectés en début et fin de culture de tomate

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés (%)					
	Argile	limon	Sable	argile	limon	Sable
<b>Cont</b>	28,5±0,5 <sup>cd</sup>	21±2 <sup>b</sup>	50±1 <sup>ab</sup>	29±1 <sup>e</sup>	20±1 <sup>b</sup>	50,33±0,57 <sup>a</sup>
<b>AO</b>	25±0 <sup>ab</sup>	19±0 <sup>ab</sup>	56±0 <sup>f</sup>	24±0 <sup>a</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	56±0 <sup>de</sup>
<b>AI</b>	24±0 <sup>a</sup>	18,5±0,5 <sup>a</sup>	57±0 <sup>f</sup>	25,66±0,57 <sup>bc</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	56±0 <sup>de</sup>
<b>Cont.E</b>	26,5±0,5 <sup>abc</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	54,5±0,5 <sup>e</sup>	25,5±0,5 <sup>bc</sup>	20±0 <sup>b</sup>	53±1 <sup>b</sup>
<b>Cont.CAL</b>	27,5±0,5 <sup>bc</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	51,5±0,5 <sup>bc</sup>	28,5±0,5 <sup>e</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	54±1 <sup>bcd</sup>
<b>Cont.M</b>	27±2 <sup>bc</sup>	18,5±0,5 <sup>a</sup>	52,5±0,5 <sup>cd</sup>	27,5±0,5 <sup>de</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	55±1 <sup>bcd</sup>
<b>AO.E</b>	26±0 <sup>ab</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	57±0 <sup>f</sup>	26,5±0,5 <sup>cd</sup>	17,5±0,5 <sup>a</sup>	54,5±0,5 <sup>bcd</sup>
<b>AO.CAL</b>	25±1 <sup>ab</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	56,5±0,5 <sup>f</sup>	25±0 <sup>ab</sup>	19±0 <sup>ab</sup>	55,5±0,5 <sup>cd</sup>
<b>AO.M</b>	24±0 <sup>a</sup>	18,5±0,5 <sup>a</sup>	53,5±0,5 <sup>de</sup>	27,5±0,5 <sup>de</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	57,5±0,5 <sup>e</sup>
<b>AIE</b>	32±2 <sup>e</sup>	18±0 <sup>a</sup>	49±1 <sup>a</sup>	33±1 <sup>g</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	49±1 <sup>a</sup>
<b>AICAL</b>	32±1 <sup>e</sup>	19±0 <sup>ab</sup>	50±1 <sup>ab</sup>	30,33±0,57 <sup>f</sup>	19,5±0,5 <sup>ab</sup>	49±1 <sup>a</sup>
<b>AIM</b>	30±1 <sup>de</sup>	18±1 <sup>a</sup>	50,5±1,5 <sup>ab</sup>	29±1 <sup>e</sup>	19±1 <sup>ab</sup>	53,5±1,5 <sup>bc</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%.

Du Tableau XXIV, il ressort que durant les deux années d'expérience, pour tout type d'amendement, la teneur en limon n'a pas subi de modification significative au cours de la culture. Dans les sols amendés inorganiquement (AI), la teneur en argile a augmenté de plus de 129%, allant de 24% en début de culture à 31% en fin de culture. Dans ce sol AI, la teneur en sable en fin de culture a été réduite comparée au sol AI en début de culture, soit une réduction de 12% (P<0,05). Dans le sol non amendé (Cont), la teneur en argile a baissé en fin de culture (27%) contrairement en début de culture (29%), alors que la teneur en sable a augmenté allant de 50% en début de culture à 53% en fin de culture. En 2018, des variations de la teneur en argile liées au type de pulvérisation ont été enregistrées dans chaque type de sol amendé.

### **III.3.1.1.2. En champ**

Les teneurs en argile limon et sable des sols en champ au cours des deux années de culture sont représentés dans le Tableau XXV.

Le Tableau XXV révèle des différences de granulométrie entre les deux années de culture. En 2017, les sols étaient plus riches en argile (40%) suivi du sable (33%) et du limon (27%). Par contre en 2018, les teneurs en argile, limon et sable étaient respectivement de 31%, 49%, et 20%. Le sol issu du champ paysan a subi des mêmes modifications. En 2017, la teneur en argile a diminué en fin de culture alors que les teneurs en limon et sable ont augmenté ceci pour tout type d'amendement ( $P < 0,05$ ). En 2018, dans les sols amendés, la teneur en limon a significativement baissé tandis que la teneur en sable a augmenté.

### **III.3.1.2. Macroéléments du sol prélevé en début et en fin de la culture**

#### **III.3.1.2.1. En milieu sous-abri**

Les macroéléments ont été déterminés dans les sols en début et en fin de culture et les données enregistrées et consignées dans le Tableau XXVI.

On constate que le sol Cont a le rapport carbone-azote (C/N) le plus faible ( $5 < C/N < 13$ ), alors que dans les sols amendés ce dernier est supérieur 19 (Tableau XXVI). En début de culture, le sol amendé organiquement (AO) a enregistré de forte teneur en carbone organique (CO) de 4,63%, azote total (NT) de 2,28 mg/kg et potassium (K) de 8,4 cmol<sup>(+)</sup>/kg ( $P < 0,05$ ). En fin de culture, le sol ayant subi le traitement, amendement organique et pulvérisation avec *Callistemon Citrinus* (AO.CAL) était le plus riche en CO (5,85%), soit une augmentation de 285,36% et 164,31% comparée à la teneur des sols Cont.CAL et AI.CAL respectivement. La teneur en NT du sol AO était de 2,35 mg/kg avec une augmentation de 142 et 136% comparée à celle des sols AI et Cont respectivement. Le phosphore assimilable est plus élevé dans le sol AI (60 cmol<sup>(+)</sup>/kg) suivi du sol AO (5,2 cmol<sup>(+)</sup>/kg) et enfin le sol Cont (4,4 cmol<sup>(+)</sup>/kg). Tandis que de forte teneur en K a été enregistrée dans les sols amendés et 10 fois supérieure à celle du sol Cont.



**Tableau XXV:** Granulométrie des sols collectés en début et fin de culture de tomate

Traitements	2017			2018		
	Paramètres analysés (%)					
	argile	limon	Sable	argile	limon	Sable
<b>SAC</b>	47,5 <sup>e</sup>	23,5 <sup>a</sup>	29 <sup>ab</sup>	29,66 <sup>a</sup>	52 <sup>f</sup>	18,33 <sup>a</sup>
<b>Cont.E</b>	38,5 <sup>abc</sup>	27 <sup>b</sup>	33,5 <sup>c</sup>	29 <sup>a</sup>	51,66 <sup>f</sup>	19,26 <sup>ab</sup>
<b>Cont.CAL</b>	40 <sup>abc</sup>	27,83 <sup>bc</sup>	31,76 <sup>bc</sup>	29 <sup>a</sup>	51,5 <sup>f</sup>	19,5 <sup>ab</sup>
<b>Cont.M</b>	37 <sup>ab</sup>	29,5 <sup>cd</sup>	33,5 <sup>c</sup>	29,66 <sup>a</sup>	51,5 <sup>f</sup>	19,5 <sup>ab</sup>
<b>AO.E</b>	40,83 <sup>abc</sup>	27,5 <sup>bc</sup>	32 <sup>c</sup>	30,33 <sup>a</sup>	48 <sup>d</sup>	21,5 <sup>c</sup>
<b>AO.CAL</b>	39 <sup>abc</sup>	28,66 <sup>bcd</sup>	33,73 <sup>c</sup>	33,66 <sup>bc</sup>	46,66 <sup>c</sup>	20,5 <sup>b</sup>
<b>AO.M</b>	41 <sup>bcd</sup>	29 <sup>bcd</sup>	31,5 <sup>bc</sup>	32,33 <sup>bc</sup>	46,57 <sup>c</sup>	22,5 <sup>c</sup>
<b>AIE</b>	38 <sup>abc</sup>	27,5 <sup>bc</sup>	37 <sup>d</sup>	33,33 <sup>bc</sup>	45 <sup>ab</sup>	22 <sup>c</sup>
<b>AICAL</b>	42,16 <sup>cd</sup>	26,66 <sup>b</sup>	31,25 <sup>bc</sup>	31 <sup>ab</sup>	45,75 <sup>b</sup>	23,5 <sup>d</sup>
<b>AIM</b>	45,3 <sup>de</sup>	29 <sup>bcd</sup>	28,25 <sup>a</sup>	33,33 <sup>c</sup>	45 <sup>a</sup>	21,75 <sup>c</sup>
<b>SPi</b>	36 <sup>a</sup>	30,5 <sup>d</sup>	33,5 <sup>c</sup>	29 <sup>a</sup>	51 <sup>e</sup>	20 <sup>b</sup>
<b>SPf</b>	42 <sup>cd</sup>	27,5 <sup>bc</sup>	38,5 <sup>d</sup>	28,5 <sup>a</sup>	49 <sup>f</sup>	20 <sup>b</sup>

*Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).*

SAC: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%.

**Tableau XXVI:** Macroéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri

Paramètres	Traitements												
	Cont	AO	AI	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M	
2 0 1 7	C/N	5±0 <sup>a</sup>	19,66±0,57 <sup>d</sup>	20±0 <sup>de</sup>	10,5±0,5 <sup>b</sup>	12,5±0,5 <sup>c</sup>	11±0 <sup>b</sup>	19,5±0,5 <sup>d</sup>	25,5±0,5 <sup>f</sup>	21±1 <sup>e</sup>	25±1 <sup>f</sup>	25±1 <sup>f</sup>	26±0 <sup>f</sup>
	CO (%)	0,89±0 <sup>a</sup>	4,63±0 <sup>e</sup>	2,85±0 <sup>c</sup>	2,13±0,06 <sup>b</sup>	1,92±0,11 <sup>b</sup>	2,04±0,19 <sup>b</sup>	4,97±0,82 <sup>e</sup>	5,89±0,24 <sup>f</sup>	5,15±0,05 <sup>e</sup>	3,3±0,08 <sup>d</sup>	3,63±0,16 <sup>d</sup>	3,71±0,16 <sup>d</sup>
	MO (%)	1,58±0,05 <sup>a</sup>	5,42±0 <sup>cd</sup>	4,85±0,06 <sup>c</sup>	3,67±0,03 <sup>b</sup>	3,31±0,2 <sup>b</sup>	3,51±0,32 <sup>b</sup>	8,56±1,41 <sup>e</sup>	10,17±0,42 <sup>f</sup>	8,87±0,08 <sup>e</sup>	5,69±0,14 <sup>cd</sup>	6,25±0,27 <sup>d</sup>	6,4±0,28 <sup>b</sup>
	NT (g/kg)	1,44±0,01 <sup>a</sup>	2,28±0 <sup>f</sup>	1,81±0,01 <sup>d</sup>	1,71±0 <sup>c</sup>	1,7±0 <sup>c</sup>	1,65±0 <sup>b</sup>	2,23±0 <sup>e</sup>	2,35±0,04 <sup>g</sup>	2,48±0 <sup>h</sup>	1,65±0 <sup>b</sup>	1,63±0 <sup>b</sup>	1,67±0,01 <sup>bc</sup>
	P (Bray II) (mg/kg)	3,47±0,07 <sup>a</sup>	8,33±0,33 <sup>c</sup>	58,36±1,66 <sup>d</sup>	4,5±0,16 <sup>ab</sup>	3,7±0,3 <sup>ab</sup>	3,43±0,03 <sup>a</sup>	4,64±0,1 <sup>a</sup>	5,37±0,3 <sup>ab</sup>	5,57±0,17 <sup>b</sup>	59,03±0,3 <sup>de</sup>	60,26±0,38 <sup>ef</sup>	61,36±2 <sup>f</sup>
	K (cmol (+)/kg)	0,59±0,03 <sup>a</sup>	4,45±0,15 <sup>d</sup>	0,52±0,08 <sup>a</sup>	0,62±0,03 <sup>a</sup>	0,59±0,01 <sup>a</sup>	0,4±0,04 <sup>a</sup>	5,37±0,23 <sup>e</sup>	6,35±0,15 <sup>g</sup>	3,8±0,3 <sup>c</sup>	2,43±0,42 <sup>b</sup>	5,91±0,05 <sup>f</sup>	4,09±0,06 <sup>c</sup>
2 0 1 8	C/N	5±0 <sup>a</sup>	20±0 <sup>cd</sup>	19±0 <sup>c</sup>	12,5±0,5 <sup>b</sup>	11,5±0,5 <sup>b</sup>	12,5±1,5 <sup>b</sup>	21,5±1,5 <sup>d</sup>	25±1 <sup>e</sup>	21±0 <sup>d</sup>	24,5±0,5 <sup>e</sup>	27±1 <sup>f</sup>	27±1 <sup>f</sup>
	CO (%)	0,93±0,01 <sup>a</sup>	4,41±0,1 <sup>f</sup>	2,79±0,01 <sup>d</sup>	1,7±0,1 <sup>b</sup>	2,15±0,07 <sup>c</sup>	1,84±0,05 <sup>b</sup>	4,33±0,12 <sup>f</sup>	5,8±0,15 <sup>h</sup>	4,71±0,31 <sup>g</sup>	3,5±0,27 <sup>e</sup>	3,49±0,18 <sup>e</sup>	3,41±0,06 <sup>e</sup>
	MO (%)	1,56±0,03 <sup>a</sup>	6,44±0,56 <sup>d</sup>	4,82±0,03 <sup>c</sup>	2,93±0,17 <sup>b</sup>	3,71±0,12 <sup>b</sup>	3,18±0,09 <sup>b</sup>	3,15±0,03 <sup>b</sup>	5,63±0,2 <sup>d</sup>	8,12±1,05 <sup>e</sup>	5,82±0,3 <sup>d</sup>	6,01±0,32 <sup>d</sup>	5,89±0,11 <sup>d</sup>
	NT (g/kg)	1,45±0 <sup>a</sup>	2,28±0 <sup>i</sup>	1,82±0 <sup>f</sup>	1,58±0 <sup>b</sup>	1,75±0,01 <sup>e</sup>	1,7±0 <sup>d</sup>	2,18±0 <sup>g</sup>	2,28±0 <sup>i</sup>	2,23±0,05 <sup>h</sup>	1,65±0 <sup>c</sup>	1,68±0 <sup>d</sup>	1,61±0 <sup>b</sup>
	P (Bray II) (mg/kg)	3,5±0,03 <sup>a</sup>	8,48±0,16 <sup>d</sup>	59,04±0,99 <sup>f</sup>	5,73±0,26 <sup>c</sup>	3,57±0,1 <sup>a</sup>	3,93±0,06 <sup>ab</sup>	4,3±0,43 <sup>a</sup>	3,9±0,1 <sup>ab</sup>	5,33±0,66 <sup>bc</sup>	60,03±2 <sup>f</sup>	59,03±0,33 <sup>f</sup>	54,02±0,66 <sup>e</sup>
	K (cmol (+)/kg)	0,66±0,03 <sup>be</sup>	4,76±0,15 <sup>fc</sup>	0,57±0,03 <sup>ab</sup>	0,35±0,01 <sup>ab</sup>	0,32±0,01 <sup>ad</sup>	0,42±0,01 <sup>ab</sup>	4,3±0,1 <sup>e</sup>	2,03±0,34 <sup>c</sup>	3,78±0,11 <sup>d</sup>	2,15±0,12 <sup>c</sup>	6,03±0,21 <sup>ge</sup>	4,26±0,24 <sup>e</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, CO: carbone organique, MO: matière organique, NT: azote total, P: phosphore, K: potassium

### III.3.1.2.2. En champ

Les données obtenues lors de l'analyse des macroéléments du sol sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Le Tableau XXVII montre de variations en macroéléments d'une année à une autre. Le rapport C/N<11 a été enregistré dans le sol paysan et le sol en début de culture (SAC). En 2017, le rapport C/N>20 a été enregistré dans le sol ayant subi le traitement AO.M et AI.M (P<0,05). Les teneurs en CO et NT du sol SAC en 2018 étaient 2 fois plus élevées que celles du même sol en 2017. En 2017, en fin de culture, le sol AO.M était le plus riche en CO (3,86%). La même année, les sols amendés ont présenté une teneur moyenne en CO de 2,60% soit une augmentation significative de 136,12 et 171,05% contrairement aux sols non amendé (Cont) et paysan (SP) respectivement. En 2018, des teneurs en CO similaires ont été enregistrées dans le sol Cont (1,27%) et le sol AO (1,30%). En 2017, en fin de culture, la concentration en azote obtenue dans tous les sols était élevée et d'environ 1,5 g/kg alors qu'en 2018 les sols Cont et AO ont enregistré des concentrations les plus faibles et inférieures à 1 g/kg. Les concentrations en phosphore (P) en 2017 étaient de 6,3; 6,34; 12,5 et 15,26 mg/kg dans les sols Cont, SP, AO et AI respectivement. Tandis qu'en 2018, la concentration en P obtenue dans les sols Cont et SP était d'environ 8,7 mg/kg, soit une réduction de la concentration en P de 13,9% comparée aux sols amendés (10,1 mg/kg).

**Tableau XXVII:** macroéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ

Paramètres	Traitements											
	SAC	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M	SPi	SPf
<b>C/N</b>	11±1 <sup>bc</sup>	18,5±0,5 <sup>h</sup>	11,5±0,5 <sup>cd</sup>	10±0 <sup>b</sup>	10,5±0,5 <sup>bc</sup>	15,25±0,25 <sup>f</sup>	36,5±1,5 <sup>j</sup>	16,5±0,5 <sup>g</sup>	13,5±0,5 <sup>e</sup>	21,5±0,5 <sup>i</sup>	7,5±0,5 <sup>a</sup>	12,5±0,5 <sup>de</sup>
<b>CO (%)</b>	0,6±0,1 <sup>a</sup>	2,12±0,11 <sup>d</sup>	1,75±0,03 <sup>c</sup>	1,86±0,06 <sup>c</sup>	1,87±0,13 <sup>c</sup>	2,42±0,02 <sup>e</sup>	3,86±0,1 <sup>g</sup>	3,15±0,16 <sup>f</sup>	2,31±0,02 <sup>de</sup>	2,2±0,02 <sup>d</sup>	1,47±0,11 <sup>b</sup>	1,57±0,13 <sup>b</sup>
<b>2 MO (%)</b>	1,03±0,01 <sup>a</sup>	3,66±0,19 <sup>d</sup>	3,01±0,08 <sup>c</sup>	3,21±0,11 <sup>c</sup>	3,22±0,1 <sup>c</sup>	4,18±0,05 <sup>e</sup>	6,66±0,19 <sup>g</sup>	5,44±0,28 <sup>f</sup>	3,99±0,05 <sup>de</sup>	3,8±0,04 <sup>d</sup>	2,53±0,18 <sup>b</sup>	2,71±0,25 <sup>b</sup>
<b>0 1 NT (g/kg)</b>	0,54±0,05 <sup>a</sup>	1,15±0,07 <sup>b</sup>	1,46±0,03 <sup>cd</sup>	2,52±0,42 <sup>g</sup>	1,79±0,05 <sup>ef</sup>	1,59±0 <sup>de</sup>	1,06±0,07 <sup>b</sup>	1,92±0 <sup>f</sup>	1,75±0,01 <sup>ef</sup>	1,08±0,04 <sup>b</sup>	1,89±0,04 <sup>f</sup>	1,31±0,02 <sup>bc</sup>
<b>7 P (Bray II) (mg/kg)</b>	2,5±0,13 <sup>a</sup>	5,37±0,08 <sup>b</sup>	7,38±0,02 <sup>e</sup>	5,2±0,13 <sup>b</sup>	14,5±0,19 <sup>h</sup>	14,67±0,01 <sup>h</sup>	8,37±0,16 <sup>f</sup>	9,42±0,16 <sup>j</sup>	10,37±0,17 <sup>g</sup>	26,03±0,3 <sup>i</sup>	6,77±0,1 <sup>d</sup>	5,87±0 <sup>c</sup>
<b>K (cmol (+)/kg)</b>	0,4±0,09 <sup>a</sup>	0,64±0,05 <sup>ab</sup>	1,1±0,02 <sup>c</sup>	1,12±0 <sup>c</sup>	0,5±0 <sup>ab</sup>	0,67±0,02 <sup>b</sup>	0,7±0 <sup>b</sup>	1,18±0,05 <sup>c</sup>	2,62±0,08 <sup>d</sup>	0,5±0,11 <sup>ab</sup>	0,5±0 <sup>ab</sup>	0,61±0,3 <sup>ab</sup>
<b>C/N</b>	11±1 <sup>bc</sup>	16,75±0,25 <sup>f</sup>	14,75±0,75 <sup>e</sup>	13,75±0,25 <sup>d</sup>	14,75±0,25 <sup>e</sup>	14,25±0,75 <sup>e</sup>	12,75±0,25 <sup>d</sup>	11,5±0,5 <sup>c</sup>	8±1 <sup>a</sup>	13,25±1,25 <sup>de</sup>	11±0 <sup>bc</sup>	10±0 <sup>b</sup>
<b>CO (%)</b>	1,37±0,04 <sup>b</sup>	1,24±0,01 <sup>ab</sup>	1,35±0,1 <sup>bc</sup>	1,24±0,01 <sup>ab</sup>	1,25±0 <sup>ab</sup>	1,39±0,08 <sup>bc</sup>	1,28±0,03 <sup>ab</sup>	2,18±0,05 <sup>e</sup>	1,18±0,07 <sup>a</sup>	1,69±0,05 <sup>d</sup>	1,47±0,01 <sup>e</sup>	1,48±0,1 <sup>e</sup>
<b>2 MO (%)</b>	2,36±0,28 <sup>b</sup>	2,13±0 <sup>ab</sup>	2,3±0,17 <sup>bc</sup>	2,13±0 <sup>ab</sup>	2,16±0,1 <sup>ab</sup>	2,39±0,14 <sup>bc</sup>	2,2±0,04 <sup>ab</sup>	3,75±0,07 <sup>e</sup>	2,03±0,11 <sup>a</sup>	2,92±0,16 <sup>d</sup>	2,54±0,02 <sup>e</sup>	2,55±0 <sup>e</sup>
<b>0 1 NT (g/kg)</b>	1,23±0,07 <sup>e</sup>	0,74±0 <sup>a</sup>	0,9±0 <sup>bc</sup>	0,9±0 <sup>bc</sup>	0,86±0 <sup>b</sup>	0,96±0,01 <sup>cd</sup>	0,99±0,01 <sup>d</sup>	1,92±0,05 <sup>h</sup>	1,44±0,03 <sup>g</sup>	1,31±0,08 <sup>f</sup>	1,33±0,03 <sup>f</sup>	1,45±0 <sup>g</sup>
<b>8 P (Bray II) (mg/kg)</b>	7,96±1,08 <sup>c</sup>	5,95±0,2 <sup>ab</sup>	9,71±0,18 <sup>d</sup>	10,53±0,26 <sup>d</sup>	4,14±0,33 <sup>a</sup>	15,54±0,65 <sup>h</sup>	10,76±0,05 <sup>def</sup>	6,57±0,22 <sup>b</sup>	11,79±0,47 <sup>f</sup>	11,98±0,23 <sup>g</sup>	11,56±0,89 <sup>efg</sup>	6,02±0 <sup>b</sup>
<b>K (cmol (+)/kg)</b>	0,82±0,09 <sup>d</sup>	0,71±0,01 <sup>bc</sup>	0,58±0,02 <sup>a</sup>	0,67±0,05 <sup>b</sup>	0,75±0,01 <sup>bcd</sup>	0,82±0 <sup>de</sup>	0,83±0,02 <sup>c</sup>	1,17±0,01 <sup>f</sup>	1,18±0 <sup>f</sup>	1,15±0,02 <sup>f</sup>	0,78±0,02 <sup>cde</sup>	0,69±0,02 <sup>b</sup>

*Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).*

SAC: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, CO: carbone organique, MO: matière organique, NT: azote total, P: phosphore, K: potassium.

### III.3.1.3. Microéléments du sol prélevé en début et fin de culture

Les Tableaux (XXVIII et XXIX) représentent les valeurs en microéléments des différents sols en milieu sous-abri et en champ.

En milieu sous-abri, le Tableau XXVIII montre que le sol amendé organiquement (AO) était plus de 2 fois riche en calcium ( $6,74 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ) et en magnésium ( $3,15 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ) que les autres types de sol (Cont et AI) ( $P < 0,05$ ). En 2018, la meilleure concentration en sodium a été reportée dans le sol AO ( $0,48 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ), et cette dernière était plus de 3 et 7 fois supérieure à celle des sols AI et Cont respectivement ( $P < 0,05$ ). La capacité d'échange cationique effective (CECE) la plus importante a été enregistrée par le sol AO ( $14,43 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ), soit une augmentation de 197,67 et 121,77% par rapport aux sols AI et Cont respectivement. Le sol AO a enregistré le plus fort taux en saturation en base (V%) de 68,33%, soit une augmentation de 184,97 et 168,50% par rapport aux sols AI et Cont respectivement.

Du Tableau XXIX, on observe une réduction de la concentration en calcium de 32,51 et 22,33% respectivement dans les sols Cont et SP comparée à celle des sols amendés ( $16,3 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ) ( $P < 0,05$ ). En 2018, Les sols amendés (AO et AI) ont présenté des valeurs significativement plus importantes en capacité d'échange cationique (CEC) ( $45 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ) et en CECE ( $20,5 \text{ cmol}^{(+)}/\text{kg}$ ). La CEC a présenté une augmentation de 128,5 et 145,16% comparée à celle des sols Cont et paysan (SP) respectivement; la CECE, une augmentation de 133,98 et 128,93% comparée respectivement à celle des mêmes sols.

**Tableau XXVIII:** Microéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri

Paramètres	Traitements											
	Cont	AO	AI	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M
<b>Ca</b> (+)/kg (cmol)	3,46±0,02 <sup>d</sup>	6,14±0,04 <sup>g</sup>	3,42±0 <sup>d</sup>	3,4±0,04 <sup>d</sup>	3,48±0,04 <sup>d</sup>	3,16±0,04 <sup>c</sup>	5,34±0,04 <sup>f</sup>	6,75±0 <sup>h</sup>	6,82±0,07 <sup>h</sup>	2,92±0,04 <sup>b</sup>	3,63±0,12 <sup>e</sup>	2±0,04 <sup>a</sup>
<b>Mg</b> (+)/kg (cmol)	1,6±0,08 <sup>c</sup>	3,29±0,09 <sup>f</sup>	1,86±0,02 <sup>e</sup>	1,41±0,11 <sup>b</sup>	1,64±0,04 <sup>c</sup>	1,3±0,1 <sup>b</sup>	5,88±0,12 <sup>g</sup>	3,2±0,08 <sup>f</sup>	2,52±0,04 <sup>d</sup>	1,36±0,08 <sup>b</sup>	1,4±0,04 <sup>b</sup>	0,84±0,04 <sup>a</sup>
<b>Na</b> (+)/kg (cmol)	0,02±0 <sup>a</sup>	0,05±0 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>b</sup>	0,37±0,08 <sup>ef</sup>	0,23±0,02 <sup>c</sup>	0,37±0,03 <sup>ef</sup>	0,47±0,02 <sup>g</sup>	0,31±0,02 <sup>de</sup>	0,39±0,05 <sup>f</sup>	0,27±0,02 <sup>cd</sup>	0,03±0,01 <sup>a</sup>	0,31±0,02 <sup>d</sup>
<b>CEC</b> (+)/kg (cmol)	32,99±0 <sup>g</sup>	24,31±0 <sup>d</sup>	27,41±0,35 <sup>e</sup>	32,99±1,73 <sup>g</sup>	30,71±2,26 <sup>f</sup>	34,37±0,34 <sup>g</sup>	21,01±0,52 <sup>c</sup>	22,05±0,52 <sup>c</sup>	20,66±0,17 <sup>c</sup>	23,78±0,04 <sup>d</sup>	19,13±0,35 <sup>b</sup>	13,71±0,17 <sup>a</sup>
<b>CECE</b> (+)/kg (cmol)	5,7±0,12 <sup>a</sup>	14,04±0,19 <sup>h</sup>	5,8±0,04 <sup>a</sup>	13,15±0,24 <sup>g</sup>	12,13±0,09 <sup>ef</sup>	10,08±0,57 <sup>d</sup>	14,02±0,08 <sup>h</sup>	11,94±0,33 <sup>e</sup>	12,55±0,14 <sup>f</sup>	6,57±0,21 <sup>b</sup>	10,16±0,23 <sup>d</sup>	8,94±0,28 <sup>c</sup>
<b>V</b> (%)	17±0 <sup>a</sup>	59±3 <sup>f</sup>	15,33±0,57 <sup>a</sup>	41,33±3,51 <sup>d</sup>	37±1 <sup>c</sup>	50±2 <sup>e</sup>	66±4 <sup>g</sup>	52±0 <sup>e</sup>	52±1 <sup>e</sup>	30,66±0,57 <sup>b</sup>	29±1 <sup>b</sup>	58±1 <sup>f</sup>
<b>Ca</b> (+)/kg (cmol)	3,5±0,02 <sup>b</sup>	5,9±0,1 <sup>e</sup>	3,28±0,04 <sup>a</sup>	3,28±0,08 <sup>a</sup>	3,64±0,04 <sup>b</sup>	4,28±0,23 <sup>d</sup>	6,67±0,22 <sup>g</sup>	8,65±0,09 <sup>h</sup>	6,22±0,02 <sup>f</sup>	3,88±0,04 <sup>c</sup>	4,12±0,04 <sup>d</sup>	3,88±0,04 <sup>c</sup>
<b>Mg</b> (+)/kg (cmol)	1,64±0,04 <sup>e</sup>	3,45±0,07 <sup>h</sup>	1,79±0,04 <sup>e</sup>	1,25±0,25 <sup>c</sup>	1,2±0,04 <sup>c</sup>	1,43±0,13 <sup>d</sup>	2,57±0,06 <sup>g</sup>	2,64±0,08 <sup>g</sup>	2,08±0 <sup>f</sup>	1,16±0,04 <sup>c</sup>	0,36±0,12 <sup>a</sup>	0,64±0 <sup>b</sup>
<b>Na</b> (+)/kg (cmol)	0,02±0 <sup>a</sup>	0,05±0 <sup>ab</sup>	0,12±0,01 <sup>cd</sup>	0,02±0,01 <sup>a</sup>	0,04±0 <sup>a</sup>	0,14±0,03 <sup>d</sup>	0,48±0,03 <sup>g</sup>	0,51±0 <sup>h</sup>	0,45±0 <sup>f</sup>	0,29±0 <sup>c</sup>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,09±0,01 <sup>c</sup>
<b>CEC</b> (+)/kg (cmol)	33,37±0,26 <sup>gh</sup>	23,27±0,35 <sup>d</sup>	27,61±0,16 <sup>e</sup>	29,84±1,39 <sup>f</sup>	32,99±0,69 <sup>g</sup>	20,14±0,35 <sup>b</sup>	21,7±0,95 <sup>c</sup>	22,88±0,69 <sup>d</sup>	23,95±0,21 <sup>d</sup>	21,18±1,04 <sup>bc</sup>	34,72±0,34 <sup>h</sup>	15,27±0,69 <sup>a</sup>
<b>CECE</b> (+)/kg (cmol)	6,02±0 <sup>b</sup>	14,31±0,08 <sup>e</sup>	5,92±0 <sup>b</sup>	15,49±0,59 <sup>f</sup>	15,±0,08 <sup>f</sup>	5,24±0,14 <sup>a</sup>	16,08±0,03 <sup>g</sup>	18,52±0,35 <sup>h</sup>	13,5±0,28 <sup>d</sup>	6,69±0,08 <sup>c</sup>	6,49±0,04 <sup>c</sup>	4,9±0,17 <sup>a</sup>
<b>V</b> (%)	17±0 <sup>a</sup>	57,66±1,52 <sup>f</sup>	16±0 <sup>a</sup>	47±1 <sup>d</sup>	52,33±0,57 <sup>e</sup>	18±1 <sup>a</sup>	80±2 <sup>h</sup>	84,33±3,51 <sup>i</sup>	65,66±0,57 <sup>g</sup>	28,66±1,52 <sup>b</sup>	34±1 <sup>c</sup>	35,33±1,52 <sup>c</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Ca: calcium, Mg: magnésium, Na: sodium, CEC: capacité d'échange cationique, CECE: capacité d'échange cationique effective, V: taux de saturation en base.

**Tableau XXIX:** Microéléments des sols collectés en début et fin de tomate en champ

Paramètres	Traitements												
	SAC	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M	SPi	SPf	
2017	Ca (cmol (+)/kg)	16,6±0,68 <sup>e</sup>	4,68±0,28 <sup>a</sup>	13,23±0,21 <sup>d</sup>	13,82±0,64 <sup>d</sup>	6,84±0,44 <sup>b</sup>	15,72±0,67 <sup>e</sup>	26,71±0,13 <sup>g</sup>	15,72±0,68 <sup>e</sup>	16,16±0,24 <sup>e</sup>	19,81±0,49 <sup>f</sup>	10,86±0,54 <sup>c</sup>	16,64±1,8e
	Mg (cmol (+)/kg)	5,72±1 <sup>d</sup>	2,88±0,12 <sup>a</sup>	2,88±0,48 <sup>a</sup>	5,48±0,36 <sup>d</sup>	4,48±0,16 <sup>c</sup>	3,51±0,13 <sup>ab</sup>	4,12±0,2 <sup>bc</sup>	4,16±0 <sup>bc</sup>	3,17±0,13 <sup>a</sup>	3,47±0,05 <sup>ab</sup>	5,75±0,33 <sup>d</sup>	5,16±0,28 <sup>d</sup>
	Na (cmol (+)/kg)	0,36±0,1 <sup>ab</sup>	0,26±0 <sup>a</sup>	0,43±0,03 <sup>b</sup>	0,46±0 <sup>bc</sup>	0,26±0 <sup>a</sup>	0,26±0 <sup>a</sup>	0,36±0,1 <sup>ab</sup>	0,46±0 <sup>bc</sup>	0,72±0 <sup>d</sup>	0,5±0,04 <sup>c</sup>	0,26±0 <sup>a</sup>	0,48±0,02 <sup>c</sup>
	CEC (cmol (+)/kg)	34,38±0,98 <sup>a</sup>	40,64±1,92 <sup>b</sup>	61,58±0,3 <sup>s</sup>	41,16±0,68 <sup>bc</sup>	42,4±1,12 <sup>c</sup>	44,43±0,17 <sup>d</sup>	61,4±0,6 <sup>s</sup>	53,76±0,56 <sup>f</sup>	52±0,08 <sup>e</sup>	69,02±0,38 <sup>h</sup>	81,48±0,68 <sup>i</sup>	45,56±0,76 <sup>d</sup>
	CECE (cmol (+)/kg)	23,54±3,42 <sup>e</sup>	6,46±0,17 <sup>a</sup>	18,43±0 <sup>c</sup>	20,91±1 <sup>de</sup>	12,31±0,52 <sup>b</sup>	19,48±0,09 <sup>cd</sup>	31,85±0,42 <sup>g</sup>	21,92±1,02 <sup>ef</sup>	22,67±0,19 <sup>ef</sup>	24,3±0,06 <sup>f</sup>	17,63±0,8 <sup>c</sup>	22,89±1,04 <sup>ef</sup>
	V (%)	67±2 <sup>i</sup>	16±0 <sup>a</sup>	31±0 <sup>d</sup>	50,5±1,5 <sup>h</sup>	28,5±0,5 <sup>f</sup>	43,75±0,25 <sup>h</sup>	52±1 <sup>h</sup>	40,5±1,5 <sup>e</sup>	43,75±0,75 <sup>f</sup>	46,75±0,25 <sup>g</sup>	21±1 <sup>b</sup>	50,5±1,5 <sup>h</sup>
2018	Ca (cmol (+)/kg)	12,18±0,52 <sup>b</sup>	11,41±0,22 <sup>a</sup>	10,64±0,34 <sup>a</sup>	12,47±1,4 <sup>b</sup>	15,88±0,12 <sup>c</sup>	16,07±0,26 <sup>c</sup>	15,63±0,1 <sup>c</sup>	15,77±0,34 <sup>c</sup>	15,8±0,01 <sup>c</sup>	15,81±0 <sup>c</sup>	11,75±0,08 <sup>b</sup>	11,4±0,22 <sup>a</sup>
	Mg (cmol (+)/kg)	3,71±0,43 <sup>cd</sup>	3,21±0 <sup>b</sup>	2,67±0,02 <sup>a</sup>	3,13±0,15 <sup>b</sup>	3,91±0,11 <sup>d</sup>	4,08±0,02 <sup>d</sup>	3,72±0,07 <sup>cd</sup>	3,28±0,01 <sup>b</sup>	3,27±0 <sup>bc</sup>	3,31±0,06 <sup>bc</sup>	3,72±0,09 <sup>c</sup>	3,24±0,04 <sup>b</sup>
	Na (cmol (+)/kg)	0,2±0,02 <sup>cde</sup>	0,19±0 <sup>bcd</sup>	0,17±0 <sup>b</sup>	0,22±0 <sup>ef</sup>	0,22±0 <sup>ef</sup>	0,23±0,01 <sup>f</sup>	0,21±0 <sup>def</sup>	0,2±0 <sup>cde</sup>	0,2±0 <sup>cde</sup>	0,21±0 <sup>def</sup>	0,18±0,01 <sup>b</sup>	0,15±0 <sup>a</sup>
	CEC (cmol (+)/kg)	30,81±1,53 <sup>a</sup>	33,61±1,13 <sup>a</sup>	34,9±0,02 <sup>b</sup>	38,62±3,37 <sup>c</sup>	43,5±0,24 <sup>d</sup>	45,86±0,89 <sup>de</sup>	44,1±0,22 <sup>de</sup>	46,7±0,76 <sup>e</sup>	46,52±0 <sup>e</sup>	46,03±0,63 <sup>d</sup>	31,31±0,1 <sup>a</sup>	30,96±0,6 <sup>a</sup>
	CECE (cmol (+)/kg)	16,92±0,12 <sup>c</sup>	15,53±0,24 <sup>b</sup>	14,06±0,35 <sup>a</sup>	16,5±1,29 <sup>c</sup>	20,77±0,01 <sup>d</sup>	21,21±0,3 <sup>d</sup>	20,4±0,09 <sup>d</sup>	20,43±0,34 <sup>d</sup>	20,46±0 <sup>d</sup>	20,48±0,05 <sup>d</sup>	16,44±0,21 <sup>c</sup>	15,48±0,3 <sup>b</sup>
	V (%)	55±2,64 <sup>g</sup>	46,25±1,75 <sup>c</sup>	41±1 <sup>a</sup>	42,75±0,75 <sup>b</sup>	47,75±0,25 <sup>1d</sup>	46,25±0,25 <sup>cd</sup>	46,25±0,25 <sup>cd</sup>	43,75±0,25 <sup>b</sup>	44±0 <sup>b</sup>	44,5±0,5 <sup>bc</sup>	52,5±0,5 <sup>f</sup>	50±0 <sup>e</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

SAC: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Ca: calcium, Mg: magnésium, Na: sodium, CEC: capacité d'échange cationique, CECE: capacité d'échange cationique effective, V: taux de saturation en base.

### III.3.1.3. Oligoéléments du sol prélevé en début et fin de culture

Les oligoéléments ont été déterminés dans les sols en début et en fin de culture et les données enregistrées et consignées dans les Tableaux XXXet XXXI.

Il ressort du Tableau XXX une corrélation entre l'acidité échangeable et les valeurs de pH des sols en milieu sous-abri. Tous les sols en début de culture ont présenté un pH acide ( $\text{pH} < 5,5$ ) et en fin de culture, seul le sol AO a présenté un pH moins acide (6,3) contrairement aux sols AI (5,1) et Cont (5,6) ( $P < 0,05$ ). Tous les sols étaient plus riches en fer et pauvres en plomb. Les sols Cont ont présenté des teneurs significativement plus élevées en Cuivre (Cu) et zinc (Zn).

En champ, l'acidité échangeable était nulle et La gamme de pH des différents sols était de 6,03 – 6,62 (Tableau XXXI). Le sol prélevé chez le paysan (SP) a présenté des fortes concentrations en métaux lourds par rapport aux autres types de sols de l'essai expérimental. Le fer était significativement plus abondant dans les sols SP (110mg/kg), AI (100mg/kg), AO (90,2 mg/kg) et Cont (80,7 mg/kg). Une réduction de la concentration en Cu de 33,41%, 46,1% et 46,6% a été enregistrée respectivement dans les sols AI, AO et Cont comparée au sol SP (23,72 mg/kg) ( $P < 0,05$ ). La teneur en Cu du sol AO.CAL était de 11,97 mg/kg; soit une réduction de 41,23 et 53,80% comparée aux sols AIM et SP respectivement. La teneur en Zn a également diminué de 21,11%, 32,63% et 35,72% respectivement dans les sols AI, AO et Cont comparée au sol SP (35,27 mg/kg). La teneur en Zn du sol AO.CAL était de 21,67 mg/kg, soit une réduction significative de 43,07 et 20,94% comparée aux sols AIM et SP respectivement.

### III.3.2. Biomasse microbienne du sol

Les Tableaux (XXXII et XXXIII) mettent en exergue les différentes biomasses en carbone, azote et phosphore en fonction des différents traitements en milieu sous-abri et en champ.

En milieu sous-abri, la concentration de la biomasse microbienne a varié en fonction du type de sol (XXXII). Durant les deux années de culture, la biomasse microbienne en carbone (456,55mg/kg) la plus faible et la meilleure biomasse microbienne en phosphore (12,46mg/kg) ont été enregistrées dans les sols amendés inorganiquement (AI). En 2018, la plus petite concentration en biomasse microbienne en azote (0,67mg/kg) a été enregistrée dans le sol contrôle (Cont). La biomasse microbienne en azote (BMN) n'a pas varié le long de la culture dans le sol AO ( $P < 0,05$ ) et le sol Cont a enregistré une plus faible biomasse microbienne en



phosphore (BMP) (4 mg/kg), soit la moitié de celle observée dans les sols amendés. En fin de culture, la biomasse microbienne en carbone (BMC) la plus importante a été enregistrée dans les sols Cont et AI dont les plants n'ont pas été inoculés ; le sol amendé organiquement (AO) ayant les plus faibles valeurs en BMC.

La biomasse microbienne en champ a varié en fonction des différents traitements appliqués et pendant les deux années de culture (Tableau XXXIII). La variation de la BMC allait de 434-670 mg/kg, de la BMN de 0,6-1,1mg/kg et de la BMP de 7,75-22,6mg/kg. Dans le sol issu du champ paysan (SP), la BMN et la BMP ont baissé en fin de culture excepté la BMC. La BMC était plus faible dans le sol Cont (398,13 mg/kg), soit une réduction de 25,82% comparée au sol AO. La BMN n'a pas varié tout au long de la culture. En fin de culture, la BMP n'a pas varié dans les sols ayant reçu les traitements AO.M et AI.E.

### **III.3.3. Microflore du sol**

Dans différents sols, quelques groupes de microorganismes ont été quantifiés (Annexes 14 et 15) et les proportions représentées par les Figures (22A et 22B).

Il ressort de la Figure 22A que le taux des microorganismes était influencé par l'amendement et la pulvérisation. Les sols Cont et AO ont enregistré plus de 30% d'azotobacters (AB). Le sol Cont en début de culture a obtenu plus de 80% de champignons et le sol AI a présenté plus de 50% de Pseudomonas (PS); excepté le sol ayant reçu le traitement amendement inorganique et pulvérisation des plants avec de l'eau (AI.E) qui était plus riche en Nitrobacters.

En champ (Figure 22B), plus de 30% d'AB ont été enregistrés dans le sol AO; 40% de NB dans les sols: en début de culture (SAC), Cont.CAL, AO.M et AIM. Un pourcentage de plus de 30% de PS a été rencontré dans les sols: paysan (SP), AO.E, AI.CAL, Cont.CAL.

Seul le sol SP a eu plus de 20% de Champignon.

**Tableau XXX:** Oligoéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri

Paramètres	Traitements											
	Cont	AO	AI	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AIE	AICAL	AIM
<b>2017</b>												
<b>Cu (mg/kg)</b>	11,28±0,0 <sup>2e</sup>	9,37±0,88 <sup>ab</sup> <sub>cd</sub>	10,88±0,54 <sup>de</sup>	11,19±0,84 <sup>e</sup>	10,2±0,55 <sup>bc</sup> <sub>de</sub>	10,29±0,16 <sup>bc</sup> <sub>de</sub>	8,68±0,18 <sup>ab</sup>	8,51±0,16 <sup>a</sup>	8,95±0,48 <sup>ab</sup> <sub>c</sub>	9,9±0,28 <sup>abcde</sup>	10,42±1,32 <sup>cde</sup>	8,95±0,67 <sup>ab</sup> <sub>c</sub>
<b>Fe (mg/kg)</b>	85,74±0,6 <sup>e</sup>	66,84±1,64 <sup>b</sup>	75±4,47 <sup>cd</sup>	78,14±1,56 <sup>d</sup>	73,85±3,39 <sup>cd</sup>	71,98±1,5 <sup>c</sup>	73,7±1,55 <sup>cd</sup>	63,37±0,12 <sup>b</sup>	70,52±2,34 <sup>bc</sup>	72,72±2,07 <sup>c</sup>	84,07±1,22 <sup>e</sup>	58,56±0,98 <sup>a</sup>
<b>Pb (mg/kg)</b>	0,12±0 <sup>b</sup>	0,09±0 <sup>a</sup>	0,12±0 <sup>b</sup>	0,1±0 <sup>a</sup>	0,08±0 <sup>a</sup>	0,09±0 <sup>a</sup>	0,09±0,01 <sup>a</sup>	0,09±0 <sup>a</sup>	0,08±0,01 <sup>a</sup>	0,09±0,01 <sup>a</sup>	0,12±0 <sup>b</sup>	0,08±0 <sup>a</sup>
<b>Zn (mg/kg)</b>	18,02±0,0 <sup>2e</sup>	15,3±0,7 <sup>c</sup>	17,92±0,07 <sup>e</sup>	17,81±1,21 <sup>e</sup>	14,97±0,17 <sup>c</sup>	16,98±0,09 <sup>de</sup>	15,11±0,32 <sup>c</sup>	15,02±0,62 <sup>c</sup>	11,24±0,11 <sup>a</sup>	13,01±0,44 <sup>b</sup>	16,88±0,29 <sup>de</sup>	16,46±1 <sup>d</sup>
<b>AE (cmol (+)/kg)</b>	0,06±0,01 <sup>c</sup>	0,11±0,01 <sup>e</sup>	0,05±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,02±0 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,08±0,01 <sup>d</sup>	0,03±0 <sup>b</sup>	0,02±0 <sup>b</sup>
<b>pH-H<sub>2</sub>O</b>	5,15±0,05 <sup>b</sup>	4,9±0 <sup>a</sup>	5,13±0,05 <sup>b</sup>	5,75±0,05 <sup>e</sup>	5,6±0,1 <sup>de</sup>	5,45±0,05 <sup>cd</sup>	6,1±0 <sup>f</sup>	6,45±0,15 <sup>g</sup>	6,5±0,1 <sup>g</sup>	4,8±0,2 <sup>a</sup>	5,3±0,2 <sup>bc</sup>	5,3±0 <sup>bc</sup>
<b>2018</b>												
<b>Cu (mg/kg)</b>	11,27±0,0 <sup>2d</sup>	9,81±0,44 <sup>bc</sup>	9,48±0,86 <sup>bc</sup>	10,64±0,55 <sup>cd</sup>	10,31±0,68 <sup>bcd</sup>	9,25±0,13 <sup>b</sup>	10,46±0,56 <sup>b</sup> <sub>cd</sub>	9,94±0,49 <sup>bc</sup>	8,31±0,16 <sup>a</sup>	9,81±0,05 <sup>bc</sup>	12,12±0,63 <sup>e</sup>	9,47±0,42 <sup>bc</sup>
<b>Fe (mg/kg)</b>	86,59±0,2 <sup>4e</sup>	67,84±0,64 <sup>a</sup>	72,82±2,28 <sup>b</sup>	83,88±0,56 <sup>d</sup>	73,7±1,48 <sup>b</sup>	71,77±1,13 <sup>b</sup>	73,49±1,11 <sup>b</sup>	70,16±3,4 <sup>ab</sup>	66,86±1,6 <sup>a</sup>	67,95±0,39 <sup>a</sup>	77,31±0,83 <sup>c</sup>	66,55±1,19 <sup>a</sup>
<b>Pb (mg/kg)</b>	0,12±0 <sup>cd</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,12±0 <sup>cd</sup>	0,12±0 <sup>d</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,1±0 <sup>bc</sup>	0,08±0 <sup>ab</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,08±0 <sup>a</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,1±0,01 <sup>bc</sup>	0,09±0,01 <sup>ab</sup>
<b>Zn (mg/kg)</b>	18,5±0,2 <sup>f</sup>	12,94±0,26 <sup>b</sup>	17,98±0,13 <sup>f</sup>	16,32±0,68 <sup>e</sup>	14,05±0,3 <sup>bc</sup>	15,5±0,5 <sup>de</sup>	14,93±0,06 <sup>c</sup> <sub>d</sub>	13,97±0,09 <sup>bc</sup>	13,12±0,34 <sup>b</sup>	14,27±0,59 <sup>bc</sup>	11,66±1,48 <sup>a</sup>	11,85±0,4 <sup>a</sup>
<b>AE (cmol (+)/kg)</b>	0,07±0 <sup>e</sup>	0,11±0 <sup>f</sup>	0,05±0 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,05±0 <sup>bc</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,04±0 <sup>b</sup>	0,06±0 <sup>d</sup>	0,06±0 <sup>d</sup>
<b>pH-H<sub>2</sub>O</b>	5,15±0,05 <sup>cd</sup>	4,8±0,1 <sup>a</sup>	5,2±0 <sup>de</sup>	5,7±0 <sup>f</sup>	5,8±0 <sup>f</sup>	5,3±0,1 <sup>e</sup>	6,3±0,1 <sup>h</sup>	6,06±0,05 <sup>g</sup>	6±0 <sup>g</sup>	5,15±0,05 <sup>cd</sup>	5,05±0,05 <sup>c</sup>	4,93±0,05 <sup>b</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cu: cuivre, Fe: fer, Pb: plomb, Zn: zinc, AE: acidité échangeable

**Tableau XXXI:** Oligoéléments des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ

Paramètres	Traitements											
	SAC	Cont.E	Cont.CAL	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M	Spi	SPf
<b>2017</b> <b>Cu (mg/kg)</b>	17,22±0,67 <sub>g</sub>	12,19±0,4 <sup>c</sup>	11,45±0,1 <sup>ab</sup>	11,25±0,04 <sub>a</sub>	14,8±0,21 <sup>f</sup>	11,97±0,22 <sup>bc</sup>	13,55±0,28 <sup>e</sup>	18,72±0,37 <sub>h</sub>	12,77±0,21 <sub>d</sub>	20,37±0,02 <sup>i</sup>	25,91±0,37 <sup>j</sup>	21,54±0,27 <sub>dk</sub>
<b>Fe (mg/kg)</b>	93,82±1,62 <sub>d</sub>	82,96±0,2 <sub>8<sup>b</sup></sub>	81,9±0,34 <sup>b</sup>	77,44±0,91 <sub>a</sub>	108,72±1,5 <sub>7<sup>e</sup></sub>	94,66±0,2 <sup>d</sup>	88,97±0,59 <sup>c</sup>	160,14±5,2 <sub>5<sup>i</sup></sub>	84,63±1,03 <sub>b</sub>	118,98±0,68 <sup>f</sup>	122,91±2,2 <sub>3<sup>g</sup></sub>	129,79±0,4 <sub>9<sup>h</sup></sub>
<b>Pb (mg/kg)</b>	0,1±0 <sup>bc</sup>	0,1±0 <sup>bc</sup>	0,09±0 <sup>b</sup>	0,08±0 <sup>a</sup>	0,13±0 <sup>e</sup>	0,1±0 <sup>b</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,11±0 <sup>cd</sup>	0,09±0 <sup>ab</sup>	0,12±0 <sup>d</sup>	0,21±0,01 <sup>f</sup>	0,25±0,01 <sup>g</sup>
<b>Zn (mg/kg)</b>	27,08±1,83 <sub>e</sub>	27,23±2,4 <sup>e</sup>	20,24±0,07 <sub>c</sub>	14,33±0,07 <sub>a</sub>	35,91±1,56 <sub>g</sub>	21,67±0,21 <sub>cd</sub>	18,03±0,39 <sup>b</sup>	35,94±0,8 <sup>g</sup>	23,18±0,21 <sub>d</sub>	27,41±0,08 <sup>e</sup>	38,07±0,88 <sub>h</sub>	32,48±0,27 <sup>f</sup>
<b>AE (cmol (+)/kg)</b>	0,3±0 <sup>d</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,16±0,01 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0,04±0 <sup>b</sup>	0,16±0,02 <sup>c</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>pH-H<sub>2</sub>O</b>	5,35±0,75 <sup>a</sup>	6,15±0,25 <sup>b</sup> <sub>c</sub>	6,62±0,12 <sup>c</sup>	6,1±0,1 <sup>bc</sup>	5,55±0,35 <sup>ab</sup>	6,72±0,02 <sup>c</sup>	6,35±0,05 <sup>c</sup>	6,9±0,4 <sup>c</sup>	6,11±0,02 <sup>bc</sup>	6,6±0,4 <sup>c</sup>	5±0,1 <sup>a</sup>	6,75±0,25 <sup>c</sup>
<b>2018</b> <b>Cu (mg/kg)</b>	20,53±0,38 <sub>e</sub>	11,64±0,0 <sub>4<sup>c</sup></sub>	11,67±0,17 <sub>c</sub>	12,03±0,1 <sup>c</sup>	9,88±0,18 <sup>a</sup>	11,06±0,09 <sub>b</sub>	10,12±0,18 <sup>a</sup>	12,04±0,36 <sub>c</sub>	12,04±0,09 <sub>c</sub>	12,08±0,2 <sup>c</sup>	21,57±0,25 <sup>f</sup>	18,65±0,62 <sub>d</sub>
<b>Fe (mg/kg)</b>	84,96±0,78 <sub>d</sub>	83,8±0,2 <sup>d</sup>	77±0,1 <sup>a</sup>	80,72±0,22 <sub>c</sub>	78,67±1,27 <sub>b</sub>	84,64±0,74 <sub>d</sub>	81,2±1,7 <sup>c</sup>	83,08±0,17 <sub>d</sub>	83,59±0,63 <sub>d</sub>	83,7±0,29 <sup>d</sup>	94,87±0,57 <sup>f</sup>	87,63±0,66 <sub>e</sub>
<b>Pb (mg/kg)</b>	0,09±0 <sup>c</sup>	0,09±0 <sup>bc</sup>	0,09±0 <sup>bc</sup>	0,08±0 <sup>abc</sup>	0,06±0 <sup>abc</sup>	0,09±0 <sup>bc</sup>	0,09±0 <sup>bc</sup>	0,05±0 <sup>a</sup>	0,05±0 <sup>a</sup>	0,07±0 <sup>abc</sup>	0,12±0 <sup>d</sup>	0,06±0,04 <sup>ab</sup>
<b>Zn (mg/kg)</b>	28,98±0,69 <sup>f</sup>	19,89±0 <sup>b</sup>	21,35±0,29 <sub>c</sub>	22,94±0,5 <sup>de</sup>	17,79±0,14 <sub>a</sub>	19,35±0,05 <sub>b</sub>	19,36±0,56 <sup>b</sup>	21,95±0,07 <sub>cd</sub>	23,63±0,01 <sub>e</sub>	22,9±0,36 <sup>de</sup>	39,97±1,62 <sub>g</sub>	20,1±0 <sup>b</sup>
<b>AE (cmol (+)/kg)</b>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>pH-H<sub>2</sub>O</b>	6,8±0,62 <sup>b</sup>	6,55±0,05 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	7,05±0,05 <sup>b</sup>	6,75±0,25 <sup>b</sup>	6,52±0,02 <sup>ab</sup>	6,62±0,07 <sup>ab</sup>	6,57±0,02 <sup>ab</sup>	6,67±0,27 <sup>ab</sup>	6,8±0,15 <sup>b</sup>	6,8±0,1 <sup>b</sup>	6,45±0,05 <sup>ab</sup>	6,1±0,1 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK)

SAC: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, Cu: cuivre, Fe: fer, Pb: plomb, Zn: zinc, AE: acidité échangeable

**Tableau XXXII:** Biomasse microbienne des sols collectés en début et fin de tomate en milieu sous-abri

Traitements	2017			2018		
	Paramètres (mg/kg)					
	BMC	BMN	BMP	BMC	BMN	BMP
<b>Cont</b>	618,42±0,34 <sup>fg</sup>	0,827±0 <sup>def</sup>	10,6±0,13 <sup>efg</sup>	605,26±0 <sup>ij</sup>	0,67±0 <sup>abc</sup>	9,72±0,22 <sup>ef</sup>
<b>AO</b>	578,94±2 <sup>e</sup>	0,825±0 <sup>def</sup>	9,98±0,25 <sup>efg</sup>	565,78±0,39 <sup>gh</sup>	0,82±0 <sup>hi</sup>	9,07±0 <sup>ef</sup>
<b>AI</b>	456,59±3,94 <sup>ab</sup>	0,86±0 <sup>ef</sup>	12,8±0,32 <sup>h</sup>	456,5±3,62 <sup>ab</sup>	0,84±0,02 <sup>i</sup>	12,12±1 <sup>h</sup>
<b>Cont.E</b>	I <sub>0</sub> 627,71±13,6 <sup>g</sup>	0,88±0,02 <sup>f</sup>	10,87±0,23 <sup>fg</sup>	622,52±18,78 <sup>j</sup>	0,84±0,06 <sup>i</sup>	10,39±0,67 <sup>fg</sup>
	I <sub>1</sub> 586,61±2,09 <sup>e</sup>	0,64±0,02 <sup>ab</sup>	3,35±0,1 <sup>a</sup>	581,2±7,51 <sup>hi</sup>	0,62±0 <sup>a</sup>	3,28±0,06 <sup>a</sup>
<b>Cont.CAL</b>	I <sub>0</sub> 548,65±5,02 <sup>dc</sup>	0,66±0 <sup>abc</sup>	6,02±0 <sup>c</sup>	536,11±7,51 <sup>efg</sup>	0,64±0,02 <sup>ab</sup>	4,9±0,12 <sup>b</sup>
	I <sub>1</sub> 528,61±37,56 <sup>cd</sup>	0,63±0,02 <sup>a</sup>	4,2±0,35 <sup>ab</sup>	490,68±0,38 <sup>bcd</sup>	0,62±0 <sup>a</sup>	3,66±0,21 <sup>a</sup>
<b>Cont.M</b>	I <sub>0</sub> 588,97±14,76 <sup>e</sup>	0,64±0,06 <sup>ab</sup>	5,25±0,25 <sup>bc</sup>	558,92±15,28 <sup>fgh</sup>	0,61±0,03 <sup>a</sup>	3,33±0,57 <sup>a</sup>
	I <sub>1</sub> 525,43±3,16 <sup>cd</sup>	0,72±0,02 <sup>abcd</sup>	8,9±0,25 <sup>de</sup>	524,85±3,75 <sup>defg</sup>	0,71±0,01 <sup>cde</sup>	8,85±0,1 <sup>def</sup>
<b>AO.E</b>	I <sub>0</sub> 476,97±14,07 <sup>ab</sup>	0,73±0,01 <sup>abcde</sup>	7,9±0,37 <sup>d</sup>	450,68±12,2 <sup>ab</sup>	0,72±0 <sup>cde</sup>	7,33±0,18 <sup>cd</sup>
	I <sub>1</sub> 449,73±3,76 <sup>a</sup>	0,78±0,02 <sup>cdef</sup>	10,2±0,76 <sup>efg</sup>	444,54±1,4 <sup>a</sup>	0,74±0,05 <sup>def</sup>	8,52±0,86 <sup>cde</sup>
<b>AO.CAL</b>	I <sub>0</sub> 478,45±9,96 <sup>ab</sup>	0,77±0,03 <sup>bcde</sup>	9,75±0 <sup>efg</sup>	41,16±7,5 <sup>ab</sup>	0,75±0,01 <sup>defgh</sup>	8,74±1,01 <sup>def</sup>
	I <sub>1</sub> 450,69±2,8 <sup>a</sup>	0,78±0,12 <sup>cdef</sup>	10,29±1,38 <sup>efg</sup>	443,18±4,7 <sup>a</sup>	0,7±0,03 <sup>bcd</sup>	7,19±1,71 <sup>c</sup>
<b>AO.M</b>	I <sub>0</sub> 453,5±0 <sup>ab</sup>	0,81±0,01 <sup>def</sup>	10,14±0,37 <sup>efg</sup>	445,26±0,71 <sup>a</sup>	0,8±0 <sup>fghi</sup>	9,59±0,18 <sup>ef</sup>
	I <sub>1</sub> 457,4±3,9 <sup>ab</sup>	0,86±0,04 <sup>ef</sup>	10,54±2,25 <sup>efg</sup>	452,83±0,57 <sup>ab</sup>	0,8±0,02 <sup>fghi</sup>	9,42±1,15 <sup>ef</sup>
<b>AI.E</b>	I <sub>0</sub> 456,68±19,31 <sup>ab</sup>	0,84±0,06 <sup>def</sup>	9,27±0,14 <sup>defg</sup>	427,19±48,82 <sup>a</sup>	0,81±0,03 <sup>ghi</sup>	8,99±0,13 <sup>ef</sup>
	I <sub>1</sub> 546,84±19,32 <sup>d</sup>	0,82±0,06 <sup>def</sup>	14,63±0,52 <sup>i</sup>	523,9±3,7 <sup>defg</sup>	0,78±0,04 <sup>efghi</sup>	11,16±0,11 <sup>gh</sup>
<b>AI.CAL</b>	I <sub>0</sub> 483,98±7,06 <sup>b</sup>	0,76±0,02 <sup>abcdef</sup>	9,8±0,3 <sup>efg</sup>	472,71±4,21 <sup>abc</sup>	0,74±0,04 <sup>defg</sup>	8,8±0,17 <sup>def</sup>
	I <sub>1</sub> 521,59±1,01 <sup>cd</sup>	0,68±0,02 <sup>abc</sup>	11,06±0,45 <sup>g</sup>	521,14±7,46 <sup>def</sup>	0,66±0 <sup>abc</sup>	10,35±0,64 <sup>fg</sup>
<b>AI.M</b>	I <sub>0</sub> 601,21±2,56 <sup>ef</sup>	1,02±0,12 <sup>g</sup>	14,11±0 <sup>i</sup>	544,86±53,81 <sup>fgh</sup>	0,84±0,05 <sup>i</sup>	13,22±0 <sup>i</sup>
	I <sub>1</sub> 505,94±7,51 <sup>c</sup>	0,64±0,02 <sup>ab</sup>	9,15±0,25 <sup>def</sup>	502,3±3,75 <sup>cde</sup>	0,63±0,01 <sup>ab</sup>	8,42±0,61 <sup>cde</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

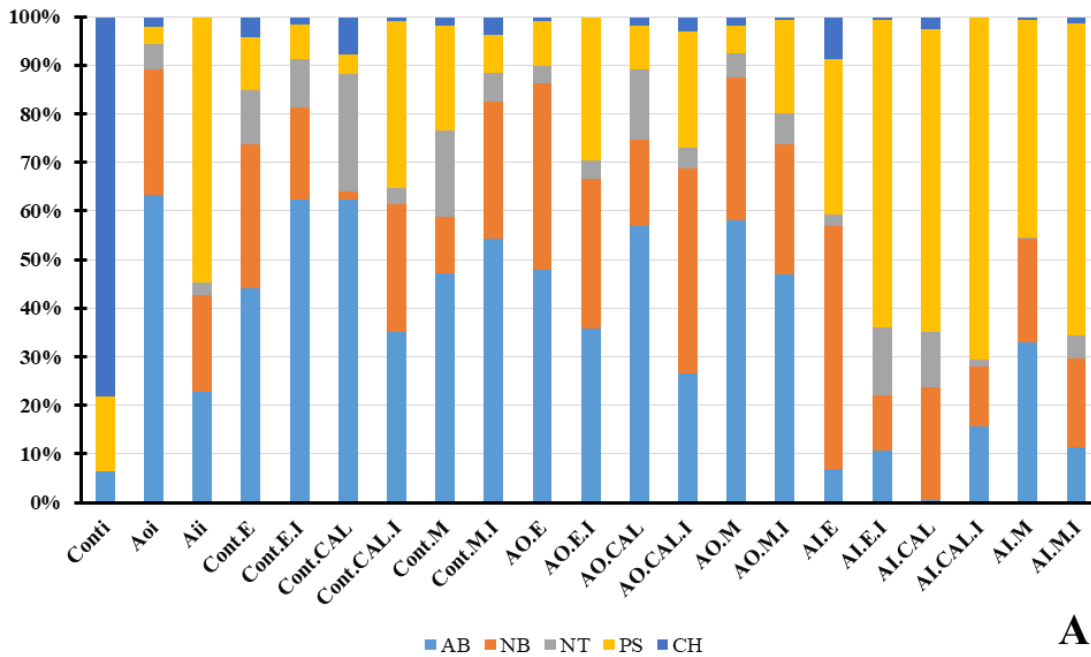
Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, I<sub>0</sub>: sol non infecté, I<sub>1</sub>: sol infecté, BMC: biomasse microbienne en carbone, BMN: biomasse microbienne en azote, BMP: biomasse microbienne en phosphore.

**Tableau XXXIII:** Biomasse microbienne des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ

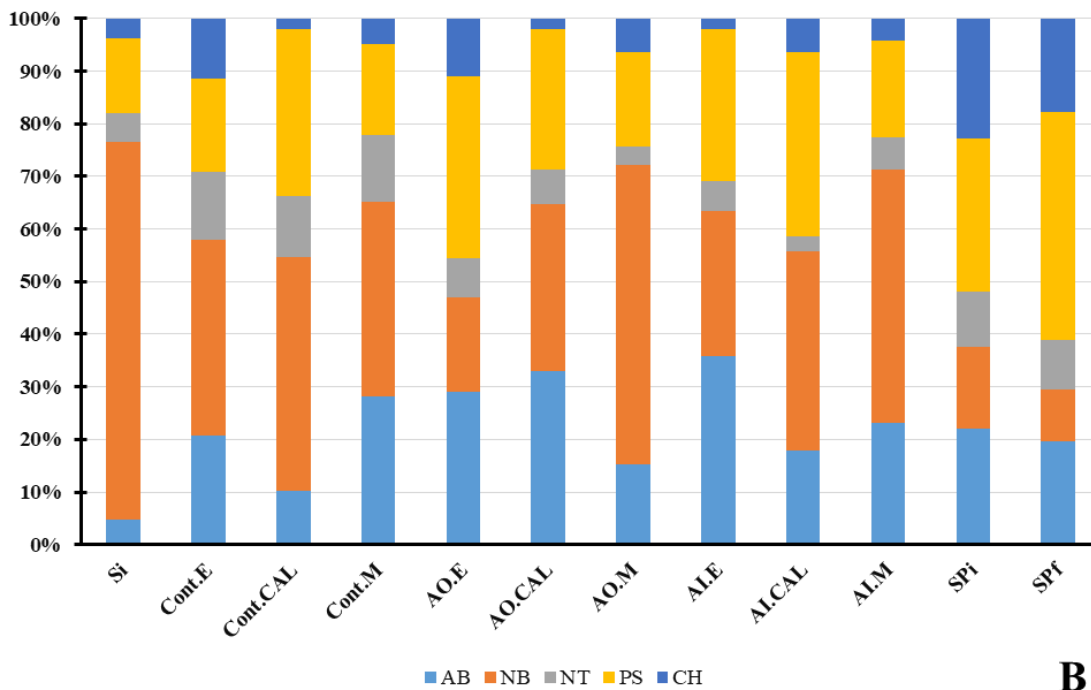
Traitements	2017			2018		
	Paramètres (mg/kg)					
	BMC	BMN	BMP	BMC	BMN	BMP
<b>SAC</b>	639,62±39,43 <sup>e</sup>	0,86±0 <sup>bc</sup>	17,27±0 <sup>e</sup>	641,2±37,56 <sup>e</sup>	0,947±0 <sup>cde</sup>	22,61±0,27 <sup>e</sup>
<b>Cont.E</b>	482,07±52,23 <sup>ab</sup>	0,92±0,1 <sup>cd</sup>	12,68±0,03 <sup>c</sup>	528,61±24,88 <sup>bc</sup>	0,85±0,02 <sup>ab</sup>	14,46±1,18 <sup>c</sup>
<b>Cont.CAL</b>	465,38±10,64 <sup>a</sup>	0,82±0 <sup>bc</sup>	14,18±1,41 <sup>cd</sup>	491,02±22,53 <sup>b</sup>	0,82±0 <sup>ab</sup>	15,47±0,42 <sup>c</sup>
<b>Cont.M</b>	491,05±0 <sup>abc</sup>	0,84±0,05 <sup>bc</sup>	16,55±0,05 <sup>e</sup>	434,7±6,6 <sup>a</sup>	0,84±0,01 <sup>ab</sup>	14,47±0,25 <sup>c</sup>
<b>AO.E</b>	502,31±11,26 <sup>abc</sup>	0,62±0,04 <sup>a</sup>	9,46±1,28 <sup>b</sup>	566,17±37,56 <sup>cd</sup>	0,78±0,04 <sup>a</sup>	9,12±0,85 <sup>a</sup>
<b>AO.CAL</b>	528,6±0 <sup>abc</sup>	0,77±0,05 <sup>b</sup>	14,63±0,73 <sup>d</sup>	573,69±7,51 <sup>cd</sup>	0,82±0 <sup>ab</sup>	12,33±0,11 <sup>b</sup>
<b>AO.M</b>	502,1±11,26 <sup>abc</sup>	0,8±0,02 <sup>bc</sup>	13,67±0,6 <sup>cd</sup>	547,39±18,78 <sup>c</sup>	0,96±0,08 <sup>def</sup>	21,43±0,46 <sup>e</sup>
<b>AI.E</b>	539,88±48,82 <sup>abcd</sup>	0,78±0,08 <sup>b</sup>	19,41±1,01 <sup>f</sup>	716,43±37,56 <sup>f</sup>	1±0,06 <sup>ef</sup>	22,46±0,01 <sup>e</sup>
<b>AI.CAL</b>	551,14±52,59 <sup>bcd</sup>	0,8±0,06 <sup>bc</sup>	12,5±0,35 <sup>c</sup>	622,53±18,78 <sup>de</sup>	0,89±0 <sup>bcd</sup>	13,91±0,68 <sup>c</sup>
<b>AI.M</b>	569,93±26,3 <sup>cd</sup>	0,8±0,02 <sup>bc</sup>	16,43±0,83 <sup>e</sup>	615,14±48,96 <sup>de</sup>	0,88±0,01 <sup>bc</sup>	18,4±2,25 <sup>d</sup>
<b>SPi</b>	660,06±18,77 <sup>e</sup>	1,19±0,05 <sup>e</sup>	10,3±0 <sup>b</sup>	678,94±10,52 <sup>ef</sup>	1,18±0,03 <sup>g</sup>	21,22±0,03 <sup>e</sup>
<b>SPf</b>	603,23±0,56 <sup>de</sup>	1,01±0 <sup>d</sup>	7,7±0 <sup>a</sup>	630,26±1,31 <sup>de</sup>	1,02±0 <sup>f</sup>	7,88±0,06 <sup>a</sup>

Les valeurs des moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

SAC: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, BMC: biomasse microbienne en carbone, BMN: biomasse microbienne en azote, BMP: biomasse microbienne en phosphore.



**A**



**B**

**Figure 22:** Pourcentage des différents groupes de microorganismes dans différents sols, (A): milieu sous-abri; (B): champ

Si: sol avant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, AB: Azotobacter ; NB: Nitrobacter ; NT: Nitrosomonas ; PS: Pseudomonas ; CH: Champignon.

### III.3.4. Quelques indicateurs de la fertilité du sol en champ

La corrélation entre certains indicateurs de la fertilité du sol est représentée dans le Tableau XXXIV et la Figure 23.

**Tableau XXXIV** Corrélation de Pearson entre quelques indicateurs de la fertilité du sol en champ

Paramètres	BMC	BMC/CO	Argile	MO	C/N	Ca	CEC
<b>BMC</b>	<b>1</b>						
<b>BM/CO</b>	0,234	<b>1</b>					
<b>Argile</b>	0,262	-0,265	<b>1</b>				
<b>MO</b>	<b>0,645**</b>	<b>-0,583**</b>	0,463	<b>1</b>			
<b>C/N</b>	<b>0,623**</b>	-0,463	-0,026	-0,169	<b>1</b>		
<b>Ca</b>	0,257	0,044	<b>0,894***</b>	0,234	-0,119	<b>1</b>	
<b>CEC</b>	0,067	-0,152	<b>0,882***</b>	0,248	-0,019	<b>0,940***</b>	<b>1</b>

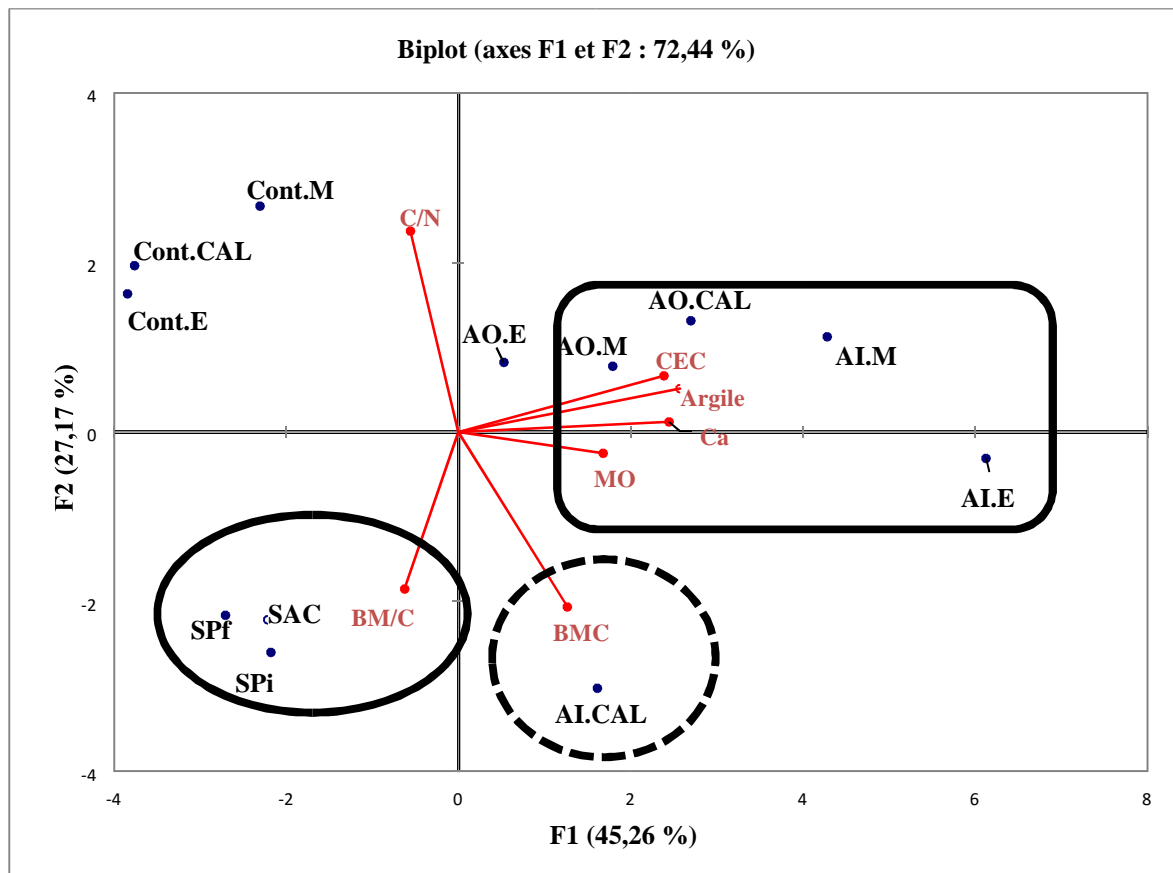
*Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*

BMC: biomasse microbienne en carbone; BMC/CO: rapport biomasse microbienne en carbone sur carbone organique; a: calcium; CEC: capacité d'échange cationique; C/N: rapport carbone-azote; MO matière organique. \*: faible corrélation, \*\*: forte corrélation; \*\*\*: très forte corrélation.

Il ressort de ce tableau qu'il y'a eu de très fortes corrélations positives entre l'argile et le Ca ( $r= 0,894$ ), l'argile et la CEC ( $r= 0,882$ ) et le Ca et la CEC ( $r= 0,940$ ). De fortes corrélations positives entre la BMC et la MO ( $r= 0,645$ ) et la BMC et le rapport C/N ( $r= 0,623$ ). Une forte corrélation négative entre la MO et le rapport BMC/CO.

Les corrélations entre les indicateurs de fertilité et les traitements appliqués ont été expliqués à plus de 70% (Figure 23). La composante ou facteur principal (F1) a été constitué des paramètres argile, Ca, CEC et MO et a expliqué les résultats à 45,26%. Le facteur secondaire (F2) a expliqué les résultats à 27,17% et était formé par les paramètres C/N, BMC/CO et BMC. Quatre groupes ont été observés sur le diagramme de corrélation. Le premier groupe a été constitué par le paramètre chimique C/N, qui était fortement influencé par le traitement sol non amendé. Le second groupe constitué par les paramètres chimiques (Ca, CEC, argile et MO) était fortement influencé par les sols amendés organiquement. Dans le troisième groupe, l'augmentation de la BMC était corrélée au traitement amendement inorganique et

pulvérisation avec CAL (Al.CAL) et dans le dernier groupe, le rapport BMC/CO était impacté par les sols du champ paysan et le sol avant la culture.



**Figure 23:** Diagramme de corrélation des indicateurs de la fertilité des sols en champ

### III.3.5. Paramètres physico-chimiques et la microflore du sol

L'effet des intrants sur la qualité du sol a été évalué via l'analyse des paramètres physico-chimiques et de la microflore bénéfique du sol

#### III.3.5.1. Paramètres physico-chimiques du sol

En milieu sous-abri, les sols étaient plus riches en sable qu'en d'autres particules. Ce qui s'expliquerait par l'apport supplémentaire de ces sols en sable au moment de la formation des terreaux. D'après le diagramme d l'USDA, la texture rencontrée dans ces sols étaient limono sablo argileux. En champ, les teneurs en particules ont varié en fonction des années de culture, du type d'amendement et de la période de prélèvement du sol. D'après le diagramme textural de l'USDA, les textures rencontrées étaient limono- argileux et limon silto- argileux dans les sols.



En milieu sous-abri, le sol Cont a présenté le rapport carbone-azote (C/N) le plus faible ( $5 < C/N < 13$ ), alors que dans les sols amendés ce dernier est supérieur 19. En champ par contre le sol paysan et le sol amendé inorganiquement (IA) ont présenté de  $C/N < 11$ . D'après Hubert et Schaub (2011),  $C/N > 14$  entraîne une décomposition lente à difficile de la matière organique (MO) et ne permet pas une bonne minéralisation. Toutefois, cette décomposition lente de la MO est bénéfique pour le stockage de cette dernière (Steinbeiss *et al.*, 2009; Shenbagavalli et Mahimairaja, 2012), la rétention d'eau et la formation des agrégats dans le sol (Oguntunde *et al.*, 2004; Karhu *et al.*, 2011). En milieu sous-abri, en début comme en fin de culture, les sols amendés organiquement (AO) étaient plus riches en carbone organique (CO) et en azote total (NT). Ceci confirme que l'amendement enrichie le sol en MO. En champ, les sols amendés ont présenté une teneur moyenne en CO de 2,60% soit une augmentation significative de 136,12 et 171,05% contrairement aux sols non amendé (Cont) et paysan (SP) respectivement. La faible teneur de CO dans le sol paysan pourrait s'expliquer par le type de fertilisation utilisée et les pertes par lessivage (Bationo *et al.*, 2008). La variation de la MO entre les sols OA et IA pourrait s'expliquer par l'apport rapide de MO dans le sol IA par les engrais chimiques de synthèse utilisés. D'autre part, Dieye *et al.* (2016) ont montré que la minéralisation de *T. diversifolia* était lente et progressive. La réduction d'environ 26% de la quantité de NT observée dans les sols OA par rapport au sol avant culture (SAC) pourrait s'expliquer par les valeurs élevées de C/N des différents sols OA. Nguefack *et al.* (2020) ont démontré que la décomposition rapide de la MO pourrait entraîner une perte de nutriments par volatilisation, lessivage tandis qu'une minéralisation lente permettrait une bonne rétention de ces derniers dans le sol. La teneur en NT a augmenté respectivement dans les sols IA.M, IA.CAL et IA.E (1,92g/kg). Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Hafifah *et al.* (2016), où le mélange de *T. diversifolia* et du fumier de vache était beaucoup plus riche en CO et en NT que le NPK. Cela pourrait s'expliquer par les niveaux élevés d'engrais utilisés dans leur étude de 1,35 t/ha de NPK, 4,08 t/ha de *T. diversifolia* et 12,93 t/ha de fumier de vache; le type de culture (chou-fleur) et la date de prélèvement des échantillons de sol à la fin de la culture, qui était de 30 jours. Le sol contrôle (Cont) avait la plus faible teneur en azote, soit 1,67 fois moins que dans le sol SAC. La diminution de l'azote dans le sol Cont pourrait s'expliquer par l'utilisation de l'azote existant dans le sol pour le développement des microorganismes du sol et même la croissance des plants de tomate. Ces résultats corroborent ceux de Hafifah *et al.* (2016), qui ont enregistré une diminution de 1,83 fois de la teneur totale en azote du sol témoin par rapport au sol initial lorsque le chou-fleur a été cultivé.

En milieu sous-abri, les bases échangeables calcium (Ca), magnésium (Mg) et sodium (Na) étaient deux fois plus élevées dans le sol OA que les autres types de sol. Ces bases interviennent dans la fixation des anions ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) par le complexe argilo-humique, facilitant leur absorption par la plante. De plus le Ca joue un rôle actif dans la stabilisation de la MO du sol (Rowley *et al.*, 2017). En champ, la concentration en calcium (15 cmol/kg) et la capacité d'échange cationique (45 cmol/kg) étaient semblables dans les sols OA et IA et étaient plus élevées que dans les sols SAC et Cont. Cette augmentation pourrait s'expliquer par leur teneur relativement élevée en argile, capable de se lier à la matière organique pour former le complexe argilo-humique. Ce dernier joue un rôle important dans la capacité d'échange cationique (CEC) pour stocker de nombreux nutriments dans le sol et la capacité de rétention d'eau ou la réserve utile (Hubert et Schaub, 2011). En outre, le Ca stabilise le complexe adsorbant en créant un pont calcique qui consolide la connexion entre l'humus et l'argile. Ces résultats diffèrent de ceux de Nguemzi *et al.* (2020) qui dans leur étude sur la qualité des grands groupes de sol dans la région de Tombel ont enregistré des concentrations en Ca et CEC 3 fois inférieures aux nôtres. Ces différences pourraient s'expliquer par le type d'argile de chaque sol et aussi le climat de la région d'étude.

En milieu sous-abri, en fin de culture seul le sol OA a un pH moins acide (pH = 6,3). Le pH du sol, inférieur à 6,0, a tendance à être acide avec de l'aluminium échangeable très élevé qui limite la croissance de la plupart des cultures (Fairhurst, 2012). En champ, l'acidité échangeable était nulle et la gamme de pH des différents sols était de 6,03 – 6,62; et en 2018, Le pH n'a pas varié pendant la culture et est resté neutre. Le pH est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol (Doucet, 2006; Borah *et al.*, 2010). Le pH-H<sub>2</sub>O dans cette étude équivaut à la gamme de pH légèrement acide à pH neutre. Cette gamme est proche de la gamme de pH 5,5-6,5 qui est la meilleure gamme de pH pour la culture de la tomate (ITDAS, 2006). En milieu sous-abri, le sol Cont a présenté des fortes teneurs en cuivre (Cu) et zinc (Zn). Ce qui pourrait s'expliquer par la mauvaise absorption de ces oligoéléments dans ce sol. En champ, la concentration en Cu a été réduite de 46,1, 50,7 et 51,9% respectivement, dans les sols OA.CAL, OA.M et OA. Une réduction de la concentration en cuivre (Cu) de 33,41%, 46,1% et 46,6% a été enregistrée respectivement dans les sols AI, AO et Cont comparée au sol paysan (23,72 mg/kg). Cette diminution pourrait s'expliquer soit par la chélation et la précipitation du cuivre par la matière organique présente dans ces sols (Branzini et Zubillaga, 2012), soit par l'utilisation du cuivre par la plante pour qualité (Souri *et al.*, 2017) et la maturité des fruits

(Lopéz-Vargas *et al.*, 2018). Tous les sols AI avaient une teneur en Cu semblable, mais montraient une réduction de 41 % par rapport au sol SAC, expliquant son utilisation pendant la culture. L'augmentation du Cu dans le sol AI.M par rapport au sol OA.M pourrait être due à l'approvisionnement de ces sols par des intrants chimiques. En plus, Dhaliwal *et al.* (2019) ont démontré qu'une forte utilisation des engrais chimiques de synthèse favorisait une mauvaise absorption des oligoéléments par ce sol; d'où la forte concentration de Cu dans les sols ayant reçu les traitements inorganiques (IA.M) et sols paysans. En milieu sous-abri comme en champ, le fer était l'oligoélément le plus abondant, avec une concentration dans tous les sols était d'environ 90 mg/kg, caractéristique des sols ferralitiques de la région du Centre (Robain, 1998). La concentration en Zn était plus faible dans les sols OA, avec une réduction d'environ 48,5% par rapport au SAC. Cela pourrait être dû à la complexation du Zn libre avec la matière organique (Angelova *et al.*, 2013). L'association amendement organique et fongicide chimique (OA.M) a réduit considérablement la teneur en zinc de 33 %. Cette réduction pourrait être due à la complexation de Zn libre avec de la matière organique. La MO est un important facteur de contrôle du comportement environnemental du Zn (Fan *et al.*, 2016). En général, la teneur en métaux lourds des différents sols du site expérimental était inférieure au seuil (cuivre et plomb, 100mg/kg; zinc, 300mg/kg; fer, 40000mg/kg) recommandé par les normes AFNOR NF U44-041 et très en dessous de la norme de Baize (2002).

### III.3.5.2. Biomasse microbienne du sol

En champ, la valeur de la biomasse microbienne en carbone (BMC) la plus élevée a été enregistrée dans le sol OA.M, avec une augmentation de 5,8% et de 42,65%, comparativement aux sols AI.M et SAC. Une biomasse microbienne élevée dans le sol entraîne souvent une forte disponibilité de nutriments pour les cultures, ce qui améliore à la fois le renouvellement de la biomasse microbienne et la dégradation des matières organiques non microbiennes (Tu *et al.*, 2006). La BMC était enrichie dans les sols OA et AI par rapport aux sols SAC et Cont. Ces sols amendés avaient également une teneur élevée en argile. En effet, Kasel et Bennett (2007) ont signalé qu'une augmentation de la teneur en argile dans le sol augmente le nombre de micropores dans le sol, ce qui limite le développement de microorganismes prédateurs, et par conséquent, a un effet protecteur sur la biomasse microbienne totale. La BMC des sols AO obtenue durant cette étude était supérieure à celle obtenue par Rajput *et al.* (2019) avec les résidus de culture et les engrais verts. Le rendement de minéralisation du carbone du sol SAC était le double de celui des sols amendés et non amendés; ce qui pourrait s'expliquer par son rapport C/N moyen ( $C/N < 12$ ). Les plus faibles valeurs de biomasse microbienne en azote

(BMN) ont été enregistrées dans les sols OA.E (0,7 mg N/kg) et OA.CAL (0,8 mg N/kg). Une augmentation de 5% de la BMN a été observée dans le sol OA. M par rapport au sol AI.M.

### III.3.5.2. Microflore du sol

Les bactéries étaient plus abondantes que les champignons. Ces résultats corroborent ceux de Maduka et Udensi (2019) qui a obtenu la plus forte numération bactérienne avec le sol amendé à la bouse de vache pendant la culture du maïs. Les travaux de Rousk *et al.* (2010) ont montré que les champignons ont tendance à être plus dominants que les bactéries dans les sols acides. Les augmentations les plus élevées de 8 fois et de 7 fois ont été enregistrées dans la population des Azotobacters (AB) dans les parcelles traitées avec des intrants organiques (OA.CAL) et des amendements inorganiques (AI.E), respectivement, avec un pH d'environ 6,7. Vasic *et al.* (2019) ont obtenu un nombre élevé d'AB dans les rhizosphères à un pH supérieur à 6,5. La population de Pseudomonas (PS) a augmenté significativement de 5,5 fois dans la parcelle traitée avec l'association AI.CAL avec un pH supérieur à 6,4, un résultat similaire a été observé par Qessaoui *et al.* (2019). L'étude de Przemieniecki *et al.* (2018) sur l'influence de Pseudomonas SP0113 sur le développement du blé de printemps a montré que Pseudomonas sp SP0113 proliférait dans les milieux de culture ayant un pH inférieur à 7 et utilisé dans les milieux acides. Le traitement OA.M était le seul traitement qui augmentait de 14% de la population de Nitrobacters (NB) avec un pH d'environ 6,48. La même plage de pH [6,2-6,7] a été obtenue par Abdurashed *et al.* (2018). Ces résultats diffèrent de celui de Li *et al.* (2019) qui a fourni de solides preuves que les Nitrobacters étaient les nitrifiants dominants dans le sol acide, tandis que Nitrospira domine dans le sol presque neutre. Certains traitements ayant le même pH ont présenté une charge en microflore différente, ce qui signifie que la valeur du pH n'est pas le seul paramètre qui pourrait affecter le nombre de micro-organismes utiles. D'autres paramètres, comme la teneur en MO qui fournit de l'énergie et du carbone à la croissance des microorganismes, pourraient nuire à leur développement (Williams et Dilosi, 2018) et à la texture du sol (Najmuldeen, 2010). Les populations de PS et du NB ont été plus élevées dans les sols où les plants ont été pulvérisés avec CAL. Cette augmentation pourrait être attribuée à certains résidus de protéines ou de glucides dans l'extrait qui sont bénéfiques à la croissance des microorganismes (Sarawaneeyaruk *et al.*, 2015). La croissance de l'AB dépend davantage du pH neutre (Mukhtar *et al.*, 2018).

Le tableau de Pearson montre une très forte corrélation entre le Ca et l'argile ( $r= 0,894$ ) qui pourrait s'expliquer par la bivalence du C, qui a la capacité de se lier aux colloïdes électro-négatifs comme l'humus et l'argile et favoriser leurs agrégations et par conséquent la

structure du sol (Rowley *et al.*, 2017). Il existe également de forte corrélation entre la BMC et la MO ( $r= 0,645$ ). Ceci pourrait être dû au fait que les microorganismes pour se multiplier auraient besoin de l'énergie provenant de la MO. Houot et Chaussod (1995) ont trouvé une relation positive entre la biomasse microbienne et la teneur en carbone du sol lors de leur étude sur la rotation du blé et de la betterave, effectuée avec différents types et niveaux de fertilisation. Les études de Liddle *et al.* (2020) ont montré que la concentration en BMC augmentait lorsque la teneur en carbone augmentait.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude dont l'objectif était d'évaluer l'effet des extraits de *Callistemon citrinus* et d'un biofertilisant (*Tithonia diversifolia* et bouse de vache) sur la production et la qualité des fruits de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et du sol, les résultats suivants ont été obtenus:

➤ L'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* (CAL) a protégé les plants de tomate contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* en milieu sous-abri. Le traitement organique (*Tithonia diversifolia*, bouse de vache et CAL) a contribué à l'augmentation des diamètres apical et distal, du nombre de branches. Ce traitement organique a permis d'améliorer le rendement de production de la tomate allant à 690g/plant en milieu sous-abri et de 23,7 à 107 t/ha en champ.

➤ L'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* a influencé la qualité nutritionnelle des fruits de tomate et leur profil phénolique. Les fruits de tomate pulvérisés avec CAL étaient plus riches en fibres alimentaires, fer, manganèse, zinc, polyphénols totaux, lycopène et vitamine C. Les meilleures activités antioxydantes ont été enregistrées chez les fruits de tomate pulvérisés avec CAL. Les deux variétés de tomate (Cobra et Rio) utilisées ont des compositions et teneurs en polyphénols différentes. Les fruits de tomate pulvérisés avec CAL ont présenté des fortes teneurs en polyphénols déterminés.

➤ L'amendement du sol avec le biofertilisant (*Tithonia diversifolia* et bouse de vache) a permis l'enrichissement de ces derniers en matière organique, azote total, bases échangeables et en microorganismes du genre *Azotobacters* et *Nitrosomonas*. En plus, ce dernier a présenté de meilleures capacité d'échange cationique et taux de saturation en base, de faible teneur en oligoéléments, particulièrement le cuivre et le zinc.

Les résultats obtenus sont encourageants et pourraient aider les paysans à diminuer l'utilisation des intrants chimiques de synthèse tout en augmentant la qualité des fruits de tomate. Ces résultats nécessitent une amélioration via les perspectives ci-dessous:

- ❖ Analyser les résidus pesticides dans les fruits de tomate traités aux pesticides chimiques de synthèse;
- ❖ Evaluer l'effet synergique de *Callistemon citrinus* et fréquence réduite de mancozeb sur la culture de la tomate et la qualité du sol pendant plusieurs années;
- ❖ Déterminer le microbiome du sol.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdul Kadir, N.A., Rahmat, A. and Jaafar, H.Z. **2015**. Protective Effects of Tamarillo (*Cyphomandra betacea*) extract against High Fat Diet Induced Obesity in Sprague-Dawley Rats. *Journal of Obesity*, 15: 1-8.
2. Abdurashed, M., Ibrahim, H. I., Maigari, F. U., Umar, A. F., Ibrahim, S. **2018**. Effect of soil pH on composition and abundance of Nitrite-oxidising Bacteria. *Journal of Biochemistry Microbiology and Biotechnology*, 6: 27-34.
3. Adegoke, G. O. and Odesola, B. A. **1996**. Storage of maize and cowpea and inhibition of microbial agents of biodeterioration using powder and essential oil of lemon grass (*Cymbopogon citratus*). *International Journal of Biodeterioration and Biodegradation*, 62: 81-84.
4. Adoyo, F., Mukalama, J. B. and Enyola, M. **1997**. Using Tithonia concoctions for termite control in Busia District, Kenya. *ILEIA Newsletter* 13: 24–25.
5. AFNOR (Association Française de Normalisation). **1982**. Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits. 1ère édition, Paris de la défense, France, 327p.
6. AFNOR (Association Française de Normalisation) **1984**. Produits organiques. Analyse - essais – spécifications, 3ème édition, Paris de la défense, France, 508p.
7. Agarwal, S. and Rao, A. V. **2000**. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163(6): 739-744.
8. Agrios, G. N. **1997**. Phytophthora diseases. Plant Pathology. 4th Edition. Academic Press, San Diego, New York, 633p.
9. Agrios, G. N. **2005**. Plant Pathology. 5th Edition, Elsevier Academic Press, California 92101: 525-539.
10. AGRI-STAT **2009**. Annuaire des statistiques du secteur agricole. Campagnes 2001 à 2008, Cameroun 12p.
11. Ahmed, L., Martin-Diana, A. B., Rico, D. and Barry-Ryan, C. **2012**. Extending the shelf life of fresh-cut tomato using by product from cheese industry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36: 141-151.
12. Aina, O. E., Amoo, S. O., Mugivhisa, L. L. and Olowoyo, J. O. **2019**. Effect of organic and inorganic sources of nutrients on the bioactive compounds and antioxidant activity of tomato. *Applied Ecology and Environment Research*, 17(2): 3681-3694.



13. Ajigbola, C. F. and Babalola, O. O. **2013**. Integrated Management Strategies for Tomato Fusarium Wilt. *Biocontrol Sciences*, 18(3): 117-127.
14. Akubor, P. I. and Owuse, A. U. **2020**. Chemical composition functional and biscuit making properties of tomato peel flour. *South Asian Journal of Food Technology and Environment*, 6(1): 874-884.
15. Al-Busaidi, W., Khan, M., Janke, R., Al-Sheriq, M. and Al-Yahyai, R. **2017**. Efficacy of soil amendments in organic farming systems. *Agrociencia*, 54(1): 1-31.
16. Ali, M. R., Mehraj, H. and Uddin, A. F. M. J. **2015**. Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 6(1): 512-517.
17. Ambang, Z., Mengue, S., Kosma, P., Asseng, C. C. and Ngoh Dooh, J. P. **2016**. Assessing the resistance of three tomato varieties to bacterial wilt and stem rot. *American Journal of Experimental Agriculture*, 11(3): 1-13.
18. Anand, C., Revathy, N., Manonmani, K. and Balasubramanian, P. **2018**. Morphological and cultural characterization of *Fusarium oxysporum f. sp. Chrysanthemi* associated with vascular wilt of chrysanthemum. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9(4): 856-859.
19. Anderson, J. P. E. and Domsch, K. H. **1978**. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10: 215-221.
20. Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S. and Ivanov, K. I. **2013**. The effect of organic amendment on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19: 958-971.
21. Annabi, M. **2005**. Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse Doctorat INRA, Paris, 270p.
22. Anonyme **2011**. "Bulletin d'information et d'alerte rapide" Yaoundé Cameroun.
23. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **1975**. Official methods of analysis. 12<sup>th</sup> edition. William Horwitz, Washington, D.C. Association of Official Analytical Chemists, 1094p.
24. Arkum, M. **2012**. Etude de la nutrition uréique et ammoniacale chez le colza (*Brassica napus* L) et développement de nouveaux inhibiteurs d'uréases et de la nitrification. Thèse doctorat Université des études de développement du Ghana; 35-85.

25. Arturo, L. D. I. I., Karla, L. and Macías, S. **2017**. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: How can we Control this fungus? *Advanced Biotechnology and Microbiology*, 4(3): 0055-0056.
26. Asif, R., Siddique, M., Zakki, S. A., Rasool, M. H., Waseem, M. and Hayat, S. **2020**. *Savvharothrix Algeriensis* NRRLB-24137 potentiates chemical fungicide carbendazim in treating *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vasinfectedum*-induced cotton wiltdisease. *International Journal*, 20: 1-9.
27. Asselin, R. **1993**. Le lessivage des nitrates: brève revue de littérature. MAPAQ, Nicolet, 23p.
28. Ayeni, A. O, Lordbanjou, D. T. and Majek, B. A. **1997**. *Tithonia diversifolia* (Mexican sunflower) in south-western Nigeria: occurrence and growth habit. *Weed Research (Oxford)*, 37(6): 443-449.
29. Babbar, N., Oberoi, H. S., Sandhu, S. K. and Bhargav, V. K. **2014**. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidant. *Journal of Food Sciences and Technology*, 51: 2568-2575.
30. Baize, D. **2002**. Examen critique des valeurs limites « sol » de la réglementation française. In: un point sur les éléments traces métalliques dans les sols approches fonctionnelles et spatiales. Editions INRA Paris, 505-522.
31. Barker, A. V. **2010**. Science and technology of organic farming. Boca Raton, FL: CRC, 224p.
32. Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B. and Kimetu, J. **2008**. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94: 13-25.
33. Bauchet, G., Grenier, S., Segura, V., Kende, A. and Beekwilder, J. **2017**. Identification of major loci and genomic regions controlling acid and volatile content in tomato fruit: implications for flavour improvement. *New Phytol*, 215: 624-644.
34. Benakmoum, A., Abbeddou, S., Ammouche, A., Kefalas, P. and Gerasopoulos, D. **2008**. Valorization of low quality edible oil with tomato peel waste. *Food Chemistry*, 110: 684-690.
35. Bendif, H., Boudjeniba, M., Miara, M. D., Biqiku, L., Bramucci, M., Caprioli, G. and Vittori, S. **2017**. *Rosmarinus eriocalyx*: An alternative to *Rosmarinus officinalis* as a source of antioxidant compounds. *Food Chemistry*. 218: 78-88.

36. Bengtsson, H and Tornberg, E. **2011**. Physicochemical characterization of fruit and vegetable fiber suspensions. I: Effect of homogenization. *Journal of Texture Studies*, 42(4): 268-280.
37. Benton, J. Jr. and Vernon, W. C. **1990**. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In R. L. Westerman (Ed) soil Testing plant Analysis, 3<sup>rd</sup> edition, USA 389-427.
38. Bhandari, S. R., Cho, M. C. And Lee, J. G. **2016**. Genotypic variation in carotenoid, ascorbic acid, total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities in selected tomato breeding lines. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 577: 440-452.
39. Biais, B., Bénard, C., Beauvoit, B., Colombié, S., Prodhomme, D. and Médard, G. **2014**. Remarkable reproductibility of enzymes activity profiles in tomato fruits grown under contrasting environments provides a roadmap for studies of fruit metabolism. *Plant Physiology*, 164: 1204-1221.
40. Biswas, M., Sarkar, D. R., Asif, M. I., Sikder, R. K., Mehraj, H. and Jamal, A. F. M. **2015**. Comparison of growth and yields characteristics of BARI tomato varieties. *Journal of Biosciences and Agriculture Research*, 3(1): 1-7.
41. Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G. et Candresse T. **2009**. Les maladies de la tomate, identifier, connaitre, matrisser. Versailles, France, Edition Quae, 750p.
42. Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G. and Candresse, T. **2012**. A colour Handbook Tomato diseases: Identificaton, Biology and control. Manson publishing Ltd, 688 p.
43. Boedo, C., Benichou, S., Berruyer, R., Bersihand, S., Dongo, A., .Simoneau, P., .Lecomte, M., Le Clerc, M. V. and Poupard, P. **2012**. Evaluating aggressiveness and host range of *Alternaria dauci* in a controlled environment. *Plant Pathology*, 61: 63-75.
44. Borah, K. K., Bhuyan, B. and Sarma, H. P. **2010**. Lead, arsenic, fluoride, and iron contamination of drinking water in the tea garden belt of Darrang district, Assam, India. *Environmental monitoring and assessment*, 169: 347-352.
45. Borah, J. C. **2015**. Shikimic acid: a highly prospective molecule in pharmaceutical industry. *Current Science*, 109(9): 1672-1679.
46. Borguini, R. G., Bastos, D. H. M., Moita-Neto, J. M., Capasso, F. S. and Toress, E. A. F. S. **2013**. Antioxydant potential of tomatoes cultivated in organic and conventional systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(4): 521-529.
47. Bourelly J. **1982**. Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonier. *Coton et Fibres Tropicales*, 27(2): 183-196.

48. Bradford, M. **1976**. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
49. Brand-Williams, B. W., Cuvelier, M. E. and Berset, C. **1995**. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28: 25-30.
50. Branzini, A. and Zubillaga, S. M. **2012**. Comparative use of soil organic and inorganic amendùmentsin heavy metals stabilization. *Applied and Environmental Soil Science*, 72: 1032-1038.
51. Brar, S. K., Kaur, S., Dhillon, G. S. and Verma, M. **2012**. Biopesticides road to agricultural recovery. *Journal Biofertilizers and Biopesticides*, 3(3): 1-2.
52. Bray, R. H. and Kurtz, L. T. **1945**. Determination of total, organic and available forms of phosphorus soils. *Soil Science*, 59: 39-45.
53. Bremner, J. M. **1965**. Inorganic forms of nitrogen. In *Methods'of Analysis. Part 2. Chemical and Microbial Properties* (C.A.Blak et al., Eds). American Society of Agronomy, Madison 1179- 1237.
54. Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D. S. **1985**. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17: 837-842.
55. Cerning, J. and Guilbot, A. **1973**. Changes in the carbohydrate composition during development and maturation of the wheat and barley kernel. *American Association of Cereal Chemists*, 50: 220-232.
56. Chandra, H. M. and Ranalingam, S. **2011**. Antioxidant potentials of skin pulp and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Science and Technology*, 20(1): 15-21.
57. Chaussod, R., Houot, S., Guiraud, G. and Hetier, L. M. **1988**. « Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils: laboratory and field measurements » in D.S. JENKINSON and KA SMITH (editions.) 312-326.
58. Chibane, A. **1999**. Tomate sous milieu sous-abri. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA.MADRPM/ DERD N° 57, juin 1999, Edition M.A.D.R.P.M/D.E.R.D. Maroc, 4 p.
59. Cirillio, C., DeMicco, V., Arena, C., Carillo, P., Pannico, A., De Pascale, S. and Roupheal, Y. **2019**. Biochemical, physiological and anatomical machanisms of adaptation of *Callistemon citrinus* and *Viburnum lucidum* to NaCl and CaCl<sub>2</sub> salinization. *Frontiers in Plant Science*, 10: 742-754.

60. Colla, G., Cordarelli, M., Bonini, P. and Rouphael, Y. **2017**. Application of protein hydrolysates plants and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *Horticulturae Science*, 52: 1214-1220.
61. Coulibaly, N. D., Fondio, L., N'gbesso, M. F. D. P. and Doumbia, B. **2019**. Evaluation of the agronomic performances of fifteen new tomato lines at the station in central Côte d'Ivoire. *International Journal of Biology Chemistry and Science*, 13(3): 1565-1581.
62. Courchinoux, J. P. **2008**. Fiche technique Tomate. 8p.
63. Crespo, G., Ruiz, T. E. and Álvarez, J. **2011**. Effect of green manure from *Tithonia* (*T. diversifolia*) on the establishment and production of forage of *P. purpureum* cv. Cuba CT169 and on some soil properties. *Cuban Journal of Agriculture Science*, 45: 79-82.
64. Dakole, D. C., Nguéfack, J., Dongmo, L. B. J., Galani, Y. J. H., Azah, U. R., Somda, I and Amvam Z. P. H. **2016**. Antifungal potential of essential oils, aqueous and ethanol extracts of thirteen plants against *Fusarium oxysporum* f. sp *Lycopersici* and *phytophthora infestans* (Mont.) de Bary as major tomato pathogens in Cameroon. *International journal of current Research*, 19(2): 128-145.
65. Dassonville, F., Renault, P. and Vallès, V. **2004**. - A model describing the interactions between anaerobic microbiology and geochemistry in a soil amended with glucose and nitrate. *European Journal of Soil Science*, 55: 29-45.
66. Delgado-Vargas, F., Sicainos-Medina, L. Y., Luna-Mandujan, A. G., Lopez-Angulo, G., Salazar-Salas, N. Y., Vega-Garcia, G., Heredia, J. B. and Lopez-Valenzuela, A. **2018**. Phenolic profiles antioxidant and antimutagenic activities of *Solanum lycopersicum* Var.cerasiforme accessions from Mexico. *CyTA Journal of Food*, 16(1): 715-722.
67. Devani, M. B., Shishoo, J. C., Shal, A. A. and Suhagia B. N. **1989**. Spectrophotometrical method for determination of nitrogen in Kjeldahl digest. *Journal of AOAC International*, 72: 953-956.
68. Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Singh, R. and Dhaliwal, M. K. **2019**. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: a review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12(100007): 1-14.
69. Diacono, M. and Montemurro, F. **2010**. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 401-422.
70. Diallo, M. D., Mahamat-Saleh, M., Goalbaye, T., Diop, L., Wade, T. I., Niang, K., Diop, A. and Guisse, A. **2016**. Chute et décomposition de la litière de cinq espèces ligneuses

- et leur influence sur la biomasse herbacée dans la zone Nord Ferlo du Sénégal. *Journal de Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 18(3): 1-18.
71. Diallo, M. D., Baldé, M., Daité, B., Goalbaye, T., Diop, A. et Guissé, A. **2018**. Arrière effet de différents apports de la fertilisants sur les paramètres de croissance et le rendement de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revue Agrobiologia*, 8(2): 1078-1085.
  72. Dieye, T., Assigbetse, K., Diedhiou, I., Sembene, M., Dieng, A. L., Gueye, M. and Masse, D. **2016**. The effect of *Jetropha curcas* L. leaf litter decomposition on soil carbon and nitrogen status and bacterial community structure (Senegal). *Journal of Soil Science and Environment*, 7: 32-44.
  73. Djigal. D, **2003**. Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhizienne) et les nématodes bactérivores: effet sur la nutrition minérale et la croissance de différente plante. Diplôme de docteur de 3ème cycle de biologie végétal, 166p
  74. Dommergues. Y et Mangenot. F. **1970**. Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie Editeurs, paris ,796p.
  75. Dongmo, B. N., Dongmo, P. M. J., Ngoune, L. T., kwazou, N. L., Zollo, P. H. A. and Menut, C. **2010**. Antifungal activities of essential oils of some Cameroonian *Myrtaceae* on *Aspergillus flavus* Link ex Fries. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 1(14): 907-914.
  76. Dore, C. et Varoquaux, F. **2006**. Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées. INRA. Collaboration. 691p.
  77. Doss, B. D., Evans, C. E. and Turner, J. L. **1977**. Influence of subsoil acidity on tomato yield and fruit size. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2, 643-645.
  78. Doucet, R. **2006**. Le climat et les sols agricoles. Editions Berger, Eastman, Québec, xv, 443p.
  79. Drechsel, P. and Reck, B. **1998**. Composted shrub-prunings and other organic manures for small-holder farming systems in southern Rwanda. *Agroforestry Systems*, 39: 1-12.
  80. Duchaufour, P. H. **2001**. Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Ed. Masson. Paris, 314p.
  81. Dutta, P., Chaudhuri, R. P. and Sharma, R. P. **1993**. Insect feeding deterrents from *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. *Journal of Environmental Biology*, 14: 27– 33.

82. Ejaz, M., Waqas, R., Butt, M., Rehman, S. U. and Manan, A. **2011**. Role of macro-nutrients and micro-nutrients in enhancing the quality of tomato. *International Journal of Agronomic Veterinary and Medecinal Science*, 5: 401-404.
83. Elattir, H., Skiredj, A. et Elfadl, A. **2003**. La tomate, l'aubergine, le poivron, le gombo. Fiche technique V. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 4p.
84. Elbadrawy, E. and Sello, A. **2016**. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: 1010-1018.
85. Elbaz, A., Levecque, C., Clavel, J., Vidal, J. S., Richard, F., Amouyel, P., Alperovitch, A., Chatier-Harlin, M. C. and Tzourio, C. **2004**. CYP206 polymorphism pesticide exposure and Parkinson's disease. *Annual Neurologic*, 55: 430-434.
86. El-Mohamady, R. S., Nehal, R., El-Mougy, S., Abdel-Kader, M. M. and Mejda, D. **2014**. Physical and Biological Treatments as Integrated Control Measures against Tomato Root Diseases under Field Conditions. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 3 (12): 141-148.
87. Fairhurst, T. **2012**. Handbook for Integrated Soil Fertility Management. Africa Soil Health Consortium, Nairobi, 164p.
88. Fan, T. T., Wang, Y. J., Li, C. B., He, J. Z., Gao, J., Zhou, D., Friedman, S. P. and Sparks, D. L. **2016**. Effect of Organic Matter on Sorption of Zn on Soil: Elucidation by Wien Effect Measurements and EXAFS Spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 50: 2931-2937.
89. FAOSTAT. **2020**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Consulted on 10-09-2020.
90. Farooq, S., Rather, S. A., Gull, S., Ganai, S. A., Masoodi, F. A., Wanie, S. M. Ganaie, T. A. **2020**. Physicochemical and neutraceutical properties oftomato powder as affected pretreatments drying methods and storage period. *International Journal of Food Properties*, 23(1): 797-808.
91. Fayemi, O., Ozturk, I., Koan, D., Ozcan, S., Yerer, M. B., Dokumaci, A. H., Özcan, C., Uwaya, G. E., Fayemi, O. E. and Yetim, H. **2019**. Bioactivities of phytochemicals in *Callistemon citrinus* against alpha glucosidase inhibition and MCF-7 cancer cell line. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 39(1): 764-778.
92. Fischer, E and Stein, E. A. **1961**. DNS colorimetric determination of available carbohydrates in foods. *Biochemical Preparation*, 8: 30-37.
93. Fontem, D. A., Gumedzoe, M. and Nono-Womdim R. **1999**. Biological constraints in tomato production in the western highlands of Cameroon. *Tropicultura*, 16: 89-92.

94. Fontem, D. A. **2003**. Quantitative effects of early and late blight on tomato yields in Cameroon. *Tropical Culture*, 21(1): 36-41.
95. Francesca, S., Arena, C., Mele, B. H., Schettini, C., Ambrosino, P., Barone, A. and Rigano, M. M. **2020**. The use of plant-based biostimulant improves plant performances and fruit quality in tomato plants grown at elevated temperatures. *Agronomy*, 10(363): 1-14.
96. Galani, Y. J. H., Nguéfack, J., Dakole, D. C., Fotio, D., Petchayo, T. S., Fouelefack F. R. and Amvam, Z. P. H. **2013**. Antifungal potential and phytochemical analysis of extracts from seven Cameroonian plants against late blight pathogen *Phytophthora infestans*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2 (5): 140-154.
97. Galanaud, J. P., Elbaz, A., Clavel, J., Vidal, J. S., Corree, J. R., Alperovitch, A. and Tzourio, C. **2005**. Cigarette smoking and parkinson's disease: A case-control study in population characterized by high prevalence of pesticide exposure. *Movement Disorder*, 20: 181-189
98. Ganunga, R., Yerokun, O. and Kumwenda, J. D. T. **1998**. *Tithonia diversifolia*: an organic source of nitrogen and phosphorus for maize in Malawi. In: Waddington SR *et al.* (eds) Soil Fertility Research for Maize-Based Farming Systems in Malawi and Zimbabwe, 191-194.
99. Gis Sol. **2011**. Synthèse sur l'état des sols en France. Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols 188p.
100. Gobat, JM., Arango, M. et Mathey, W. **2003**. Le sol vivant, base de pédologie, biologie des sols. 2<sup>ème</sup> édition, Les Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 568p.
101. Golchin, A., Clarke, P., Oades, J. M. and Skejstad, J. O. **1995**. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research*, 33: 975-993.
102. Gonzalez, I. N., Valverde, V. G., Alonso, J. G. and Periago, M. G. **2011**. Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International*, 44: 1528-1535.
103. Goufo, P., Fontem, D. A. and Ngnokam, D. **2010**. Evaluation of plant extracts for tomato late blight control in Cameroon. *N Z Journal of Crop and Horticulturae Science*, 38 (3): 171-176.



104. Gould, K. and Lister, C. **2006**. Flavonoid functions in plants. In *Flavonoids Chemistry Biochemistry and Applications* (editions. Andersen, O. M. and Markham, K. R). CRC press, Boca ranton, FL, USA, 397-441.
105. Grasselly, D., Navez, B. et Letard, M. **2000**. Tomate, pour un produit de qualité. *Lavoisier*, 25-35.
106. Gunasekera, L. **2009**. Invasive plants: a guide to the identification of the most invasive plants in Sri Lanka. Sarasavi prakashakayo, Sri lanka, 125p.
107. Hafifah, S., Maghfoer, M. D. and Prasetya, B. **2016**. The potential of *Tithonia diversifolia* green manure for improving soil quality for cauliflower (*Brassica oleracea* var. Brotrytis L.). *Journal of Degraded and Mining Land Management*, 3 (2): 499-506.
108. Hamoir, J., Goret, M., Mignon, B. et Gustin, P. **2001**. Actualité sur les antifongiques enregistrés en Belgique dans le cadre du traitement des dermatophytoses. *Annal Médecine Vétérinaire*, 145: 226-232.
109. Hannachi, N., Coceo, S., Fornasier, F., Agnelli, A., Brecciaroli, G., Massacceri, L., weindorf, D. and Corti, G. **2015**. Effects of cultivation on chemical and biochemical properties of dryland soils from Southern Tunisia. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 199: 249-260.
110. Harapas, D., Premier, R. and Tomkins, B. **2010**. Persistence of *Escherichia coli* on injured vegetable plants. *International Journal of Food Microbiology*, 138: 232–237.
111. Hartl, D. L. **2011**. Essential genetics: A genomics perspective. 5<sup>th</sup> Edition Jones and Bartlett, Sudbury, MA, 575p.
112. Hayat, S., Ahmad, H., Nasir, M., Khan, M. N., Ali, M., Hayat, K., Kha, M. A., Khan, F., Ma, Y. and Cheng, Z. **2020**. Some physiological and biochemical mechanisms during seed-to-seedling transition in tomato as influenced by garlic allelochemicals. *Antioxidants*, 9(235): 1-20.
113. Hedge, J. E. and Hofreiter, B. T. **1962**. In: *Methods in carbohydrate chemistry* 17. Whistler, R. L. and Bemiller, J. N. Academic Press, New York, 420p.
114. Herrera, P. G., Sanchez-mata, M. and Camara, M. **2010**. Nutritional characterization of tomato fiber as a useful ingredient for food industry. *Innovant Food Science and Emerging Technology*, 11: 707-711.
115. Hollman, P. C. H. **2001**. Evidence for health benefits of plant phenols: local or systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9): 842-852.
116. Hoorman, J. J. and Islam, R. **2010**. Understanding soil microbes and nutrient recycling. FACT SHEET. Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University, .1-5.

117. Hossain, M. F., Ara, N., Uddin, M. S., Islam, M. R. and Kaisar, M. O. **2014**. Effect of sowing dates on flowering fruit setting and yield of tomato genotypes. *Journal of Agricultural Research*, 52(4): 547-554.
118. Houot, S. and Chaussod, R. **1995**. Impact of Agricultural Practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and Fertility Soil*, 19: 309-316.
119. Hubert, G. et Schaub, C. **2011**. La fertilisation des sols. L'importance de la matière organique. Chambre d'Agriculture, Bas-Rhin, 46p.
120. Huett, D. O. and Dettmann, E. B. **1988**. The effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of the tomatoes grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 28(3): 391-399.
121. Hussen, J. B., Sanusi, M. S. and Filli, K. B. **2016**. Evaluation of drying methods on the content of some bio-actives (lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid) of tomato slices. *African Journal of Food Science*, 10(12): 359-367.
122. Idrenmouche, S. **2011**. Biologie et écologie de la mineuse de la tomate Tuta absoluta dans la région de Boumerdes. Mémoire Magistère en Sciences Agronomiques. E.N.S.A. implications for flavour improvement. *New Phytol.* 215, 624-644.
123. ITAB **2002**. Activités biologiques et fertilité des sols. 1<sup>ère</sup> édition; 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12, 27p.
124. ITDAS **2006**. Recueil des fiches techniques. Biskra, 160p.
125. ITIS **2013**. Catalogue of life. <http://WWW.catalogueoflife.org/content/annualchecklist-archive>. Consulted on the 3<sup>rd</sup> June 2013.
126. Jama, B., Buresh, C. A., Niang, R. J., Gachengo, A., Nziguheba, C. and Amadalo, B. **2000**. *Tithonia diversifolia* as green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems*, 49: 201-221.
127. Jeff, G. **2009**. The Importance of Organic Matter in Soil Fertility and Crop Health. Organic Broadcaster. The Bi-monthly Periodical of the Midwest Organic Sustainable Education Service. 715-778.
128. Jenkinson, D. S. P. and Powelson, D. S. **1976**. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 209-213.
129. Jiri, O. and Waddington, S. R. **1998**. Leaf prunings from two species of *Tithonia* raise maize grain yield in Zimbabwe, but take a lot of labour. Working Paper, 1-4.

130. Josephson, K. C., Gerba, C. P. and Pepper, I. L. **2000**. Cultural methods. In: R. M. Maier, I.L. Pepper, C.P. Gerba (Ed.), *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego, USA, 213-232p.
131. Kalbani, F. O. S. A., Salem, M. A., Cheruth, A. J., Kurup, S. S. and Senthikumar, A. **2016**. Effect of some organic fertilizers on growth yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum*). *International Letters of Natural Sciences*, 53: 1-9.
132. Kanayama, Y. **2017**. Sugar metabolism and fruit development in tomato. *Horticultural Journal*, 86: 417-425.
133. Kanaze, F. L., Gabrieli, C., Kokkalou, E., Georgarakis, M. and Niopas, I. **2003**. Simultaneous reversed-phase high-performance liquid chromatographic method for the determination of diosmin, hesperidin and naringin in different citrus fruit juices and pharmaceutical formulations. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 33: 243-249.
134. Karakashova, L., Mirceska, V. B., Karakashov, B. and Durmishi, N. **2012**. Quality characteristics of fresh and dried solar industrial varieties of tomatoes. 4<sup>th</sup> Food Safety Congress at Istanbul. Poster, DOI: 10.13140/RG.2.1.4080.1365.
135. Karhu, K., Mattila, T. Bergstrom, I. and Regina, K. **2011**. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity—results from a short-term pilot field study. *Agricultural of Ecosystem and Environment*, 140: 309-313.
136. Kasel, S. and Bennett; L. T. **2007**. Land-use history, forest conversion, and soil organic carbon in pine plantations and native forests of south-eastern *Australian Geoderma*, 137: 401–413.
137. Katz, D. A. **2013**. Determination of vitamin C in foods. [PDF file]. <http://www.chymist.com/Determination%20of%20Vitamin%20C%20in%20Foods.pdf>, Retrieved on 22 January 2019.
138. Kaur, C., Walia, S., Nagal, S., Walia, S., Singh, J., Singh, B. B., Saha, S., Singh, B., Kalia, P. and Sarika, S. J. **2013**. Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars growing Northern India. *Food Science and Technology*, 50: 139-145.
139. Kavitha, P., Shivashankara, K. S., Rao, V., Sadashiva, A. T., Ravishankar, K. V. and Sathish, G. J. **2014**. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5): 993-999.

140. Kemp, P. F. and Aller, J. Y. **2003**. Bacterial diversity in aquatic and other environments: what 16S rDNA libraries can tell us. *FEMS Microbiology Ecology*, 1600: 1-17.
141. Khan, I. H., Saifulha, M., Nawaz, A., Somashekharappa, P. and Rafiulla, R. **2012**. Physiological and nutritional studies of *Fusarium oxysporum f. sp. Cicero* causing fusarium wilt of chickpea. *Environmental and Ecology Journal*, 30(3): 573-577.
142. Kiran, B., Lalitha, V. and Raveesha, K. A. **2011**. Antifungal activity of bioactive compound of seeds of *Psoralea corylifolia* L. against seed borne *Fusarium* species of maize. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(8): 161-164.
143. Klosterman, M. L., Chrispeels, H. E., Reagan, B. R. Lundy, S. R., Browne, C. L. and Muday, G. K. **2014**. That's tomato? Using a familiar food to explore genetic variation. *Science Activities*, 51: 1-16.
144. Kocira, S., Kocira, A., Szmigielski, M., Piecack, A. and Przemysl. **2015**. Effect of an amino acids-containing biostimulator on common bean crop. *Przemysl Chemiczny*, 94(10): 1732-1736.
145. Koes, B. W., Van Tulder, M. W., Van der Windt, A. W. M. and Bouter, L. M. **1994**. The efficacy of back schools: a review of randomized clinical trials. *Journal of Clinical Epidemiology*, 47: 851-862.
146. Konje, C. N., Abdulai, A. N., Tange, D. A., Nsobinyui, D., Tarla, D. N. and Tita, M. A. **2019**. Identification and management of pests and diseases of garden crops in Santa Cameroon. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 18: 1-9.
147. Kou, M.-C., Yen, J. H., Hong, J. T.; Wang, C. L., Lin, C. W. and Wu, M. J. **2009**. *Cyphomandra betacea* Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT-Food Sciences and Technology*, 42: 458–463.
148. Ksouri, R., Megdiche, W., Falleh, H., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Smaoui, A. and Abdelly, C. **2008**. Influence of biological environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant of Tunisian halophytes *comptes Rendus. Biologies Journal*, 331: 865-873.
149. Kumar, S. and Srivastava, K. **2013**. Screening of tomato genotypes against early blight under field condition. *The Bioscan and International Quarterly Journal of Life Sciences*, 8(1): 189-193.
150. Kuo, Y. H and Chen, C. H. **1997**. Diversifolol, a novel rearranged edesmane sesquiterpene from the leaves of *Tithonia diversifolia*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 45: 1223–1224.

151. Lancon, J. **1978**. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets. *Fourrages* n°75: 55-88.
152. Lepoivre, P. **2003**. *Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte*. De Boeck Université, Bruxelles, 430p.
153. Li, X., Zhang, L., Ahammed, G. J., Li, Z., Wei, J., Shen, C., Yan, P., Zhang, L. and Han, W. **2017**. Nitric oxide mediates brassinosteroid-induced flavonoid biosynthesis in *Camelia sinensis* L. *Journal of Plant Physiology*, 214: 145-151.
154. Li, Y., Xi, R., Wang, W. and Yao, H. **2019**. The relative contribution of nitrifiers to autotrophic nitrification across a pH-gradient in a vegetable cropped soil. *Journal of Soils and Sediments*, 19: 1416-1426.
155. Liddle, K., Mc Gonigle, T. and Koiter, A. **2020**. Microbe biomass in relation to organic carbon and clay soil. *Soil Systems*, 4: 41-50.
156. Lompo, F., Segda, Z., Gnankambary, Z. et Ouandaogo, N. **2009**. Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicultura*, 27(2): 105-109.
157. Lopez-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Romenus, K. A., Fuente, M. C., Benavides-Mendoza, A. and Juarez-Maldonado, A. **2018**. Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences*, 8: 1020 1-15.
158. Macheix, J. J., Fleuriet, A. and Jay-Allemand, C. **2005**. Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 192p.
159. Maduka, C. M. and Udensi, C. G. **2019**. Comparative analysis of the effect of some organic manure on soil microorganisms. *Researchs*, 4: 922-925.
160. Maier, R. M., Pepper, I. L. and Gerba, C. P. **2000**. Microorganisms in surface soils. *In: Environmental microbiology*. Academic press. A Harcourt Science and technology company. Canada, 79-82.
161. Manthey, J. A. **2000**. Biological properties of flavonoids pertaining to inflammation. *Microcirculation*, 7(51): 29-34.
162. Matsuo, S., Kikuchi, K., Fukuda, M., Honda, I. and Imanishi, S. **2012**. Roles and regulations of cytokinins in tomato fruit development. *Journal of Experimental Botanic*, 63: 5569-5579.

163. Mekam, P. N., Martini, S., Nguefack, J., Tagliazucchi, D., Mangoumou, G. N. and Stefani, E. **2019**. The activity of extracts from three tropical plants towards fungi pathogenic to tomato (*Solanum lycopersicum*). *Phytopathologia Mediterranea*, 58(3): 573-586.
164. Messiaen, C. M., Blancard, D., Rouxel, F. et Lafon, R. **1994**. Les maladies des plantes maraichères. 3<sup>ème</sup> édition, Quae, Paris, 552p.
165. Mfombep, P. M., Fonge, B. A., Atembe-afac, A. and Tabot, P. T. **2016**. Soil type and amendment influence growth and yield of tomatoes *Lycopersicon esculentum* L. in the humid Mt Cameroon region. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 3(8): 58-64.
166. Michielse, C. B. and Rep, M. **2009**. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 10(3): 311-324.
167. Monkiedje, A., Spiteller, M., Fotio, D. and Sukul, P. **2006**. The effect of land use on soil health indicators in peri-urban agriculture in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Journal of Environment and Quality*, 63: 973-975.
168. Mukhtar, H., Bashir, H., Nawaz, A., Haq, I. **2018**. Optimization of growth conditions for *Azotobacter* species and their use as biofertilizer. *Journal of Bactriology and Mycology*, 8: 274-278.
169. Mukta, S., Rahman, M. M. and Mortiza, M. G. **2015**. Yield and nutrient content of tomato as influenced by the applications of vermicompost and chemical fertilizers. *Journal of Environment Science and Natural Resources*, 8(2): 115-122.
170. Murphy, J. and Riley, J. P. **1962**. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chemica Acta*, 27: 31-36.
171. Mutalib, M. A., Rahmat, A., Ali, F., Othman, F. and Ramasamy, R. **2017**. Nutritional Compositions and Antiproliferative Activities of Different Solvent Fractions from Extract of *Cyphomandra betacea* (Tamarillo) Fruit. *Malaysian Journal of Medicine and Sciences*, 24: 19–32.
172. Naika, S., Juede, J., Goffau, M., Hilmi, M. and Dam, V. **2005**. “Cultivation of Tomato” Production, processing and marketing, Agromisa/ CTA. Revised edition, Agrodok-series N°17, 92p.
173. Najjaa, H., Abdel karim, B. A., Doria, E., Boubakari, A., Trabelsi, N., Falleh, H., Tlili, H. and Neffati, M. **2020**. Phenolic composition of some Tunisian medicinal plants associated with anti-proliferative effect on human breast cancer MCF-7 cells. *European Biotechnology Journal*, 4(2): 2478-2486.

174. Najmuldeen, H. **2010**. Effects of soil texture on chemical compositions microbial populations and carbon mineralization in soil. *Egyptian Journal of Experimental Biology*, 6: 59-64.
175. Navez, B. **2011**. Tomate, qualité et préférences. Paris: centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, 63-69.
176. Ndonkeu, M. G., Nguéfack, J., Galani, Y. J. H., Petchayo, T. S. and Amvam, Z. P. H. **2013**. Antifungal potential of extracts from three plants against two major pathogens of celery (*Apium graveolens* L.) in Cameroon. *International Journal of Current Science*, 5: 4091-4096.
177. Ng'inja, J. O., Niang, A., Palm, C. and Lauriks, P. **1998**. Traditional hedges in Western Kenya: typology, composition, distribution, uses, productivity and tenure. Pilot project Report N°8. Regional agroforestry research Centre; Maseno, Kenya.
178. Nguéfack, J., Wulff, E. G., Dongmo, L. J. B., Fouelefack, F. R., Mbo, J. and Torp, J. **2013**. Effect of plant extracts and essential oil on the control of brown spot disease, tillering, number of panicles and yield increase in rice. *European Journal of Plant Pathology*, 137: 871-882.
179. Nguéfack, J., Mfopou, M. Y. C., Dongmo, L. J. B., Djoufack, M. M., Fotio, D., Dakole, D. C. and Fouelefack, F. R. **2020**. Nitrogen use efficiency (NUE) in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings in response to treatment with extract of *Cymbopogon citratus* and mineralization of *Tithonia diversifolia* leaves cow dung. *International journal of Environment Agriculture and Biotechnology*, 5(4): 916-927.
180. Nguemzi, C., Tematio, P., Yemefack, M., Tsozue, D. and Silatsa, T. B. F. **2020**. Soil quality and soil fertility status in major soil groups at the Tombel area South-West Cameroon. *Heliyon*, 6: 1-10.
181. Nikalaos, G., Alexandros, D., Evangelia, L., Vassiki, T. and Maria-Nektaria, N. **2018**. Effect of ripening stage on the total phenolics contents lycopene and antioxidant activity of tomato fruits grown in a geothermal greenhouse. *Annals of the University of Craiova*, 123(59): 115-120.
182. Nour, V., Panaite, T. D., Ropota, M., Turcu, R., Trandafir, I. and Corbu, A. R. **2018**. Nutritional and bioactive compounds in dried tomato processing waste. *CyTA Journal of Food*, 16(1): 222-229.
183. Ntonifor, N. N., Divine, N. S., Nsobinyui, E. B., Fokam, L. and Fontem, D. A. **2013**. Developing an integrated management approach for the fruit fly *Dacus*

- punctatifrons on tomatoes. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(3): 470-481.
184. Nyangena, O., Senelwa, V. K. and Ngesa, R. **2020**. Linking climate change, pollinators and cereal yields in Kenya. *Open access library Journal*, 7: 1-12.
185. Nzekoue, F. K., Angeloni, S., Navarini, L., Angeloni, C., Freschi, M., Hrelia, S. and Caprioli, G. **2020**. Coffee Silverskin extracts: Quantification of 30 bioactive compounds by a HPLC-MS/MS method and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities *Food Research International*, 133(109128): 1-13.
186. O'Donnell, A. G. and Görres, H. E. **1999**. 16S rDNA methods in soil microbiology. *Curent Opinion in Biotechnology*, 10: 225-229.
187. Odunsi, A., Farinu, G. and Akinola, J. **1996**. Influence of dietary wild sunflower (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray) leaf meal on layers performance and egg quality. *Nigerian Journal of Animal Production*, 23: 28–32.
188. OECD. **2016**. Tomato Solanum (*Solanum lycopersicum*). Working Group on the Harmonization of Regulatory oversight in Biotechnology with Spain and Mexico as the co-lead countries. Chapter 2: 69-103.
189. Oguntunde, P. G., Fosu, M. Ajayi, A. E. and Van der Giesen, N. **2004**. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology. Fertilizer. Soils*, 39(23): 295-299.
190. Olabode, O., Ogunyemi, S., Akanbi, W., Adesina, G. O. and Babajide, P. **2007**. Evaluation of *T. diversifolia diversifolia* (Hemsl: A Gray for Soil Improvement in World. *Journal of Agricultural Sciences*, 3(4): 503-507.
191. Olaniyi, J. O., Akambi, W. B., Adejumo, T. A. and Akande, O. G. **2010**. Growth fruit yield and nutritional quality of tomato varieties. *African Journal of Food Science*, 4(6): 398-402.
192. Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. and Simons, A. **2009**. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 (<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>), consulted on the 20th March 2019.
193. Otuma, P., Burudi, C., Khabeleli, A., Wasia, E., Shikanga, M., Mulogoli, C. and Carter, S. E. **1998**. Participatory research on soil fertility management in Kabras, western Kenya: report of activities. Tropical Soil Biology and Fertility Programme, Nairobi Kenya.
194. Oyaizu, M. **2006**. Studies on products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japan Journal of Nutrition*, 44: 307-315.



195. Oyedeji, O. O., Lawal, A. O., Shode, O. F. and Oyedeji, O. A. **2009**. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of *Callistemon citrinus* and *Callistemon viminalis* from South Africa. *Molecules*, 14: 1990-1999.
196. Ozturk, B and Ozer, H. **2019**. Effects of grafting and green manure treatments on postharvest quality of tomatoes. *Journal of Soil Sciences and Plant Nutrition*, 19: 1-13.
197. Paluri, V., Ravichandran, S., Kumar, G., Karthik, L. and Rao, K. V. B. **2012**. Phytochemical composition and invitro antimicrobial activity of methanolic extract of *Callistemon lanceolatus* D. C. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(2): 699-702.
198. Papadopoulos, I. and Rending, V. V. **1983**. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants *Lycopersicon esculentum*, nitrogen nutrition, salt tolerance. *Plant Soil*, 73(1): 47-57.
199. Paran, I. and Van der Knaap, E. **2007**. Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(14): 3841-3852.
200. Pauwels, J. M., Van Ranst, E., Verloo, M. et Mvondo, A. **1992**. Manuel de laboratoire de pédologie. Publications Agricoles n°28. Agence générale de la Coopération au Développement. Bruxelles, 265p.
201. Petchayo, T. S., Nguefack, J., Galani, Y. J. H., Fouelefack, F. R., Dakole, D. C., Fotio, D. and Amvam, Z. P. H. **2013**. Antifungal potential of extracts from four plants against *Acremonium apii* and *Colletotrichum dematium*, two major pathogens of celery (*Apium graveolens* L.) in Cameroon. *International Journal of Current. Sciences*, 8: 115-124.
202. Petchayo, T. S., Tchotet, T. J. M., Roux, J., Nguefack, J., Begoude, B. D. A., Mbenoun, M., Mfegue, F. C., Nyassé, S., Ndoumbé, N. M. and Ten Hopen, M. G. **2020**. Armillaria root rot threatens Cameroon's Penja pepper (*Piper nigrum* L.). *Tropical Plant Pathology*, 45: 534-543.
203. Peters, V. and Conrad, R. **1996**. Sequential reduction processes and initiation of CH<sub>4</sub> production upon flooding of oxic upland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 371-382.
204. Polese, M. **2007**. La culture des tomates. Editions Artémis, 92p.
205. Polo, I. and Mata, P. **2018**. Evaluation of a biostimulant pepton based enzymatic hydrolyzed animal protein in comparison to seaweed extracts on root development, vegetative growth, flowering and yield of gold cherry tomatoes grown under low stress ambient field conditions. *Frontiers Plant Science*, 8 (22611): 1-8.

206. Ponnampereuma, F. N. **1972**. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24: 29-96.
207. Prieto, P., Pineda, M. and Anguilar, M. **1999**. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytic Biochemistry*, 269: 337-341.
208. Przemieniecki, S. W., Kurowski, T. P., Kotlarz, K. and Mastalerz, J. **2018**. The ability of *Pseudomonas* sp SP0113 to solubilize tricalcium phosphate and its influence on the development of spring wheat. *Polish Journal of Environment Study*, 28: 353-358.
209. Qessaoui, R., Bouharroud, R., Furze, J. N., El Aalaoui, M., Akroud, H., Amarraque, A., Van Vaerenbergh, J., Tahzima, R., Mayad, E. H. and chebli, B. **2019**. Applications of new Rhizobacteria *Pseudomonas* isolates in Agroecology via fundamental processes complementing plant Growth. *Scientific Reports*, 9: 12832-12841.
210. Rajput, R., Pokhriya, P., Panwar, P., Arunachalam, A. and Arunachalam, K. **2019**. Soil nutrients, microbial biomass, and crop response to organic amendments in rice cropping system in the Shiwaliks of Indian Himalayas *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8: 73–85.
211. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans. **1999**. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical of Biology and Medecine*, 26: 1231-1237.
212. Reddy, K. R., D'Angelo, E. M. and Harris, W. **1998**. Biogeochemistry of wetlands. In: Summer M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 89-119.
213. Rice-evans, C., Miller, N. and Paganga, G. **1997**. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4): 152-159.
214. Rivera-Vargas, L., Yanaliz, L., Mc Govern, R., Seijio, T. and Davis, M. **2006**. Occurrence and distribution of *Colletotrichum spp.* on Mango (*Mangifera indica*) in Puerto Rico and Florida, USA. *Plant Pathology*, 5: 191-198.
215. Roane, T. M. and Pepper, I. L. **2000**. - Microscopic techniques. In: Maier, R. M. Pepper, I. L. Gerba, C. P. (Ed.), *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego, USA, 195-211.
216. Robain, H. **1998**. Presentation des sols du Sud Cameroun: Organisation et mise en place à l'échelle de l'unité paysage. In Delneuf, M., Essomba, J. M. et Froment, A. *Paléanthropologie en Afrique Centrale, un bilan de l'archéologie au Cameroun*. Edition Haemattan, Paris, France, 133-142.

217. Roothaert, R. and Paterson, R. T. **1997**. Recent work on the production and utilization of tree fodder in East Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 69: 39-51.
218. Rosenfeld, M. F. **1953**. Estimation des rendements des cultures par la méthode des coupes-échantillons. *Economie Rurale*, 18: 25-28.
219. Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., Kinight, R. and Fierer, N. **2010**. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 4: 1340-1351.
220. Rowley, M. C., Grand, S. and Verrecchia, E. P. **2018**. Calcium-mediated stabilization of soil organic carbon. *Biogeochemistry*, 13: 27-49.
221. Saha, D., Fakir, A. O., Mondal, S. and Ghosh, R. **2017**. Effects of organic and inorganic fertilizers on tomato production in saline soil of Bangladesh. *Journal of Sylhet Agricultural University*, 4(2): 213-220.
222. Sarawaneeyaruk, S., Krajangsang, S. and Pringsulaka, O. **2015**. The effects of neem extract and azadirachtin on soil microorganisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 5: 1071-1083.
223. Sasson, A. **1967**. Recherches éco-physiologique sur la flore bactérienne de sol des régions du Maroc. Série botanique et biologie végétale. Travaux de l'institut scientifique chérifien et de faculté des sciences, Rabat, 27-55.
224. Savary, S. et Teng, P. S. **1994**. La protection des cultures dans une agriculture durable. *La Recherche*, 25: 1322-1329.
225. Savary, S., Willocquet, L., Elazegui, F. A. and Teng, P. P. S. **2000**. Rice pest constraints in tropical Asia: quantification of yield losses due to rice pests in range of production situations. *Plant Disease*, 84(3): 357-369.
226. Sawa, T., Nakao, M., Akaike, T., Ono, K. and Maeda, H. **1999**. Alkylperoxyl radicalscavenenging activity of variousflavonoids and other phenolic compounds: implications for the anti-tumor-promoter effect of vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2): 397-402.
227. Schiffers, B. **2011**. Itinéraire technique de la tomate cerise (*Lycopersicon esculentum*), COLEACP/PIP, 46p.
228. Schimann, H. **2005**. Impacts de perturbations liées à l'orpaillage sur l'évolution des communautés et fonctionnalités microbiennes d'un sol. Thèse Doctorat. ENGREF, 103p.

229. Schwarz, D., Öztekin, G. B., Tüzel, Y., Brückner, B. and Krumbein, A. **2013**. Rootstocks can enhance tomato growth and quality characteristics at low potassium supply. *Science Horticulturae*, 149: 70-79.
230. Seh, N. E., Omoko, M. et Simon, S. **2012**. Performances des engrais minéraux et organiques sur la production de laitue et sur la fertilité d'un sol maraîcher à Nkolondom (Yaoundé Cameroun) in restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens. Roose, E. Editions IRD, 20: 275-284.
231. Seyydnejad, S. M., Niknejad, M., Darabpoor, I. and Motamedi, H. **2010**. Antibacterial activity of hydroalcoholic extract of *Callistemon citrinus* and *Albizia lebbbeck*. *American Journal of Applied Sciences*, 7(1): 13-16.
232. Sharma, B. and Kumar, P. **2009**. In vitro antifungal potency of some plant extracts against *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Green Pharmacy*, 3: 63-65.
233. Shenbagavalli, S. and Mahimairaja, S. **2012**. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. *International Journal of Advanced Biology and Research*, 2: 249-255.
234. Shuppig, D. S. S. and Eloff, J. N. **2017**. The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: a review. *African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicines*, 14(4): 120-127.
235. Singleton, V. and Rossi, J. **1965**. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
236. Singleton, V. L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R. M. **1999**. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 99: 152-178.
237. Snoussi, S. A. **2010**. Etude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de mission. Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. Rome, 52p.
238. Sonke, D. **1997**. *Tithonia* weed a potential green manure crop. *Echo Development Notes*, 57: 5-6.
239. Sorensen, P. O., Finzi, A. C., Gasson, M. A., Reinmann, A. B. and Templer, P. H. **2018**. Winter soil freeze-thaw cycles lead to reductions in soil microbial biomass and activity not compensated for by soil warming. *Soil Biology and Biochemistry*, 116: 39-47.

240. Souri, M. K., Sooraki, F. Y. and Moghadamyar, M. **2017**. Growth and Quality of Cucumber, Tomato, and Green Bean Under Foliar and Soil Applications of an Aminocheilate Fertilizer. *Horticulture of Environment and Biotechnology*, 58: 530-536.
241. Spooner, D., Anderson, G. and Jansen, R. **1993**. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepino (Solanaceae). *American Journal of Botany*, 80 (6): 676-698.
242. Steinbeiss, S., Gleixner, G. and Antonietti, M. **2009**. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1301-1310.
243. Stephens, O., Davis, A. A., Abdullahi, A. B. and Olidare, O. A. **2014**. Effect of NPK and Poultry manure on growth, yield and proximate composition of three amarathiths. *Journal of Botany*, 1-6.
244. Stumm, W. and Morgan, J. J. **1996**. Kinetics at the solid-water interface: adsorption, dissolution of minerals, nucleation, and crystal growth. In: John Wiley and Sons (Ed.), *Aquatic chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, New York, 760-817.
245. Suarez-Fernandez, M., Marhuenda-Egea, C., Lopez-Moya, F., Arnao, M. B., Cabrera-Escribano, F., Nueda, M. J., Gonsé, B. and Lopez-Liorca, L. V. **2020**. Chitosan induces plant hormones and defences in tomato root exudates. *Frontiers in Plant Science*, 11(572087): 1-15.
246. Tan, H., Thomas-Ahner, J. M., Graingner, E. M., Wan, L., Francis, D. M., Swartz, S. J., Erdman, Jr. J. W., Steven, K. and Clinton, S. K. **2010**. Tomato-based food products for prostate cancer prevention: what have we learned? *Cancer Metastasis*, 29: 553-568.
247. Tejada, M., Hernandez, M. T. and Garcia, C. **2006**. Application of two organic amendments on soil restoration: effects on the soil biological properties. *Journal of Environment and Quality*, 2: 84-89.
248. Termorshuizen, A., Hanse, Scneider, J. H. M. and Varrelmann, M. **2011**. Pest and diseases contribute to sugar beet yield difference between top and averagely managed farms. *Crop Protection*, 30: 671-678.
249. Tiwari, P., Kumar, B. Kaur, M., Kaur, G. and Kaur, H. **2011**. Phytochemical screening and extraction: a review. *International Pharmacology. Sciences*, 1(1): 98106.
250. Tona, L., Kambu, K., Ngimbi, N., Cimanga, K. and Vlietinck, A. J. **1998**. Antiamoebic and phytochemical screening of some Congolese medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 61: 57-65.

251. Tongma, S., Kobayashi, K. and Usui, K. **1997**. Effect of water extract from Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray) on germination and growth of tested plants. *Journal of Weed Science and Technology*, 42: 373–378.
252. Tonucci, L. H., Holden, J. M., Beecher, G. R., Khachik, F., Davis, C. S. and Mulokozi, G. **1995**. Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 43: 579-586.
253. Tu, C., Jean, B., Ristaino, J.B. and Hu, S. **2006**. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 247-255.
254. UICPA (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée). **1979**. Méthode d'analyse des matières grasses. 6<sup>ème</sup> édition, 640p.
255. UNIFA. **1998**. La fertilisation. 7<sup>ème</sup> édition, 3-14.
256. USDA **2013**. Agricultural statistics. United States government Printing Office Washington. <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=TI DI2>. Consulté le 21 Septembre 2013 à 23h 50min.
257. USDA. **2017**. <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=TIDI2>. Consulté le 21 Juillet 2017 à 13h 50min.
258. Van Der Vossen, H. A. M., Nonowomdim, R. and Messiaen, C. M. **2004**. *Lycopersicon esculentum* Mill. In. Grubben, G. J. H. and Denton; O. A. Editions. Plant Resources of Tropical Africa 2: Vegetables. PROTA Foundations, Wageningen, Netherlands, 373-379.
259. Vance, E. D., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S. **1987**. An extraction method for measuring microbial biomass Carbon. *Soil Biology. Biochemistry*, 19: 703-707.
260. Vasic, V., Djuric, S., Jafari-Hajnal, T., Orlovic, S., Vasic, S., Poljakovic Pajnik, L. and Galović, V. **2019**. The microbiological response of forest soils after application of nicosulfuron, imazamox and cycloxydim. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 2305-23012.
261. Verzelloni, E., Tagliazucchi, D. and Conte, A. **2010**. Changes in Major Antioxidant Compounds during Aging of Traditional Balsamic Vinegar. *Journal of Food Biochemistry*, 34: 152-171.
262. Vinha, A. F., Barreira S. V. P., Costa, A. S., Alves, R. C. and Oliveira, M. B. P. P. **2014**. Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food Chemistry and Toxicology*, 67: 139-144.

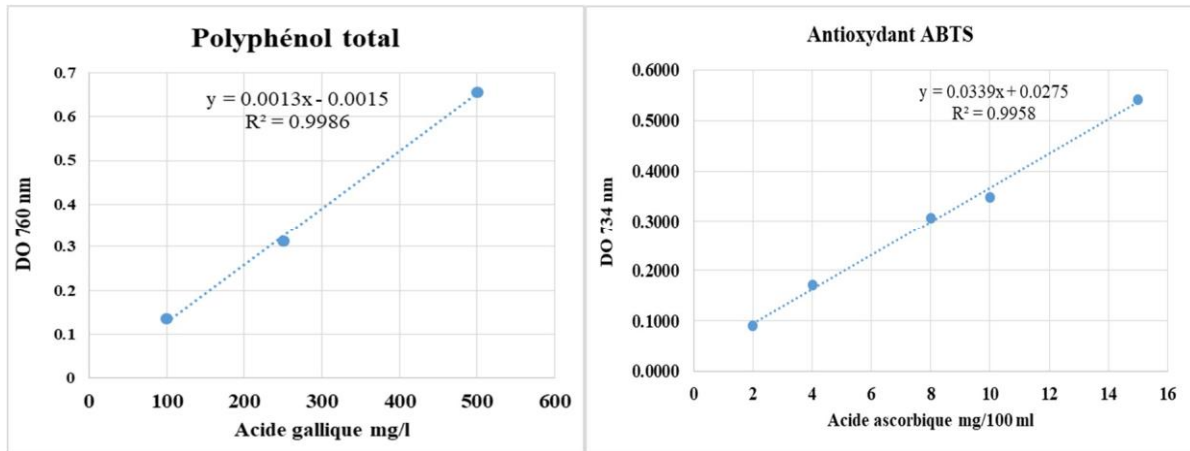
263. Vitousek, P. M. and Howarth, R. W. **1991**. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*, 13: 87-115.
264. Waiganjo, M. M., Wabule, N. M., Nyongesa, D., Kibaki, J. M., Onyango, I., Webukhulu, S. and Muthoka, N. **2006**. Tomato production in Kiriya District, Kenya. A baseline survey report. KARI/IPM-CRSP Collaborative project.
265. Walkley, A. and Black, C. A. **1934**. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
266. Walton, N. J. and Brown, D. E. **1999**. Chemicals from plants: perspectives on plant secondary products. Imperial College Press, London, 426p.
267. Wang, Q., Xiong, L. et Lou, L. **2015**. Biosensor for detection of pesticide residue. *American Journal of NanoResearch and Application*, 3 (1-1): 18-22.
268. Wang, B., Akeng'a, T., Gitonga, L., Olubayo, F., Nanmungu, P. And Imbuga, M. **2002**. Isolation and characterization of bioactive compound(s) from Kenya Tephrosia Hook. For the control of field storage pigeon peas pests. In forum 5; program and extended abstracts. 5th regional meeting of the forum for agriculture resource. *Husbandry*, 12-16: 338-340.
269. Weitang, S., Ligang, Z., Chengzong, Y., Xiaodong, C., Jiqun, Z. and Xili, L. **2004**. Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23(3): 120-123.
270. Wild, A. **1993**. Soils and the environment. An introduction. Cambridge, New York, NY, USA: Cambridge University Press, 287p.
271. Williams, J. O. and Dilosi, L. B. **2018**. The response of chemolithotrophic Nitrobacter, Nitrosomonas to the toxicity of organophosphate and pyrethroid pesticides. *Asian Journal of Biology*, 7: 1-8.
272. Wolf, J. P. **1968**. Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay édition Paris, 519p.
273. Wu, J., Joergenson, R. G., Pommerening, B., Chaussod, R. and Brookes, P. C. **1990**. Measurement of soil microbial biomass Carbon by fumigation-extraction - An automated procedure. *Soil Biology. Biochemistry*, 22: 1167-1169.
274. Xie, G., Tan, S. and Yu, L. **2012**. Morphological and molecular identification of pathogenic fungal of post-harvest tomato fruit during storage. *African Journal of Microbiology Research*, 6(22): 4805-4809.

275. Zhao, H., Sun, J., Xu, X. and Qin, X. **2017**. Stoichiometry of soil microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen in China's temperate and alpine grasslands. *European Journal of Soil Biology*, 83: 1-8.
276. Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming W. **1999**. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4): 555-559.
277. Zinkakuba, L. V., Mwanyikag, G., Ntwenga, J. E. and James, A. **2019**. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. *Cogent Food and Agriculture*, 0(0): 1-30.

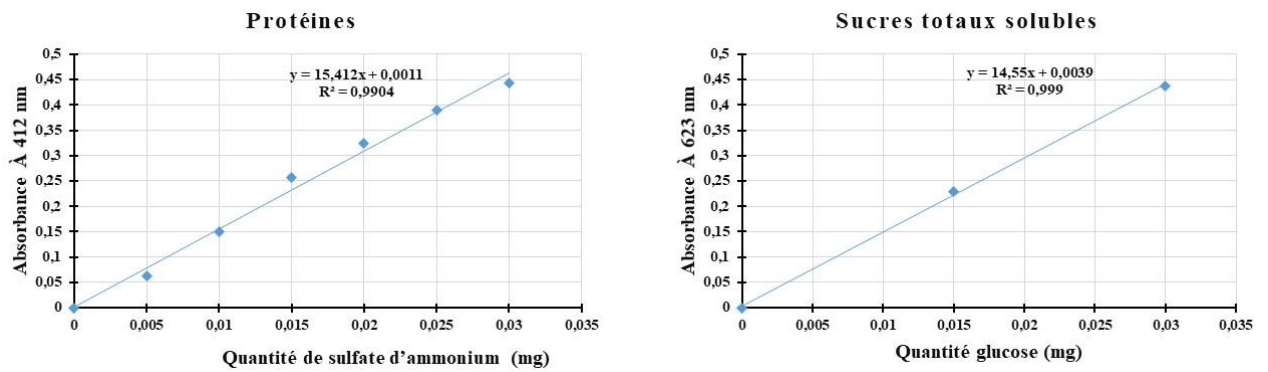


## ANNEXES

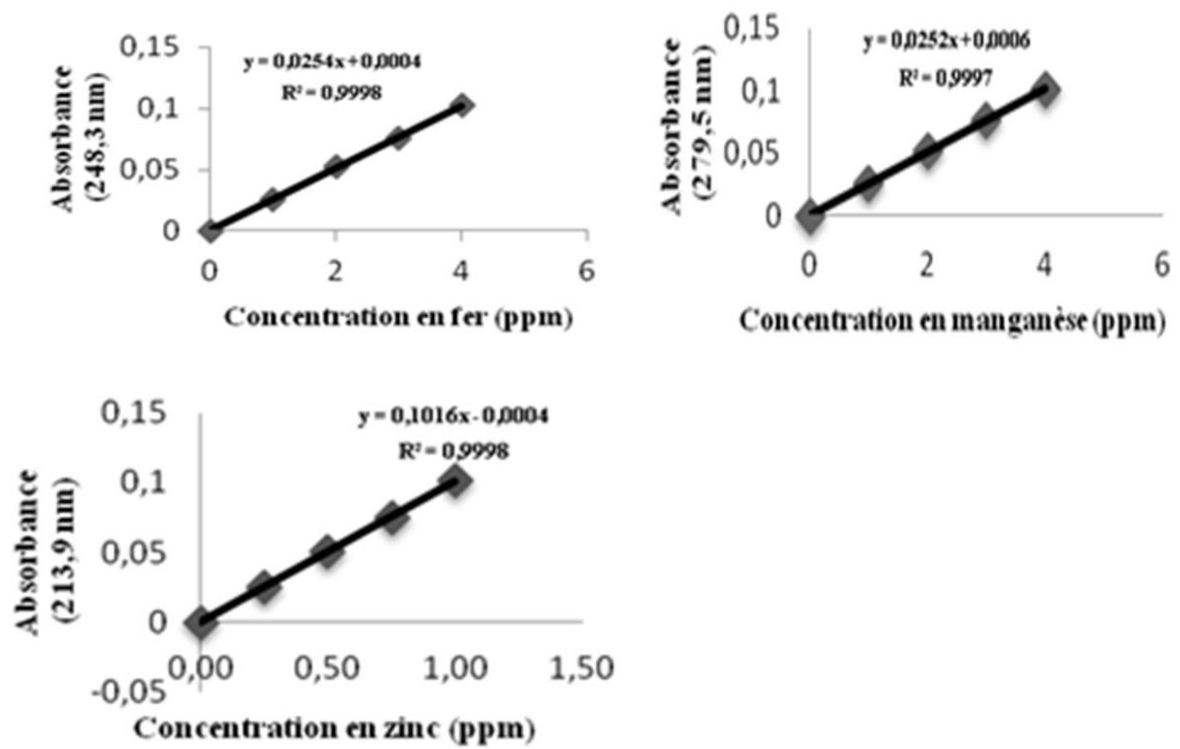
**Annexe 1:** courbes d'étalonnage des métabolites secondaires et potentiel antioxydant des extraits de *Callistemon citrinus*



**Annexe 2:** Courbes d'étalonnage des macromolécules des fruits de tomate

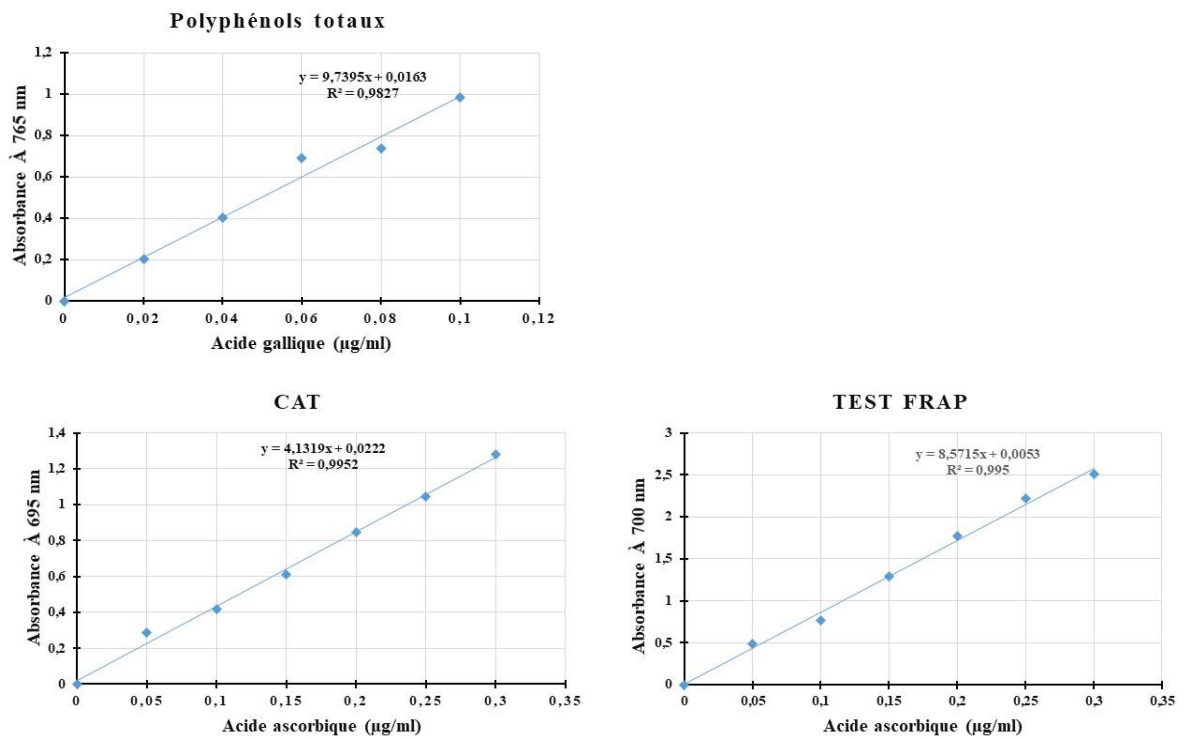


**Annexe 3:** Courbes d'étalonnage des microéléments des fruits de tomate



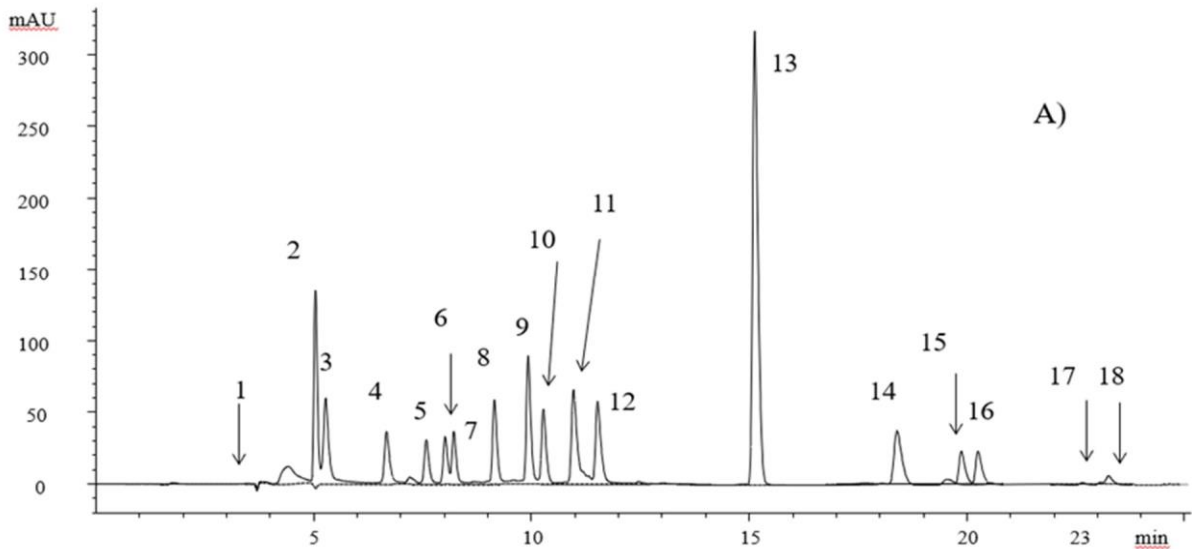
**Annexe 4:** Courbes d'étalonnage des polyphénols totaux des fruits de tomate

**Annexe 5:** Courbes d'étalonnage des activités antioxydantes



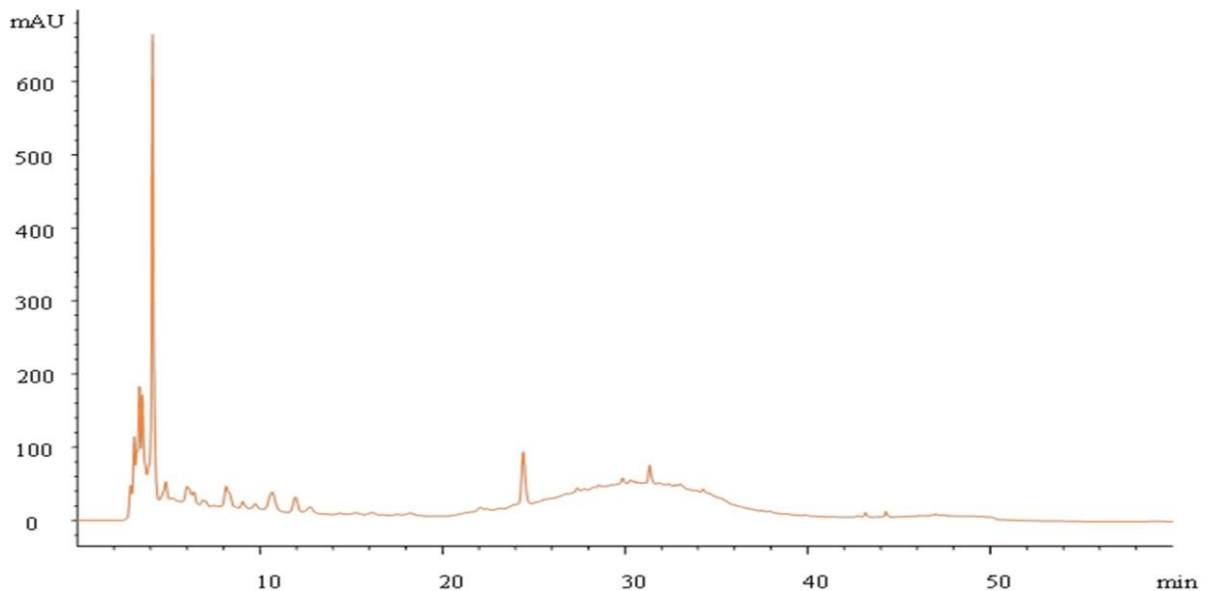
## Annexe 6: Détermination du profil phénolique: Chromatogrammes

Chromatogramme d'une solution standard 50 ppm de 18 polyphénols par HPLC-DAD

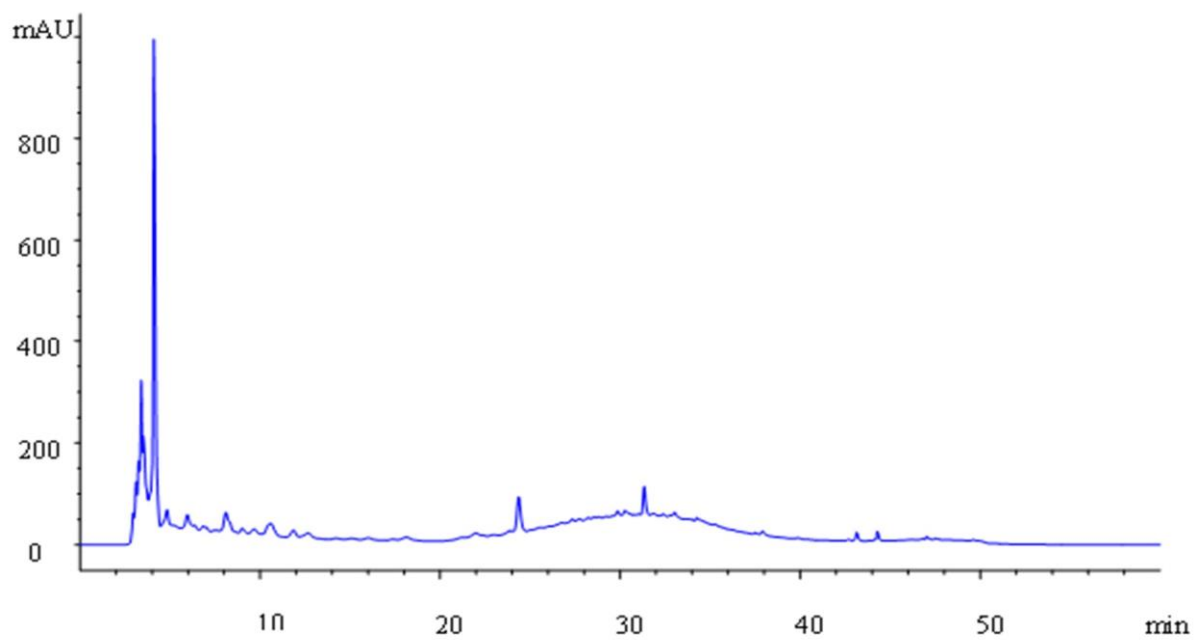


1. acide schikimique, 2. acide gallique, 3. acide néochlorogénique, 4. acide chlorogénique, 5. catéchine, 6. épicatechine, 7. rutine, 8. iperoxide, 9. naringine, 10. quercitine, 11. 3,5 DiChlorogenic acid, 12. acide rosmarique, 13. acide cinnamique, 14. eugénol, 15. carvacrol, 16. thimol, 17. acide carnosique et 18. carnosol.

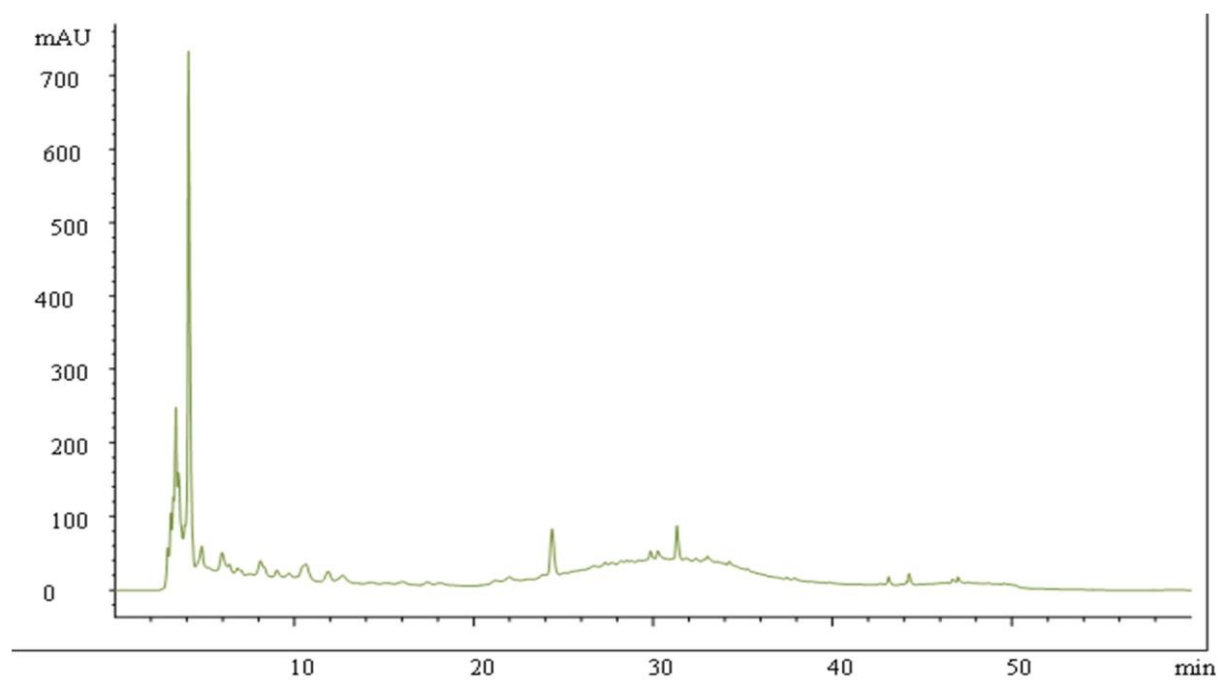
Chromatogramme des fruits de tomate Rio pulvérisés avec *Callistemon citrinus*



Chromatogramme des fruits de tomate Cobra pulvérisés avec *Callistemon citrinus*



Chromatogramme des fruits de tomate Cobra pulvérisés avec de l'eau



**Annexe 7:** Milieux de culture utilisés pour le dénombrement des microorganismes du sol

Milieu PDA pour les champignons: pomme de terre : 200g ; glucose : 10 g ; agar : 20 g ; eau distillée (ED) : 1000 ml ; PH : 7; antibiotiques : chloramphénicol, pénicilline 20U, streptomycine 40U.

Milieu ASHBY pour Azotobacters: glucose : 10 g ; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> : 0,2 g, MgSO<sub>4</sub> : 0,2 g; CaCO<sub>3</sub>: 5 g ; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 0,1 g ; agar : 20 g ; eau distillée (ED) : 1000 ml ; PH : 6,9 ; antibiotiques : 10 ml de solution stock rouge congo (0,025 g/l).

Milieu King BC : protéose peptone n° 3 : 20 g ; glycérol : 15 ml ; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> : 1,5 g, MgSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O : 1,5 g ; agar : 20 g ; eau distillée (ED) : 900 ml ; PH : 6,9 ; antibiotiques : acide borique 1,5 g dans 100 ml d'ED et autoclaver séparément du milieu. Après refroidissement ajouter 100 ml de solution d'acide borique et 2 ml de solution de cyclohexemide (dissoudre 200 mg de Cyclohexemide dans 2 ml d'éthanol 75%) et la solution aqueuse de cephalexine (80 mg dans 8 ml d'ED stérile).

Milieu pour Nitrosomonas: (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 2 g ; NaCl : 2 g ; FeSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O : 0,4 g ; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> : 2 g, MgSO<sub>4</sub>,7H<sub>2</sub>O: 0,5 g ; CaCO<sub>3</sub> : 5 g ; agar : 20 g ; eau distillée (ED) : 1000 ml ; PH : 7,0 – 7,2 ; antibiotiques : pimarcine, nystatine, streptomycine.

Milieu pour Nitrobacter : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (anhydre) : 1 g ; NaNO<sub>2</sub> : 1 g ; NaCl : 0,5 g ; FeSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O : 0,4 g ; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> : 0,4 g, MgSO<sub>4</sub>,7H<sub>2</sub>O : 0,5 g ; agar : 20 g ; eau distillée (ED) : 1000 ml ; PH : 7,0 – 7,2 ; antibiotiques : pimarcine, nystatine, streptomycine.

**Annexe 8:**Matrice de corrélation (Pearson (n)): Sévérité de la maladie

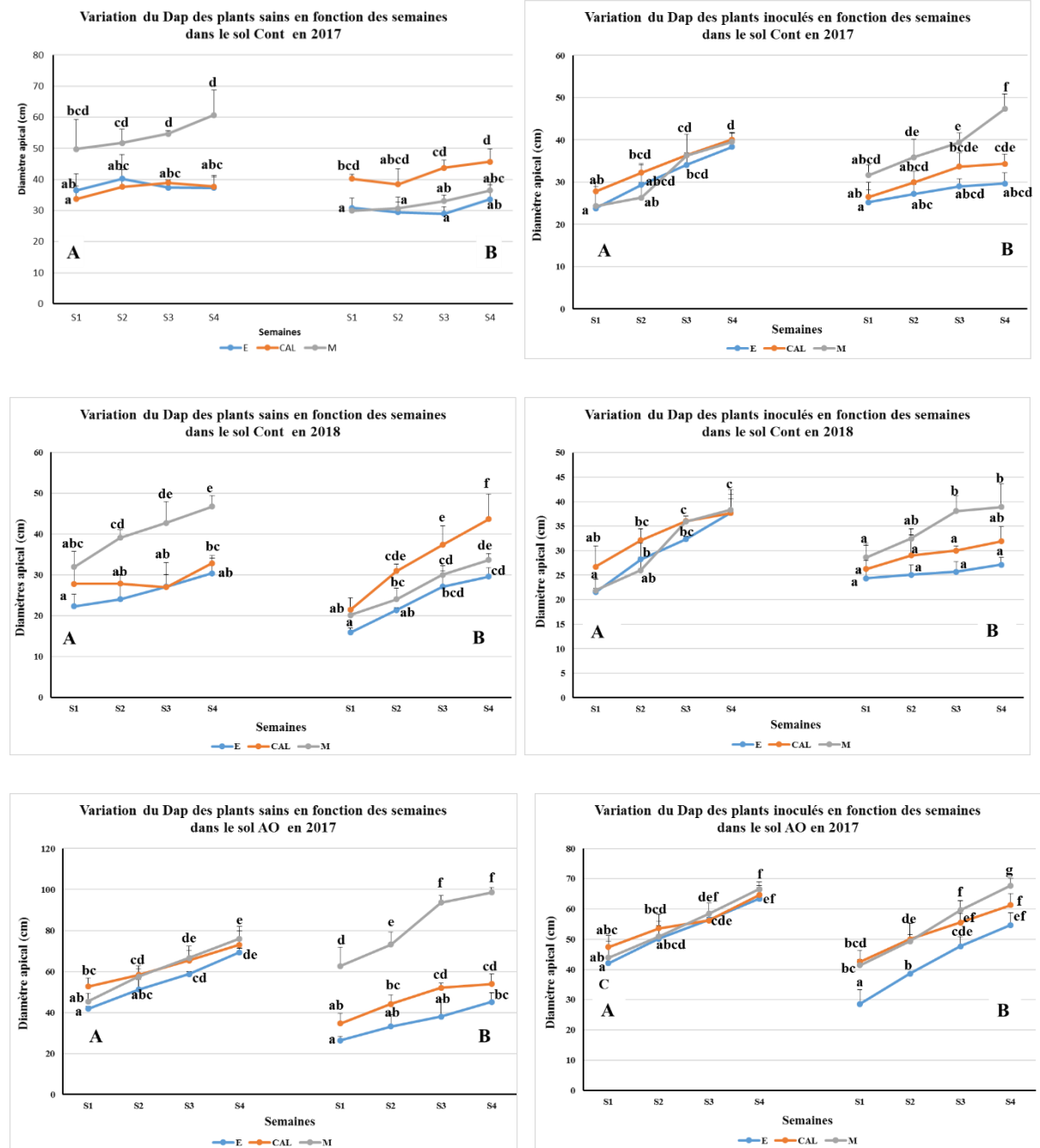
Variabes	SM1	SM2	SM3	SM4
SM1	<b>1</b>			
SM2	<b>0,973 (***)</b>	<b>1</b>		
SM3	<b>0,827 (***)</b>	0,720	<b>1</b>	
SM4	0,676	0,513	<b>0,876 (***)</b>	<b>1</b>

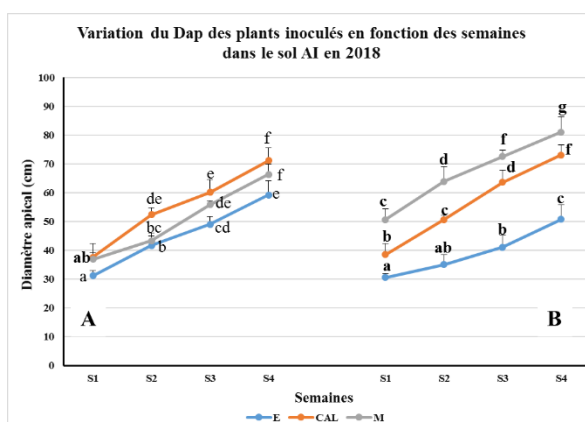
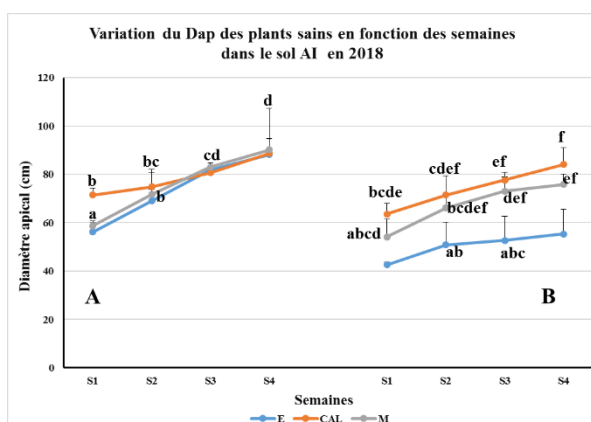
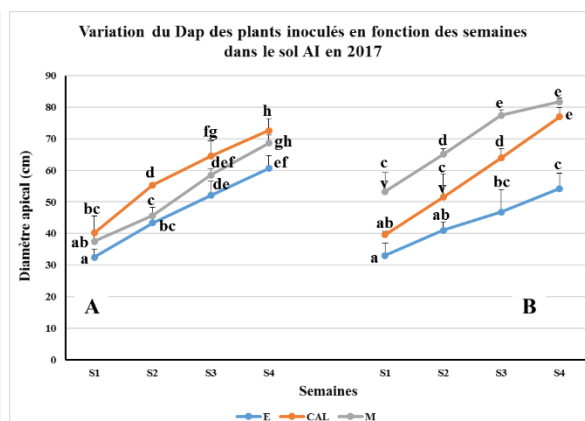
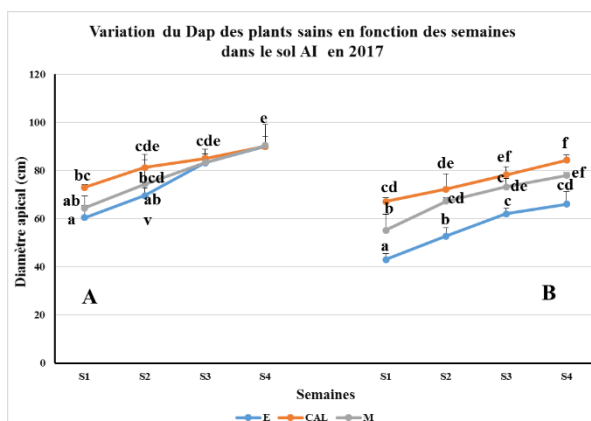
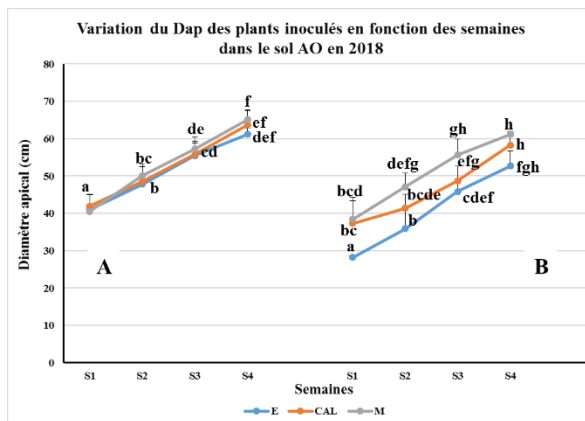
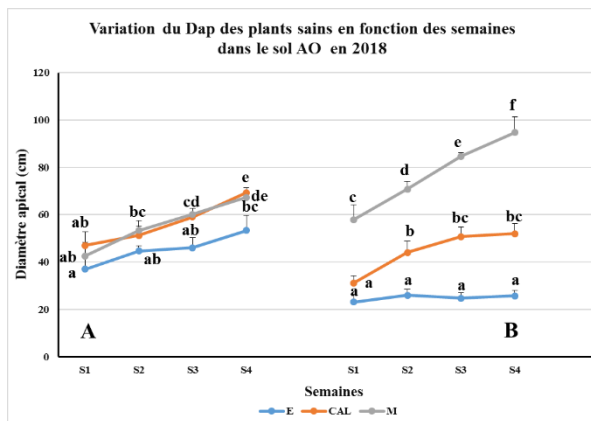
*Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05; \*\*\*: très forte corrélation*

SM1: indice de sévérité de la maladie observé le 69<sup>ème</sup> jour après inoculation, SM2: indice de sévérité de la maladie observé le 76<sup>ème</sup> jour après inoculation, SM3: indice de sévérité de la maladie observé le 83<sup>ème</sup> jour après inoculation, SM4: indice de sévérité de la maladie observé le 90<sup>ème</sup> jour après inoculation.

**Annexe 9:** Courbes de variation du diamètre apical des plants de tomate sains et inoculés cultivés dans le sol non amendé et amendés durant les deux années de culture

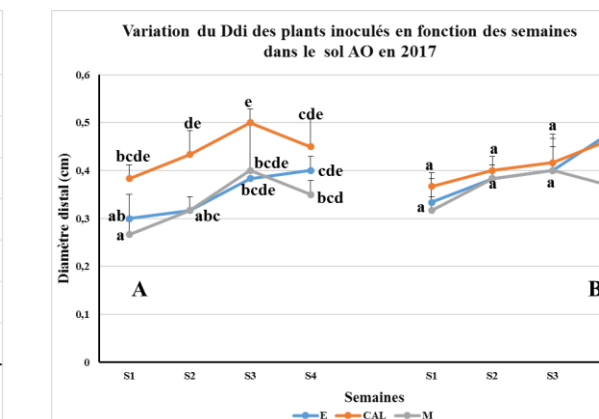
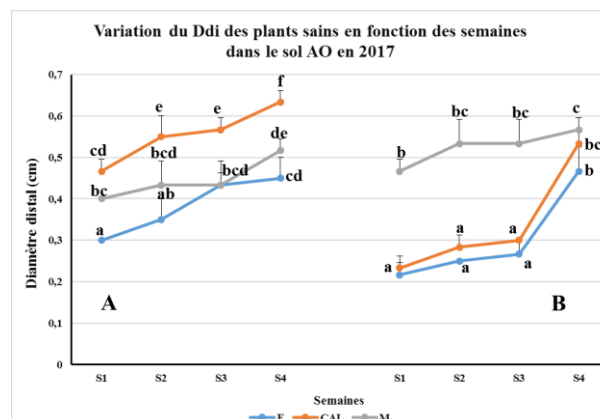
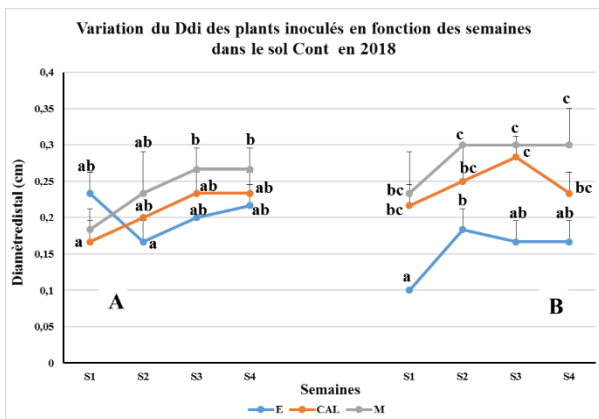
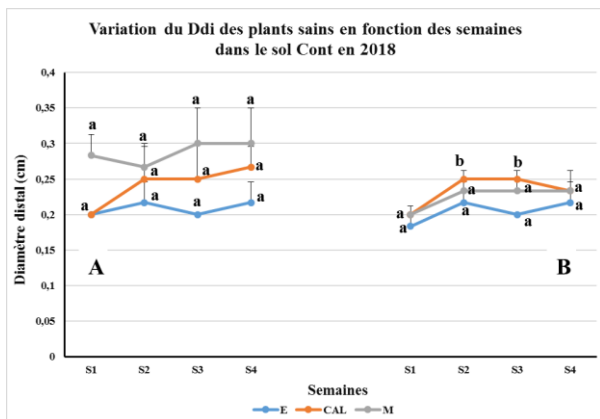
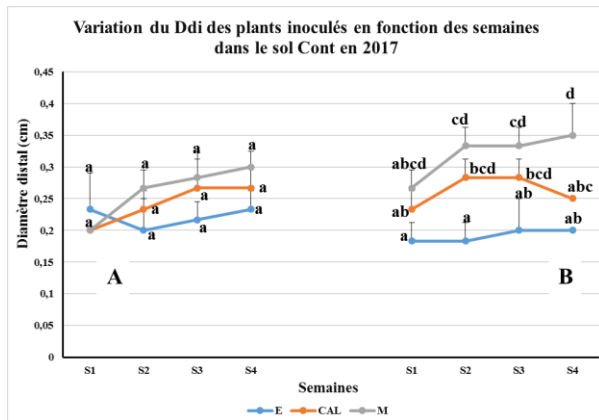
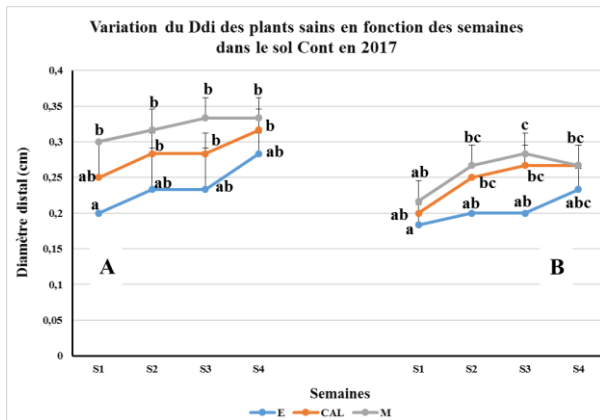
A: variété Cobra; B: variété Rio



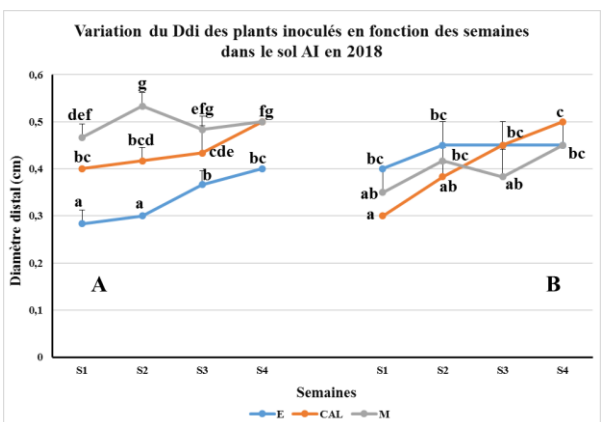
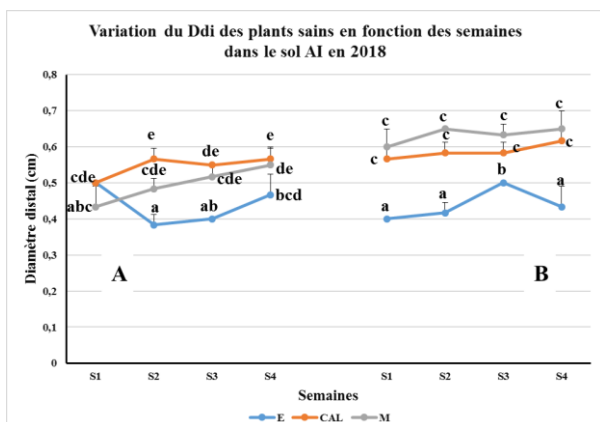
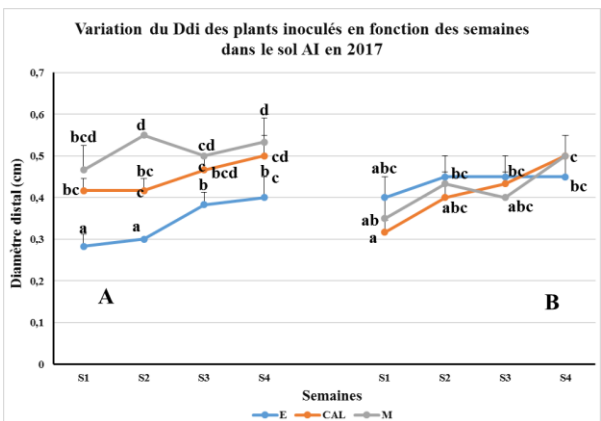
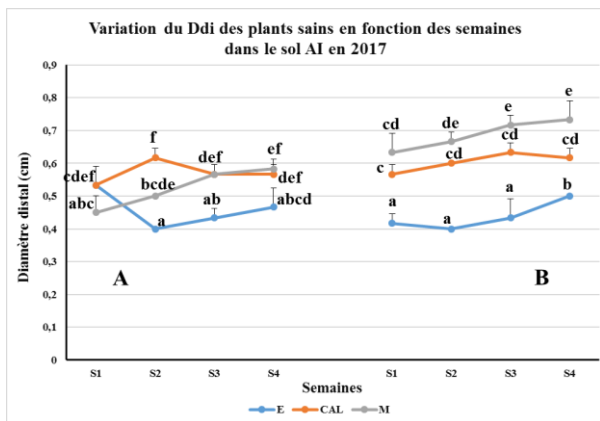
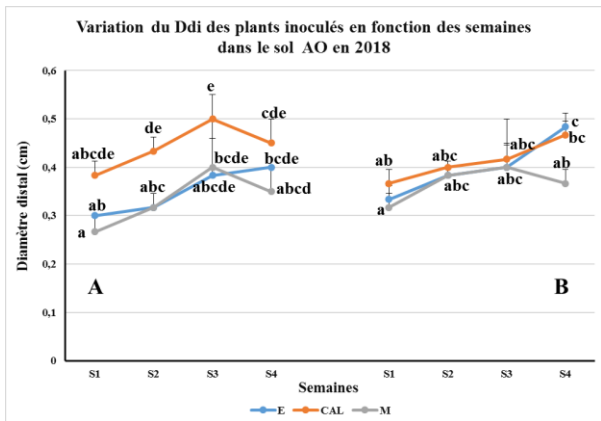
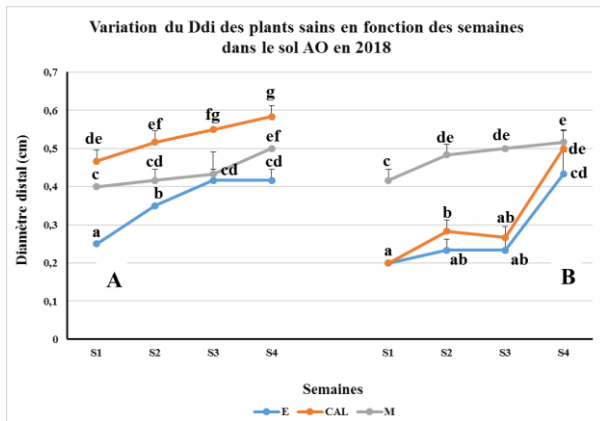


E : traitement à l'eau, CAL : traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M : traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra ; V2: variété Rio, Cont: sol non amendé, AO: sol amendé organiquement, AI: sol amendé inorganiquement; Dap: diamètre apical.

**Annexe 10:** Courbes de variation du diamètre distal des plants de tomate sains et inoculés cultivés dans le sol amendé et sols amendés à l'engrais inorganique durant les deux années de culture, A: variété Cobra; B: variété Rio

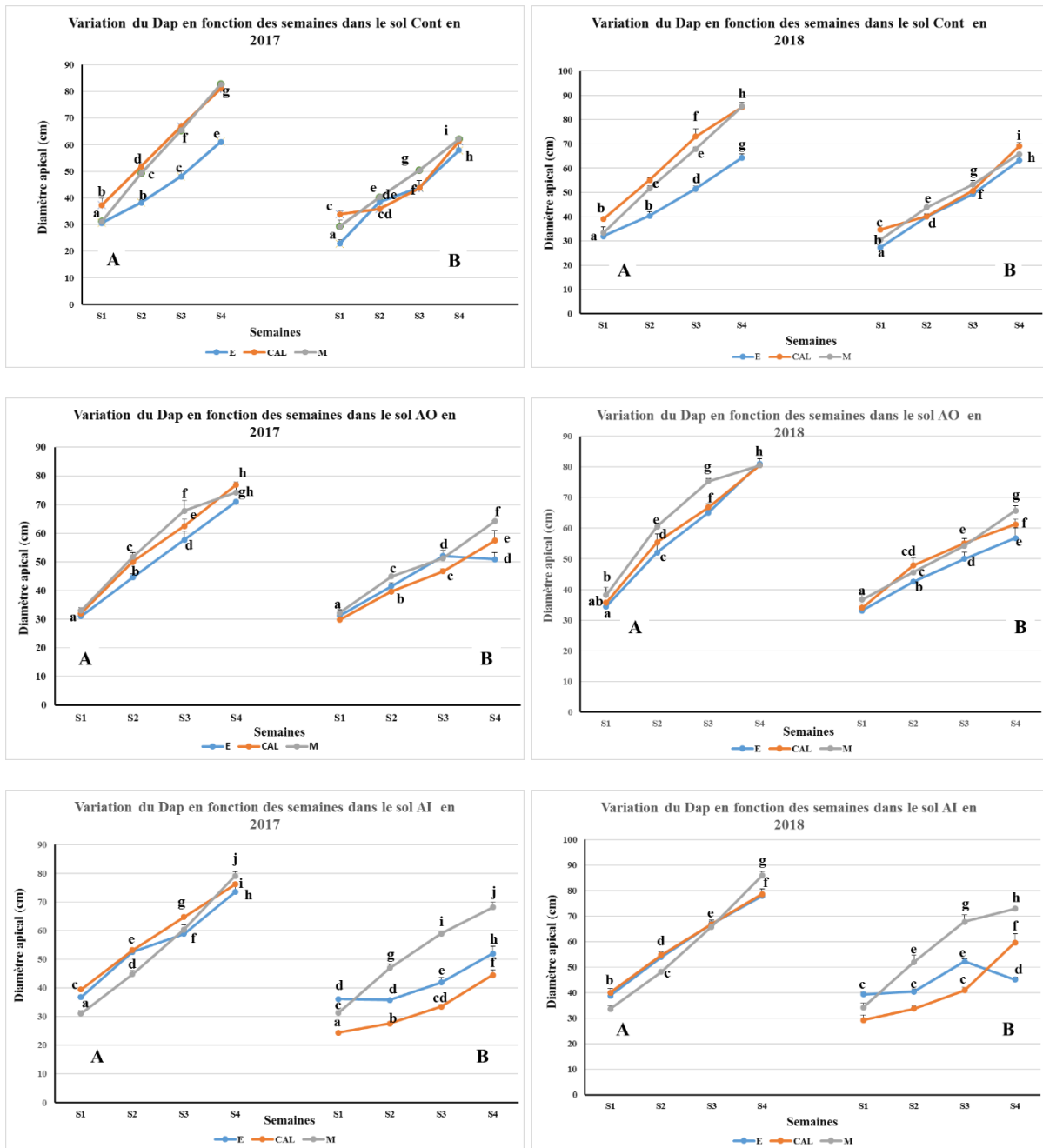






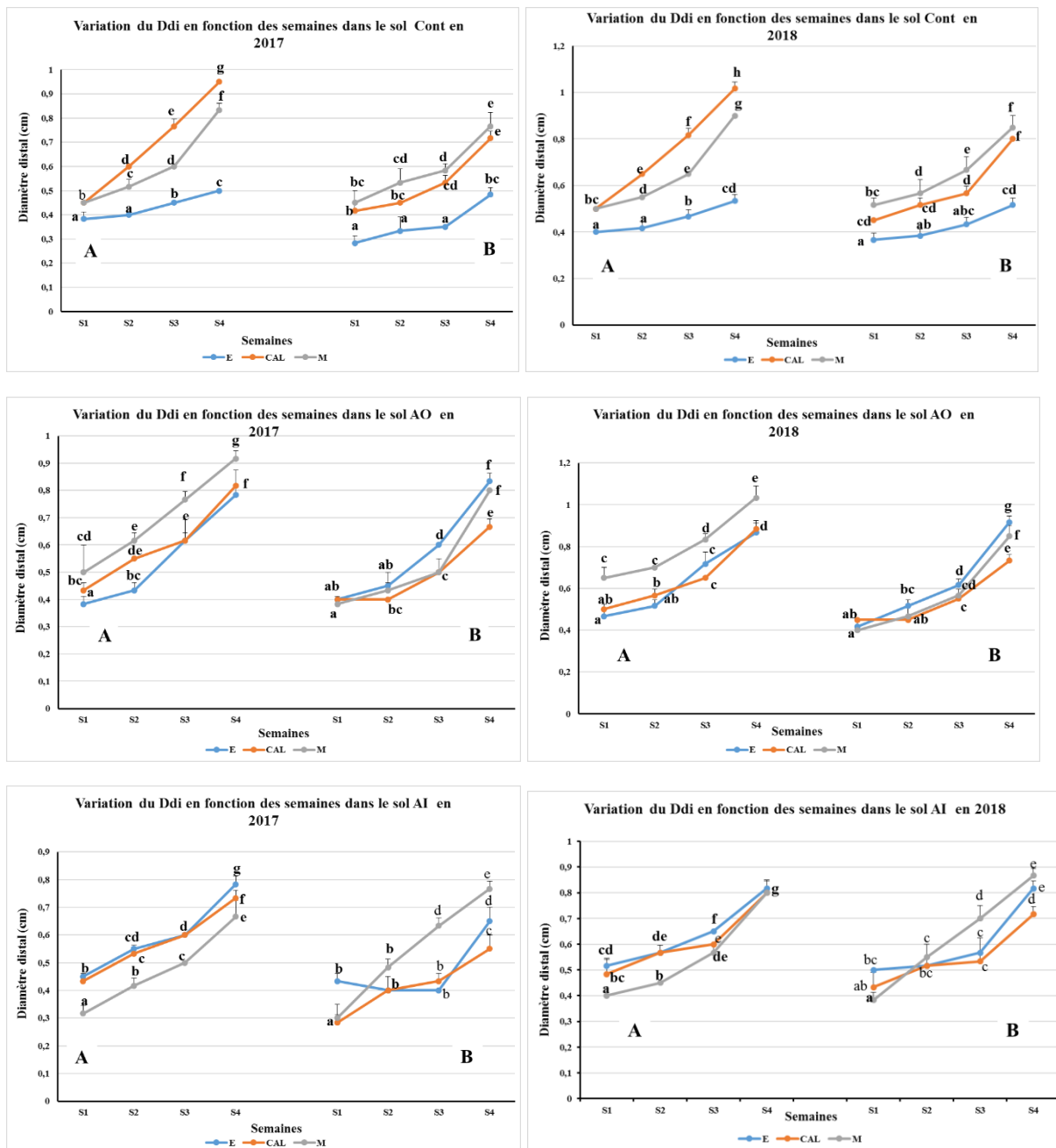
E : traitement à l'eau, CAL : traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M : traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra ; V2: variété Rio, Cont: sol non amendé, AO: sol amendé organiquement, AI: sol amendé inorganiquement; Ddi: diamètre distal.

**Annexe 11:** Courbes de variation du diamètre apical des plants de tomate cultivés en champ en 2017 et 2018; A: variété Cobra; B: variété Rio



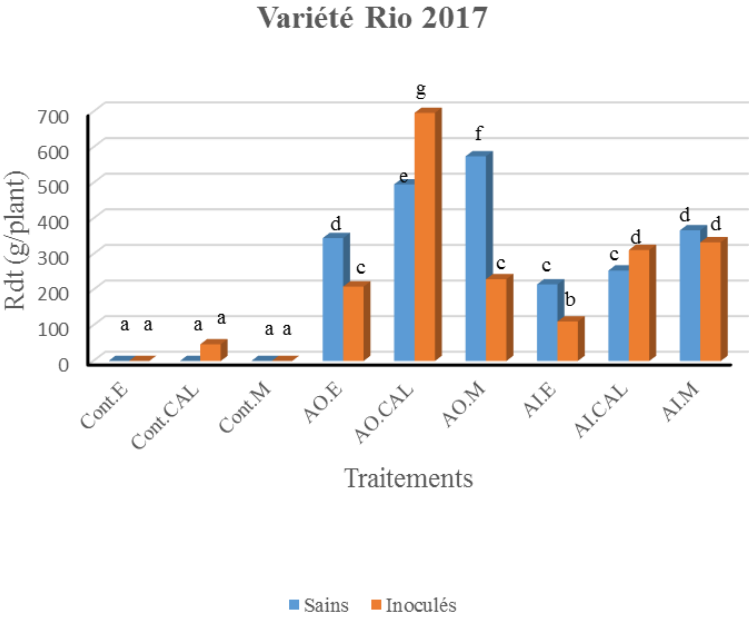
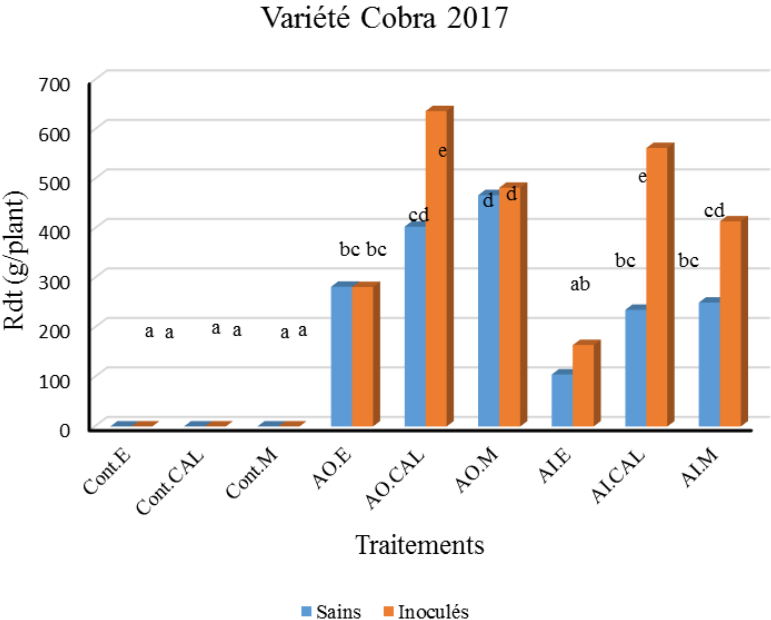
E : traitement à l'eau, CAL : traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M : traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra ; V2: variété Rio, Cont: sol non amendé, AO: sol amendé organiquement, AI: sol amendé inorganiquement; Dap: diamètre apical

**Annexe 12:** Courbes de variation du diamètre distal des plants de tomate cultivés en champ en 2017 et 2018; A: variété Cobra; B: variété Rio



E : traitement à l'eau, CAL : traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus* 5%, M : traitement avec le mancozeb 5%, V1: variété Cobra ; V2: variété Rio, Cont: sol non amendé, AO: sol amendé organiquement, AI: sol amendé inorganiquement; Ddi: diamètre distal

**Annexe 13:** Courbes de variation du rendement des plants sains et inoculés de tomate cultivés en milieu sous-abri en 2017; A: variété Cobra; B: variété Rio



### Annexe 14: Microflore des sols collectés en début et fin de culture de tomate en milieu sous-abri

Variables UFC	2017					2018					
	AB (10 <sup>9</sup> )	NB (10 <sup>9</sup> )	NT (10 <sup>9</sup> )	PS (10 <sup>9</sup> )	CH (10 <sup>6</sup> )	AB (10 <sup>9</sup> )	NB (10 <sup>9</sup> )	NT (10 <sup>9</sup> )	PS (10 <sup>9</sup> )	CH (10 <sup>6</sup> )	
<b>Cont</b>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	3±0 <sup>a</sup>	12,3±2,08 <sup>f</sup>	1±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	2,3±0,57 <sup>a</sup>	12±2 <sup>g</sup>	
<b>AO</b>	217,3±6,2 <sup>m</sup>	87,6±2,0 <sup>k</sup>	19,3±2,4 <sup>f</sup>	11,6±0 <sup>a</sup>	8±1 <sup>e</sup>	210,3±9 <sup>m</sup>	86±2 <sup>k</sup>	17±1 <sup>e</sup>	11,6±1,5 <sup>abc</sup>	7,3±0,5 <sup>f</sup>	
<b>AI</b>	56±5,2 <sup>e</sup>	47,6±1,1 <sup>gh</sup>	10±0,8 <sup>cd</sup>	129,3±9 <sup>f</sup>	0,6±0,5 <sup>a</sup>	53,6±7,6 <sup>e</sup>	46,6±1,5 <sup>g</sup>	6±1,7 <sup>bc</sup>	128±2,6 <sup>i</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>	
<b>Cont.E</b>	I <sub>0</sub>	40,3±5,5 <sup>d</sup>	25±2 <sup>c</sup>	12±0,8 <sup>d</sup>	10,6±1,1 <sup>a</sup>	3,6±1,1 <sup>abc</sup>	38±2 <sup>d</sup>	25,3±2,3 <sup>c</sup>	9,6±2 <sup>d</sup>	9,3±1,1 <sup>abc</sup>	3,6±0,5 <sup>de</sup>
	I <sub>1</sub>	167,6±10 <sup>l</sup>	51±1,7 <sup>b</sup>	30±0,8 <sup>h</sup>	25±1 <sup>b</sup>	4±0 <sup>bc</sup>	160,3±11 <sup>l</sup>	48,6±1,5 <sup>gh</sup>	25,6±1,5 <sup>f</sup>	18,3±0,5 <sup>cd</sup>	4±1 <sup>de</sup>
<b>Cont.CAL</b>	I <sub>0</sub>	123±2,6 <sup>ij</sup>	4,3±0,5 <sup>a</sup>	44±1,6 <sup>j</sup>	9,6±0,5 <sup>a</sup>	13,6±0,5 <sup>fg</sup>	112,6±12,05 <sup>h</sup>	3±0 <sup>a</sup>	43,6±3 <sup>i</sup>	7,3±2 <sup>ab</sup>	14±1 <sup>h</sup>
	I <sub>1</sub>	57,6±2,3 <sup>ef</sup>	44±3 <sup>fg</sup>	7,6±0,4 <sup>c</sup>	59±9 <sup>c</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	57±2,64 <sup>e</sup>	42,6±0,5 <sup>f</sup>	5,3±0,5 <sup>bc</sup>	56±3,6 <sup>f</sup>	1,3±0,5 <sup>abc</sup>
<b>Cont.M</b>	I <sub>0</sub>	129,3±1,1 <sup>jk</sup>	31,3±2 <sup>d</sup>	47,6±1,6 <sup>k</sup>	57,3±2,3 <sup>c</sup>	5,3±0,5 <sup>cd</sup>	125±5 <sup>ij</sup>	30,6±1,1 <sup>d</sup>	47±1 <sup>j</sup>	56,6±7 <sup>f</sup>	5±0 <sup>e</sup>
	I <sub>1</sub>	102,3±2,5 <sup>b</sup>	52,6±2 <sup>b</sup>	16,3±0,4 <sup>e</sup>	14±3,6 <sup>a</sup>	6,6±1,1 <sup>de</sup>	98,6±5,1 <sup>g</sup>	51,6±2 <sup>h</sup>	10,6±0,5 <sup>d</sup>	14±1 <sup>bc</sup>	7±1 <sup>f</sup>
<b>AO.E</b>	I <sub>0</sub>	133,3±6,3 <sup>k</sup>	115,3±4,1 <sup>m</sup>	10,6±0,4 <sup>cd</sup>	26±1 <sup>b</sup>	2,6±0,5 <sup>abc</sup>	132±3,6 <sup>k</sup>	106±5,2 <sup>m</sup>	9,6±0,5 <sup>d</sup>	25,3±1,1 <sup>de</sup>	2,6±0,5 <sup>bcd</sup>
	I <sub>1</sub>	33±2,6 <sup>d</sup>	29,3±2,3 <sup>d</sup>	3,3±0,4 <sup>b</sup>	27,3±1,5 <sup>b</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	32,6±2,5 <sup>d</sup>	28±1 <sup>cd</sup>	3,3±0,5 <sup>b</sup>	27±1 <sup>de</sup>	0±0 <sup>a</sup>
<b>AO.CAL</b>	I <sub>0</sub>	120,3±5,5 <sup>i</sup>	37,3±2,5 <sup>e</sup>	34,6±3,6 <sup>i</sup>	23±1 <sup>b</sup>	3,6±0,5 <sup>abc</sup>	118±3,4 <sup>hi</sup>	37±1 <sup>e</sup>	29,6±1,5 <sup>g</sup>	19±1 <sup>cd</sup>	3,6±1,1 <sup>de</sup>
	I <sub>1</sub>	37,3±2,5 <sup>d</sup>	58±3 <sup>i</sup>	8,3±0,4 <sup>cd</sup>	32,3±1,5 <sup>b</sup>	4,3±0,5 <sup>bc</sup>	35,3±1,5 <sup>d</sup>	56±5 <sup>i</sup>	5,6±0,5 <sup>bc</sup>	31,6±2,8 <sup>e</sup>	4±1 <sup>de</sup>
<b>AO.M</b>	I <sub>0</sub>	99±1,7 <sup>h</sup>	49,6±3,2 <sup>h</sup>	9±0,8 <sup>cd</sup>	11±1 <sup>a</sup>	3,3±0,5 <sup>abc</sup>	96,3±6,3 <sup>g</sup>	49±1 <sup>gh</sup>	8±0 <sup>cd</sup>	9,6±0,5 <sup>abc</sup>	3±0 <sup>cd</sup>
	I <sub>1</sub>	73,3±2 <sup>g</sup>	40,6±3 <sup>ef</sup>	11±0,8 <sup>cd</sup>	29,6±0,5 <sup>b</sup>	1,3±0,5 <sup>ab</sup>	71,3±4,5 <sup>f</sup>	40,6±1,1 <sup>ef</sup>	9,6±0,5 <sup>d</sup>	29,3±0,5 <sup>e</sup>	1±0 <sup>ab</sup>
<b>AIE</b>	I <sub>0</sub>	12,3±2 <sup>b</sup>	94±2 <sup>l</sup>	5±0 <sup>b</sup>	59±1 <sup>c</sup>	15,3±3,5 <sup>g</sup>	12,3±0,5 <sup>b</sup>	90±1 <sup>l</sup>	4,3±0,5 <sup>b</sup>	57,6±5,1 <sup>f</sup>	15,6±0,5 <sup>i</sup>
	I <sub>1</sub>	20±1 <sup>c</sup>	20,3±0,5 <sup>b</sup>	25,6±0,4 <sup>g</sup>	107±4,3 <sup>e</sup>	2±0 <sup>ab</sup>	18,6±1,5 <sup>bc</sup>	19,6±1,1 <sup>b</sup>	24,6±1,1 <sup>f</sup>	110±8,6 <sup>h</sup>	1,3±0,5 <sup>abc</sup>
<b>AICAL</b>	I <sub>0</sub>	2±0 <sup>a</sup>	65,6±1,1 <sup>j</sup>	36±0,8 <sup>i</sup>	176,6±10,5 <sup>h</sup>	7,6±1,1 <sup>e</sup>	1,6±0,5 <sup>a</sup>	65,6±1,5 <sup>j</sup>	32±2 <sup>h</sup>	176,3±7,7 <sup>k</sup>	7±0 <sup>f</sup>
	I <sub>1</sub>	38±2 <sup>d</sup>	30±2,6 <sup>d</sup>	3,6±0,4 <sup>b</sup>	166,6±15,2 <sup>g</sup>	0,6±0,5 <sup>a</sup>	37±3 <sup>d</sup>	29±2 <sup>cd</sup>	3,3±0,5 <sup>b</sup>	166,6±5,7 <sup>j</sup>	0,6±0,5 <sup>ab</sup>
<b>AIM</b>	I <sub>0</sub>	64,3±0,5 <sup>f</sup>	41,6±2 <sup>ef</sup>	2±0 <sup>ab</sup>	87,3±5,1 <sup>d</sup>	1,6±0,5 <sup>ab</sup>	62,3±3,2 <sup>e</sup>	40±3 <sup>ef</sup>	0,6±0,5 <sup>a</sup>	84,3±3,2 <sup>g</sup>	1,3±0,5 <sup>abc</sup>
	I <sub>1</sub>	22,6±5,5 <sup>c</sup>	41±2,6 <sup>ef</sup>	10±0,8 <sup>cd</sup>	130±5 <sup>f</sup>	3±0 <sup>abc</sup>	23,6±0,5 <sup>c</sup>	37,6±2 <sup>e</sup>	9,6±0,5 <sup>d</sup>	133,3±10,4 <sup>i</sup>	2,6±0,5 <sup>bcd</sup>

Les valeurs moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, I<sub>0</sub>: sol non infecté, I<sub>1</sub>: sol infecté, AB: Azotobacter, NB: Nitrobacter, NT: Nitrosomonas, PS: Pseudomonas, CH: champignon.

**Annexe 15: Microflore des sols collectés en début et fin de culture de tomate en champ**

Variables UEC	SAC	Cont.E	Cont.CA L	Cont.M	AO.E	AO.CAL	AO.M	AI.E	AI.CAL	AI.M	Spi	SPf
<b>2 AB (10<sup>9</sup>)</b>	15±2a	33,3±1,1c	28±2b	61±1d	105±2,6g	115±4i	67,6±2,5 <sup>e</sup>	109±1,7 <sup>h</sup>	81,6±2,8 <sup>f</sup>	80,5±0,5 <sup>f</sup>	29±1b	25±2b
<b>0 NB (10<sup>9</sup>)</b>	227±5 <sup>h</sup>	60±1 <sup>c</sup>	122,6±2,3 <sup>f</sup>	79,5±1,5 <sup>d</sup>	65±5 <sup>c</sup>	110±10 <sup>e</sup>	253,5±3,5 <sup>i</sup>	84±1 <sup>d</sup>	173,3±4,1 <sup>g</sup>	167,3±3 <sup>g</sup>	20,5±0,5 <sup>b</sup>	12,5±1,5 <sup>a</sup>
<b>1 NT (10<sup>9</sup>)</b>	17,5±0,5 <sup>b</sup>	21±1 <sup>c</sup>	32±2 <sup>e</sup>	27,5±2,5 <sup>d</sup>	27,5±0,5 <sup>d</sup>	23±2 <sup>c</sup>	15±0 <sup>ab</sup>	17,5±0,5 <sup>b</sup>	12,6±0,57 <sup>a</sup>	21,5±1,5 <sup>c</sup>	14±1 <sup>a</sup>	12±2 <sup>a</sup>
<b>8 PS (10<sup>9</sup>)</b>	45±5 <sup>b</sup>	28,5±1,5 <sup>a</sup>	88±1,7 <sup>ef</sup>	37,5±2,5 <sup>b</sup>	125±5 <sup>g</sup>	93±5 <sup>f</sup>	80±2 <sup>e</sup>	87,5±2,5 <sup>ef</sup>	160±10 <sup>h</sup>	63,3±2,8 <sup>d</sup>	38,5±1,5 <sup>b</sup>	55±2 <sup>e</sup>
<b>CH (10<sup>6</sup>)</b>	12±1 <sup>bc</sup>	18,5±0,5 <sup>d</sup>	5,5±0,5 <sup>a</sup>	10,5±0,5 <sup>b</sup>	40±5 <sup>g</sup>	7±1 <sup>a</sup>	28,5±1,5 <sup>f</sup>	6,5±0,5 <sup>a</sup>	29±1 <sup>f</sup>	15±1 <sup>c</sup>	30±0 <sup>f</sup>	22,5±2,5 <sup>e</sup>
<b>2 AB (10<sup>9</sup>)</b>	11±2,6 <sup>a</sup>	28,3±1,5 <sup>c</sup>	20,3±1,1 <sup>b</sup>	40,3±0,5 <sup>d</sup>	90±1 <sup>h</sup>	94±1 <sup>i</sup>	30±1 <sup>c</sup>	70±5 <sup>g</sup>	50,3±0,5 <sup>e</sup>	58,6±1,1 <sup>f</sup>	20,3±0,5 <sup>b</sup>	16,6±0,5 <sup>b</sup>
<b>0 NB (10<sup>9</sup>)</b>	161±1 <sup>k</sup>	23,5±1,5 <sup>c</sup>	95,5±1,5 <sup>h</sup>	41,3±0,5 <sup>e</sup>	32,6±2,3 <sup>d</sup>	86,5±2,5 <sup>g</sup>	201±1 <sup>l</sup>	62,3±1,1 <sup>f</sup>	152,5±2,5 <sup>j</sup>	131±4 <sup>i</sup>	14,6±0,5 <sup>b</sup>	9±1 <sup>a</sup>
<b>1 NT (10<sup>9</sup>)</b>	9±1 <sup>bc</sup>	13,6±0,5 <sup>d</sup>	16,3±0,5 <sup>e</sup>	16,3±0,5 <sup>e</sup>	18±1 <sup>f</sup>	13,3±0,5 <sup>d</sup>	12,3±1,1 <sup>d</sup>	10,3±0,5 <sup>c</sup>	6±1 <sup>a</sup>	12,6±0,5 <sup>d</sup>	8,8±0,7 <sup>bc</sup>	7,5±0,5 <sup>b</sup>
<b>7 PS (10<sup>9</sup>)</b>	18,6±2,3 <sup>b</sup>	22,5±1,5 <sup>c</sup>	74±1 <sup>h</sup>	15±0 <sup>a</sup>	49,3±1,1 <sup>g</sup>	50±0 <sup>g</sup>	38±2 <sup>e</sup>	42,3±2,5 <sup>f</sup>	139±1 <sup>i</sup>	26±2 <sup>d</sup>	18,6±1,1 <sup>b</sup>	27,5±2,5 <sup>d</sup>
<b>CH (10<sup>6</sup>)</b>	8±0 <sup>e</sup>	9,7±0,2 <sup>d</sup>	1±0 <sup>a</sup>	7,5±0,5 <sup>e</sup>	32±1 <sup>g</sup>	5±1 <sup>b</sup>	16,5±0,5 <sup>e</sup>	2,5±0,5 <sup>a</sup>	16,6±0,5 <sup>e</sup>	10,6±0,5 <sup>e</sup>	29±0 <sup>f</sup>	17,5±2,5 <sup>e</sup>

Les valeurs moyennes dans la ligne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test SNK).

SAC: solavant culture, Cont: sol non amendé, AO: amendement organique, AI: amendement inorganique, Spi: sol paysan prélevé avant culture, SPf: sol paysan prélevé après culture, E: traitement à l'eau, CAL: traitement avec l'extrait aqueux de *Callistemon citrinus*, M: traitement avec le mancozeb 5%, AB: Azotobacter, NB: Nitrobacter, NT: Nitrosomonas, PS: Pseudomonas, CH: champignon.

**PUBLICATION**

# Organic Treatment effects on Ferritic soil quality and Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Yield

Ghislaine Ndonkeu Mangoumou<sup>1\*</sup>, Julienne Nguéfack<sup>1</sup>, Joseph Blaise Dongmo Lekagne<sup>1</sup>, Charles Dakole Daboy<sup>1</sup>, Jean Claude Nguépsi<sup>1</sup> and Paul Moundipa Fewou<sup>1</sup>

Department of Biochemistry, Faculty of Sciences, University of Yaoundé I, PO Box 812Yaounde, Cameroon

\*Corresponding Author

**Abstract**— The impact of the combination of plant (*Tithonia diversifolia*) (Td) plus cow dung (Cd) as biofertilizer and aqueous extract of *Callistemon citrinus* (CAL) leaves as biofungicide on physicochemical properties, and the microbial biomass in carbon (MBC) and nitrogen (MBN) of soil and on tomato yield were assessed under field condition. The experimental design was a complete block design with 2 factors (soil amendment and plant sprays) and 3 repetitions. The soil treatment included organic amendment (OA): Td + Cd at the ratio of 3:4 (w/w)/plant; inorganic amendment (IA): 21:8:8 NPK (26.2g/plant) and potassium sulfate (4g/plant); and control (unamended soil). The field treatments were plants sprayed with: 5% (w/v) CAL; 5% (w/v) Mancozeb (M); and water (W). All amendments except IA did not significantly modify the soil organic matter ( $<2.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and organic carbon content. An increase of 23.15% and 30.60% of calcium concentration and cation exchangeable capacity (CEC) respectively, was recorded in OA soil compared to the soil before cultivation (SBC) ( $P<0.05$ ). Copper and zinc contents in OA soil were reduced respectively by 49% and 48.5% compared to SBC. The highest concentration of MBC was recorded in OA.M plot. The different combine treatments (OA.CAL, IA.M, and OA.M) increased tomato yield by 3.4; 3; and 5.3 fold, respectively compared to their controls. This study provided new information about the organic amendment on soil and plant sprayed with *C. citrinus* extract as a green alternative to conventional input that might improve soil quality and crop yield.

**Keywords**— microbial biomass, organic inputs, soil physicochemical properties, tomato.

## I. INTRODUCTION

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is among the most important fruit vegetables in the world due to the high potential health-promoting properties and their contents in flavonoids, carotenoids, and vitamins (Aghofack-Nguemezi and Schawb, 2014). Tomato yield and production were 188t/ha, 182301395tons and 12.1t/ha, 1279853 tons respectively in the world and Cameroon (FAOSTAT, 2019). Pests and diseases are among the most important constraints of tomato culture in Cameroon. The farmers currently apply conventional agrochemicals in an abusive and

inappropriate manner (Konje et al. 2019). The use of pesticides and their residues poses a real public health problem to farmers, consumers and the environment (Zinkakuba et al. 2019). It is therefore urgent to search for alternative methods that are environmentally friendly and with fewer health risks to the consumers.

The disease control of crops through the use of plant-based biopesticides and antagonistic microorganisms has become an interesting alternative (Olanya and Larkin, 2006). In Cameroon, local plant extracts have been reported as having inhibitory properties *in vitro* and *in vivo* against various pathogens (Goufo et al.



2010; Ndonkeu et al. 2013; Mekam et al. 2019). Botanicals with antifungal compounds have been identified and can be exploited for the management of plant diseases because they have low mammalian toxicity, target specificity, biodegradability and contain many active ingredients (Kagale et al. 2004). *Callistemon citrinus* because of its antifungal activity notably against

*Phytophthora infestans* of tomato (Galani et al. 2013; Dakole et al. 2016), on *Alternaria padwickii* and

ISSN: 2456-1878  
<https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.52.11>

*Bipolaris oryzae* of rice (Nguefack et al. 2013) is used as a biocontrol agent.

To achieve high tomato yield, farmers used chemical fertilizers, which could be responsible for soil acidification and the decrease in the microbiological activity of soils (Monkiedje et al. 2006). Also, the use of agrochemicals causes the long-term accumulation of heavy metals in water and soil. These heavy metals are assimilated by plants and enter the food chain causing animal and human health problems (Zwolak et al. 2019). As well, the rising costs of inorganic fertilizers made them too expensive.

*Tithonia diversifolia* (Asteracea) green biomass is an effective source of nutrients and has been used successfully to improve soil fertility and crop yields in Kenya (Jama et al. 2000). Aguyoh et al. (2010) reported a significant and positively correlated increase in a total yield of watermelon with increasing application rates of *T. diversifolia* manure. In that study, *T. diversifolia* application enhanced the total yield of watermelon by between 8.5% and 31% compared to the control. *T. diversifolia* can improve the physical and chemical properties of soil and increase nutrients in the soil (Crespo et al. 2011) and maintain soil fertility for a long period (Babajide et al. 2008).

Cattle manure used for its added value for soil carbon sequestration, and its capacity for storing and releasing nutrients over a longer period (Diacono and Montemurro, 2010). In Uganda, although a significant number of farmers have adopted the use of cattle manure on their farms, they normally use it untreated and directly from animal barns (Komakech et al. 2014). According to Adegunloye et al. (2007), the C: N ratio in cow dung manure is an indication that it could be a good source of protein for the microbes involved in the decomposition of organic matter.

Each amendment applied to the soil may not contain all required nutrients in a high amount at the

same time. Therefore, to have a balanced nutrient supply, the addition of more than one amendment to the soil may be required. Adekiya (2018). Consequently, in this work, it was planned to test a biofertilizer made of a mixture of Td + Cd. The present study aimed to evaluate the impact of the combination of plant (*Tithonia diversifolia*) (Td) plus cow dung (Cd) as biofertilizer and aqueous extract of *Callistemon citrinus* (CAL) leaves as biofungicide on physicochemical properties and the microbial

biomass in carbon (MBC) and nitrogen (MBN) of soil and on tomato yield in field condition.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1.1 Experimental site

The experiment was conducted at Nkolbisson-Yaounde (Eloundem) Centre Region of Cameroon from December to May 2018. The study site is located at an altitude of 711m above sea level and situated at latitude 3°51'14"N and longitude 11°44'26"E. The annual rainfall distribution is bimodal (lighter rains between March and June and a more intense rainy season between September and November) with peak rainfall in May and October. The area has a mean annual rainfall of approximately 1500-2000mm and a mean annual temperature of 24.7°C. The relative humidity range between 50 and 80% in the dry season and 70 and 90% in the rainy season. The most dominant soil types at Nkolbisson is ferritic and acidic (pH 5- 6).

### 1.2 Field design

The variety of tomato (Cobra) seeds used was produced by the French firm TECHNISEM. Tomato seeds were sown in nursery beds enriched with the mixture of *Tithonia diversifolia* (Td) leaves and cow dung (Cd) powders at the dose of 312.5 and 250 g/m<sup>2</sup>, respectively. The tomato plants used were 35 days old and had three to four true fully expanding leaves.

The field experiment was laid out in a complete block design, with 9 plots per block and three repetitions. Each plot contained 16 plants and made up of 4 rows. Tomato seedling transplanting was done at an interval of 0.5m between rows and 0.5m between plants of the row. In each plot, 16 pockets were dug and each filled with organic amendment (*Tithonia diversifolia* leaves (75g/plant) and cow dung (100g/plant) powders) one week before transplanting. In the inorganic plots, 21:8:8 N/P/K

(26.2g/plant) was applied one week after transplanting and potassium sulfate (50% K<sub>2</sub>O and 45% SO<sub>3</sub>) (4g/plant) at fruit set stage. Organic and inorganic nitrogen was applied an equivalent of 5g of N/plant. Plants were sprayed 10 times (twice/month) with water, 5% of both biopesticide, and chemical pesticide. The biopesticide was obtained by soaking the powder of dried leaves of *Callistemon citrinus* in water for 24 hours. The chemical fungicide was mancozeb.

### 1.3 Soil sampling

In each plot, the soil was sampled at a depth of 0-20 cm in three different areas diagonally. All sample soils were mixed to form a composite. 0.5 kg of the composite was air-dried, ground, and sieved (<0.25 mm). Then serve as a substrate for the physicochemical analysis. A part of the composite was sieved (<0.5 mm) and then stored at 4°C until microbial biomass analyses.

### 2.4 Physicochemical analyses

Soil properties were observed both before and at the end of the experiment. Granulometry was determined by the Robinson-Köhn pipette method. Soil pH was measured in 1:2.5 soil to solution ratio in distilled water (pH-H<sub>2</sub>O). Organic carbon (OC) was estimated by oxidation with potassium dichromate and titration with ferrous sulfate (Walkley and Black, 1934). Total nitrogen was estimated by the Kjeldahl method. Iron, copper, lead, and zinc were determined colorimetrically after reduction with dithionatecitrate-bicarbonate (DCB). Available phosphorus was determined by the Bray II method (Bray and Kurtz, 1945). Calcium was estimated by a complexometric and titrimetric method with tetra acetic ethylene diamine acid of an ammonium acetate extract at pH 7 of the sample. Cation exchange capacity (CEC) was determined by percolating 2.5g of soil with 100mL of 1N ammonium acetate buffered at pH 7, removing the excess with ethanol and displacing the absorb NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ions with 1N KCl, determining the collected NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ions by distillation and titration with 0.01N sulfuric acid.

### 2.5 Study of soil microflora

Microbial biomass was determined by fumigationextraction (Chaussod et al. 1988; Wu et al. 1990). Carbon determination was done by Walkley and Black (1934) and nitrogen determination by Kjeldahl. The coefficients used to determine the biomasses were: KeC = 0.38 and KeN = 0.68.

### 2.6 Tomato yield

From each plot, matured tomato fruits were harvested each week and total fruit weight was determined. Fruit product data were summed up of the total fruit weight from consecutive harvests and converted into tons per hectare to estimate the fruit yield.

### 2.7 Statistical analysis of data

The results were subjected to statistical analysis using IBM SPSS Statistics 22 software, particularly variance analysis (ANOVA) and significant differences were assessed using the Student Newman Keuls (SNK) test at the 5% probability threshold. XLSTAT 2007 software was used for the Principal Component Analysis (PCA).

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Effects of organic amendment on soil physicochemical properties

The effect of different amendments on soil granulometry showed some variations in particle contents (Table1). The silt content was above 45%, and double that of sand. Clay and sand contents from soil samples collected before cultivation (SBC) and control soil, were significantly (P<0.05) lower, compared to those of organic amended (OA) and inorganic amended (IA) soils. Based on the USDA textural diagram, the texture observed in SBC and control soil was silty clay loam and clay loam in OA and IA soils. Silt clay texture was favourable for tomato cultivation.

The carbon-nitrogen ratio (C:N) was found to be 8 in OA soil combined to plant treated with the aqueous extract of *C. citrinus* (OA.CAL). Also, C:N was less than 14 in SBC, IA soil, OA soil combined to plant treated with mancozeb (OA.M) and 16.75 on the control soil combined to plant treated with water (Control.W) (Table 2). IA.CAL soil (C:N = 8) with the same soil organic matter (SOM) content as SBC soil (C:N = 11) had higher total nitrogen (TN) concentration. Hubert and Schaub (2011) showed that high carbon-nitrogen (C:N ≥13.70) made decomposition slow to difficult and did not allow good mineralization of organic matter. Soils, where plants have been sprayed with water, had the lowest amounts of available phosphorus (P) (P<0.05). This could be explained by the fixation of available phosphorus in these soils by protons and cations such as Ca<sup>++</sup> and thus transforming it into a compound not assimilable by the plant (Rivaie et al. 2008). The highest P content (15.64mg.kg<sup>-1</sup>) of about 2 fold that of SBC (P<0.05) was recorded in OA.CAL soil. Similar content in SOM (2%) was recorded in all treated soils except for IA.M (2.92%) and IA.W

(3.75%) soils ( $P < 0.05$ ). The variation in SOM could be explained by the rapid supply of IA soil by chemical fertilizer. Beside, Dieye et al. (2016), showed that the mineralization of *T. diversifolia* was slow and progressive. The 26% reduction of TN OA soil compared to SBC, could be explained by high C:N (14) observed in OA soil. Bationo et al. 2008 suggested that rapid decomposition of SOM could result in loss of nutrients through volatilization, leaching; whereas, for slow mineralization of SOM, minerals will have a higher retention time in the soil.

The TN content increased respectively, in IA.M (1.31g/kg), IA.CAL, and IA.W soils where it reached 1.92g/kg. These results differed from those obtained by Hafifah et al. (2016), where *T. diversifolia* and cow manure mixture was significantly enriched in OC and TN than the NPK. This could be explained by the high levels of fertilizer used in their study of 1.35 t/ha NPK, 4.08 t/ha *T. diversifolia* and 12.93 t/ha cow manure; the type of crop (cauliflower) and the date of collection of soil samples at the end of the cultivation, which was 30 days. The Control.W soil had the lowest nitrogen content, 1.67 times less than in the SBC. The nitrogen decrease in control soil could be explained by the use of existing nitrogen in the soil for the development of soil microorganisms and even the growth of tomato plants. These results corroborate those of Hafifah et al. (2016), who recorded a 1.83-fold decrease in the total nitrogen content of the control soil compared to the initial soil when the cauliflower was grown.

Calcium (Ca) concentration and cationic exchange capacity (CEC) were similar in OA and IA soils and were higher than in SBC and control soils ( $P < 0.05$ ) (Table 3). This increase could be explained by their relatively high clay content, able to bind to organic matter to form the humic argil adsorbent complex. The latter plays an important role in the cation exchange capacity (CEC) for storing many nutrients in the soil and the water retention capacity or Useful Reserve Hubert and Schaub (2011). Also,  $Ca^{2+}$  stabilizes the adsorbing complex by creating a calcium bridge that consolidates the connection between humus and clay. The pH values of the different soils were similar ( $P < 0.05$ ) and varied between 6.52 and 7.05. The pH did not vary during the culture and remained neutral. The soil pH, less than 6.0 tends to be acidic with very high exchangeable aluminum that restricts the growth of most crops (Fairhurst, 2012). Copper (Cu) concentration was reduced by 46.1, 50.7 and 51.9% respectively, in OA.CAL, OA. M, and OA.W soils compared to SBC with the highest Cu concentration

(20.53mg.kg<sup>-1</sup>) ( $P < 0.05$ ). This decrease could be explained either by the chelation and precipitation of copper by organic matter present in these soils or by the use of copper by the plant for the maturity of fruits (López-Vargas et al. 2018). All IA soils had a similar Cu content but showed a reduction of 41% compared to SBC soil ( $P < 0.05$ ). The increase of Cu in IA.M soil compared to OA.M soil could be due to the supply of these soils by chemical inputs. The iron (Fe) concentration of SBC was identical to that of IA soil and with a decrease of 7.4 and 4.42% respectively, in OA.W and OA.M soils ( $P < 0.05$ ). The concentration of Zn varied according to the nature of sprayed products. The Zn lowest concentration was recorded in OA soils (18.8mg.kg<sup>-1</sup>), representing 48.5% decrease compared to SBC. This could be due to the complexation of free Zn with organic matter (Angelova et al. 2013). In control soil, mancozeb further increased the soil Zn concentration followed by CAL extract ( $P < 0.05$ ). The further increase of Zn to mancozeb plots could be attributed to its Zn as component chemical composition. In general, there was no accumulation of heavy metals in OA soil. This phenomenon could prevent the long-term onset of soil toxicity.

### 3.2 Effects of organic amendment on soil microbial biomass

Microbial biomass in carbon (MBC) was enriched in OA and IA soils than SBC and control soil ( $P < 0.05$ ) (Table 4). These amended soil also had high clay content. In 2007, Kasel and Bennett reported that an increase in soil clay increases soil micropores hence limiting the development of microorganism predators and thus a protective effect on total microbial biomass. The highest MBC value was recorded from OA.M soil with an increase of 5.8% and 42.65%, as compared respectively to IA.M soil, and SBC ( $P < 0.05$ ). High soil microbial biomass often leads to high nutrient availability to crops thus enhancing both the microbial biomass turnover and the degradation of nonmicrobial organic materials (Tu et al. 2006). In the amended soil, MBC vary as a function of the nature of the sprayed products. The MBC content with respect to SBC ( $P < 0.05$ ) increased by 20.27% in IA.W and OA.W soils; 25.16% in OA.CAL soil; 34.3% in IA.CAL and IA.M soils; 42.64% in OA.M soil. The lowest values of microbial biomass in nitrogen (MBN) were recorded in OA.W soil (0.7mg N.kg<sup>-1</sup>) and OA.CAL (0.8mg N.kg<sup>-1</sup>). A five (5) % increase in MBN was observed in OA.M soil as compared to IA.M soil ( $P < 0.05$ ).

### 3.3 Effects of organic amendment on tomato yield

The tomato yield was a function of the amendment (Fig 1). The highest yields (107 to 7.33t/ha) were recorded from OA soils, followed by IA soils with yield values ranging from 60.2 to 8t/ha. Control soils had the lowest yields ( $P<0.05$ ). Tomato yield of OA.M plot was 1.8 fold higher that of IA M plot ( $P<0.05$ ). OA CAL plot increased tomato yield by 21% compared to IA CAL plot ( $P<0.05$ ). Ghorbani et al. (2008) found that cattle manure in Iran did not give a good yield of tomato compared to the use of chemical fertilizers. The highest increase of tomato yield obtained with OA.M in this study might be explained by the application of green manures which reduced soil bulk and increased porosity, nutrient content (Adekiya, 2019). Easily available and excessive nitrogen fertilization from inorganic fertilizers delays maturity and may reduce tomato yield. Delayed maturity results in foliage exposed to potential infection for a longer time, increasing the risk of fruit diseases (Ghorbani et al. 2008). The yield increases with the nature of sprayed products; it was higher when the plants were treated with mancozeb fungicide, followed by CAL extract and finally water ( $P<0.05$ ).

#### 3.4 Main Component Analysis between some indicators of soil and different amendments

The correlation diagram (Fig2) showed that fertility indicators such as P, MBN, TN, and SOM contributed to the formation of the F2 factor and other fertility indicators contributed to the formation of the F1 factor. MBC was strongly correlated with total nitrogen with a correlation coefficient ( $r=0.801$  to  $P<0.05$ ). Partey et al. (2017), who reported that soil treatment with *T. diversifolia* recorded the greatest effect on the increase of mineral N, soil microbial biomass and  $\beta$ -glucosidase activities, obtained similar correlation results. The MBN was negatively correlated with P ( $r= -0.751$   $P<0.05$ ). There were strong correlations between clay and Ca ( $r=0.865$   $P<0.05$ ), clay and cation exchange capacity ( $r=0.845$   $P<0.05$ ), with a very strong correlation between Ca and CEC ( $r=0.932$ ). The yield was correlated with the adsorbent complex (CEC, Ca, clay). Control soils were negatively correlated to tomato yield and the adsorbing complex. Houot and Chaussod (1995) found a positive correlation between microbial biomass and soil carbon content on wheat-beet rotation conducted with different fertilization types and levels. They also noted decreasing biomass values according to the types of fertilization in the following order: farm fertilizer>mineral fertilization> no fertilization.

#### IV. FIGURES AND TABLES

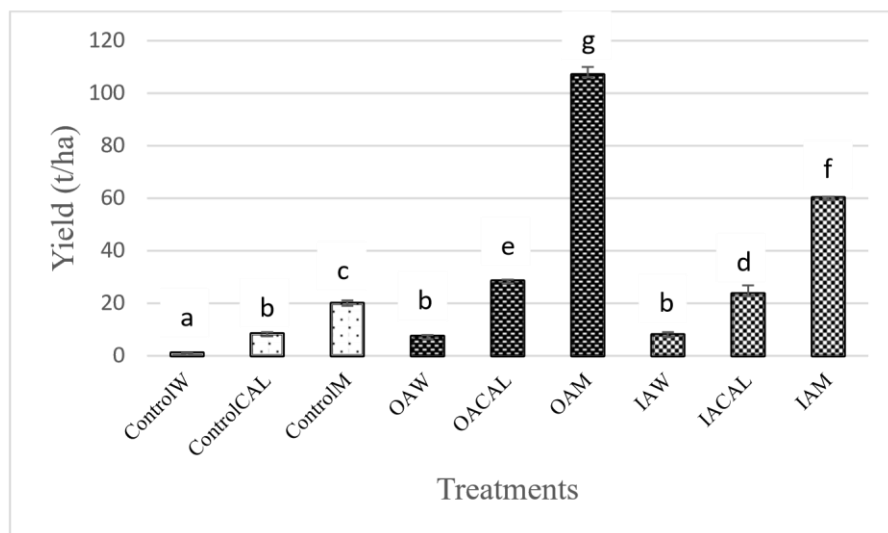


Fig 1: Tomato yield production

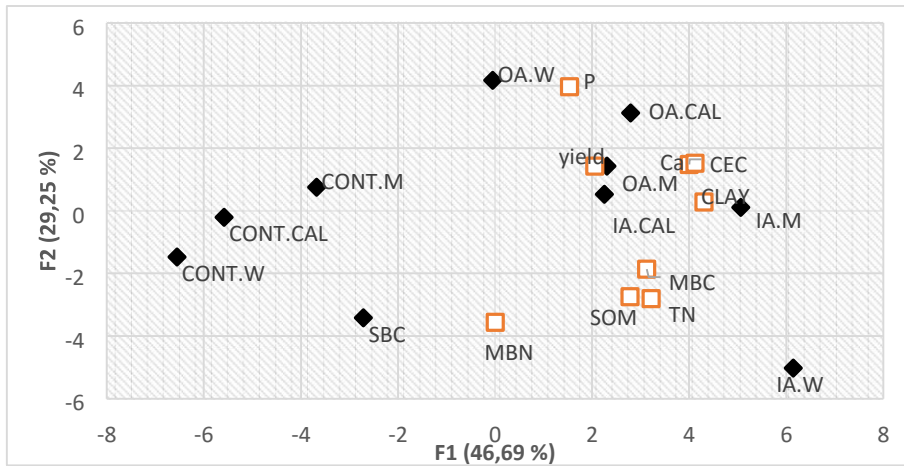


Fig 2: correlation diagram between some soil indicators and different amendments

Table 1: Granulometry of soil collected at the beginning and end of *Lycopersicon esculentum* field cultivation

Variables	Clay (%)	Silt (%)	Salt (%)
SBC	29.66 <sup>a</sup>	52 <sup>d</sup>	18.33 <sup>a</sup>
Control.W	29 <sup>a</sup>	51.66 <sup>d</sup>	19.26 <sup>b</sup>
Control.CAL	29 <sup>a</sup>	51.5 <sup>d</sup>	19.5 <sup>bc</sup>
Control.M	29.66 <sup>a</sup>	51.5 <sup>d</sup>	19.5 <sup>bc</sup>
OA.W	30.33 <sup>ab</sup>	48 <sup>c</sup>	21.5 <sup>c</sup>
OA.CAL	33.66 <sup>c</sup>	46.66 <sup>b</sup>	20.5 <sup>c</sup>
OA.M	32.33 <sup>abc</sup>	46.57 <sup>b</sup>	22.5 <sup>d</sup>
IA.W	33.33 <sup>bc</sup>	45 <sup>a</sup>	22 <sup>d</sup>
IA.CAL	31 <sup>ab</sup>	45.75 <sup>ab</sup>	23.5 <sup>e</sup>
IA.M	33.33 <sup>bc</sup>	45 <sup>a</sup>	21.75 <sup>d</sup>

Numbers followed by different letter notation in the same column are significantly different based on the Student Newman Keuls (SNK) test at the 5% level.

Table 2: Macroelements of soil collected at the beginning and end of *Lycopersicon esculentum* field cultivation

Variables	C:N	OC (%)	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	SOM (%)	TN (g.kg <sup>-1</sup> )
SBC	11±1b	1.37±0.04bc	7.96±1.08c	2.36±0.28a	1.23±0.07d
Control.W	16.75±0.25e	1.24±0.01ab	5.95±0.2ab	2.13±0a	0.74±0a
Control.CAL	14.75±0.75d	1.35±0.1bc	9.71±0.18d	2.3±0.17a	0.9±0bc
Control.M	13.75±0.25cd	1.24±0.01ab	10.53±0.26d	2.13±0a	0.9±0bc
OA.W	14.75±0.25d	1.25±0ab	4.14±0.33a	2.16±0.1a	0.86±0b
OA.CAL	14.25±0.75cd	1.39±0.08c	15.54±0.65f	2.39±0.14a	0.96±0.01b
OA.M	12.75±0.25c	1.28±0.03abc	10.76±0.05d	2.2±0.04a	0.99±0.01c
IA.W	11.5±0.5c	2.18±0.05e	6.57±0.22b	3.75±0.07c	1.92±0.05g
IA.CAL	8±1a	1.18±0.07a	11.79±0.47e	2.03±0.11a	1.44±0.03f
IA.M	13.25±1.25cd	1.69±0.05d	11.98±0.23e	2.92±0.16b	1.31±0.08e

Numbers followed by different letter notation in the same row are significantly different based on the Student Newman Keuls (SNK) test at the 5% level.

Table 3: Mineral elements of soil collected at the beginning and end of  
*Lycopersicon esculentum* field cultivation

Variab les	SBC	Control. W	Control. CAL	Control .M	OA.W	OA.CA L	OA.M	IA.W	IA.CA L	IA.M
<b>Ca<sup>++</sup></b> ( <b>cmol<sup>(+)</sup></b> ) <b>.kg<sup>-1</sup></b> )	12.18±0 .52 <sup>b</sup>	11.41±0. 22 <sup>ab</sup>	10.64±0. 34 <sup>a</sup>	12.47±1 .49 <sup>b</sup>	15.88±0 .12 <sup>c</sup>	16.07±0 .26 <sup>c</sup>	15.63±0 .1 <sup>c</sup>	15.77±0 .34 <sup>c</sup>	15.8±0. 01 <sup>c</sup>	15.81±0 <sup>c</sup>
<b>CEC</b> ( <b>cmol<sup>(+)</sup></b> ) <b>.kg<sup>-1</sup></b> )	30.81±1 .53 <sup>a</sup>	33.61±1. 13 <sup>b</sup>	34.3±0.0 2 <sup>b</sup>	38.62±3 .37 <sup>c</sup>	43.5±0. 24 <sup>d</sup>	45.68±0 .89 <sup>d</sup>	44.1±0. 22 <sup>d</sup>	46.7±0. 76 <sup>d</sup>	46.52±0 <sup>d</sup>	46.03±0 .63 <sup>d</sup>
<b>pH</b>	6.8±0.6 2 <sup>a</sup>	6.55±0.0 5 <sup>a</sup>	7.05±0.0 5 <sup>a</sup>	6.75±0. 25 <sup>a</sup>	6.52±0. 02 <sup>a</sup>	6.62±0. 07 <sup>a</sup>	6.57±0. 02 <sup>a</sup>	6.67±0. 27 <sup>a</sup>	6.8±0.1 5 <sup>a</sup>	6.8±0.1 <sup>a</sup>
<b>Cu</b> ( <b>mg.kg<sup>-1</sup></b> )	20.53±0 .38 <sup>d</sup>	11.64±0. 04 <sup>c</sup>	11.67±0. 17 <sup>c</sup>	12.03±0 .1 <sup>c</sup>	9.88±0. 18 <sup>a</sup>	11.06±0 .09 <sup>b</sup>	10.12±0 .18 <sup>a</sup>	12.04±0 .36 <sup>c</sup>	12.04±0 .09 <sup>c</sup>	12.08±0 .2 <sup>c</sup>
<b>Fe</b> ( <b>mg.kg<sup>-1</sup></b> )	84.96±0 .78 <sup>d</sup>	83.8±0.2 <sup>d</sup>	77±0.1 <sup>a</sup>	80.72±0 .22 <sup>c</sup>	78.67±1 .27 <sup>b</sup>	84.64±0 .74 <sup>d</sup>	81.2±1. 7 <sup>c</sup>	83.08±0 .17 <sup>d</sup>	83.59±0 .63 <sup>d</sup>	83.7±0. 29 <sup>d</sup>
<b>Zn</b> ( <b>mg.kg<sup>-1</sup></b> )	28.98±0 .69 <sup>e</sup>	19.89±0 <sup>b</sup>	21.35±0. 29 <sup>c</sup>	22.94±0 .5 <sup>d</sup>	17.79±0 .14 <sup>a</sup>	19.35±0 .05 <sup>b</sup>	19.36±0 .56 <sup>b</sup>	21.95±0 .07 <sup>c</sup>	23.63±0 .01 <sup>d</sup>	22.9±0. 36 <sup>d</sup>

Numbers followed by different letter notation in the same row are significantly different based on the Student Newman Keuls (SNK) test at the 5% level  
Table 4: microflora of soil collected at the beginning and end of *Lycopersicon esculentum* field cultivation

Variables	MBC (mg.kg <sup>-1</sup> )	MBN (mg.kg <sup>-1</sup> )
<b>SBC</b>	440.36±0.93 <sup>a</sup>	0.9±0 <sup>e</sup>
<b>Control.W</b>	455.37±0.42 <sup>a</sup>	0.89±0.01 <sup>e</sup>
<b>Control.CAL</b>	478.21±5.95 <sup>b</sup>	0.82±0 <sup>c</sup>
<b>Control.M</b>	462.88±8.17 <sup>a</sup>	0.85±0 <sup>d</sup>
<b>OA.W</b>	534.24±5.64 <sup>c</sup>	0.7±0 <sup>a</sup>
<b>OA.CAL</b>	551.17±3.75 <sup>d</sup>	0.8±0.01 <sup>b</sup>
<b>OA.M</b>	628.16±5.63 <sup>f</sup>	0.89±0.02 <sup>e</sup>
<b>IA.W</b>	524.85±3.76 <sup>c</sup>	0.9±0.01 <sup>e</sup>
<b>IA.CAL</b>	586.83±3.1 <sup>e</sup>	0.85±0.02 <sup>d</sup>
<b>IA.M</b>	596.31±13.08 <sup>e</sup>	0.85±0 <sup>d</sup>

Numbers followed by different letter notation in the same row are significantly different based on the Student Newman Keuls (SNK) test at the 5% level

## V. CONCLUSION

From this study, it established that organic amendment combined with treatment of tomato plants with extract of *Callistemon Citrinus* improved soil quality by increasing available phosphorus, calcium, cation exchange capacity, and by reducing soil heavy metal accumulation. Therefore, it constitutes an environment eco-friendly integrated strategy for soil fertilization. Also, the combination of organic amendment and chemical pesticide (mancozeb) spraying improved MBC concentration and tomato yield. This combination could be a solution in crop production management. Whereas, low concentration of organic amendment did not increase SOM content and thus there need for further investigation to establish an optimum concentration of organic inputs.

## ACKNOWLEDGMENTS

Development and Agricultural Research Institute (IRAD) Yaoundé for field activities, and the determination of microorganisms of microflora;

Research Unity of Soil Analysis and Environmental Chemistry (RUSAEC) of the University of Dschang for physicochemical analysis and microbial biomass analysis.

## REFERENCES

- [1] Adegunloye, D.V., Adetuyi, F.C., Akinyosoye, F.A. and Doyeni, M.O. (2007) Microbial analysis of compost using cow dung as a booster. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 506-510. |
  - [2] Adekiya, A.O. (2018). Legume mulch materials and poultry manure affect soil properties, and growth and fruit yield of tomato. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 83 (2), 161-167.
  - [3] Adekiya, A. O. (2019). Green manures and poultry feather effects on soil characteristics, growth, yield and mineral contents of tomato. *Scientia Horticulturae*, 257, 108721.
  - [4] Aghofack-Nguemezi, J. and Schwab, W. (2014). Differential accumulation of flavonoids by tomato (*Solanum Lycopersicum*) fruits tissues during maturation and ripening. *Journal of Applied Bioscience*, 84, 7674-7681.
  - [5] Aguyoh, J.N., Audi, W., Saidi, M. and Gao-Qiong, L. (2010). Growth, yield and quality response of watermelon (*Citrullus lanatus* CV. Crimson Sweet) subjected to different levels of tithonia manure. *International Journal of Science and Nature*, 1(1), 7-11.
  - [6] Angelova, V.R., Akova, V.I., Artinova, N.S. and Ivanov, K.I. (2013). The effect of organic amendment on soil chemical characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, 958-971.
  - [7] Babajide, P.A., Olabode, O.S., Akanbi, W.B., Olatunji, O.O. and Ewetola, E.A. (2008). Influence of composted Tithonia
- ISSN: 2456-1878
- mineral fertilizer on soil physic properties and performance of Tomato (*Lycopersicon lycopersicum*). *Research Journal of Agronomy*, 2, 101-106. ISSN 2071-7024
  - [8] Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B. and Kimetu, J. (2008): Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94, 13-25.
  - [9] Bray, R.H. and Kurtz, L.T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
  - [10] Chaussod, R., Houot, S., Guiraud, G. and Hetier, L.M. "size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils: laboratory and field measurements" in D.S. JENKINSON and KA SMITH editions, 1988, 312-326.
  - [11] Crespo, G., Ruiz, T.E. and Álvarez, J. (2011). Effect of green manure from Tithonia (*T. diversifolia*) on the establishment and production of forage of *P. purpureum* cv. Cuba CT-169 and on some soil properties. *Cuban Journal of Agriculture Science*, 45, 79-82.
  - [12] Dakole, D.C., Nguetack, J., Dongmo, L.B.J., Galani, Y.J.H., Azah, U.R., Somda, I and Amvam Z.P.H. (2016). Antifungal potential of essential oils, aqueous and ethanol extracts of thirteen plants against *Fusarium oxysporum* f. sp *Lycopersici* and *phytophthora infestans* (Mont.) de Bary as major tomato pathogens in Cameroon. *International journal of current Research*, 19(2), 128-145.
  - [13] Diacono, M. and Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility—A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 401-422.
  - [14] Dieye, T., Assigbetse, K., Diedhiou, I., Sembene, M., Dieng, A.L., Gueye, M. and Masse, D. (2016). The effect of *Jatropha curcas* L. leaf litter decomposition on soil carbon and nitrogen status and bacterial community structure (Senegal). *Journal of Soil Sciences and Environment*, 7, 32-44.
  - [15] Fairhurst, T. Africa Soil Health Consortium. Handbook for integrated soil fertility management edition, (2012).
  - [16] FAOSTAT. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [https:// faostat3.fao.org/download/Q/QC/E](https://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E). Consulted on 10-9-2019.
  - [17] Galani, Y.J.H., Nguetack, J., Dakole, D.C., Fotio, D., Petchayo, T.S., Fouelefack F.R. and Amvam, Z.P.H. (2013). Antifungal potential and phytochemical analysis of extracts from seven Cameroonian plants against late blight pathogen *Phytophthora infestans*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2 (5), 140-154.



- [18] Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahan, M. and Asadi, G.A. (2008). Impact of organic amendments and compost extracts on tomato production and storability in agroecological systems. *Agronomy for. Sustainable Development*, 28, 307-311. DOI: 10.1051/agro:2008003
- [19] Goufo, P., Fontem, D.A. and Ngnokam, D (2010). Evaluation of plant extracts for tomato late blight control in Cameroon. *N Z Journal of Crop and Horticultural Science*, 38 (3), 171176.
- [20] Hafifah, S., Maghfoer, M.D. and Prasetya, B. (2016). The potential of *Tithonia diversifolia* green manure for improving soil quality for cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Brotrytis* L.). *Journal of Degraded and Mining Land Management*, <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.52.11>
- [21] Houot, S. and Chaussod, R. (1995). Impact of Agricultural Practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and Fertility Soil*, 19,309-316.
- [22] Hubert, G. and Schaub, C. (2011). Soil fertilization. The importance of organic matter. Chamber of Agriculture. BasRhin: Environment-Innovation Department 46
- [23] Jama, B., Buresh, C.A., Niang, R.J., Gachengo, A., Nziguheba, C. and Amadalo, B. (2000). *Tithonia diversifolia* as green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems*, 49, 201-221.
- [24] Kagale, S., Marimuthu, T., Thayumanavan, B., Nandakumar, R. and Samiyappan, R. (2004). Antimicrobial activity and induction of systemic resistance in rice by leaf extract of *Datura metel* against *Rhizoctonia solani* and *Xoo*. *Physiology Molecular Plant Pathology*, 65, 91-100.
- [25] Kasel, S. and Bennett, L.T. (2007). Land-use history, forest conversion, and soil organic carbon in pine plantations and native forests of south-eastern Australia. *Geoderma*, 137, 401-413.
- [26] Komakech, A.J., Banadda, N.E., Gebresenbet, G. and Vinnerås, B. (2014). Maps of animal urban agriculture in Kampala City. *Agronomy for. Sustainable Development*, 34, 493-500.
- [27] Konje, C.N., Abdulai, A.N., Tange, D.A., Nsobinyui, D., Tarla, D.N. and Tita, M.A. (2019). Identification and management of pests and diseases of garden crops in Santa Cameroon. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 18, 1-9.
- [28] Lopez-Vargas, E.R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Romenus, K.A., Fuente, M.C., Benavides-Mendoza, A. and Juarez-Maldonado, A. (2018). Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Science*, 8, 1020 1.
- [29] Mekam, P.N., Martini, S., Nguéfack, J., Tagliacuzzi, D., Mangoumou, G.N. and Stefani, E. (2019). The activity of extracts from three tropical plants towards fungi pathogenic to tomato (*Solanum lycopersicum*). *Phytopathologia Mediterranea*, 58(3), 57-586.
- [30] Monkiedje, A., Spitteller, M., Fotio, D. and Sukul, P. (2006). The effect of land use on soil health indicators in peri-urban agriculture in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Journal of Environment and Quality*, 63, 973-975.
- [31] Ndonkeu, M.G., Nguéfack, J., Galani, Y.J.H., Petchayo, T.S. and Amvam, Z.P.H. (2013). Antifungal potential of extracts from three plants against two major pathogens of celery (*Apium graveolens* L.) in Cameroon. *International Journal of Current Science*, 5, 4091-4096.
- [32] Nguéfack, J., Wulff, E.G., Dongmo, L.J.B., Fouelefack, F.R., Mbo, J. and Torp, J. (2013). Effect of plant extracts and essential oil on the control of brown spot disease, tillering, number of panicles and yield increase in rice. *European Journal of Plant Pathology*, 137, 871-882.
- [33] Olanya, O.M. and Larkin, R.P. (2006). Efficacy of essential oils and biopesticides on *Phytophthora infestans* suppression
- ISSN: 2456-1878
- in laboratory and growth chamber studies. *Biocontrol Science and Technology*, 16(9), 901-917.
- [34] Partey, S.T., Zougmore, R.B., Thevathasan, N.V. and Preziosi, R.F. (2017). N availability, soil microbial biomass and  $\beta$ -glucosidase activity as influenced by the decomposition of nine plant residues during soil fertility improvement in Ghana. *Pedosphere*, ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P doi:10.1016/S1002-0160(17)60433-8.
- [35] Rivaie, A.A., Loganathan, P., Graham, J.D., Tillman, R.W and Payn, T.W. (2008). Effect of phosphate rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plantavailability and downward movement in two volcanic as soils under Pinus Radiataplantations in New Zealand. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82, 75-88.
- [36] Tu, C., Jean, B., Ristaino, J.B. and Hu, S. (2006). Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 247-255.
- [37] Walkley, A. and Black, C.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- [38] Wu, J., Joergenson, R.G., Pommerening, B., Chaussod, R. and Brookes, P.C. (1990). Measurement of soil microbial biomass Carbon by fumigation-extraction - An automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, 1167-1169.
- [39] Zinkakuba, L.V., Mwanyikag, G., Ntwenga, J.E. and James, A. (2019). Pesticide regulations and their

malpractice implications on food and environment  
safety. *Food Science and Technology*, 5, 1601544  
[40] Zwolak, A., Sarzyńska, E.S.  
and Stawczyk, K.  
<https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.52.11>

374

(2019).Sources of soil pollution by heavy metals and  
their accumulation in vegetables: a review. *Water Air  
and Soil  
Pollution*, 230(164), 1-9