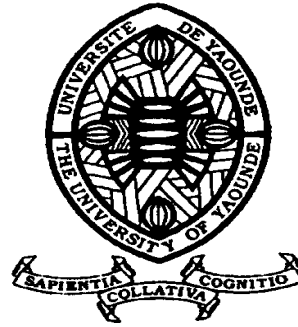


REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET
PHYSIOLOGIE VEGETALES



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF PLANT
BIOLOGY

**Effets de la salinité et des fertilisants sur les
paramètres physiologiques, biochimiques et
agronomiques chez trois variétés de poivron
(*Capsicum annum* L.) cultivées dans la zone
littorale du Cameroun**

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

Par : **HAND Mathias Julien**
Master ès Sciences

Sous la direction de
TAFFOUO Victor Désiré
Maître de Conférences
YOUMBI Emmanuel
Professeur

Année Académique : 2018





DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES
DEPARTEMENT OF PLANT BIOLOGY


ATTESTATION DE CORRECTION

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse de **Doctorat/Ph.D en Biologie et Physiologie Végétales**, soutenue le **lundi 26 novembre 2018** par Monsieur **HAND Mathias Julien**, Master *ès* Science, Matricule **10S1060**, intitulée « **Effets de la salinité et des fertilisants sur les paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques chez trois variétés de poivron (*Capsicum annuum* L.) cultivées dans la zone littorale du Cameroun** », certifions qu'il a effectué les corrections conformément aux remarques et recommandations du jury.

En foi de quoi, nous lui délivrons cette attestation de correction pour servir et valoir ce que de droit. /-

Fonction	Nom et grade	Institution	Signatures
Président	BELL Joseph Martin (Professeur)	Université de Yaoundé I	
Rapporteurs	YOUMBI Emmanuel (Professeur)	Université de Yaoundé I	
	TAFFOUO Victor Désiré (Maître de Conférences)	Université de Douala	
Membres	NIEMENAK Nicolas (Maître de Conférences)	Université de Bamenda	
	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Léonard (Maître de Conférences)	Université de Yaoundé I	
	FONKOU Théophile (Maître de Conférences)	Université de Dschang	

LISTE PROTOCOLAIRE

Université de Yaoundé I Faculté des Sciences Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		The University of Yaoundé I Faculty of Science Division of Programming and follow-up of Academic Affairs
LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS		LIST OF PERMENENT TEACHING STAFF

Année académique 2017/2018 (Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION : 31 Janvier 2018

DOYEN : AWONO ONANA Charles, Professeur

VICE-DOYEN / DPSAA : DONGO Etienne, Professeur

VICE-DOYEN / DSSE : OBEN Julius ENYONG, Professeur

VICE-DOYEN / DRC : MBAZE MEVA' A Luc Léonard, Maître de Conférences

Chef Division Affaires Académiques, Scolarité et Recherche : ABOSSOLO Monique,
Chargée de Cours

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

1-Département de Biochimie (BC) (40)			
N°	Noms et Prénoms	Grade	Observations
1	BENG née NINTCHOM PENLAP	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	MBACHAM Wilfried	Professeur	Chef Dpt/FMSB
4	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
5	OBEN Julius ENYONG	Professeur	Vice-Doyen DSSE/Coord. CRFD-STG
6	BIGOGA DIAGA Jude	Maître de Conférences	En poste
7	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
8	FOKOU Elie	Maître de Conférences	En poste
9	KANSCI Germain	Maître de Conférences	En poste
10	MINKA Samuel	Maître de Conférences	En poste
11	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
12	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
13	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
14	WAKAM née NANA Louise	Maître de Conférences	En poste
15	BELINGA née NDOYE FOE Marie	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
16	ACHU Merci BIH	Chargée de Cours	En poste
17	ATOGHO Barbara Mma	Chargée de Cours	En poste
18	DEMMANO Gustave	Chargé de Cours	En poste
19	DJOKAM TAMO Rosine	Chargé de Cours	En poste
20	DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline	Chargé de Cours	En poste
21	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
22	EFFA ONOMO Pierre	Chargé de Cours	En poste
23	EVEHE BEBANDOUE Marie – Solange	Chargée de Cours	En disponibilité
24	EWANE Cécile Anne	Chargée de Cours	En poste

25	KOTUE TAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
26	MBONG Angie MOUGANDE Mary	Chargée de Cours	En poste
27	MOFOR née TEUGWA Clautilde	Chargée de Cours	IA4/MINESUP
28	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
29	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Chargée de Cours	En poste
30	AKINDEH MBUH NJI	Assistant	En poste
31	BEBEE FADIMATOU	Assistante	En poste
32	BEBOY EDJENGUELE Sara N.	Assistante	En poste
33	DAKOLE DABOY Charles	Assistant	En poste
34	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Assistant	En poste
35	FONKOUA Martin	Assistant	En poste
36	LUNGA Paul KAILAH	Assistant	En poste
37	MANANGA Marlyse Joséphine	Assistante	En poste
38	MBOUCHE FANMOE Marcelline Joëlle	Assistante	En poste
39	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Assistant	En poste
40	TIENTCHEU DJOKAM Léopold	Assistant	En poste
Département de BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (B.P.A.) (44)			
1	BILONG BILONG Charles Félix	Professeur	Chef de Département
2	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
3	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
4	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	en poste
5	MIMPFOUNDI REMY	Professeur	En poste
6	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
7	NJOKOU Flobert	Professeur	En Poste
8	NOLA Moïse	Professeur	En poste
9	TAN Paul Vernyuy	Professeur	En poste
10	TCHUEM TCHUENTE Louis	Professeur	Coord. Progr. MINSANTE
11	AJEAGAH Gidéon AGHAINDOUM	Maître de Conférences	C.S. D.P.E.R/FS
12	DJIETO Lordon Champlain	Maître de Conférences	En poste
13	DZEUFIET DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
14	ESSOMBA née NTSAMA MBALLA	Maître de Conférences	VDRC/Chef Dépt FMSB
15	FOTO MENBOHAN Samuel	Maître de Conférences	En poste
16	KAMGANG René	Maître de Conférences	C.E. MINRESI
17	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
18	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
19	MONY NTONE Ruth	Maître de Conférences	En poste
20	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Maître de Conférences	En poste
21	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
22	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
23	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
24	BILANDA Danielle Claude	Chargée de Cours	En poste
25	DJIOGUE Séfirin	Chargé de Cours	En poste
26	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
27	JATSA MEGAPTCHE Hermine	Chargée de Cours	En poste
28	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste

29	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
30	MOUGANG NGAMENI Luciane	Chargée de Cours	En poste
31	LEKEUFACK FOLEFACK Guy Benoît	Chargé de Cours	En poste
32	NGOUATEU KENFACK Omer BEBE	Chargé de Cours	En poste
33	NGUEGUIM TSOFACK Florence	Chargée de Cours	En poste
34	NGUEMBOCK	Chargé de Cours	En poste
35	NJUA Clarisse YAFI	Chargé de Cours	En poste
36	TADU Zéphirin	Chargé de Cours	En poste
37	TOMBI Jeannette	Chargée de Cours	En poste
38	YEDE	Chargé de Cours	En poste
39	ETEME ENAMA Serge	Assistant	En poste
40	KANDEDA KAVAYE Antoine	Assistant	En poste
41	KOGA MANG'Dobara	Assistant	En poste
42	METCHI DONGFACK Mireille Flore	Assistante	En poste
43	NOAH E. O. Vivien	Assistant	En poste
44	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
3-DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES (B. P. V.) (27)			
1	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
2	AMBANG Zachée	Professeur	CD A/ASR-UYII
3	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
4	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
5	DJOCGOUE Pierre François	Maître de Conférences	En poste
6	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Maître de Conférences	En poste
7	MBOLO Marie.	Maître de Conférences	En poste
8	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	En poste
9	ZAPFACK Louis	Maître de Conférences	En poste
10	ANGONI Hyacinthe	Chargé de Cours	En poste
11	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
12	MAHBOU SOMO TOUKAM Gabriel	Chargé de Cours	En poste
13	MALLA Armand William	Maître de Conférences	En poste
14	MBARGA BINDZI Marie Alain.	Chargé de Cours	Inspecteur académ. N°1 MINESUP
15	NGALLE Hermine BILLE	Chargé de Cours	Coordo. Programme MINFOF
16	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Chargé de Cours	En poste
17	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Léonard	Maître de Conférences	En poste
18	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
19	NSOM ZAMO Annie Claude ép. Pial	Chargée de Cours	Expert national./UNESCO
20	ONANA Jean Michel	Chargé de Cours	En poste
21	TONFACK Libert Brice	Chargé de Cours	En poste
22	TSOATA Esaïe	Chargé de Cours	En poste
23	DJEUANI Astride Carole	Assistante	En poste
24	GONMADGE Christelle	Assistante	En poste

25	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Assistante	En poste
26	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Assistante	En poste
27	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Assistante	En poste
4-DEPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (C.I.) (35)			
1	KETCHA MBADCAM Joseph	Professeur	Chef de Département
2	NDIFON Peter TEKE	Professeur	CT MINRESI
3	NGAMENI Emmanuel	Professeur	Doyen/ UDS
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	Directeur Cabinet PM
5	LAMINSI Samuel	Professeur	En poste
6	MELO née CHINJE Uphie F.	Professeur	Recteur Université de N'Gaoundéré
7	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	Insp Génér.MINPMEA
8	NANSEU Charles Péguy	Professeur	En poste
9	NENWA Justin	Professeur	En poste
10	BABALE DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	En poste
11	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
12	ELIMBI Antoine	Maître de Conférences	En poste
13	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
14	NDIKONTAR Maurice KOR	Maître de Conférences	Vice-Doyen/UBda
15	NGOMO Horace MANGA	Maître de Conférences	S.G. MINESUP
16	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
17	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
18	CHEUMANI YONA Arnaud	Chargé de Cours	En poste
19	EMADACK Alphonse	Chargé de Cours	En poste
20	GWET Simon – Pierre	Chargé de Cours	En poste
21	KAMGANG YOUBI Georges	Chargé de Cours	En poste
22	KEUMEGNE MBOUGUEM Jean Claude	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO Gustave	Chargé de Cours	. En poste
24	MBEY Jean Aimé	Chargé de Cours	En poste
25	NDI Julius NSAMI	Chargé de Cours	En poste
26	NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	En poste
27	NJIOMOU Chantale épouse DJANGANG	Chargé de Cours	En poste
28	NJOYA Dayirou	Chargé de Cours	En poste
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
30	PABOUDAM GBAMBIE Awaou	Chargé de Cours	En poste
31	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
32	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Assistant	En poste
33	KOUOTOU DAOUDA	Assistant	En poste
34	MAKON Thomas Beauregar	Assistant	En poste
35	NCHIMI NONO Katia	Assistante	En poste
5-DEPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (C.O.) (33)			
1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/ DPSAA
2	GHOGOMU TIH ROBERT RALPH	Professeur	Directeur I.B.A. Foumban
3	MBAFOR Joseph	Professeur	En poste
4	NGADJUI TCHALEU B.	Professeur	Chef de dépt FMBS

5	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de dépt. UDs
6	NKENGFACK Augustin Ephraïm	Professeur	Chef de Département
7	NYASSE Barthélemy	Professeur	Vice- Recteur UBda
8	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	Directeur au MINESUP
9	WANDJI Jean	Professeur	En poste
10	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	CS Rectorat/CD D.E.P.E.
11	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
14	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
15	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
16	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	C.T. UYII, Vice-recteur
17	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
18	TCHUENDEM KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
19	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
20	AMBASSA Pantaleon	Chargé de Cours	En poste
21	EYONG Kenneth OBEN	Chargé de Cours	En poste
22	FOTSO WABO Ghislain	Chargé de Cours	En poste
23	KAMTO Eutrophe Ledoux	Chargé de Cours	En poste
24	MKOUNGA Pierre	Chargé de Cours	En poste
25	NGO MBING Joséphine	Chargée de Cours	En poste
26	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Chargé de Cours	En poste
27	NOTE LOUGBOT Olivier	Chargé de Cours	En poste
28	OUAHOUE WACHE Blandine Marlyse	Chargée de Cours	En poste
29	TABOPDA KUATE Turibio	Chargé de Cours	En poste
30	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
31	ZONDEGOUNBA Ernestine	Chargée de Cours	En poste
32	NGINTEDO Dominique	Assistant	En poste
33	NGOMO Orléans	Assistant	En poste
6-DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (28)			
1	TCHUENTE Maurice	Professeur	PCA UB
2	FOTSO Pauline Laure	Professeur	Député à l'Assemblée Nationale
3	FOUDA NDJODO Marcel	Professeur	IGA-MINESUP/Chef Dpt ENS
4	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	Chef de Département/CD MINFOPRA
5	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
6	CHEDOM FOTSO Donatien	Chargé de Cours	En poste
7	DJAM Xaviera Youth KIMBI	Chargé de Cours	En poste
8	KOUOKAM KOUOKAM Etienne Appolin	Chargé de Cours	En poste
9	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
10	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
11	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste

12	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
13	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
14	ABESSOLO ALO'O Gislain	Assistant	En poste
15	AMINOOU Halilou	Assistant	En poste
16	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
17	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
18	EBELE Serge	Assistant	En poste
19	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
20	KAMDEM KENGNE Christiane	Assistant	En poste
21	KAMGUEU Patrick Olivier	Assistant	En poste
22	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
23	MAKEMBE S. Fritz Oswald	Assistant	En poste
24	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	MONTHÉ DJIADEU Valéry Martial	Assistant	En poste
26	NKONDOCK MI BAHANACK Nicolas	Assistant	En poste
27	OLE OLE David Claude	Assistant	En poste
28	TAPAMO KENFACK Hyppolite	Assistant	En poste
7-DEPARTEMENT DE MATHEMATIQUES (MA) (31)			
1	BEKOLLE David	Professeur	Vice-Recteur UN
2	BITJONG NDOMBOL	Professeur	En poste
3	DOSSA COSSY Marcel	Professeur	En poste
4	AYISSI Raoul Domingo	Maître de Conférences	Chef de Département
5	EMVUDU WONO Yves S.	Maître de Conférences	Chef Division MINESUP
6	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
7	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	En poste
8	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	En poste
9	BOGSO Antoine M	Chargé de Cours	En poste
10	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
11	DOUANLA YONTA Hermann	Chargé de Cours	En poste
12	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
13	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
14	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
15	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
16	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
17	MBEHOU Mohamed	Chargé de Cours	En poste
18	MBELE BEDIMA Martin	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
20	NGUEFACK Bertrand	Chargé de Cours	En poste
21	NGUIMTSA Charles	Chargé de Cours	En poste
22	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
23	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
24	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
25	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
26	TIAYA TSAGUE N. Anne- Marie	Chargée de Cours	En poste
27	DJIADEU NGAHA Michel	Assistant	En poste
28	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste

29	NIMPA PEFOUKEU Romain	Assistant	En poste
30	TANG AHANDA Barnabé	Assistant	Chef Serv. MINPLAMAT
31	TETSADJIO TCHILEPECK Mesmin Erick	Assistant	En poste
8-DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MB) (13)			
1	ETOA François-Xavier	Professeur	Recteur UD/Chef de Département
2	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
3	ESSIA NGANG Jean Justin	Maître de Conférences	Chef de Divi. recherche IMPM
4	NYEGUE Maximilienne Ascension	Maître de Conférences	En poste
5	NWAGA Dieudonné M.	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	ENO Anna Arey	Chargée de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain Gabriel	Chargé de Cours	En poste
11	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
12	NJIKI BIKOÏ Jacky	Assistante	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Assistant	En poste
9-DEPARTEMENT DE PHYSIQUE (PH) (41)			
1	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
2	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
3	NJOMO Donatien	Professeur	En poste
4	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen/Ubda
5	WOAFO Paul	Professeur	En poste
6	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
7	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
8	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
9	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	Dir. Gén. B. MEKIM
10	BEN- BOLIE Germain Hubert	Maître de Conférences	En poste
11	DJUIDJE KENMOE Gemaine épouse ALOYEM KAZE	Maître de Conférences	En poste
12	EKOBENA FOUA Henri Paul	Maître de Conférences	Chef Dépt UN
13	EYEBE FOUA Jean Sire	Maître de Conférences	En poste
14	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
15	MBANE BIOUELE	Maître de Conférences	En poste
16	NANA NBENDJO Blaise	Maître de Conférences	En poste
17	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Maître de Conférences	Chef Serv. MINRESI
18	NOUAYOU Robert	Maître de Conférences	En poste
19	OUMAROU BOUBA	Maître de Conférences	En poste
20	SAIDOU	Maître de Conférences	En poste
21	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
22	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
23	BODO Bernard	Chargé de Cours	En poste
24	ENYEGUE A NYAM Françoise épouse BELINGA	Chargé de Cours	En poste
25	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste

26	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	En Poste
27	HONA Jacques	Chargé de Cours	En poste
28	MBINACK Clément	Chargé de Cours	En Poste
29	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
30	NDOP Joseph	Chargé de Cours	En poste
31	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	Dir.acad/Univ.Int.Etat CamCongo
32	SIMO Elie	Chargé de Cours	En poste
33	TABI Conrad Bertrand	Chargé de Cours	En poste
34	TCHOFFO Fidèle	Chargé de Cours	En poste
35	VONDOU DERBETINI Appolinaire	Chargé de Cours	En Poste
36	WAKATA née BEYA Annie	Chargée de Cours	Chef Serv. MINESUP
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
38	ABDOURAHIMI	Assistant	En Poste
39	CHAMANI Roméo	Assistant	En Poste
40	MEL'I Jorelle Larissa	Assistante	En Poste
41	MVOGO Alain	Assistant	En Poste
10- DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (S.T.) (43)			
1	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
2	BITOM Dieudonné Lucien	Professeur	Doyen / UN
3	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	Chef de Département
4	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Maître de Conférences	En poste
5	KAMGANG Pierre	Maître de Conférences	En poste
6	MEDJO EKO Robert	Maître de Conférences	Dir/IUT Bois Mbalmayo
7	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	CT/MINMIDT
8	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Maître de Conférences	En poste
9	NGOS III Simon	Maître de Conférences	D.A.A.C./UM
10	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
11	NKOUMBOU Charles	Maître de Conférences	En poste
12	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
13	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	Chef Cellule MINTP
14	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Chargée de Cours	Chef DAASR
15	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	Barage Memve'ele
16	BISSO Dieudonné	Chargé de Cours	Directeur Projet Barage Memve'ele
17	EKOMANE Emile	Chargé de Cours	Délégué Régional/MINMIDT
18	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
19	EYONG John TAKEM	Chargé de Cours	En poste
20	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	En poste
21	GANNO Sylvestre	Chargé de Cours	En poste
22	GHOGOMU Richard TANWI	Chargé de Cours	Chef de Dépt IMIP/Maroua
23	LAMILLEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
24	MBIDA YEM	Chargé de Cours	CS/LABOGENIE
25	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	Chef de Dépt IMIP/Maroua
26	MOUAFO Lucas	Chargé de Cours	En poste

27	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
28	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
29	NGUEUTCHOUA Gabriel	Chargé de Cours	CEA MINRESI
30	NJOM Bernard de Lattre	Chargé de Cours	En poste
31	NYECK Bruno	Chargé de Cours	En poste
32	ONANA Vincent	Chargé de Cours	En poste
33	TCHAKOUNTE Jacqueline ép. NUMBEM	Chargée de cours	CEA MINRESI
34	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Chargé de Cours	En poste
35	ZO'O ZAME Philémon	Chargé de Cours	S.G. MINTP
36	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste
37	ANABA ONANA Achille Basile	Assistant	En Poste
38	BINELI BETSI Thierry Olivier	Assistant	En Poste
39	METANG Victor	Assistant	En poste
40	NOMO NEGUE Emmanuel	Assistant	En poste
41	SABABA Elisé	Assistante	En Poste
42	TCHAPTCHET TCHATO De Pesquidoux I	Assistant	En poste
43	TEHNA Nathanaël	Assistant	CS/ MINMIDT

Répartition chiffrée des enseignants permanents par Département

Département	Nombre d'enseignants				
	Pr	MC	CC	ASS	Total
BC	5 (1)	10 (4)	14 (9)	11 (5)	40 (19)
BPA	10 (0)	10 (3)	18 (7)	6 (1)	44 (11)
BPV	3 (0)	6 (1)	13 (3)	5 (5)	27 (9)
C.I.	9 (1)	7 (0)	15 (3)	4 (2)	35 (6)
C.O.	9 (0)	10 (3)	12 (3)	2 (0)	33 (6)
IN	4 (1)	1 (0)	8 (0)	17 (4)	30 (5)
MA	3 (0)	4 (0)	19 (1)	7(0)	33 (1)
MB	1 (0)	6 (2)	4 (1)	2 (0)	13 (3)
PH	8 (0)	14 (1)	15 (3)	4 (1)	41 (5)
ST	3 (0)	10 (1)	23 (4)	7 (0)	43 (5)
Total	55 (3)	78 (15)	141 (34)	65 (18)	339 (70)

Soit un total de 340 (70) dont :

	- Professeurs	55 (3)
	Maîtres de Conférences	78 (15)
-	Chargés de Cours	141 (34)
	-Assistants	65 (18)
	() = Nombre de femmes	

Le Doyen de la Faculté des Sciences

DEDICACE

A mon père HAND HAND pour son soutien

A ma mère Ngo NTAMAK Ernestine

A ma fille HAND Ernestine, mon fils KAMGANG et à mon épouse Ngo

NYEMECK Jeanne Léocadie

REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse de Doctorat/Ph.D a été conduit dans quatre laboratoires : laboratoires de Biologie et Physiologie des Organismes Végétaux de la Faculté des Sciences de l'Université de Douala, de Biologie et Physiologie Végétales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I et de l'Institut de la Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson Yaoundé au Cameroun. Je voudrais ici présenter mes sincères remerciements et ma profonde gratitude aux principales personnes qui ont rendues la réalisation de cette thèse possible :

- Professeur AWONO ONANA Charles, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, pour ses précieuses orientations et encouragements.
- Professeur Youmbi Emmanuel, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales, qui m'a fait l'honneur de co-diriger cette thèse; ses orientations, sa rigueur scientifique, ses encouragements et ses conseils m'ont été d'un très grand apport.
- Professeur TAFFOUO Victor Désiré, Maître de Conférences, co-directeur de cette thèse, qui m'a initié à la « Salinité et réhabilitation des sols salés » depuis 2011 en Master, et ensuite pendant la préparation de ma thèse de Doctorat/ Ph.D. Nous travaillons ensemble depuis plusieurs années dans ce domaine si passionnant mais peu exploré au Cameroun. Il restera pour moi un véritable modèle tant sur le plan humain que scientifique.
- Tous les enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I en particulier, Professeurs AMBANG Zachée, BELL Joseph Martin, MOSSEBO Dominique Claude ; Professeurs DJOCGOUE Pierre François, NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Léonard, ZAPFACK Louis, KENGNE NOUMSI Ives Magloire; Docteurs TONFACK Brice et TSOATA Esaïe, Chargés de Cours, pour leurs critiques et suggestions qui ont permis d'améliorer nettement la forme et le fond de cette thèse.
- Aux membres du jury de ma présoutenance : Professeur BELL Joseph Martin (Président), Professeur Youmbi Emmanuel et Professeur TAFFOUO Victor Désiré (Rapporteurs), Professeur NIEMENAK Nicolas et NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Léonard (Membres).
- à mes collègues, camarades et amis du Département de Biologie et Physiologie Végétales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I et de la Faculté des Sciences l'Université de Douala : NDENGA NEMECK Jean Paul, KAMGANG Frank Armelle, KAMGANG Madeleine, LEMNUYU William, MBAMBANG Jean Marc, Dr. MBOUSSI Serges, FOTSA Igor, IDRISSOU Labaranthe, BIKOI Jacques, NTJEBI Jacques, Dr. WAMBA Simplicie, ENOGA Laurent, Dr. NOUK Alphonse, LIKENG Benoît, BOULOUMEGUE A BEYECK, MEBOMA Yanique, MBONDO Raoul, NGUETSOP Ramelline, KEKO KAMGA, Dr. FOKOM Raymond, Dr. ADAMOU pour leur franche collaboration et leurs encouragements.
- aux membres de ma famille: HAND Thérèse, Ngo NYEMECK Jeane Léocadie, NTAMACK HAND Franck, HAND HAND Christian, Ngo HAND Yvette Thérèse, HAND III Mathias, HAND HAND Mathias Marcel, NTAMACK Victor, LIPOT Benjamin, MBEND Alexandre, MAHI Philemon, HAND Mathias Bolivar, HAND HAND Privat.

Je remercie tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	XI
REMERCIEMENTS.....	XII
LISTE DES FIGURES.....	XIX
LISTE DES TABLEAUX	XXI
LISTE DES ANNEXES	XXI
RESUME.....	XXII
ABSTRACT	XXIV
CHAPITRE I. GENERALITES	I
I.1 Introduction.....	1
I.2 Generalites Sur La Salinité	5
I.2.1 Salinité	5
I.2.2 Definition de la salinite d'un sol.....	6
I.2.3 Répartition des sols salés dans le monde et au Cameroun.....	6
I.2.3.1 Répartition des sols salés dans le monde	6
I.2.3.2 Répartition des sols salés au Cameroun.....	7
I.2.4 Origines de la salinité du sol.....	7
I.2.5 Paramètres utilisés pour caractériser les sols salés	8
I.2.6 Effets de la salinité sur les propriétés physico-chimiques	8
I.2.7 Effets de la salinité sur les propriétés microbiologiques et la fertilité du sol	8
I.2.8 Processus de dégradation de la qualité du sol suite à l'irrigation	9
I.2.9 Effets de la salinité sur la germination des graines.....	9
I.2.10 Effets de la salinité sur la croissance et le développement	11
I.2.11 Effets de la salinité sur le comportement biochimique de la plante	12
I.2.12 Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante	12
I.2.13 Effets de la salinité sur le taux des ions	13
I.2.14 Effets de la salinité sur les enzymes antioxydantes et des phytohormones	13
I.2.15 Mécanismes de résistance à la Salinité	15
I.2.15.1 Séquestration du sodium	15
I.2.15.2 Prélèvement de K ⁺	15
I.2.15.3 Biosynthèse des osmoprotecteurs et ajustement osmotique	16
I.2.15.4 Induction des enzymes antioxydantes.....	16
I.2.15.5 Induction des phytohormones	17

I.2.15.6 Régulation de la croissance.....	18
I.3 Matières organiques et fertilisation organique.....	18
I.3.1 Origine et formes des matières organiques dans le sol.....	19
I.3.2 Evolution des matières organiques du sol.....	19
I.3.2.1 Minéralisation primaire de la matière organique fraîche.....	19
I.3.2.2 Humification.....	19
I.3.2.3 Minéralisation secondaire.....	20
I.3.3 Formes d'apport organique au sol.....	20
I.3.3.1 Fumier et fientes.....	20
I.3.3.2 Compost.....	21
I.3.3.3 Engrais vert.....	21
I.3.3.4 Lisier.....	21
I.3.4 Fumier de volailles.....	21
I.3.5 Facteurs influent sur la vitesse de dégradation des apports organiques dans le sol.....	22
I.3.6 Effets de la matière organique sur les micro-organismes et propriétés du sol.....	23
I.3.7 Effets de la matière organique sur les végétaux.....	24
I.4 Généralités sur le poivron.....	24
I.4.1 Présentation de la famille des Solanacées.....	24
I.4.2 Genre Capsicum.....	25
I.4.2.1 Morphologie.....	25
I.4.2.2 Origine.....	25
I.4.2.3 Espèces cultivées : caractéristiques principales.....	26
I.4.2.4 Position taxonomique.....	28
I.4.3 Distribution géographique.....	29
I.4.4 Agronomie de <i>Capsicum annuum</i> L.....	30
I.4.4.1 Exigences écologiques.....	30
I.4.4.2 Rôle des principaux éléments minéraux.....	31
I.4.4.3 Conduite et pratiques culturales.....	32
I.4.5 Importance socio-économique.....	33
I.4.6 Importance nutritionnelle.....	35
I.4.7 Généralités sur les antioxydants.....	35
I.4.8 Valeur pharmacologique et médicale.....	36
I.4.9 Nomenclature vernaculaire.....	37

I.4.10 Contraintes majeures de la culture du poivron	37
I.4.10.1 Exigences climatiques.....	37
I.4.10.2 Exigences édaphiques	37
I.4.10.3 Effets de salinité sur le poivron	38
I.4.10.4 Contraintes biotiques	38
I.4.11 Récolte et conservation	38
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES	40
II.1 Matériel.....	41
II.1.1 Présentation de la zone d'étude	41
II.1.1.2 Vents et hydrologie.....	42
II.1.1.3 Relief et sols	42
II.1.1.4 Milieu biologique	43
II.1.1.5 Site expérimental	43
II.1.2 Matériel végétal	44
II.1.3 Matériel pédologique.....	45
II.1.4 Matériel organique et minéral.....	46
II.2 Méthodes	47
II.2.1 Préparation du germe	47
II.2.2 Mise en culture des semences et entretien.....	48
II.2.3 Repiquage en champ.....	48
II.2.4 Dispositif expérimental.....	49
II.2.4.1 Dispositif expérimental en serre	49
II.2.4.2 Dispositif expérimental en champ	51
II.2.5 Mesure des paramètres de croissance et teneurs en éléments minéraux en serre	52
II.2.6 Analyse des paramètres biochimiques et enzymatiques.....	53
II.2.6.1 Protéines solubles	53
II.2.6.2 Acides aminés totaux.....	54
II.2.6.3 Composés phénoliques	54
II.2.6.4 Flavonoïdes totaux.....	55
II.2.6.5 Sucres solubles	55
II.2.6.6 Dosage des proline.....	56
II.2.6.7 Peroxydase (POD)	57
II.2.6.8 Superoxyde dismutase (SOD)	58

II.2.7 Culture et analyse des paramètres agronomiques en champ	58
II.2.7.1 Paramètres liés au rendement	58
II.2.8 Analyses statistiques des résultats	60
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	61
III.1 Resultats	62
III.1.1 Action de NaCl sur les paramètres de croissance	62
III.1.1.1 Analyse en composantes principales des paramètres de croissance en fonction des variétés.....	64
III.1.1.2 Classification Ascendante Hierarchique (C.A.H.)	65
III.1.2 Influence du NaCl sur la nutrition minérale.....	67
III.1.2.1 Influence du NaCl sur les rapports de sélectivité.....	68
III.1.2.2 Action du NaCl sur la teneur en eau	72
III.1.2.3 Analyse en Composantes Principales des paramètres physiologiques en fonction des variétés.....	73
III.1.2.4 Classification Ascendante Hierarchique (C.A.H.)	74
III.1.3 Action du NaCl sur les teneurs en chlorophylle a, b et (a + b)	75
III.1.4 Effet du NaCl sur les osmolytes	76
III.1.5 Effet du NaCl sur les antioxydants.....	80
III.1.6 Analyse en Composantes Principales des paramètres biochimiques en fonction des variétés	83
III.1.7 Classification Ascendante Hierarchique (C.A.H.)	84
III.1.8 Action du NaCl et des fertilisants organiques et minéraux sur les paramètres agronomiques	86
III.1.8.1 Biomasse sèche des fruits.....	86
III.1.8.2 Periode de floraison.....	88
III.1.8.3 Periode de fructification	88
III.1.8.4 Nombre de fruits par plante.....	89
III.1.8.5 Nombre de graines par fruit (NGF).....	90
III.1.8.6 Poids de 1 000 graines.....	90
III.1.8.7 Rendement en graines	91
III.1.8.8 Poids frais du fruit mature.....	92
III.1.8.9 Rendement en fruits	94
III.1.8.10 Calibre des fruits	94
III.1.8.10.1 Longueur du fruit	94

III.1.8.10.2 Diamètre des fruits	95
III.1.8.11 Teneur en eau des fruits	96
III.1.8.12 Analyse en Composantes Principales des paramètres agronomiques en fonction des variétés à 0 mM NaCl.....	97
III.1.8.13 Analyse en Composantes Principales des paramètres agronomiques en fonction des Variétés à 50 mM NaCl	98
III.1.8.14 Classification Ascendante Hierarchique (C.A.H.)	99
III.2 Discussion	101
III.2.1 Action du NaCl sur les paramètres de croissance	101
III.2.2 Influence du NaCl sur la nutrition minérale.....	102
III.2.3 Effet du NaCl sur les rapports de sélectivité	103
III.2.4 Action du NaCl sur les teneurs en chlorophylle a, b et (a + b)	104
III.2.5 Action du NaCl sur la teneur en eau	104
III.2.6 Action du NaCl sur les osmolytes	104
III.2.7 Effet du NaCl sur les antioxydants.....	105
III.2.8 Action des fertilisants organiques et minéraux sur les paramètres agronomiques	106
III.2.9 Action des fertilisants organiques et minéraux sur la teneur en eau des fruits .	110
CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	111
IV. 1 CONCLUSION	112
IV.2 PERSPECTIVES	114
BIBLIOGRAPHIE	115
ANNEXES.....	139

LISTE DES ABREVIATIONS

ABA	Acide abscissique
ACP	Analyses en composantes principales
AG	Acide gibbérellique
AIA	Acide indolacétique
ADN	Acide désoxyribonucléique
BMS	Biomasse sèche
BSA	Biomasse sèche aérienne
BSS	Biomasse sèche souterraine
CAH	Complexe argilo-humique
CAT	Catalase
CE	Conductivité électrique
CEC	Capacité d'échange cationique
C/N	Carbone/ Azote
CO	Carbone organique
CR	Capacité de rétention
DHAR	Déshydroascorbate réductase
DO	Densité optique
FAO	Food and Agriculture Organisation
FV	Fumier de Volaille
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
INRA	Institut National de Recherche Agricole
INS	Institut National de Statistiques
IRAD	Institut de Recherche Agricole et de Développement
MF	Matière Fraîche
MDHAR	Monodéshydroascorbate réductase
MO	Matière Organique
MS	Matière sèche
NFP	Nombre de fruits par plante
NGF	Nombre de graines par fruit
PMF	Poids de matière fraîche
PMMV	Pepper Mild-Mosaic Virus
PMS	Poids de matière sèche
POD	Peroxydase
ROS	Reactive Oxygen Species
SEMAGRI	Semences Agricoles
SOD	Superoxyde dismutase
TE	Teneur en eau
TMV	Tobacco Mosaic Virus
ToMV	Tomato Mosaic Virus

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Effet de la salinité sur les plantes.....	11
Fig. 2. Mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants et de leurs cofacteurs métalliques.....	14
Fig. 3. Synthèse des principaux mécanismes cellulaires de perception, signalisation et réponse au stress salin (NaCl) chez la plante.....	17
Fig. 4. Plante entière de poivron (Tropicasem, 2004).....	25
Fig. 5. Variation de la forme du fruit des principales espèces cultivées de piment (<i>Capsicum spp.</i>). (Echantillon de la collection des ressources génétiques de l'INRA d'Avignon)	26
Fig. 6. Principaux centres de diversification de cinq espèces de <i>Capsicum</i> domestiquées.....	29
Fig. 7. Production, demande et importation du poivron au Cameroun.....	33
Fig. 8. Carte d'identification de la zone d'étude.....	41
Fig. 9. (A) Parcelles de terrain aménagé pour la culture du poivron, (B) Parcelle expérimentale après repiquage des plantules de poivron.....	43
Fig. 10. Graines des trois variétés de poivron étudiées. A: <i>Nobili</i> , B: <i>Goliath</i> , C: <i>Granada</i>	45
Fig. 11. Germeur.....	46
Fig. 12. Différents types de fertilisants : (A) Fumier de volailles ; (B) Engrais minéral (N-P-K).....	46
Fig. 13. (A) Deux semaines après le repiquage en champs ; (B) Plants matures ayant produit des fruits.	49
Fig. 14. Plantules de trois variétés de poivron au cours du traitement à différentes concentrations de NaCl. A : 0 mM ; B : 50 mM ; C : 100 mM ; D : 200 mM.	50
Fig.15. Dispositif expérimental en serre.....	50
Fig. 16a. Dispositif expérimental en champ.....	51
Fig. 16b. Détaillé de la parcelle élémentaire.....	51
Fig. 17. (A) Floraison des plants de poivron en champ ; (B) Fructification des plants de poivron en champ ; (C) Fruits de poivrons récoltés.....	60
Fig. 18. (A et B) Extraction et comptage des graines de variétés de poivrons ; (C et D) Calibrage (mesure de la longueur et du diamètre du poivron).....	60
Fig. 19. Analyse en composante principale des paramètres de croissance en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,44 %)...	64
Fig. 20. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de croissance.....	66
Fig. 21. Rapport de sélectivité (Ca/Na) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	70
Fig. 22. Rapport de sélectivité (Mg/Na) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de	

culture.....	71
Fig. 23. Analyse en composante principale des paramètres physiologiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,83 %)...	72
Fig. 24. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de physiologiques.....	73
Fig. 25. Variation de la teneur en eau (%) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture...	75
Fig. 26. Variation de la teneur en sucres solubles (mg/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	77
Fig. 27. Variation de la teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	78
Fig. 28. Variation de la teneur en acides aminés totaux (g/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	79
Fig. 29. Variation de la teneur en protéines solubles (mg.g^{-1} MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	79
Fig. 30. Variation de la teneur en flavonoïdes (mg/g MS) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	80
Fig. 31. Variation de la teneur en teneur en composés phénoliques (mg/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	81
Fig. 32. Variation de la teneur en superoxyde dismutase (Unités/mg de protéines) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM NaCl) après six semaines de culture.....	82
Fig. 33. Variation de la teneur en peroxydase ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines) des feuilles de trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.....	83
Fig. 34. Analyse en composante principale des paramètres biochimiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,73 %).....	81
Fig. 35. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de biochimiques.....	85
Fig. 36. Analyse en composante principale des paramètres biochimiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,99 %).....	97
Fig. 37. Analyse en composante principale des paramètres biochimiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,99 %)...	98
Fig. 38. Classification ascendante hiérarchique des paramètres agronomiques.....	101

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Répartition des sols salés dans le monde	6
Tableau II. Degré de tolérance des cultures au sel.....	12
Tableau III. Espèces décrites du genre <i>Capsicum</i>	27
Tableau IV. Production mondiale de piments	33
Tableau V. Noms vernaculaires africains	37
Tableau VI. Quelques caractéristiques agronomiques des trois variétés de poivron étudiées.....	45
Tableau VII. Propriétés physico-chimiques du sol du site expérimental	45
Tableau VIII. Principales caractéristiques chimiques du fumier de volailles	47
Tableau IX. Calendrier des périodes d'application des engrais minéraux et de fumier de volailles au niveau des différents traitements	49
Tableau X. Effet du stress salin sur les paramètres de croissance chez trois variétés de poivron.....	63
Tableau XI. Valeurs propres pour les composantes principales.....	64
Tableau XII. Coefficient de Corrélation de Pearson entre la biomasse sèche et paramètres de croissance.....	66
Tableau XIII. Effet du stress salin sur la distribution ionique (g kg^{-1}) chez trois variétés de poivron	69
Tableau XIV. Valeurs propres pour les composantes principales.....	73
Tableau XV. Effet du stress salin sur les teneurs en chlorophylle a, b et totale chez trois variétés de poivron.....	76
Tableau XVI. Valeurs propres pour les composantes principales.....	83
Tableau XVIIa. Effets des doses de fumier de volailles sur les paramètres agronomiques chez trois variétés de poivron en fonction du degré de salinité.....	87
Tableau XVIIb. Effets des doses de fumier de volailles sur les paramètres agronomiques chez trois variétés de poivron en fonction du degré de salinité.....	93
Tableau XVIII. Valeurs propres pour les composantes principales.....	97
Tableau XIX. Valeurs propres pour les composantes principales.....	99

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Echelle d'interprétation de quelques analyses physiques et chimiques du sol	140
Annexe 2. Effet du NaCl sur les paramètres biochimiques dans les feuilles chez trois variétés de poivron	142
Annexe 3. Influence du NaCl sur les paramètres de croissance, la distribution ionique et les rapports de sélectivité chez trois variétés de poivron	146
Annexe 4. Corrélations.....	148

RESUME

Au cours de ces dernières décennies, on assiste à une diminution progressive des superficies cultivables dans les régions littorales, arides et semi-arides à cause de l'accumulation des sels liée à la rareté des précipitations, à la proximité de la mer, au mauvais drainage, à la sécheresse prolongées et à l'absorption de l'eau par les plantes. Devant l'ampleur de ce problème, il s'avère donc nécessaire de proposer des programmes d'évaluation et de conservation des espèces menacées d'extinction. Le repérage d'espèces plus adaptées et la sélection des variétés tolérantes à la salinité resteraient la voie économique la plus efficace pour l'exploitation des terrains affectés par la salinité.

Les effets de la salinité sur la croissance, la nutrition minérale, la teneur en chlorophylle, la teneur en eau, l'accumulation des osmolytes (sucres solubles, acides aminés totaux, proline, protéines solubles), les antioxydants (peroxydases, superoxyde dismutase, flavonoïdes, composés phénoliques) et les composés agronomiques sur trois variétés de poivron (*Capsicum annuum* L.) (Granada, Goliath et Nobili), cultivées au Cameroun, ont été déterminés au cours de cette étude. Ces trois variétés, choisies en raison de leur importance socio-économique, thérapeutique, la valeur nutritionnelle de leurs fruits, ont été soumises à quatre niveaux de salinité au NaCl (0, 50, 100 et 200 mM) au stade de plantule et en champ à quatre doses de fumier de volailles (0, 3, 6 et 12 t/ha) et l'engrais minéral NPK (100 kg/ha).

L'application des doses de NaCl induit une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en osmolytes, composés phénoliques, de l'activité de la peroxydase et la superoxyde dismutase chez les variétés tolérantes Granada et Nobili en comparaison à la variété Goliath sensible et au témoin. La biomasse sèche aérienne et souterraine, le nombre de feuilles, la longueur de la tige, la surface foliaire, la chlorophylle et la teneur en eau au contraire diminuent chez la variété Goliath à de faibles niveaux de salinité (50 mM NaCl). Les teneurs en flavonoïdes, en pigments chlorophylliens, les concentrations en K, Ca et Mg baissent significativement en fonction des doses croissantes de NaCl chez toutes les variétés. La sensibilité au sel de la variété Goliath entraînerait une augmentation de l'ajustement osmotique à travers l'accumulation du Na dans les feuilles alors que la tolérance au NaCl de Granada serait due à l'efficacité du système d'enzymes antioxydantes et à l'accumulation des osmolytes sous stress salin.

Les traitements au fumier de volailles ont favorisé la précocité de la période de floraison et de fructification chez la variété Granada par rapport aux variétés Nobili et Goliath. Les doses croissantes de fumier de volailles ont augmenté significativement les paramètres agronomiques chez toutes les variétés étudiées par rapport au témoin et à l'engrais minéral NPK et cela quel que soit le niveau de la salinité. L'interaction (salinité x fumier) a

montré que les meilleurs rendements en fruits (9,7 t/ha chez Granada, 11,15 t/ha chez Nobili, 11,85 t/ha chez Goliath) et en graines (338,5 g/ha chez Granada, 324,86 g/ha chez Nobili et 325,75 g/ha chez Goliath) ont été enregistrés par l'application du fumier de volaille à 12 t/ha en absence ou en présence du NaCl.

Ces travaux apportent globalement une contribution importante à l'identification des variétés de poivron tolérante au stress salin par mise en évidence de leurs réponses adaptatives et permettra de restaurer la fertilité des sols et accroître significativement les rendements agricoles des zones littorales du Cameroun à travers la culture de Granada et Nobili, variétés plus tolérantes au stress salin. Granada et Nobili pourraient être exploitées dans les programmes nationaux d'amélioration variétale.

Mots clés. Antioxydants, Cameroun, intrants minéraux, osmolytes, poivron, stress salin, zones côtières.

ABSTRACT

Salinity is one of the major abiotic stresses affecting plant production in coastal, arid and semi-arid regions. It causes reduction of cultivable area and combined with other factors, presents a serious threat to food stability in these areas. In front of this problem, the selection of salt tolerant species and varieties remains the best economic approach for exploitation and rehabilitation of salt-affected regions.

The effects of salinity on growth, nutrient partitioning, chlorophyll, leaf water content, osmolytes accumulation (sugar, total amino acid, proline, proteins), antioxidant (peroxydase, superoxyde dismutase, flavonoid, total phenolic) and agronomic compounds of pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars ('Granada', 'Goliath' and 'Nobili'), widely used in Cameroon, were investigated. These plants chosen for their social, economic and medicinal significance, the nutritional value of its fruits were subjected to four levels of NaCl (0, 50, 100 and 200 mM) at early seedling growth stage of plant development and in field, four fertilizer application rate (0, 3, 6 and 12 t/ha) of poultry manure and 100 kg/ha of NPK.

Application of NaCl treatment led to a significant increase in osmolytes, peroxydase and superoxide dismutase activity and total phenolic content in salt-tolerant 'Granada' and 'Nobili' compared to salt-sensitive 'Goliath' and untreated plants, on the contrary, decreased in root dry weight, shoot dry weight, number of leaves, shoot length, stem diameter, total leaf area, chlorophyll and leaf relative water content in 'Goliath' at low salinity level (50 mM NaCl). Flavonoid content, total chlorophyll, K, Ca and Mg concentrations were significantly reduced with increasing salinity in all cultivars. The salt sensitivity of 'Goliath' seems to be increased osmotic adjustment through the strongly accumulation of Na in leaves while the salt tolerance of 'Granada' was related to its induce of antioxidative enzyme system more efficiently, resulting in higher osmolytes accumulation under salinity.

The results overall indicated that the raising of fertilizer application rate of poultry manure increased significantly ($p < 0.05$) agronomic parameters for all varieties studied compared to the control and NPK fertilizer, and what it regardless of the level of salinity. The effect of the interaction (salinity x manure) showed that the best performance of yield of fruits (9.7 t/ha for Granada, 11.15 t/ha for Nobili, 11.85 t/ha for Goliath) and seeds yield (338.5 g/ha for Granada, 324.86 g/ha for Nobili and 325.75 g/ha for Goliath) was recorded by the application of poultry manure at 12 t/ha and what it regardless of the level of salinity.

This study is important contribution to identify tolerant cultivars for salt stress and permit to restore soil fertility and increase yield in coastal areas in Cameroun through culture of Granada and Nobili tolerant's cultivars for salt stress.

Keys word. Antioxidants, coastal areas, Cameroon, mineral input, osmolytes, pepper, saline stress.

CHAPITRE I. GENERALITES

I.1 Introduction

Dans le monde, les terrains salés sont fréquents sur tous les continents. On les rencontre surtout dans les parties mal drainées des régions méditerranéennes et arides. La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectare, soit 23 % de terres cultivées (Anonyme, 2008). Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole (Grewal, 2010).

La salinité affecte négativement les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (dispersion des colloïdes minéraux, diminution de la perméabilité, de la fertilité, baisse des concentrations de NPK, inhibition du développement des micro-organismes). Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (Schomberg *et al.*, 2011). Le déficit en matière organique dans ces zones est à l'origine de l'ensemble de ces dégradations, ce qui influe négativement sur les aptitudes agronomiques des sols. Il est admis qu'un sol dont le taux de matière organique est bas, perd facilement une partie de sa fertilité physique (Nyamangara et Nyagumbo, 2010). Il en est de même pour sa fertilité chimique et surtout de sa fertilité biologique (Balesdent, 1996).

Le stress salin est complexe et implique un déficit hydrique à cause des effets osmotiques sur une large variété d'activités métaboliques (Parida et Das, 2005 ; Diallo *et al.*, 2013). Ce déficit hydrique conduit à la formation des espèces réactives d'oxygène (ROS) comme le superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le radical hydroxyle (OH) et l'oxygène singlet (O_2) (Ashraf, 2009 ; Joseph et Jini, 2011). Les espèces d'oxygènes cytotoxiques activées peuvent perturber sérieusement le métabolisme à travers un dommage oxydatif des lipides, des sucres, des protéines ou des acides nucléiques (Kahrizi *et al.*, 2012). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène (rôle de détoxification) avec l'induction des activités de certaines enzymes anti oxydantes (réactions de défense aux stress environnementaux) comme la catalase (CAT), peroxydase (POD), glutathion réductase et le superoxyde dismutase (SOD) ; ce qui élimine les ROS (Chookhampaeng, 2011 ; Kanokwan *et al.*, 2015)

Au Cameroun, les zones de Bakassi au Nord-ouest, la région du Littoral (département du Wouri), la région du Sud (département de l'Océan), la région de l'Adamaoua, le Nord et l'extrême nord présentent généralement de fortes teneurs en sel (Brun, 1981 ; Taffouo, 2005 ; 2009). Plusieurs études montrent que cette salinité due au chlorure de sodium (NaCl) recouvre

plus de 50 % de la surface arabe en 2050 (Wang *et al.*, 2003). Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- l'élimination des excès de sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).
- l'utilisation des plantes résistantes à la salinité : l'utilisation de variétés résistantes constitue une composante essentielle pour la majorité des programmes de sélection et un moyen de contrôle efficace qui prend en considération l'aspect écologique et économique.
- la reconstitution de la fertilité par des amendements organiques et minéraux.

La fertilisation organique et la sélection des variétés tolérantes à la salinité seraient parmi les solutions les plus aptes à résoudre le problème de la salinité dans le cadre cette étude. Toutefois, la fertilisation organique doit être bien raisonnée et équilibrée pour permettre une bonne alimentation et la disponibilité de tous les éléments nécessaires (macro et micro éléments) à la nutrition de la plante en périodes de fortes exigences (Lv *et al.*, 2011 ; Schomberg *et al.*, 2011).

Afin d'explorer l'effet de la salinité sur le comportement physiologique, biochimique et agronomique de la plante, l'intérêt a porté sur une glycophyte : le poivron (*Capsicum annuum* L.). Ce légume-fruit est riche en protéines, lipides, glucides, fibres, éléments minéraux (Ca, P, Fe) et en vitamines A, D3, E, C, K, B2 et B12. Certes, le poivron est une excellente source de composés phytochimiques liés à la santé, tels que l'acide ascorbique (vitamine C), les caroténoïdes (provitamine A), tocophérols (vitamine E), flavonoïdes, et capsaïcinoïdes qui sont très importants dans la prévention des maladies chroniques telles que le cancer, l'asthme, la toux, des maux la gorge, les maux de dents les maladies cardiovasculaires et le diabète (Zhang *et al.*, 2012). En effet, de nombreuses recherches confirment que la consommation de piments frais facilite la digestion des féculents (Bhattachayara *et al.*, 2010 ; Dansi *et al.*, 2010). De plus, il a été constaté que le poivron possède des propriétés antioxydantes, anti-mutagenèse, hypocholestérolémiantes et propriétés immunosuppressives ; il inhibe également la croissance bactérienne et l'agglomération des plaquettes. D'autres travaux indiquent que les piments sont l'une des épices qui génèrent d'énormes revenus pour les producteurs et contribue à la réduction de la pauvreté et l'amélioration de statut social des femmes (Mani et Hannachi, 2015). Les piments restent dans de nombreux pays des cultures marginales qui sont rarement une priorité nationale en termes de développement agricole (Anonyme, 2010). De plus, sa culture est encore très traditionnelle

et fait face à de nombreux stress biotiques (ravageurs, maladies) et abiotiques (sécheresse, salinité) qui causent de graves pertes de rendement (Zhuang *et al.*, 2012).

La culture du poivron nécessite des apports d'eau relativement importants, alors que les eaux d'irrigation utilisées, en régions sahéliennes et littorales au Cameroun, sont souvent chargées en sels. En effet, l'eau provenant des barrages présente une charge en sel de 2 à 3 g/l, et celle des puits titre de 4 jusqu'à 7 g/l (Hachicha et Braudeau, 1998), suite à une surexploitation ou à une intrusion des eaux saumâtres ou de l'eau de mer. Il est considéré comme sensible (Cornillon et Palloix, 1997) ou modérément sensible (Chookhampaeng, 2011) à la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 1,5 dS/m, le rendement baisse de 14 % et peut atteindre 50 % de réduction à une CE de l'ordre de 5,8 dS/m (Maas, 1977). L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement, suite à la réduction du calibre et du poids frais du fruit (Navarro *et al.*, 2010 ; Maaouia-Houimliet *al.*, 2011). En effet, la salinité réduit la croissance et la productivité de la culture en raison de la diminution de potentiel osmotique dans le sol et de l'augmentation de la concentration des ions Na⁺ et Cl⁻, qui atteint alors un niveau toxique pour la plante (Chookhampaeng, 2011 ; Ly *et al.*, 2014). Le chlorure du sodium est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels (potassium, calcium), soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (Djerah et Oudjehih, 2016). Le déséquilibre de la balance ionique induit par le sel affecte directement et/ou indirectement plusieurs processus physiologiques et métaboliques se traduisant à l'échelle de la plante par l'inhibition de la croissance (Munns, 2002 ; Taffouo *et al.*, 2010 ; Ly *et al.*, 2014). Dans les pays en développement et en particulier dans les régions semi-arides et arides comme le Cameroun, la salinité est le principal facteur qui réduit le rendement et ses composantes. Dans ce contexte, l'utilisation de variétés résistantes ou adaptées est recommandée (Alvarez *et al.*, 2011). En revanche, une bonne connaissance de la diversité variétale existante et des performances agronomiques des variétés locales est nécessaire pour améliorer le rendement (Mani et Hannachi, 2015).

Dans les pays en développement comme le Cameroun, la salinité est le principal facteur qui réduit le rendement et ses composantes. Dans ce contexte, l'utilisation de variétés résistantes ou adaptées est recommandée (Alvarez *et al.*, 2011). En revanche, une bonne connaissance de la diversité variétale existante et des performances agronomiques est nécessaire pour améliorer le rendement (Mani et Hannachi, 2015).

L'objectif général de ce travail consiste à étudier de façon comparative les effets des différentes concentrations de NaCl et des fertilisants sur la croissance, la nutrition minérale, les caractères biochimiques et agronomiques chez trois variétés de poivron.

La comparaison de ces paramètres chez les variétés étudiées permet de fournir plus d'informations sur les mécanismes de tolérance à la salinité et d'identifier les variétés tolérantes à retenir dans le programme de valorisation des côtières du littoral au Cameroun.

Les objectifs spécifiques consistent à :

- évaluer l'effet du NaCl sur les paramètres de croissance, la distribution ionique et les rapports de sélectivité des organes de trois variétés de poivron ;
- analyser l'impact du NaCl sur les antioxydants et les osmolytes impliqués dans le mécanisme de tolérance au stress salin;
- examiner l'effet de fertilisants organiques et minéraux sur les paramètres agronomiques sous contrainte saline ;
- déterminer et classer les variétés poivron en fonction de leur degré de tolérance au NaCl.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs hypothèses sont testées:

- Hypothèse 1 : La salinité influence la croissance, la distribution ionique et les rapports de sélectivité des organes de trois variétés de poivron ;
- Hypothèse 2 : La salinité affecte les osmolytes, les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques impliqués dans le mécanisme de tolérance au stress salin ;
- Hypothèse 3 : Les fertilisants organiques et minéraux peuvent modifier les paramètres agronomiques en présence ou en absence du NaCl ;
- Hypothèse 4 : Les variétés de poivron peuvent être sélectionnées en fonction de leur degré de tolérance à la salinité.

Plusieurs questions de recherches peuvent également être mises en évidence pour améliorer la compréhension de cette étude, notamment :

- Quel est l'impact de la salinité sur les paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques ?
- Quels sont les mécanismes d'adaptation ou de résistance du poivron dans les sols salés du Littoral Cameroun ?
- Quel est l'effet des fertilisants organiques et minéraux sur la croissance et le développement du poivron dans les sols salés ?

Cette étude est une contribution à la valorisation des sols salés via la sélection des fertilisants et variétés de poivron susceptibles d'être introduites dans les sols salés en y donnant des rendements satisfaisants.

Cette thèse comporte trois parties. La première partie a été réservée à une étude bibliographique, pour cerner toutes les données de la problématique. La deuxième partie présente le matériel végétal, pédologique et organique utilisés et les différentes méthodes appliquées. La présentation des résultats et la discussion sont présentés dans la troisième partie. Enfin, dans la conclusion générale et les perspectives, les différents résultats obtenus ont été synthétisés et les perspectives de cette recherche développées.

I.2 Généralités sur la salinité

I.2.1 Salinité

La salinité du sol constitue l'un des facteurs abiotiques le plus répandu au niveau de la planète et limite fortement les rendements agricoles (Wiebe, 2001). Elle est définie par la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol, qui limiteraient le développement des plantes, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptible de dégrader leurs structures, en particulier le sodium (Hadjadj, 2009). Un sol est dit salé quand la conductivité électrique, est supérieure à 4 dS/m (Calvet, 2003). Cependant la salinité d'un sol s'apprécie plus par le comportement des plantes de sorte que cette limite peut être très différente selon la sensibilité des espèces végétales. La salinité peut en fonction de sa concentration avoir un effet stimulateur sur la croissance et le développement de la plante (Bidai, 2001).

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

- les carbonates : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (Na HCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3).
- les sulfates : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont : le sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de sodium (Na_2SO_4) et le sulfate de calcium (CaSO_4).
- les chlorures : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2) sont plus solubles et de forte toxicité.

La présence de sels solubles en quantité importante a une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures (Aubert, 1982).

I.2.2 Définition de la salinité d'un sol

Les sols salés sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire. Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard *et al.*, 2005). Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure.

I.2.3 Répartition des sols salés dans le monde et au Cameroun

I.2.3.1 Répartition des sols salés dans le monde

Dans le monde, les superficies salées sont fréquents sur tous les continents. On les rencontre surtout dans les parties mal drainées des régions méditerranéennes et arides. Alimentées par des eaux ayant traversées des sédiments salins anciens, elles sont devenues des sols chlorurés sodiques ou alcalins. La salinité peut toujours prendre de l'extension par l'utilisation intensive de l'eau d'irrigation salée, qui provoque une salinisation secondaire. La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954, 8 millions d'hectares, soit 23 % des terres cultivées (Tableau I) (Anonyme, 2008).

Tableau I. Répartition des sols salés dans le monde (Anonyme, 2008).

Région	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centrale	2
Asie du Nord	20
Asie du Centre	211,7
Asie du Sud	87,6
Total	954,8

I.2.3.2 Répartition des sols salés au Cameroun

Les sols salés sont très répandus au Cameroun notamment, dans la région du Littoral (département du Wouri), la région du Sud (département de l'Océan), à Limbé dans la région du Sud-ouest, la zone de Bakassi au Nord-ouest, la région de l'Extrême Nord, la région du Nord et la région de l'Adamaoua.

Cas de la région de la zone septentrionale

Dans la zone septentrionale du Cameroun, les processus de formation des sols salés sont associés à la redistribution des sels dans les pédopaysages par divers agents, l'eau mobilisant les sels à l'état dissous, le vent à l'état dissous ou cristallisé...etc.

La salinisation du sol débute lorsque, dans une partie du paysage, l'eau provenant de précipitations excédentaires descend sous la rhizosphère, entraînant les sels dissous jusqu'à la nappe phréatique. Ces sels dissous sont ensuite emportés par l'écoulement souterrain vers les terres basses, où la nappe phréatique est généralement plus près de la surface du sol. Le processus s'achève en ces lieux lorsque l'eau s'évapore, laissant des sels qui s'accumulent à la surface du sol ou à proximité, formant dans le profil pédologique des croûtes blanches ou des précipités cristallins.

Cas de la région du Littoral

Les sols du littoral sont caractérisés par l'excès d'eau et des sels liés à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol (Brun, 1981 ; Taffouo, 2005). La salinité peut atteindre 3 dS/m en surface et décroître brusquement ou progressivement avec la profondeur. Cette concentration de sels dans les horizons de surface s'explique par la remontée capillaire de la nappe phréatique salée. L'aggravation de la salinité des sols dans la région du Littoral est favorisée par l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation et le drainage défectueux (Taffouo *et al.*, 2009).

I.2.4 Origines de la salinité du sol

Dans le monde, il y a environ de 80 % des terres salinisées qui ont une origine naturelle ; cette salinité est due aux sels qui se forment lors de l'altération des roches et à la remontée de la nappe phréatique. Les 20 % des terres qui restent salinisées ont une origine anthropique (Lacharme, 2001). Cette dernière est liée aux apports excédentaires de l'eau d'irrigation et de leur qualité (Lacharme, 2001), à la mauvaise utilisation des engrais (Moughli, 2000).

I.2.5 Paramètres utilisés pour caractériser les sols salés

Pour caractériser les sols salés, plusieurs paramètres peuvent être utilisés :

- conductivité électrique (CE) : la présence d'ions en solution est à l'origine d'une conductivité électrique ; c'est pourquoi cette propriété est utilisée pour caractériser les sols. Plus la quantité des sels dissous est grande et plus la CE de la pâte saturée est grande (Calvet, 2003).
- sodium en solution (Quantité de sodium absorbé (SAR)) : il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalisation de la solution du sol.
- pourcentage de sodium échangeable représente le pourcentage de sodium présent sur le complexe d'échange.
- pH du sol : la notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol. Les sols salés ont un pH supérieur à 7 (Oustani, 2006).

I.2.6 Effets de la salinité sur les propriétés physico-chimiques

Dans certaines conditions de sol et d'eau, la salinité peut aggraver et donner naissance à l'alcalinité du sol. Ce phénomène est dû aux fortes concentrations salines et concentration élevées de sodium. Ce qui peut avoir une très mauvaise influence sur la structure du sol, sur la porosité, et sur la conductance hydrique (Hopkins, 2003). La stabilité structurale décroît dans les sols dès que, le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15 %. Le Na^+ par son pouvoir gonflant et dispersant d'argiles réduit la macro porosité. La réduction de la perméabilité des sols salés est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par le sodium échangeable. Les sols saturés par le Ca^{++} ont une meilleure perméabilité que ceux saturés par le Na^+ et K^+ . La présence d'un taux élevé de sels peut entraîner une augmentation de la CE qui dépasse 4 dS/m. La salinité peut augmenter le pH dans le cas du sol sodique qui dépasse 8,5 (Mathieu *et al.*, 2007).

I.2.7 Effets de la salinité sur les propriétés microbiologiques et la fertilité du sol

La concentration de la solution en sels entraîne une augmentation de la pression osmotique et l'inhibition du développement des micro-organismes (Naâman *et al.*, 2000). Toutefois, la sensibilité des microorganismes à l'égard de la salinité est différentielle suivant les degrés de la salinité. En effet, la relation entre la salinité et l'activité microbienne n'est apparemment pas une fonction linéaire, mais représente une valeur seuil de salinité au-delà de

laquelle il y a une forte diminution des populations microbiennes (Oustani, 2006). D'une façon générale, la diminution de l'activité microbiologique dans les sols salés est due à :

- la concentration de la solution en sels qui entraîne une augmentation de la pression osmotique et inhibe le développement des micro-organismes par réduction de la disponibilité de l'eau ;
- la présence des ions toxiques ;
- la réaction très basique de la solution du sol (Oustani, 2006).

La faible fertilité des sols salés est généralement liée à la présence des sels solubles (Lv *et al.*, 2011). L'étude de l'interaction entre la salinité et la fertilité sur la croissance, la composition minérale et le métabolisme de l'azote des plantes, ont montré que la salinité diminue la fertilité du sol. Ils ont aussi noté qu'avec l'augmentation de la salinité, il y a une augmentation de la concentration de Na^+ échangeable et une baisse des concentrations de N, P, K (Nyamangara et Nyagumbo, 2010).

I.2.8 Processus de dégradation de la qualité du sol suite à l'irrigation

Le degré de salinisation d'une surface irriguée dépend de plusieurs facteurs dont la qualité de l'eau d'irrigation, la qualité du sol, les conditions climatiques et le niveau de la nappe (Lahlou *et al.*, 2002). L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire qui est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, même si les quantités de sels apportés par cette eau sont négligeables, mais avec le temps, elles entraînent un dépôt de sels dans le sol qui peut s'avérer considérable. En fait, l'eau pure est perdue par évaporation, mais les sels restent et s'accumulent.

Dans les régions arides, l'effet est d'autant plus marqué à cause d'une part, de la forte minéralisation des eaux de surface et des eaux souterraines et d'autre part, du climat sec qui crée une demande d'évaporation élevée ce qui se traduit par la nécessité de grandes quantités d'eau pour l'irrigation des cultures (Anonyme, 2005).

I.2.9 Effets de la salinité sur la germination des graines

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Djerah et Oudjehih, 2016). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Debez *et al.*, 2001 ; Chérifi *et al.*, 2017).

A titre d'exemple, le taux de germination du cotonnier chute de 70 % en présence de 12 g/l (200 mM) de chlorure de sodium (NaCl) et la germination des tubercules de pomme de terre peut être retardée de 3 à 7 jours selon le degré de salinité du sol (Levigneron *et al.*, 1995). La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité (Chérifi *et al.*, 2017). Les composantes de la salinité sont :

- **Le stress osmotique** : la première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît. Plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol (Fig. 1). Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance (Rejili *et al.*, 2006).
- **Stress ionique** : lié à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B,... peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes (Levigneron *et al.*, 1995). Un excès de minéraux AL, Na, Cl,... peut avoir des effets toxiques (Fig. 1).
- **Stress nutritionnel** : Certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Levigneron *et al.*, 1995). D'après Haouala *et al.*, (2007) l'accumulation des ions Na⁺ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K, Mg, Ca (Fig. 1).
- **Stress oxydatif** : une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées, qui endommagent les structures cellulaires. Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (Fig. 1). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super oxyde. Des antioxydants nécessaire pour faire face au ROS et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (Rejili *et al.*, 2006).

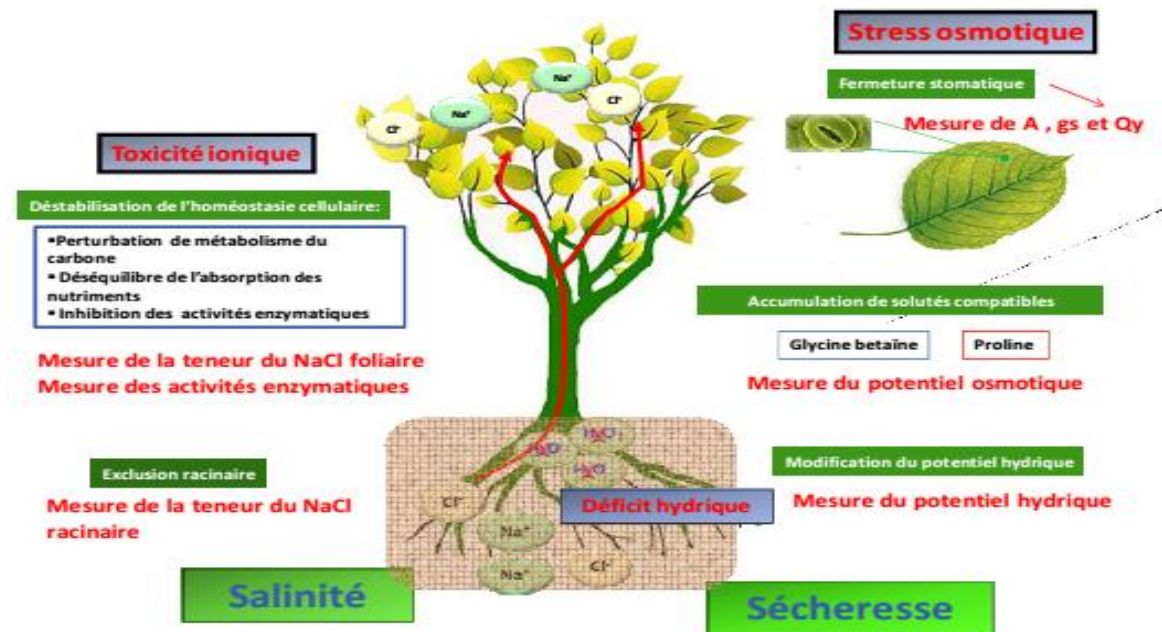


Fig. 1. Effet de la salinité sur les plantes (Ben Yahmed, 2013)

I.2.10 Effets de la salinité sur la croissance et le développement

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du niveau de tolérance ou de sensibilité des plantes au sel. Une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire chez *Capsicum annuum* L. (Chookhampaeng, 2011). Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM de NaCl dans la solution du sol. Par contre la croissance des halophytes ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées (480 mM de NaCl) chez *Atriplex halimus* L. (Brun, 1980 ; Chérifi *et al.*, 2017). Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue : une faible ramification, une diminution de la longueur, du diamètre, du poids sec des tiges, des racines sur trois variétés de *Capsicum annuum* L. (Maaouia-Houimli *et al.*, 2011); un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds ; une réduction du nombre de feuilles et de la surface foliaire chez *Arachis hypogea* (Meguekam *et al.*, 2014). Le rendement en grains du soja diminue de 50 % en présence de seulement 0,6 g/l de NaCl (Levigneron *et al.*, 1995).

La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petites et nécrosés) et la qualité organoleptique sont modifiés, et dont la valeur marchande devient médiocre (Levigneron *et al.*, 1995 ; Nouck *et al.*, 2016).

Tableau II. Degré de tolérance des cultures au sel

Cultures	Tolérance au sel		
	Tolérance élevée CE : 10,16 mmhos/cm	Tolérance moyenne CE : 4,10 mmhos/cm	Tolérance faible CE : 2,4 mmhos/cm
Arbres fruitiers	Palmier dattier	Grenadier, Figuier, Vigne, Olivier	Poirier, Amandier, Abricotier, Pommier, Agrume
Cultures maraichères	Betterave, Asperge, Epinard	Tomate, Carotte, Laitue, Piment, Pomme de terre, Poivron	Petit pois, Haricot, Choux, Radis
Grandes cultures	Coton, colza	Riz, Orge, Blé, Tournesol	Vesce
Cultures fourragères	Orge (foin)	Luzerne, Dactyle	Trifolium repens

(Elmekkaoui, 1984 in Ziani, 2001)

I.2.11 Effets de la salinité sur le comportement biochimique de la plante

Sous les conditions salines, il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (Reynolds *et al.*, 2001). Le contenu des protéines solubles des feuilles augmente en réponse à la salinité (Nouck *et al.*, 2016). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (Sevengor *et al.*, 2011 ; Nouck *et al.*, 2016). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse des plantes soumises au stress salin sont très importantes (Fig. 1) (Asharaf, 2002 ; Meguekam *et al.*, 2014).

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (Asloum, 1990) ; une accumulation importante des osmolytes (sucres solubles, des acides aminés totaux, de la proline) dans les feuilles de *Capsicum annuum* L. et de *Lycopersicon esculentum* L. soumises à un stress salin (Chookhampaeng, 2011 ; Nouck *et al.*, 2016).

I.1.12 Effets de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes et autres macro-molécules. Ces perturbations

entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques. Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin (Sevengor *et al.*, 2011). Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian *et al.*, 2000 ; Meguekam *et al.*, 2014). Par contre, le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus* (Wang et Nil, 2000).

I.2.13 Effets de la salinité sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K⁺, ce qui conduit à une déficience en K⁺. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na⁺ et Cl⁻ et une diminution dans le taux du Ca²⁺, K⁺ et le Mg²⁺ chez de nombreuses plantes (Haouala *et al.*, 2007 ; Taffouo *et al.*, 2010). La salinité fait augmenter le contenu de Na⁺, Ca²⁺ et Cl⁻ chez *Lycopersicon esculentum* L. et le rapport K/ Na diminue (Nouck *et al.*, 2016).

L'accumulation des ions Na⁺ affecte l'absorption de K⁺ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na⁺ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K⁺, tandis qu'une concentration élevée en Na⁺ diminue l'absorption de K⁺ chez *Vigna subterranea* L. (Taffouo *et al.*, 2010). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Haouala *et al.*, 2007) et le laurier rose (Haouala *et al.*, 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g/l. La modification du système de transport des ions vers les parties aériennes peut être responsable d'une élévation du rapport K/Na à travers la plante. Cette observation est due surtout à une haute sélectivité de l'espèce en faveur de K⁺ même en présence d'un excès de Na⁺ (Chookhampaeng, 2011) sur *Capsicum annuum* L.

I.2.14 Effets de la salinité sur les enzymes antioxydantes et des phytohormones

Le stress salin provoque la formation de dérivés réactifs de l'oxygène tels que le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le superoxyde (O²⁻) et les radicaux libres. Ces dérivés causent des dommages oxydatifs aux différents composants cellulaires, y compris les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques, des dysfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005).

Pour faire face aux dérivés réactifs de l'oxygène, les plantes ont développé des mécanismes antioxydants enzymatiques et non-enzymatiques (Iqbal *et al.*, 2013). Dans ce

sens, l'induction du superoxyde dismutase est considérée comme le premier mécanisme de défense contre ces dérivés par réaction de dismutation de $O_2^{\cdot -}$ en H_2O_2 et O_2 (Fig. 2). La catalase (CAT), glutathion peroxydases, et les peroxydases (POD) assurent la conversion de H_2O_2 en H_2O et O_2 (Gratao *et al.*, 2005 ; Joseph et Jini, 2011). La détoxification indirecte met en jeu des molécules et peptides permettant à la cellule de maintenir son équilibre oxydo-reducteur, principalement l'ascorbate et le glutathion, mais aussi le tocophérol, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les caroténoïdes (Pelmont, 2005 ; Sevensor *et al.*, 2011). Chez la légumineuse *Medicago sativa* L. l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes peut être considérée comme mécanisme d'adaptation au stress salin (Wang *et al.*, 2009). Les phytohormones telles que l'acide abscissique, l'acide indolacétique, l'acide gibbérellique et les cytokinines, sont impliquées dans la régulation de la réponse des plantes à la salinité et permettent d'atténuer les effets dépressifs de cette contrainte (Fig. 1).

La voie enzymatique de détoxification des espèces réactives à l'oxygène est basée sur les enzymes ci-dessous (Pelmont, 2005) :

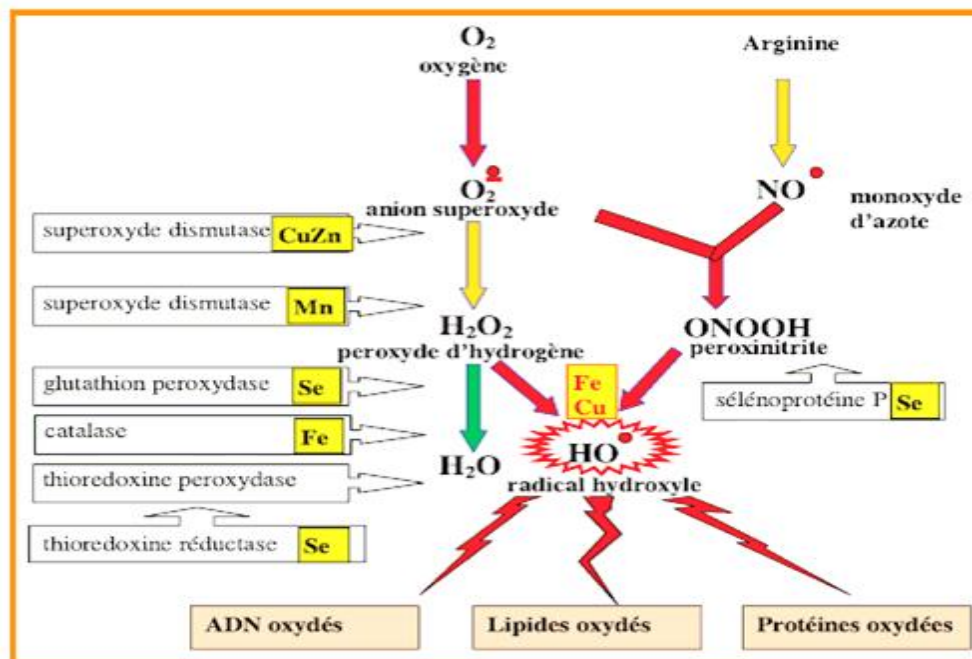


Fig. 2. Mode d'action des principaux systèmes enzymatiques antioxydants et de leurs cofacteurs métalliques (Pelmont, 2005).

I.2.15 Mécanismes de résistance à la salinité

La prévention des dommages causés par le stress salin et leur réparation sont nécessaires pour la survie des cellules. Ces stratégies peuvent inclure différents changements morphologiques, biochimiques et physiologiques.

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante du sodium dans ses tissus; les halophytes, qui accumulent le plus de sodium (Guerrier, 1984), se distinguent ainsi par une forte capacité d'élaboration de Composés organiques, ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externe et cellulaire (Guerrier, 1984)

I.2.15.1 Séquestration du sodium

Les plantes en général, détectent le stress salin à travers le signal ionique (Na^+) et osmotique. L'excès de Na^+ peut être détecté par les protéines transmembranaires ou les enzymes récepteurs de Na^+ (Zhu, 2003). L'excès de Na^+ et Cl^- provoque des changements de structures de protéines et une dépolarisation membranaire qui peuvent conduire à la perception de la toxicité ionique.

Les antiports Na^+/H^+ de membrane plasmique, pompent le Na^+ à partir des cellules racinaires pour être transporté vers les feuilles. Ce transport est la première ligne de défense qui sert à empêcher l'accumulation de Na^+ dans le cytosol (Zhu, 2003). En conditions de salinité, la séquestration vacuolaire de Na^+ est une stratégie importante et rentable pour l'ajustement osmotique qui en même temps peut réduire la concentration de Na^+ cytosolique (Fig. 3). Les antiports vacuolaires Na^+/H^+ utilisent le gradient de protons générés par la H^+ /adénosine triphosphatase (H^+/ATPase) vacuolaire et la H^+ /pyrophosphatase (H^+/PPase) pour la séquestration de Na^+ dans la vacuole. Le stress salin active les H^+/ATPase et H^+/PPase des tonoplastes (Fukuda, 2004). Par conséquent, la coordination entre les antiports Na^+/H^+ , H^+/ATPase et H^+/PPase est cruciale pour la tolérance au stress salin.

I.2.15.2 Prélèvement de K^+

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique K^+/Na^+ . Le stress salin entraîne la diminution de ce rapport, du fait que les ions Na^+ sont en concurrence avec les ions K^+ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques

cellulaires (Fig. 3). De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen *et al.*, 1997). Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin (Pilot *et al.*, 2003).

I.2.15.3 Biosynthèse des osmoprotecteurs et ajustement osmotique

Les légumineuses tolérantes à la salinité réalisent l'ajustement osmotique en concentrant les ions salins dans leurs tissus (Taffouo *et al.*, 2009). Mais, les quantités accumulées deviennent rapidement toxiques. Dès lors, une des stratégies d'adaptation consiste à synthétiser des osmoprotecteurs, principalement des sucres et des composés aminés tels que la proline et la glycine-Bétaïne (Fig. 3) (Farissi *et al.*, 2011).

Chez la luzerne, plusieurs études ont montré une accumulation importante de la proline à partir d'une concentration de 100 mM de NaCl (Mezni *et al.*, 2010 ; Farissi *et al.*, 2011). Chez *Medicago truncatula* L. transgénique, la salinité a provoqué l'accumulation de proline dans les nodules et améliorait la croissance et la fixation symbiotique d'azote (Verdoy *et al.*, 2006). La proline agit comme un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (Slama *et al.*, 2008). Cet acide aminé joue un rôle également dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH (Ottow *et al.*, 2005) ainsi que la stabilité des membranes (Ashraf et Harris, 2004).

Les sucres pourraient contribuer à plus de 50 % à l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité (Ashraf et Harris, 2004). L'accumulation des carbohydrates dans les plantes légumineuses en réponse à la salinité a été documentée dans les espèces de *Phaseolus* (Bayuelo-Jimenez *et al.*, 2012) et *Medicago sativa* (Farissi *et al.*, 2011). Leurs fonctions majeures consistent dans l'osmo-protection, l'ajustement osmotique, le stockage du carbone et le piégeage des radicaux libres (Parida *et al.*, 2004).

I.2.15.4 Induction des enzymes antioxydantes

Le stress salin provoque la formation de dérivés réactifs de l'oxygène tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le superoxyde (O_2^-) et les radicaux libre. Ces dérivés causent des dommages oxydatifs aux différents composants cellulaires, y compris les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques (Halliwell et Gutteridge, 1989).

Pour faire face aux dérivés réactifs de l'oxygène, les plantes ont développé des mécanismes anti-oxydants enzymatiques et non-enzymatiques (Kanokwan *et al.*, 2015). Chez la légumineuse *Medicago sativa* L., l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes comme mécanisme d'adaptation au stress salin (Wang *et al.*, 2009). Le traitement des semences d'une plante légumineuse par l'acide ascorbique augmentait le niveau de la tolérance au sel (Arab et Ehsanpour, 2006). Le maintien d'une activité antioxydante élevée est positivement corrélé à la diminution de la peroxydation des lipides, au maintien de la stabilité des membranes cellulaires des nodules et par la suite au maintien d'une biomasse nodulaire élevée. L'augmentation d'activité SOD détectée dans les nodules de haricot exposés à la salinité expliquait l'amélioration de la tolérance (Tejera *et al.*, 2004).

I.2.15.5 Induction des phytohormones

Les phytohormones telles que l'acide abscissique (ABA), l'acide indolacétique (AIA), l'acide gibbérellique (AG) et les cytokinines, sont impliquées dans la régulation de la réponse des plantes à la salinité et permettent d'atténuer les effets dépressifs de cette contrainte (Fig. 3) (Fahad *et al.*, 2015). L'ABA joue un rôle majeur dans la signalisation des réponses d'adaptation des plantes aux stress (Javid *et al.*, 2011). L'ABA est produite dans les racines en réponse à une diminution du potentiel hydrique du sol et transporté vers les feuilles où il se fixe à des récepteurs de la membrane plasmique de cellules de garde des stomates (Babu *et al.*, 2012). La pulvérisation des phytohormones, notamment AG, sur les feuilles améliorerait la croissance sous conditions de salinité (Fatemeh *et al.*, 2012). L'effet inhibiteur de NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilats a été trouvée atténuée par ABA (Popova *et al.*, 1995). Chez *Phaseolus vulgaris* L., l'interaction de l'acide ascorbique avec AG diminuait les quantités de MDA et de H₂O₂ (Saeidi-Sar *et al.*, 2012).

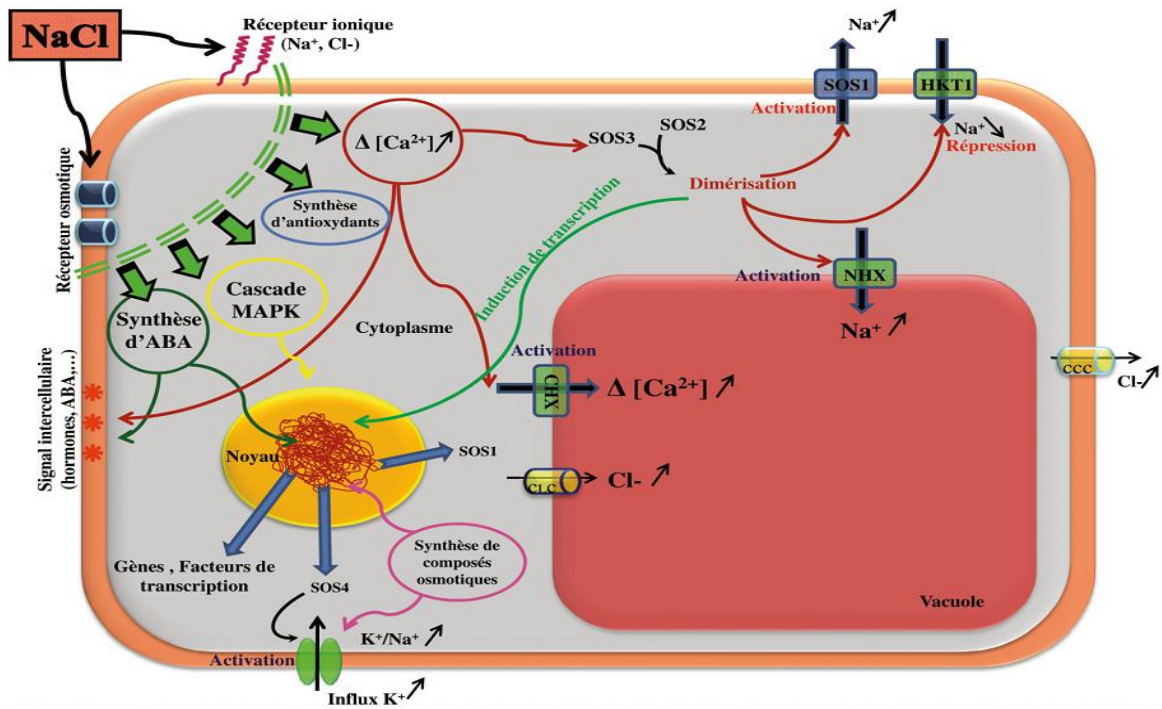


Fig. 3. Synthèse des principaux mécanismes cellulaires de perception, signalisation et réponse au stress salin (NaCl) chez la plante.

I.2.15.6 Régulation de la croissance

Ils ont été démontré que les réponses physiologiques à divers stress tels que la sécheresse ou la salinité, ont des caractéristiques similaires. Ils provoquent toute une augmentation de la concentration en ABA dans la partie aérienne ou une réduction de concentrations en cytokinine. D'après Zhu (2003), la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété (Zhu, 2003). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation.

I.3 Matières organiques et fertilisation organique

Les matières organiques sont le substrat énergétique des organismes hétérotrophes du sol (Balesdent, 1996), elles incluent tous les organismes vivants du sol, ainsi que les restes

d'organismes morts, dans leurs divers degrés de décomposition (Soco, 2009). La matière organique est un élément et produit majeure des processus biogéochimiques (Labanowski, 2004). Elle est un indicateur général de la qualité du sol (Dat, 2001).

I.3.1 Origine et formes des matières organiques dans le sol

Dans la nature, il y a plusieurs sources de la matière organique : les débris végétaux de toute nature (feuilles, brindilles, résidus des récoltes, etc) (Mathieu *et al.*, 2007), les déchets des animaux (sous forme de fumiers, lisiers, composts, etc.) (Petit et Jobin, 2005). Il existe plusieurs catégories de constituants organiques. Une première distinction importante repose sur les caractères vivants ou non de ces constituants, ainsi on distingue :

- Les constituants vivants : les tissus végétaux, les animaux du sol, les biomasses microbiennes.
- Les constituants non vivants se répartissent en deux catégories d'importance très inégale selon leur stabilité dans les sols (Calvet, 2003) : les matières organiques sous forme de particules (sous forme de particules plus ou moins grandes et sont des fragments de tissus dans lesquels des structures cellulaires sont reconnaissables) et les matières organiques moléculaires (constituées par des molécules de tailles très diverses plus ou moins associées entre elles et produites par les transformations chimiques des constituants tissulaires).

I.3.2 Evolution des matières organiques du sol

Dans le sol, l'entrée principale du carbone se fait par le biais de la photosynthèse et l'apport de la matière organique exogène (apports de fumier, d'humus de pailles, retour des résidus de récoltes). Cette matière organique évolue dans le sol selon trois étapes principales.

I.3.2.1 Minéralisation primaire de la matière organique fraîche

La minéralisation primaire est la décomposition des matières organiques fraîches (protéines, glucides, acides aminés, lipides, acides nucléiques...) accompagnées de la libération des minéraux (K^+ , Ca^{++} , NO_3^- ...etc.) (Bordelean, 1992).

I.3.2.2 Humification

L'humification est la transformation des matières organiques en produits stables appelés humus (Bordelean, 1992). Une partie de la matière organique fraîche s'échappe à la

minéralisation et sert à l'édification des molécules de plus en plus complexes qui donne l'humus par trois voies de synthèse de matière organique stabilisée :

- l'humification par héritage : les composés les plus résistants libérés lors de la fragmentation de la litière (lignines, résines, acides phénoliques) sont incorporés directement au complexe argilo-humiques. Cette humification donne l'humine résiduelle et est favorisée par des pH bas ou de fortes teneurs en calcaire actif.
- l'humification par polycondensation : les composés phénoliques simples, ainsi que des chaînes de polysaccharides et de polypeptides, issu des premières étapes de minéralisation, se polycondense en molécules de plus en plus grosses, aboutissant à l'humine.
- l'humification par néosynthèse bactérienne qui donne l'humine microbienne.

I.3.2.3 Minéralisation secondaire

Elle correspond à la minéralisation de l'humus stable. Son coefficient en moyenne est de 1,5 à 2 %. Toutefois, dans les sols sableux, le coefficient de minéralisation peut atteindre des pourcentages élevés de l'ordre de 2 à 3 %. Alors que dans les sols argileux, riche en limons et en calcaire, la minéralisation peut atteindre au contraire des coefficients plus faibles de l'ordre de 0,5 à 1,5 % (Soltner, 2005). Ce coefficient de minéralisation varie suivant que les conditions sont favorables aux micro-organismes responsables de la minéralisation et dépend de la nature du sol.

I.3.3 Formes d'apport organique au sol

I.3.3.1 Fumier et fientes

Le fumier est le mélange des déjections animales et de litière. Il est riche en éléments nutritifs et représente la base de la fertilisation en agrobiologie (Petit et Jobien, 2005). Le fumier joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité du sol soit par l'apport des éléments nutritifs, soit par l'amélioration de ces propriétés physico-chimiques du sol (Duplessis, 2002 ; Hiraoka *et al.*, 2005). Les fientes sont les déjections des volailles, sans litière (Petit et Jobin, 2005).

I.3.3.2 Compost

Le compost est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par les micro-organismes (Petit et Jobin, 2005), d'insectes et de vers de terre (Duplessis, 2002) dans des conditions bien définies.

I.3.3.3 Engrais vert

L'engrais vert est une culture de végétation rapide enfouie sur place et destinée à améliorer la fertilité du sol. Ce type d'engrais a un effet important sur la protection du sol, on le considère comme une source de matières organiques jeunes ; source d'éléments nutritifs pour les plantes essentiellement en azote (Soltner, 2003).

I.3.3.4 Lisier

Lisier est le mélange des déjections solides et liquides des animaux qui ne contient pas de litière (Petit et Jobin, 2005). Ce sont des déjections animales, urines et excréments, mélangés et fermentés.

I.3.4 Fumier de volailles

Le fumier de volailles est relativement riche en hormones et en antibiotiques ; toutefois, ce type de fumier est caractérisé par un faible rendement en humus.

Les fientes de poule : ce sont les déjections (solides et liquides) des volailles, sans litière (Petit et Jobin, 2005). Dans la ferme ce type de fumier se collecte chaque 24 heures, puis il subit un séchage. Il est caractérisé par une teneur élevée en azote qui atteint environ 33,57 kg N /t.

Litière de poulet de chair ou fumier de volaille : cette forme de fumier constitué par une litière de pailles, fèves ou coupure de bois qui absorbe la déjection. Leur collection se fait à la fin du cycle de l'engraissement. Il est aussi riche en hormones et antibiotiques néfastes en excès pour la croissance et le développement des plantes. Enfin, il est à noter que la composition de déjections avicoles varie d'un poulailler à un autre, et ceci est en fonction de type d'élevage, de la litière, de l'alimentation et de l'âge des volailles et de l'état sanitaire de l'animal (Petit et Jobin, 2005).

Le fumier de volailles est un engrais naturellement nourrissant pour les plantes, riche en éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, le calcium, le potassium et le magnésium. Il est reconnu, depuis longtemps, pour ses excellentes propriétés favorisant la croissance des végétaux. Au Cameroun, les coûts de fumier de volailles sont très accessibles pour les

marâchers. A titre d'exemple, le sac de 35 - 40 kg de fumier de volailles est vendu à environ 5 800 FCFA comparé à environ 17500 F CFA pour un sac de 50 kg d'engrais minéral sur le marché de Douala. Cependant, la plus grande partie de cette production est orientée vers la région du Nord - ouest où le sac coûte entre 4 000 et 5 500 FCFA. La quantité totale et le prix du sac indiquent le potentiel et la valeur économique du fumier de volailles.

Dans le sol, le fumier de volailles contribue à alimenter la plante en éléments nutritifs majeurs tels que l'azote, le phosphore, le potassium, les microéléments parmi lesquels le magnésium, le zinc, le cuivre, le soufre et le bore. Sa décomposition produit l'humus, très utile pour la consistance du sol qui devient meuble et perméable à l'air et aux racines. Le fumier de volailles est aussi un amendement organique pour les sols acides, à l'exemple du fumier de poules dont le pH est généralement basique ou alcalin. Il permet de relever le pH du sol, ce qui crée un environnement favorable à une bonne nutrition de la plante et à une bonne activité biologique dans le sol.

I.3.5 Facteurs influent sur la vitesse de dégradation des apports organiques dans le sol

La dégradation de la matière organique est dépend sa nature biochimique, des conditions édapho-climatiques et d'aménagements, qui sont :

- climat : la matière organique se décompose plus rapidement à des températures plus élevées, si bien que les sols des climats plus chauds tendent à contenir moins de matière organique que ceux des climats plus frais (Soco, 2009).
- nature du sol : les sols à texture fine tendent à renfermer plus de matière organique que les sols grossiers; ces derniers sont mieux aérés, et la présence d'oxygène entraîne une décomposition plus rapide de la matière organique.
- rapport C/N : on utilise souvent le rapport C/N pour comparer la teneur en azote du sol. Ainsi plus la valeur de la valeur du ratio C/N de la matière organique est élevé, plus l'activité microbienne est limitée par la quantité d'azote disponible dans le sol ce qui indique une faible décomposition de la matière organique (Oustani, 2006).
- pH du sol : les différents type de microorganismes du sol ont chacun son pH optimum de croissance maximale, le pH optimum correspondant à la décomposition rapide de l'ensemble des substrats se situe entre 6,5 et 8,5. Les bactéries et les actinomycètes ont leur pH optimum voisin de la neutralité ne concurrencent que faiblement les éléments nutritifs en milieu acide, ce qui explique l'abondance des champignons à pH acide (Oustani, 2006).

- hydrologie du sol (drainage) : plus un sol est humide, il y a moins d'oxygène disponible pour que la matière organique se décompose, si bien qu'elle s'accumule (Soco, 2009).
- travail du sol : le labour augmente la macroporosité dans le sol et sa température moyenne, contribuant ainsi à augmenter la vitesse de décomposition de la matière organique. Une perte de matière organique se produit également car l'érosion lessive la terre arable et l'humus (Soco, 2009).
- présence des sels : l'étude de l'évolution de la matière organique dans les sols salés montre indiscutablement une inhibition des activités microbiennes du processus de la minéralisation, ainsi qu'une pénurie en produits humiques polymérisés (Oustani, 2006).

La minéralisation est à la fois influencée par l'effet des cations, des anions et de leurs interactions. En effet, si les cations Na^+ sont nocifs à l'égard de l'activité minéralisatrice, cette action est encore renforcée par les anions accompagnateurs.

I.3.6 Effets de la matière organique sur les micro-organismes et propriétés du sol

Les matières organiques ont de multiples propriétés qui jouent un rôle important dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol. La litière favorise la filtration de particules solides et la limitation de l'évaporation de l'eau (Calvet, 2003). La matière organique granule la structure des sols lourds et des sols légers. Elle augmente l'aération du sol, la pénétration des racines, l'infiltration de l'eau, limite le risque d'érosion, la résistance au compactage. Dans les agro-systèmes semi-arides, les amendements organiques permettent d'augmenter la réserve en eau (Balesdent, 1996). Elle a un rôle thermique réchauffant le sol du sol grâce à l'absorption de la lumière (Calvet, 2003). Elle assure la cohésion des constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et la stabilité de la structure. Ceci dû au grand nombre de liaison électrostatique (Balesdent, 1996). La matière organique est une source d'éléments chimiques qui proviennent de sa dégradation (Calvet, 2003) ; elle maintien dans le sol d'un pH légèrement acide favorable à l'assimilation des éléments minéraux. Libération, par oxydation de l'humus, de gaz carbonique accroît la solubilité de certains éléments nutritifs dans le sol et facilite leur utilisation par la plante ; elle favorise par exemple la formation de complexe phospho-humique (le phosphore peut ainsi être maintenu sous forme assimilable malgré la présence de calcaire libre ou de fer libre). La matière organique contribue également à la diminution de la rétrogradation du potassium

(Carat et FAO, 1992). La matière organique apporte aux micro-organismes une nourriture facilement disponible qui encourage le développement d'une activité biologique intense dans les sols (Petit et Jobin, 2005). D'autres parts, la matière organique est un support de la micro faune du sol (Soltner, 2005).

I.3.7 Effets de la matière organique sur les végétaux

La matière organique constitue une source importante d'éléments minéraux non seulement en éléments majeures, mais aussi en oligo-éléments (Soltner, 2005). Ces éléments sont utilisés par les plantes pour satisfaire leurs besoins au cours de leurs cycles de développement (Moughli, 2000).

Ainsi, elle favorise une bonne croissance des plantes et une forte résistance aux maladies. Par ailleurs, l'humus fournit aux plantes des activateurs de croissance agissant positivement sur la croissance des plantes (Soltner, 2005).

De nombreuses études ont été menées, concluant le plus souvent de l'effet bénéfique des amendements organiques sur la santé des plantes. Ces amendements organiques influençaient l'apparition des symptômes du Virus Africain de la Mosaïque du Manioc (Bakayoko *et al.*, 2007).

I.4 Généralités sur le poivron

I.4.1 Présentation de la famille des Solanacées

La famille des *Solanaceae* est subdivisée en trois sous-familles, les Solanoideae, les Cestroideae et les Nolanoideae.

La tribu des Solaneae, qui appartient à la sous famille des Solanoideae comprend plusieurs genres au nombre desquels *Capsicum* (piment), *Lycopersicon* (la tomate), *Solanum* (pomme de terre) et *Melongena* (aubergine), plantes utilisées dans l'alimentation humaine, sont les Solanacées les plus cultivées dans le monde. Par ailleurs, cette famille botanique est l'une des plus importantes parmi les plantes car 2 300 espèces y sont dénombrées (D'Arcy, 1991).

I.4.2 Genre Capsicum

I.4.2.1 Morphologie

Le poivron (*Capsicum annuum* L.) encore appelé piment doux est un arbrisseau vivace, autogame préférentiel, dicotylédone et multiplié par semences (Fig. 2). Son cycle végétatif est court (environ 3 à 4 mois). L'autogamie est une fécondation forcée et exclusive d'un individu par lui-même. Elle est assurée au plan anatomique par la structure de la fleur qui facilite l'autofécondation et empêche l'hybridation. Cependant, quelques conditions biologiques doivent être réunies à la fois :

- Les fleurs sont hermaphrodites, avec étamines et pistil, contact ou proximité étamines-stigmates, synchronismes des floraisons mâles et femelles, absence de systèmes d'auto-incompatibilité et de stérilité mâle, au moins pendant la période de réceptivité, fleurs closes, ou au moins stigmates protégés durant leur période de réceptivité.
- Les feuilles de poivron sont alternes, simples, très variables ; les fleurs sont blanches ou verdâtres pour la plupart des variétés.
- La tige du poivron se ramifie facilement et fournit de nombreuses branches latérales.
- La racine pivotante est forte et les racines latérales nombreuses.
- Le nombre de jours requis pour la floraison dépend principalement de la variété et des conditions environnementales. Pour la plupart des variétés, la floraison commence au bout de 40 jours après le repiquage (Rajput et Parulekar, 1998). Les fleurs sont souvent solitaires mais dans certains cas, elles apparaissent en bouquets. Elles sont pédicellées et bisexuées (hermaphrodites) (Kalloo, 1988 ; Rajput et Parulekar, 1998).
- Les graines sont orbiculaires (circulaire), aplaties, de 3 à 5,5 mm de diamètre, jaune pâle. Les fruits sont gros de 3 à 12 cm de diamètre, verts, rouges, jaunes ou bruns lorsqu'ils sont mûrs, ayant un goût et un arôme doux et sucré (Gry, 1991 ; Erard *et al.*, 2002 ; Palloix *et al.*, 2003).

I.4.2.2 Origine

Le poivron est un groupe de cultivars de l'espèce *Capsicum annuum* L. (tout comme certains piments). C'est une Solanaceae originaire du Mexique et de l'Amérique centrale, était très peu connue en Afrique il y a une dizaine d'années.

Mais aujourd'hui, s'impose de plus en plus comme l'une des épices les plus consommées sur le continent.



Fig. 4. Plante entière de poivron (Tropicasem, 2004).

I.4.2.3 Espèces cultivées : caractéristiques principales

On peut distinguer les diverses espèces de *Capsicum* cultivées principalement par leur type de développement ; annuelle ou vivace, mais aussi par certains caractères morphologiques (Messiaen, 1975). Greenleaf (1986) pour sa part fait état d'une combinaison entre les caractéristiques des fleurs et des fruits. Ainsi on a :

- *Capsicum frutescens* L. : espèce vivace dont la hauteur des plants dépend du climat, à feuillage fin, à fleurs souvent en bouquets (Williams *et al.*, 1991) insérées par paires.
- *Capsicum chinense* Jacq. : a un feuillage plus large et plus gaufré que *Capsicum frutescens*, mais pousse lui, plus lentement que *Capsicum annuum*. Il peut donner au bout de 3 ou 4 ans des arbustes de 1,5 m de haut avec des troncs de 2 ou 3 cm de diamètre. Son cycle varie entre 80 et 120 jours en moyenne (Fig. 5).
- *Capsicum pubescens* Ruiz et Pav., se caractérise par ses feuilles ovoïdes très poilues et ses fleurs bleues, ses graines noires et irrégulières. Son cycle de croissance est d'au moins 120 jours (Chaine-Dogimont, 1993)

- *Capsicum baccatum* L. : est une espèce qui se distingue par sa corolle blanche marquée de chevrons jaunes et ses étamines libres. Son cycle est d'environ 120 jours et ses plants ont du fait de leur persistance, une tendance arbustive (Fig. 5).
- *Capsicum annuum* L. est une espèce annuelle comme son nom l'indique. On rencontre dans cette espèce en général des variétés à fruits doux mais aussi quelques variétés à fruits piquants (Fig. 5).



Fig. 5. Variation de la forme du fruit des principales espèces cultivées de piment (*Capsicum spp.*). (Echantillon de la collection des ressources génétiques de l'INRA d'Avignon) (Palloix *et al.*, 2003).

Le genre *Capsicum* compte 25 espèces officiellement admises (Baral et Bosland, 2002) dont 5 domestiquées (Tableau III).

Tableau III. Espèces décrites du genre *Capsicum* (Palloix *et al.*, 2003 ; Mahbou Somo Toukam, 2010).

Sections	Nom des espèces	Zone de distribution (ou de collecte)
Complexe <i>Capsicum Annuum</i>	<i>C. annuum</i> L. var. <i>glabriusculum</i> (wild) var. <i>annuum</i> (domestiqué)	Du nord de la Colombie et du sud des USA
	<i>C. chinense</i> Jacq. <i>C. frutescens</i> L.	Caraïbes, Amérique centrale et du sud Amérique Centrale
Complexe <i>Capsicum Baccatum</i>	<i>C. baccatum</i> L. var. <i>baccatum</i> (sauvage) (syn. <i>C. microcarpum</i>) var. <i>pendalum</i> (domestiqué)	Argentine, Bolivie, Brésil, Paraguay, Pérou
	<i>C. praetermissum</i> Heiser & Smith	Sud du Brésil
Complexe <i>Capsicum Pubescens</i>	<i>C. pubescens</i> Ruiz & Pav.	Haut plateaux d'Amérique latine (Bolivie, Pérou)
	<i>C. eximium</i> Hunz.	Argentine, Bolivie
	<i>C. cardenasii</i> Heiser & Smith	Bolivie
Complexe additionnel : Espèces sauvages de <i>Capsicum</i>	<i>C. chacoense</i> Hunz.	Argentine, Bolivie, Paraguay
	<i>C. galapagoense</i> Hunz.	Galapagos Islands, Equateur
	<i>C. buforum</i> Hunz.	Brésil
	<i>C. Campilopodium</i> Sendt.	Sud du Brésil
	<i>C. coccineum</i> (Rusby) Hunz.	Bolivie, Pérou
	<i>C. cornutum</i> (Hiern) Hunz.	Sud du Brésil
	<i>C. dimorphum</i> (Miers)	Colombie
	<i>C. dusenii</i> Bitter	Sud-est du Brésil
	<i>C. hookerianum</i> (Miers)	Équateur
	<i>C. leptopodium</i> (Dunal)	Brésil
	<i>C. minutiflorum</i> (Rusby) Hunz.	Argentine, Bolivie, Paraguay Sud du Brésil
	<i>C. mirabile</i> Mart ex. Sendt	Colombie, Nord-est du Brésil, Venezuela
	<i>C. parvifolium</i> Sendt.	Pérou
	<i>C. scolnikianum</i> Hunz.	Argentine, Sud du Brésil, Sud-est du Paraguay
	<i>C. schottianum</i> Sendt.	
<i>C. tovarrii</i> (Eshbaugh WH)	Pérou	
<i>C. villosum</i> Sendt.	Sud du Brésil	

I.4.2.4 Position taxonomique

Le poivron est une plante herbacée ou vivace, et annuelle se multipliant par semences. (Gry, 1991 ; Erard *et al.*, 2002). Le poivron ou piment doux appartient au genre *Capsicum* de

la grande famille des Solanaceae comme les aubergines (*Solanum melongena*, *Solanum aethiopicum*), la tomate (*Lycopersicon esculentum*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) ou encore la tabac (*Nicotiana tabacum*). Dans la sous-classe des Aristidae du groupe des Dicotylédones évoluées caractérisées par la gamopétalie (pétales soudés), les Solanaceae appartiennent à l'ordre des Polémoniales, à port herbacé et à ovaire supère (Guignard, 1996).

La saveur piquante de certaines espèces qualifiées de « piments forts » (par opposition aux « piments doux ») est liée à la présence de la Capsaïcine ($C_{18}H_{27}NO_3$), substance irritante du groupe des vanillyl-amides localisée au niveau du placenta (Anu et Peter, 2000) et dont la plus forte concentration se rencontre au voisinage des graines (Messiaen, 1975).

Super règne : *Eukaryota*

Règne : *Plantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Asteridae*

Ordre : Solanales

Famille : *Solanaceae*

Sous-famille : *Solanoïdeae*

Genre : *Capsicum*

Espèce : *Capsicum annuum* L.

I.4.3 Distribution géographique

Le poivron était déjà utilisé au Mexique 7 000 à 5 000 ans avant Jésus Christ. Il a été introduit en Europe occidentale au XV^e siècle par Christophe Colomb, dès son premier voyage en 1493, et en Afrique et Asie à la faveur des voyageurs vers les comptoirs portugais et espagnols (Fig. 6). On pense que les oiseaux ont été son principal agent de diffusion. Sa diffusion a aussi été assurée par les missionnaires franciscains et jésuites. Le bassin méditerranéen et l'Asie ont constitué des centres secondaires de diversification.

En Europe de l'Ouest, sa culture s'est répandue d'abord dans la péninsule ibérique. Ce n'est que depuis les années 1970 que sa culture connaît un développement pour tenter de réduire les importations devenues massives, en raison de l'intérêt nouveau porté par ce légume (Chaux et Foury, 1994 ; Palloix *et al.*, 2003).

A la faveur des expéditions commerciales menées par les Portugais et les Espagnols entre le XVI^{ème} et XVII^{ème}, il sera introduit en Afrique, via les comptoirs commerciaux du golfe de Guinée et de l'Angola jusqu'en Inde, Indonésie et en Chine (Palloix *et al.*, 2004).

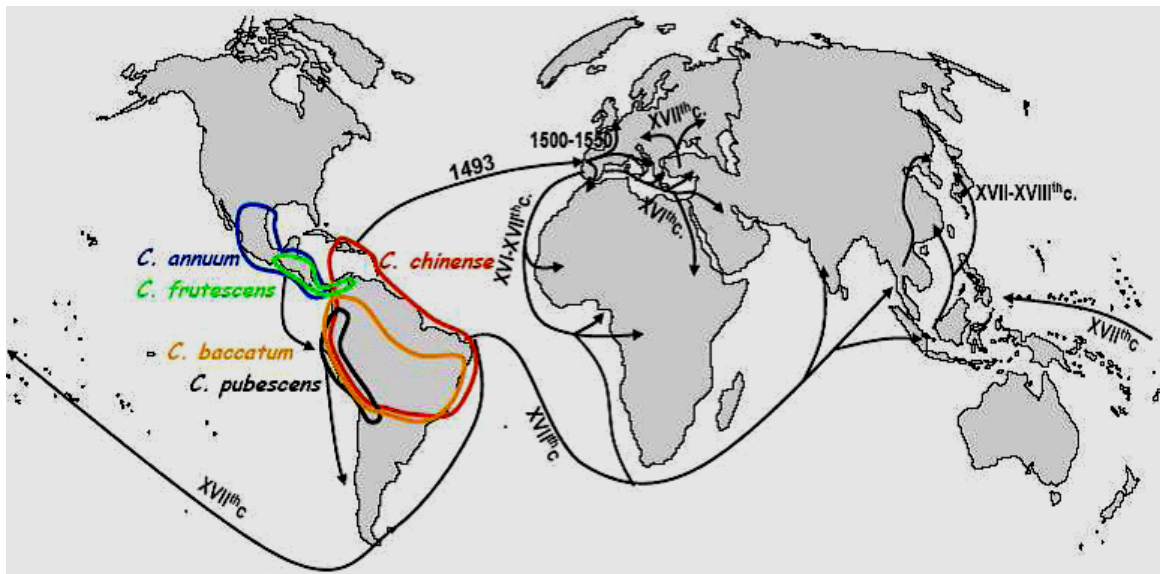


Fig. 6. Principaux centres de diversification de cinq espèces de *Capsicum* domestiquées (Pickergill, 1969).

Au Cameroun, on cultive quelques variétés de poivron notamment *Tibesti*, *Granada*, *Yolo wonder*, *Nobili* et *Goliath*. Les grandes zones de production du poivron au Cameroun sont notamment, la plaine de Foubot et ses environs, Dschang et Bangangté toutes dans la région de l'Ouest, la plaine de Santa dans la région du Nord-Ouest, les Régions du Centre et du Littoral (département du Moungo).

I.4.4 Agronomie de *Capsicum annuum* L.

I.4.4.1 Exigences écologiques

Le poivron requiert une bonne luminosité, dans le cas contraire, le cycle végétatif du poivron se raccourcit. Les *Capsicum* sont des plantes de jours courts facultatifs, cela veut dire que la floraison se réalise mieux et plus abondante en jours courts pourvu que la température et les facteurs climatiques soient adéquats. Les exigences photopériodiques varient de 12 à 15 heures (Valdez, 1994).

Le poivron est l'une des plantes maraîchères les plus exigeantes en température, mais moins exigeant en ensoleillement que la tomate. Le poivron est très sensible aux températures basses. Son développement optimal s'observe sous des températures variant entre 16 à 26 °C

et pour un éclaircissement de l'ordre de 50 à 60 % du rayonnement solaire tropical, surtout les jeunes plantes. Sous les tropiques, une altitude de 400 à 800 m lui est favorable.

Les meilleurs sols pour la culture du poivron sont les sols de texture légère. Les sols doivent être bien drainés, et avoir une bonne quantité de matière organique. Le pH doit être compris entre 6,5 et 7,0. Le poivron exige une grande quantité de fumure minérale et organique (N : 100 kg/ha sous forme de sulfate d'ammoniaque ou d'urée ; P : 150 kg/ha ; K : 120-150 kg/ha sous forme de sulfate de potasse ou de KCl) sauf en cas de forte salinité de sol. L'irrigation dans les sols sableux est favorable à cette culture (Valdez, 1994). Les besoins de la culture se situent aux environs de 400 mm pendant la période végétative et de 200 à 400 mm pendant la période de cueillettes, soit 600 à 800 mm/cycle. Le but essentiel de tout système d'irrigation consiste à mettre à la disposition de la plante la quantité d'eau nécessaire à ses besoins en temps opportun. Toute erreur en irrigation a des conséquences graves sur la production puisque la faculté restauratrice des racines du poivron est faible (Skiredj *et al.*, 2005).

Le sol destiné à la culture du poivron doit être labouré, bêché tout en y enfouissant des engrais organiques. Il doit être travaillé jusqu'à une profondeur de 30 cm en moyenne. Dans le premier cas on approfondit jusqu'à 25 à 30 cm, dans le deuxième cas jusqu'à 40 cm ou plus. Au bout de 10 à 15 jours, suivant la texture du sol et l'exigence climatique on effectue le croisement avec charrue à disque (Valdez, 1994).

Le poivron doit être transplanté, dans les bords des billons, à une profondeur de 5 cm. La distance de transplantation du poivron dépend de la variété utilisée. Les dimensions des écartements et des espacements sont comme suit : un (1) mètre entre lignes simples 0,4-0,5 m entre plants ou bien 1,20 à 1,50 m entre jumelées (dans la jumelée 0,3- 0,5 m et 0,4- 0,5 m entre plantes dans le rang). La densité de plantation est de 20 000 et 22 000 plants/ha (Skiredj *et al.*, 2005)

I.4.4.2 Rôle des principaux éléments minéraux

Les plantes, pour leur croissance, ont besoin des éléments minéraux tirés du sol par les racines. Ces principaux éléments minéraux indispensables pour la croissance et le développement des plantes sont :

- l'Azote (N) : c'est un élément majeur pour la fertilisation des végétaux, il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO_3^-) soit ammoniacal (NO_4^+). Il a

plusieurs rôles dans le développement de la plante. Il est le moteur de la croissance végétale et contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante, feuilles, tiges et formation des graines d'où sa contribution à l'amélioration du rendement.

- le Phosphore (P) : il a pour rôle de renforcer la résistance des plantes et contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine.
- le Potassium (K) : il contribue à favoriser la floraison et le développement des fruits. Il a également une action de renforcement de la résistance aux maladies et au froid, la limitation de l'évapotranspiration, la rigidité de la tige, et la constitution de la réserve nutritive (bulbes).
- le calcium (Ca) : il a un rôle extrêmement important dans la constitution des tissus végétaux et permet aux plantes de mieux se développer. Il permet d'augmenter la résistance des tissus végétaux, une meilleure tenue de la tige et un développement normal du système racinaire.
- le magnésium (Mg) : élément de base de la chlorophylle. Elle permet à la plante d'effectuer les transformations chimiques des éléments nutritifs et l'assimilation et la migration du phosphore dans la plante
- les oligo-éléments : on regroupe sous le terme d'oligo-éléments, des substances présentes en très faibles quantités dans le sol et qui permettent aux végétaux de se développer. Sans ces substances, la plante dépérit et meurt par carence. C'est le cas du cuivre, du fer, du zinc.

I.4.4.3 Conduite et pratiques culturales

En conditions tropicales, le choix variétal se restreint encore à quelques variétés présentant une forte rusticité, toutefois il convient de rechercher des variétés résistantes et susceptibles de forte productivité. Les conditions de culture restent les mêmes d'après Desai et al (1997) quelle qu'en soit la finalité de la production ; fruits frais pour le marché ou production grainière. Les semences provenant de fruits à maturité complète seront semées en pépinière composée de terre légère et fraîche (Kroll, 1994), les poivrons se prêtant mal au semis direct car moins compétitifs vis à vis des mauvaises herbes.

De plus, l'importante pression parasitaire dont ils sont susceptibles fait que le choix du terrain participe déjà à la lutte phytosanitaire préventive intégrée contre les nuisibles telluriques. Le repiquage en place définitive sera effectué entre 25 et 40 jours après semis, en

doubles lignes (voire triples) espacées de 1 m avec des écartements variant entre 0,4 et 0,8 m en tous sens, selon le type variétal utilisé.

I.4.5 Importance socio-économique

La production mondiale de piment doux était estimée à 30 millions de tonnes (Anonyme, 2007). Les principaux producteurs mondiaux de piments frais sont la Chine (14 millions tonnes, 47 % de la production mondiale), le Mexique (1,8 millions) et la Turquie (1,7 million de tonnes) (Anonyme, 2007). Cette performance de la Chine est plus due à l'étendue des surfaces cultivées qu'aux rendements.

En Afrique, le Nigeria et l'Égypte sont les premiers producteurs africains de piment frais alors que l'Éthiopie est le premier producteur de piment sec avec 115 000 t (soit 25 % de la production africaine de piment sec). Avec un rendement moyen en production de piment frais de 1,41 t/ha, le Cameroun est parmi les trois derniers mondiaux (Anonyme, 2007). La Réunion détient le record mondial de productivité de piment séché avec un rendement de 15,56 t/ha (Tableau IV). Au Cameroun, les piments arrivent en sixième position en terme de générateur de revenus dans le secteur horticole après la tomate, le bananier, le maïs, le gombo et la morelle noire (*Solanum nigrum*) et en première position dans le groupe des épices en zone forestière humide à pluviométrie bimodale.

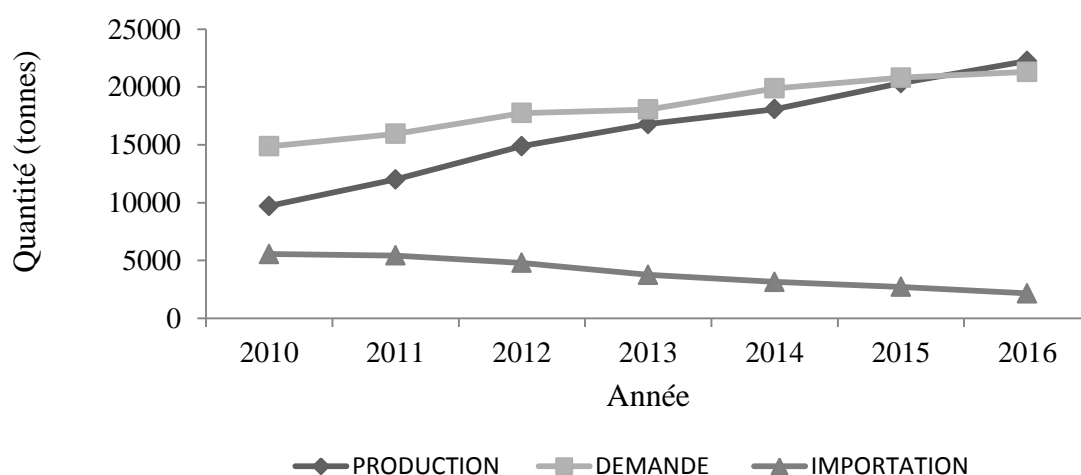


Fig. 7. Production, demande et importation du poivron au Cameroun (INS, 2016)

Le marché local reste informel et embryonnaire, et il est acheté par toutes les couches sociales, les ménages, les restaurants, les hôtels, les professionnels, et les revendeurs. Il y'a une disponibilité des sources d'approvisionnement en matières premières et équipements, en ressources humaines. Le poivron est présent dans la plupart de mets préparés au Cameroun et

se vend en fruit dans les grandes villes, telles que Yaoundé, Douala et Bafoussam. Actuellement, le prix d'un filet de 50 à 60 kg se négocie sur le marché local à 45 000 francs CFA. A la période des fêtes de fin d'années, il se vend entre 60 000 et 70 000 francs CFA. Cette même quantité se vend aux mois de Juillet et Août, entre 90 et 100 000 francs CFA (Anonyme, 2007).

Des milliers de tonnes de poivron sont exportés vers l'extérieur, surtout au niveau des Etats de l'Afrique Centrale. La Guinée équatoriale, le Gabon et le Tchad en sont les principaux consommateurs, permettant ainsi aux producteurs, comme le Nigeria, de réaliser d'énormes bénéfices.

Tableau IV. Production mondiale de piments (Anonyme, 2007)

	Poivrons et piments frais			Poivrons et piments secs		
	Production (t)	Rendements (t/ha)	Rang Mondial (SUR 117)	Production (t)	Rendements (t/ha)	Rang Mondial (SUR 67)
AFRIQUE	2 541 998			455 150		
Nigéria	723 000	7,82	7	49 500	4,95	11
Egypte	475 000	15,83	8	45 600	4,56	12
Ghana	279 000	3,58	11	81 000	6,48	7
Tunisie	278 000	13,24	12	7 000	2,5	30
Algérie	268 055	12,97	13	7 600	2	28
Ethiopie	138 191	2,17	22	115 000	0,4	6
Cameroun	9 500	1,41	69	6 300	1,37	32
Réunion	-	-	-	700	15,6	51
AMERIQUE	3 309 704			236 865		
Mexique	1 890 428	21,52	2	60 000	1,62	10
USA	855 870	26,77	6	0	-	-
Argentine	127 000	19,84	24	3 300	1,03	37
Venezuela	124 106	18,22	25	0	-	67
Cuba	55 807	9,54	33	0	-	-
ASIE	18 300 308			1 978 929		
Chine	14 026 272	21,5	1	250 000	6,25	2
Indonésie	1 128 790	5,53	4	0	-	64
Corée	414 136	6,81	9	0	-	-
Japon	149 600	42,74	20	0	-	65
Sri Lanka	62 790	3,63	30	0	-	-
Inde	0			1 200 000		1
EUROPE	2 916 515			107 450		
Turquie	1 759 224	19,99	3	0	-	66
Espagne	1 059 500	48,38	5	5 000	2,27	34
Pays Bas	320 000	266,67	10	0	-	-
Italie	252 194	18,92	14	0	-	-
Hongrie	208 200	40,04	16	33 000	7,5	15
Romanie	184 939	9,98	18	33 000	1,06	16
OCEANIE	61 183			0		
Nouvelle Zélande	2 000	33,9	90	0	-	-
MONDE	27 129 708			2 778 394		

I.4.6 Importance nutritionnelle

Les poivrons sont essentiellement destinés à la production des condiments, légumes et épices pour la cuisine. Ils sont cultivés comme plantes potagères pour leurs fruits consommés, crus ou cuits, comme légumes. Certaines régions du monde sont de grandes consommatrices de piment (Amérique du Sud).

La capsaïcine ($C_{18}H_{27}NO_3$), un alcaloïde, est un métabolite qui caractérise le piment. Il confère le goût piquant ainsi que des propriétés anti-oxydantes. Le glucose et le fructose donnent son goût doux au poivron. Un composé volatile, le 2-méthoxy-3-isobutyl-pyrazine ($C_9H_{14}N_2O$), donne la saveur et l'odeur typiques du poivron. Il permet ainsi de produire certains métabolites secondaires d'intérêt (Materska et Perucka, 2005).

Le poivron est l'ingrédient indispensable d'un certain nombre de plats, comme la ratatouille. Une partie de la production du poivron est utilisée pour la conserverie et pour la fabrication de concentrés. Il peut être séché entier ou réduit en poudre. Il entre dans la composition du curry, du tabasco, de l'harissa, du pili-pili africain. De la poudre séchée, sont aussi extraites, la capsanthine et la capsorubine (oléorésines), principaux colorants naturels rouges utilisés en industrie agro-alimentaire (Erard *et al.*, 2002).

Le poivron est composé de toute une série d'éléments, dont pour 100 g de poids frais, de portions comestibles crus, on trouve une richesse de : 90,25 g d'eau, 1,74 g de protéines, 0,44 g de lipides, 6,70g de glucides (glucose et du fructose, tandis que le saccharose n'apparaît que sous forme de traces), 44,90 mg de vitamine C, 1,4 mg de vitamine E (tocophérols), 3,5 mg de vitamine A, 0,90 mg de fer, 0,90 mg de Niacine, 26 mg de Calcium, 170 mg de potassium, 26 mg de phosphore, 13 mg de magnésium (Anonyme, 2004).

Les fibres sont relativement abondantes (2 g aux 100 g).

I.4.7 Généralités sur les antioxydants

L'oxygène est la source de vie pour les organismes aérobies. Mais l'oxygène peut être également une source d'agression pour l'organisme (Ekoumou, 2003). En effet, des dérivés hautement réactifs de l'oxygène peuvent apparaître au cours des réactions enzymatiques ou sous l'effet des rayons ultra violet. Les formes de l'oxygène provoquant ces troubles sont : l'oxygène singulet O, le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , les peroxydes alkyles ROOH, le radical superoxyde O_2 , les radicaux hydroxyles, peroxydes ROO et alkoxydes RO (Cavina, 1999).

Les conséquences au niveau de l'organisme se font ressentir sur l'ADN, les lipides et les protéines (Ahmad *et al.*, 2003). Les antioxydants sont classés dans trois catégories différentes :

- les antioxydants synthétiques : (3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène), (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole)
- les substances synergiques : acides lactiques, tartriques et ortho phosphoriques et leurs sels de sodium, potassium ou calcium
- les antioxydants d'origine végétale : les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols

Les études d'intervention visant à montrer qu'une alimentation riche en fruits et légumes a une incidence positive sur les taux plasmatiques en antioxydants sont très diversifiées et surtout concluantes. L'ensemble des études épidémiologiques dans diverses régions du globe montre indéniablement que la consommation de fruits et légumes entraîne une augmentation significative de la concentration plasmatique en antioxydants, dont la vitamine C et divers caroténoïdes comme l' α - et le β -carotène, la lutéine et le lycopène (Le Marchand *et al.*, 1994; Steptoe *et al.*, 2003). Ainsi, il a été montré que la consommation de trois à huit portions de fruits et légumes par jour permet, après deux semaines, d'augmenter significativement la concentration plasmatique en vitamine C et en β -carotène de 72,8 et 53 %, respectivement (Zino, 1997).

I.4.8 Valeur pharmacologique et médicale

Le poivron a de nombreux usages diététiques et pharmaceutiques. Notamment, il stimule l'appétit et la digestion. Une consommation régulière de poivron serait bénéfique pour l'état vasculaire et contre les hémorroïdes, les varices, l'anorexie et la congestion du foie. Il est favorable à la circulation sanguine (Palloix *et al.*, 2003).

Le poivron contient une substance la lutéoline, une flavone qui agit en activant des circuits neuronaux impliqués dans l'apprentissage. Il renferme plusieurs types d'antioxydants (capsaïcine, flavonoïdes, alpha-tocophérol) pouvant jouer un rôle dans la prévention contre certains cancers (les capsates sont des substances chimiques dans le poivron qui peuvent provoquer la mort des cellules tumorales et ainsi permettre d'éviter le développement des

tumeurs cancéreuses), maladies cardio-vasculaires et de la maladie d'Alzheimer (Willcox *et al.*, 2004 ; Tucker et Townsend, 2005).

I.4.9 Nomenclature vernaculaire

Du fait de sa grande distribution, le poivron, *Capsicum annuum* L. est bien connu de par le monde et sous des appellations différentes suivant les zones géographiques. Dupriez De Leener (1987) ont rapporté les autres noms suivant de la zone tropicale africaine :

Tableau V. Noms vernaculaires africains (Dupriez De Leener, 1987)

Langues	<i>Capsicum annuum</i> L.	Langues	<i>Capsicum annuum</i> L.
DENDI	Touka	MAKA	Bageanini
BOBO	Kepanano sa	MIFI	Sogndog
DAGARA	Simaa	FUFULDE FOULBE	Atangou
DIOULA	Forontobani	ASHANTI	Mako
MOORE	Foronto	BAMBARA	Furondokumba
BANGANTE	Sôgnékale	YORUBA	Tatase, atarodo
BASSA	Tomatohilôba	MANDINGUE SOCE	Kano
DOUALA	Ndongomindene	MALINKE	Foronto
AKPOSSO	Djakali	MINA	Gboyébéssé
EWONDO	Ondongoeprwebe	WOLOF	Kani

I.4.10 Contraintes majeures de la culture du poivron

I.4.10.1 Exigences climatiques

Le poivron préfère un climat chaud et humide avec une pluviométrie comprise entre 600 et 1 250 mm. La culture du poivron est difficile dans les basses terres tropicales chaudes et humides (Maaouia-Houimli *et al.*, 2011). Il possède une grande facilité d'adaptation pourvu qu'il y ait suffisamment d'eau pendant le cycle. Il est très sensible aux températures basses. Les températures supérieures à 35 °C réduisent la fructification et la photosynthèse. Les exigences de la culture en lumière sont très grandes. Dans les vergers ou sous ombrage, il ne donne pas des rendements satisfaisants. Le poivron est fort exigeant en humidité de sol (Erard *et al.*, 2002 ; Maaouia-Houimli *et al.*, 2011).

I.4.10.2 Exigences édaphiques

La plupart des sols conviennent à la culture, à condition qu'ils soient bien drainés et pas trop pierreux, profonds, fertile et meuble. Williams *et al.* (1991) estiment que le poivron peut

avoir une bonne croissance dans les plaines sableuses. Certaines variétés sont sensibles à la salinité, au stress hydriques et à l'acidité du sol (Erard *et al.*, 2002) . Elles exigent un sol très fertile, riche en matières organiques et exigent un traitement régulier contre les bactéries, moisissures, les champignons et les insectes (Maaouia-Houimli *et al.*, 2011).

I.4.10.3 Effets de salinité sur le poivron

Le poivron est considéré comme sensible (Cornillon et Palloix, 1997) ou modérément sensible (Chookhampaeng, 2011) à la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 1,5 dS/m, le rendement baisse de 14 % et peut atteindre 50 % de réduction à une CE de l'ordre de 5,8 dS/m (Maas, 1977). L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement, suite à la réduction du calibre et du poids frais du fruit (Navarro *et al.*, 2010 ; Maaouia-Houimli *et al.*, 2011). En effet, la salinité réduit la croissance et la productivité de la culture en raison de la diminution de potentiel osmotique dans le sol et de l'augmentation de la concentration des ions Na⁺ et Cl⁻, qui atteint alors un niveau toxique pour la plante (Chookhampaeng, 2011).

I.4.10.4 Contraintes biotiques

Le poivron est sensible à une grande variété de maladies que sa culture a lieu en saison humide où les dégâts sont les plus importants :

- les maladies virales : le virus de la mosaïque du tabac (Tobacco Mosaic Virus) et le Pepper Mild-Mosaic Virus, les cucumovirus, potyvirus (Ayme *et al.*, 2006 ; 2007).
- les maladies fongiques : l'oomycète causée par *Phytophthora capsici*, l'oïdium causé par *Leveillula taurica*, la cercosporiose causée par *Cercospora capsici* et l'antracnose causée par *Colletotrichum spp.*
- les maladies bactériennes : les taches bactériennes des feuilles causées par *Xanthosomas euvesicatoria*, *Xanthomonas perforans* et *Xanthosomas gardneri* (Jeffrey *et al.*, 2004), et le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*.
- les ennemis animaux : les vers des fruits, la mouche méditerranéenne des fruits, le puceron vert, les acariens.

I.4.11 Récolte et conservation

Selon les variétés et le but de la production, la période de récolte peut varier. Les poivrons sont généralement récoltés verts, manuellement, avec leur pédoncule lorsque les fruits n'ont pas encore atteint la maturité complète car étant d'un meilleur rapport (Beniest,

1987) quoique nutritionnellement meilleurs à l'état mûr (jaunes ou rouges selon les variétés). Il est recommandé de prévoir la récolte entre 50 et 55 jours après la floraison pour les fruits verts (Laumonier, 1979) ou 60 à 80 jours après le repiquage (Beniest, 1987). Dans ce cas, les risques de pourriture, d'attaques d'insectes ou de coups de soleil sont limités. La récolte peut durer trois (03) mois ou plus tant que les niveaux de maladies sont contrôlables ou alors que la production devient insignifiante. La récolte se fait lorsque le fruit a atteint sa taille définitive, tout en étant toujours ferme. D'après Chaux et Foury (1994), le poivron peut être conservé plusieurs semaines en chambre froide à 7 – 10 °C sous humidité relative de 90 - 95 %. Un film perforé donne satisfaction pour le maintien de la qualité du produit. Dans la pratique, la durée d'entreposage peut atteindre le mois.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1 Matériel

II.1.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située à la Faculté des Sciences de l'Université de Douala à Ndogbong (département du Wouri, arrondissement de Douala 5^{ème}) au Nord-est de la ville de Douala (latitude : 03° 40' - 04° 11' N ; longitude : 09° 16' - 09° 52' E, 30 km au niveau de la mer et 13 m d'altitude ; précipitations annuelles 4 000 mm ; température moyenne annuelle 27 °C). Le choix du site se justifie par le fait que le sol est à son niveau caractérisé par une faible fertilité naturelle (faible teneur de ces sols en matière organique et importante en sels).

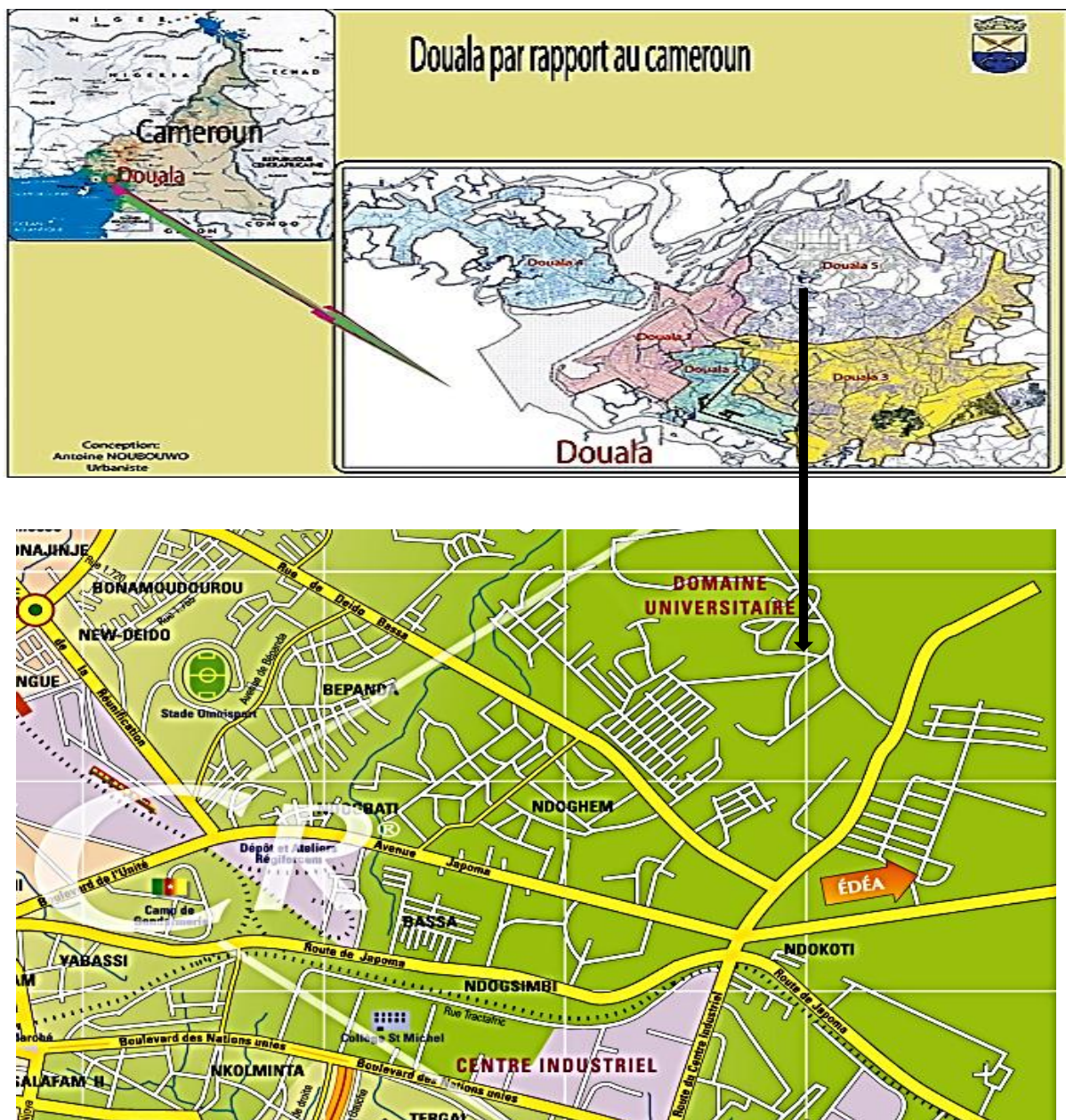


Fig. 8. Carte de localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est soumise à une variante particulière de climat subéquatorial, appelée climat « camerounien » caractérisée par une pluviométrie très abondante et des températures relativement constantes tout au long de l'année. Le mois de juin marque le début de la grande saison des pluies, juillet et août sont les deux mois les plus pluvieux. La saison sèche s'étale de mi-novembre à fin janvier. La pluviométrie annuelle est légèrement supérieure à 4 000 mm, avec température moyenne de 26,7 °C (Din *et al.*, 2008).

L'humidité atmosphérique à Douala est particulièrement élevée. Le niveau de saturation est atteint de façon quasi permanente en saison humide, et même durant les mois les moins humides. Le climat chaud, 26,7 °C de moyenne annuelle avec une amplitude thermique de 2°4 seulement, favorise en effet l'évapotranspiration et l'évaporation. Les températures moyennes mensuelles varient entre 24,8 °C en juillet - août et 27,6 °C en février- mars - avril. L'humidité est très élevée et l'évaporation demeure très faible par rapport aux précipitations (environ 500 mm/an), accentuant la sensation de chaleur du climat. L'humidité relative annuelle est environ 100 % (Din *et al.*, 2008).

II.1.1.2 Vents et hydrologie

Comme l'ensemble du territoire camerounais, la ville de Douala est sous l'influence de deux types de vents générés par deux anticyclones différents :

- l'harmattan, vent chaud et sec, souffle à partir du Sahara. Il fait son apparition pendant la saison sèche. Toutefois, son influence est assez négligeable dans la zone d'étude.
- la mousson : vent chaud et humide, qui domine pendant la saison des pluies, peut être à l'origine de fortes précipitations.

La zone d'étude tel que défini ne compte aucun cours d'eau. Le cours d'eau le plus proche est le bras mort du Wouri lequel représente l'exutoire final de toutes les eaux de la zone.

II.1.1.3 Relief et sols

La zone d'étude est caractérisée par un relief faiblement vallonné, marqué par des pentes globalement faibles et ne dépassant pas 5 %. Le site d'étude est géographiquement localisé légèrement au sommet d'une colline d'altitude 13 m. Du point de vue pédologique, la zone est dominée par des formations sablo-argileuses et argilo-sableuses favorables aux infiltrations des eaux et par conséquent à la pollution des eaux souterraines du fait des populations.

II.1.1.4 Milieu biologique

Excellent potentiel d'ordre végétal, le climat et les sols offrent des conditions idéales au développement d'une végétation abondante que l'on ne retrouve malheureusement que lorsqu'on s'éloigne de la ville. Il s'agit notamment des mangroves, des plantations industrielles ou villageoises, des forêts secondaires. Il est à noter que le braconnage a largement contribué à la destruction de la faune sauvage et des équilibres naturels. Les habitats sensibles sont ceux situés dans les zones marécageuses et les bas-fonds. Les espèces animales potentiellement nuisibles sont les petits rongeurs, insectes, les rats, les cafards.

II.1.1.5 Site expérimental

La parcelle de 200 m² a été labourée le 15 avril 2016 et divisée en deux compartiments (un irrigué à 0 et l'autre à 50 mM NaCl) avec une superficie de (10m × 10m = 100 m²) chacun. Chaque compartiment a été partagé en cinq (05) parcelles destinés aux traitements (un pour témoin, trois pour les différentes doses de fumier de volailles et un pour engrais minéral) soit 5 traitements, 2 compartiments et 06 répétitions donc 60 plants (Fig. 9). Chaque parcelle a une superficie de (2m × 10m = 20 m²). Les apports en matières organiques ont été réalisés le 17 avril 2016. Ces amendements ont été utilisés d'une manière localisée. Pour cela des trous au niveau des billons de chaque parcelle ont été creusés à une profondeur de 15 cm environ. Les différentes doses de fertilisants (organiques et minéraux) ont été épandus dans chaque trou, ces derniers ont été ensuite recouverts de terre et marqué à l'aide d'un petit bâton. On les laisse agir ainsi pendant 12 jours (pour les amendements organiques) avant la transplantation des plants de poivron. Les plants de poivron de 6 à 10 cm de hauteur sont transplantés dans tous les blocs le 30 avril 2016. Chaque compartiment comprend 10 × 10 = 100 plants distants l'un de l'autre de 45 cm, la distance entre les lignes est de 80 cm.

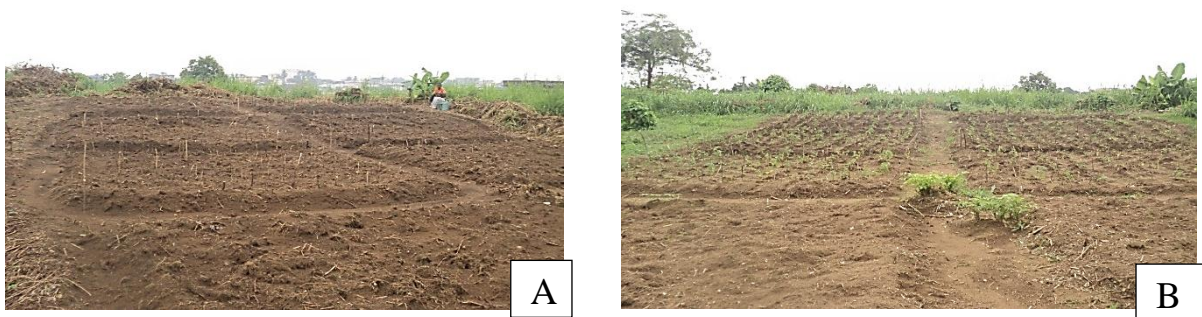


Fig. 9. A : Parcelles de terrain aménagées pour la culture ; B : Parcelle expérimentale après repiquage des plantules de poivron. E : 0,04

II.1.2 Matériel végétal

Dans le cadre de cette étude, le matériel végétal était constitué de trois variétés de poivron (*Capsicum annuum* L.) dont les caractéristiques agronomiques sont consignées dans le tableau VI. Ces variétés ont été choisies en raison de leur importance socio-économique (source de revenus, hautes valeurs nutritives et thérapeutiques, tolérances au flétrissement bactérien, bonne résistance au transport, bonne tenue du fruit à l'étalage et aux forts rendements) (Fig. 10). Le poivron a un système racinaire sensible à l'asphyxie ; d'autre part il craint la sécheresse. Sa tolérance à la salinité est moyenne, sa sensibilité au manque de magnésium est forte. S'il préfère les sols à pH (6,5 – 7,0), il tolère des pH plus bas (5,5) ou plus élevé (8).

Tableau VI. Quelques caractéristiques agronomiques des trois variétés de poivron étudiées.

Caractéristiques

Variétés	Granada	Nobili	Goliath
Forme du fruit	Longue (16,5 cm x 7,2 cm)	Quadrangulaire (15 sur 8,5 cm)	Rectangulaire (8,5 x 9,2 cm)
Couleur du fruit	Vert à rouge à la maturité	Vert soutenu virant au rouge	Vert soutenu et rouge à la maturité
Précocité (jours)	70	70 - 75	70
Cycle (jours)	130	130	130
Epaisseur de la chair	6 mm	6,4 mm	7 mm
Quantité de semences pour 1 ha	250 à 400 g	250 à 400 g	250 à 400 g
Résistance/ Tolérance	Bonne résistance au transport, sécheresse, stress hydrique ; Tolérance au Xanthomonas et TMV Moyennement tolérante à la salinité	Bonne résistance au transport, sécheresse, stress hydrique ; Tolérance au Xanthomonas et TMV Moyennement tolérante à la salinité	Bonne résistance au transport ; Tolérance au Xanthomonas et TMV Sensible à la salinité
Rendement moyen (t/ha)	8 – 10	10 – 15	10 – 15



Fig. 10. Graines des trois variétés de poivron étudiées. A: *Nobili*, B: *Goliath*, C: *Granada*. Echelle: 0,04.

II.1.3 Matériel pédologique

Pour caractériser le sol des parcelles expérimentales, les analyses de sol ont été effectuées. Les échantillons du sol ont été prélevés sur une profondeur de 30 cm. Ce sol prélevé du site expérimental a ensuite été mélangé puis nettoyé des impuretés et étiqueté pour les analyses au laboratoire. Les résultats d'analyse physico-chimique du sol au niveau du site expérimental sont présentés dans le tableau VII ci-dessus.

Tableau VII. Propriétés physico-chimiques du sol du site expérimental

Paramètres	Quantité
Argile %	14,20 ± 1,20
Sable grossier %	27,90 ± 2,10
Sable fin %	25,60 ± 1,80
Limon grossier %	26,00 ± 1,60
Limon fin %	6,30 ± 0,50
Carbone %	0,75 ± 0,05
Azote %	0,32 ± 0,01
Ratio C/N %	2,34 ± 0,02
Humidité (%)	0,99 ± 0,14
Phosphore (ppm)	4,60 ± 0,10
Potassium (g kg ⁻¹)	0,25 ± 0,02
Sodium (g kg ⁻¹)	2,7 ± 0,01
Calcium (g kg ⁻¹)	0,23 ± 0,01
Magnésium (g kg ⁻¹)	0,17 ± 0,01
CEC (cmol/kg)	20,08 ± 0,08
Ph	8,85 ± 0,10
CE	2,84 dS/m

L'analyse des résultats relatifs au matériel pédologique au niveau du site expérimental montre que le sol est caractérisé par une texture sableuse, une réaction alcaline (pH basique), une faible teneur en matière organique. Ainsi, d'après l'échelle de classement de la salinité des sols, ce sol est salé (CE = 2,84 dS/m) (Menacer, 2009).

II.1.4 Matériel organique et minéral

Pour cette étude le choix de la matière organique a porté sur le fumier de volaille. Il provient d'une ferme commerciale non contrôlée de production et d'élevage de poulets pondeuses deux (02) ans d'âge et présente une richesse particulière en hormones, en azote, potassium et phosphore, oligo-éléments, en vitamines (Fig. 12). Ce fumier a été conservé pendant un environ dans un magasin à 22 °C approximativement avant usage. L'analyse des paramètres chimiques a été effectuée.

Le carbone organique a été déterminé par la procédure d'oxydation humide de Walkley et Black, (1934). Le dosage du phosphore a été effectué par la méthode de Okalebo *et al.*, (1993) qui est basée sur la réaction du phosphore avec l'acide ascorbique en milieu aqueux pour donner une coloration bleue qui absorbe avec un maximum à 880 nm. Le dosage de l'azote est réalisé selon la méthode colorimétrique décrite par Dévani *et al.* (1989). L'analyse du sodium, calcium, potassium, fer et magnésium ont été réalisés par « minéralisation par voie sèche » et dosés par un spectrophotomètre d'absorption atomique de marque « Buck Scientific » (Hamrouni *et al.*, 2011).



Fig. 11. Germoir
Echelle: 0,04.



Fig. 12. Différents types de fertilisants :
A : Fumier de volailles ; B : Engrais minéral (N-P-K)

Les résultats de l'analyse de ce fumier sont indiqués dans le tableau VII ci-dessous.

Tableau VIII. Principales caractéristiques chimiques du fumier de volailles.

Caractéristiques	Résultats
Azote (g/ kg)	2,93
Carbone organique (g/ kg)	28
C/ N	9,55
Phosphore (g/ kg)	8,97
Sodium (g/ kg)	0,69
Potassium (g/ kg)	13,86
Magnésium (g/ kg)	6,69
Calcium (g/ kg)	14,96
Fer (g/ kg)	11,35
pH	6,5

L'analyse de ce fumier montre qu'il est riche en azote, phosphore, potassium et en calcium. Ces résultats indiqueraient une minéralisation rapide de ce substrat organique et une disponibilité élevée de l'azote (Menacer, 2009).

En comparaison aux besoins du poivron en éléments minéraux lors de sa culture (1,7 g/kg de potassium, 4,86 g/kg de phosphore, 9 g/kg de calcium, 1,3 g/kg en magnésium, 4 g/kg de fer) (Anonyme, 2004) et aux analyses chimiques du sol expérimental. Ce substrat organique pourrait s'avérer complémentaire en éléments minéraux aux besoins chimiques de ce sol expérimental.

II.2 Méthodes

II.2.1 Préparation du germeoir

L'aménagement du germeoir se fait deux semaines avant le semis. Il consiste à réaliser une pépinière à travers la construction d'une planche de 1 m de largeur et 5 m de longueur surélevée à 0,75 m du sol (Fig. 11). Il y sera épandu de la terre (préalablement stérilisée à de l'eau bouillante) le long de la planche suffisamment aplatie. 5 kg/m² de fumier de volailles et arrosée régulièrement avec de l'eau déminéralisée pendant deux semaines, avant la mise en culture des semences.

II.2.2 Mise en culture des semences et entretien

La mise en culture a été réalisée le 16 mars 2016. Les semences de chacune des variétés de poivron ont été épanchées en lignes en mettant 2 à 3 graines tous les 5 cm dans les espaces préalablement aménagés du germeoir. Les graines ont été recouvertes d'une légère couche de terre d'environ 0,5 cm puis arrosées tous les jours (tard dans la soirée). Une ombrière de 75 cm de haut a été mise en place après la levée des graines. La levée a lieu 10 à 15 jours après le semis. Le repiquage se fait lorsque les plantes ont atteint le stade de quatre à six feuilles. Le séjour en pépinière a été de 50 jours soit 6 à 7 semaines. Après cette période, les plants prêts ont été repiqués. L'entretien des plantes consiste à enlever les mauvaises herbes. Ce désherbage permet d'éviter la compétition et de limiter les maladies et les attaques des ravageurs (Anonyme, 2003). La profondeur de semis varie de 3 à 5 cm pour les graines.

II.2.3 Repiquage en champ

Cette opération consiste à transférer en champ déjà aménagé, les plantules sorties du germeoir. Après 6 à 7 semaines passées en pépinière, les plantules les plus vigoureuses et les moins affectées par les contraintes biotiques et abiotiques ont été choisies (environ 10 à 20 cm de longueur et 4 à 5 feuilles), et repiquées en champ afin de minimiser les chocs osmotiques (Fig. 13). En respectant des écartements de 80 cm entre les lignes et de 45 cm entre les plants sur la même ligne, on obtient une densité de moyenne d'environ 21 500 plants à l'hectare en culture pure. Ces plantules ont été introduites dans les poquets ayant au préalable été approvisionnés de différentes doses de fumier de volailles (0, 3, 6 et 12 t/ha). Trois semaines après repiquage, un premier engraissement, avec du NPK 20 20 20 et de l'urée (150 kg/ha) a été effectué. A un mois, le buttage a été réalisé (Pinnars *et al.*, 1989 ; Anonyme, 2004).

La protection phytosanitaire s'est faite par : PACHA 25 EC (insecticide systématique et polyvalent) à 500 g de matière active par hectare et METROSTAR 500 WP (fongicide polyvalent, systémique et de contact agissant contre de nombreuses maladies cryptogamiques avant l'apparition de la maladie, avant et après le semis et 14 jours avant la récolte) à 400 g de matière active par hectare (Pinnars *et al.*, 1989 ; Anonyme, 2004).

Le tableau IX montre les quantités et les périodes d'application des engrais minéraux et de fumier de volailles suivant le dispositif expérimental :

Tableau IX. Calendrier des périodes d'application des engrais minéraux et de fumier de volailles au niveau des différents traitements.

		Dosage totale (U)	Quantité Kg/ha	Apport (Avant plantation)	Apport (Début de la floraison)	Apport (Début de la fructification)
T0		0		0		0
Tm	Azote (N)	20	100	1/ 2 DTE	1/ 3 DTE	1/ 3 DTE
	Potassium (K ₂ O)	20	100	1/ 3 DTE	1/ 3 DTE	1/ 2 DTE
	Phosphore (P ₂ O ₅)	20	100	1/ 2 DTE	1/ 3	1/ 3 DTE
	Urée		150	DTE	-	-
T3		3 t/ha		DTF	0 DTF	0 DTF
T6		6 t/ha		DTF	0 DTF	0 DTF
T12		12 t/ha		DTF	0 DTF	0 DTF

DTE : Dose totale de l'engrais minéral
 DTF : Dose totale de fumier de volailles
 FV : Fumier de volailles



A



B

Fig. 13. A. Deux semaines après le repiquage en champs ; B. Plants matures ayant produit des fruits. Echelle: 0,04

II.2.4 Dispositif expérimental

II.2.4.1 Dispositif expérimental en serre

Le dispositif expérimental est celui des blocs complètement randomisés à quatre répétitions comportant quatre séries de pots en matière plastique étiquetés (S₀ pour le témoin et S₁, S₂ et S₃ respectivement de 0 ; 50 ; 100 et 200 mM de NaCl) contenant du sable inerte dans lesquels sont repiquées les plantules des trois variétés de poivron prélevées du germeoir

(Taffouo *et al.*, 2010). Les caractéristiques du lieu d'expérimentation sont : température : $28,0 \pm 3,0$ °C ; éclaircissement : 5500 lux pendant 12 h ; humidité relative de l'air : 45 à 60 %. Les plantules qui se développent sont approvisionnées tous les trois jours par une solution nutritive en g/l : 150 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 70 g KNO_3 ; 15 g Fe-EDTA ; 0,14 g KH_2PO_4 ; 1,60 g K_2SO_4 ; 11 g MgSO_4 ; 2,5 g CaSO_4 ; 1,18 g MnSO_4 ; 0,16 g ZnSO_4 ; 3,10 g H_3BO_4 ; 0,17 g CuSO_4 and 0,08 g MoO_3 (Hoagland and Arnon, 1950). Le pH de la solution nutritive a été ajustée à 7 par ajout de 0,1 mM HNO_3 .

Au cours de cette étude, une bonne croissance a été observée chez toutes les variétés dans le milieu témoin (Fig. 14). Toutefois, des modifications morphologiques ont été notées chez les trois variétés de poivron mis en culture en présence des doses croissantes de NaCl.

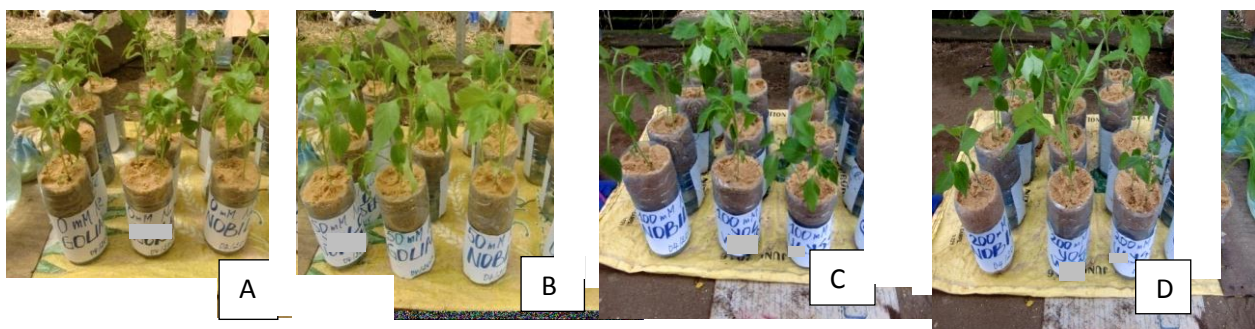


Fig. 14. Plantules de trois variétés de poivron au cours du traitement à différentes concentrations de NaCl. A : 0 mM ; B : 50 mM ; C : 100 mM ; D : 200 mM. E : 0,04

La tige est dressée 5 à 7 jours après le repiquage. Au-delà du septième jour, l'arrosage s'effectue avec la solution nutritive de Wacquant pour la série témoin (S_0), et de concentrations en sel différentes pour les séries expérimentales (S_1 , S_2 , S_3) qui sont enrichies respectivement de 50 ; 100 et 200 mM de NaCl pendant six semaines (Fig. 14) (El-Iklil *et al.*, 2000).

Bloc 1			Bloc 2			Bloc 3			Bloc 4		
T ₁ Go	T ₃ No	T ₀ Gr	T ₁ Gr	T ₃ No	T ₁ Go	T ₀ No	T ₃ No	T ₀ Gr	T ₀ Gr	T ₂ Go	T ₃ No
T ₂ No	T ₀ Go	T ₃ Go	T ₂ No	T ₀ Gr	T ₀ Go	T ₂ No	T ₃ Go	T ₃ Gr	T ₂ No	T ₃ Go	T ₃ Gr
T ₂ Go	T ₀ No	T ₁ Gr	T ₀ No	T ₂ Go	T ₃ Go	T ₂ Go	T ₁ Go	T ₁ Gr	T ₀ Go	T ₁ Go	T ₁ Gr
T ₁ No	T ₂ Gr	T ₃ Gr	T ₂ Gr	T ₁ No	T ₃ Gr	T ₁ No	T ₂ Gr	T ₀ Go	T ₁ No	T ₂ Gr	T ₀ No
No: Nobili			Go: Goliath			Gr: Granada					
T ₀ correspond à une dose de 0 g/l NaCl						T ₁ correspond à une dose de 100 mM NaCl					
T ₂ correspond à une dose de 50 mM NaCl						T ₃ correspond à une dose de 200 mM NaCl					

Fig. 15. Dispositif expérimental sous serre

II.2.4.2 Dispositif expérimental en champ

Les poivrons ont été plantés à la main. Le dispositif expérimental adopté est de type factoriel à blocs complètement randomisés à quatre (04) répétitions. Les parcelles du facteur principal sont subdivisées par celles du facteur secondaire, où on a trois facteurs (niveau de salinité, doses de fumier de volailles, variétés). Les deux compartiments sont consacrés à deux niveaux d'irrigation des sols à savoir : 0 et 50 mM de NaCl. Tandis que les sous parcelles portent sur les différentes doses de fumier de volailles et l'engrais minéral (Fig. 16).

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
T ₀ D ₀ Gr	T ₀ D ₀ Go	T ₁ D ₁ Go	T ₁ D _m Gr
T ₀ D ₂ Go	T ₀ D ₃ No	T ₁ D ₀ Go	T ₁ D ₀ No
T ₀ D _m Go	T ₀ D ₁ Gr	T ₁ D ₃ No	T ₁ D ₃ Gr
T ₀ D _m No	T ₀ D _m Gr	T ₁ D ₀ Gr	T ₁ D _m No
T ₀ D ₁ Go	T ₀ D ₀ No	T ₁ D ₁ Gr	T ₁ D ₃ Go
T ₀ D ₁ No	T ₀ D ₂ Gr	T ₁ D _m Go	T ₁ D ₂ No
T ₀ D ₂ No	T ₀ D ₃ Go	T ₁ D ₂ Gr	T ₁ D ₂ Go
T ₀ D ₃ Gr			T ₁ D ₁ No

Légende

T₀ correspond à une dose de 0 mM NaCl

D₁ correspond à une dose en FV de 3 t /ha

T₁ correspond à une dose de 50 mM NaCl

D₂ correspond à une dose en FV de 6 t /ha

D₀ correspond à une dose en MO de 0 t /ha

D₃ correspond à une dose en FV de 12 t /ha

D_m correspond à une dose en NPK 20-20-20 (100kg/ha)

FV : Fumier de volailles

No: variété Nobili

Go: variété Goliath

Gr : variété Granada

Fig. 16a. Dispositif expérimental en champ

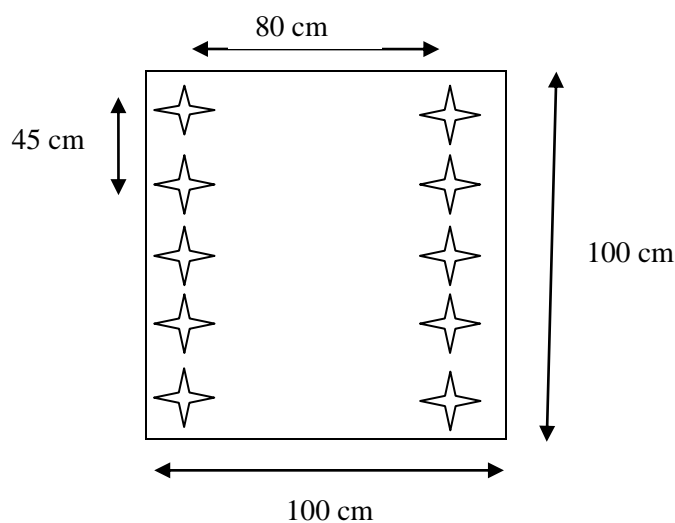


Fig. 16b. Détaillé de la parcelle élémentaire

II.2.5 Mesure des paramètres de croissance et teneurs en éléments minéraux en serre

Chaque fin de semaine pendant la période de culture (huit semaines) :

- le nombre de feuilles est déterminé par comptage ;
- la surface foliaire S est obtenue avec la formule de Raunkiaer : $S = 2/3 \times L \times l$ (cm²) avec L la plus grande longueur et l la plus grande largeur établie par Tailliez et Ballo (1992) ;
- le diamètre des tiges au collet et la hauteur des tiges sont déterminés respectivement à l'aide d'un pied à coulisse et d'un mètre ruban (Driouich et Rachidai, 1995) ;
- le poids de matière sèche (PMS) des différents organes sera déterminé à l'aide d'une balance électronique (Taffouo *et al.*, 2010) ;
- la teneur en eau: les différentes fractions (fruits, feuilles, tiges et racines) ont été nettoyées, pesées et mises à sécher à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. La teneur en eau est obtenue par la méthode de Savour, 1980 ; E. Youmbi *et al.*, 2010 : $TE (\%) = 100 (PMF - PMS) / PMF$ où (PMF) défini la biomasse fraîche et (PMS) la biomasse sèche.
- La méthode utilisée pour la détermination des taux de chlorophylles des feuilles est celle de Mac kinneycit. Fabre (2003). On prélève quelques feuilles (les premières de chaque plantule) de différentes variétés étudiées afin d'obtenir 0,80 g de matière fraîche. Le matériel est lavé, pesé puis broyé dans 20 ml d'acétone 80 % en présence du sable dans le mortier en porcelaine. Le broyat est filtré à l'aide du papier filtre, la solution recueillie est soumise à l'aide de l'acétone à 80 % et les mesures sont effectuées à 663 nm et 645 nm (longueurs d'ondes d'absorption des chlorophylles). Les concentrations en mg/l de solution de chlorophylles sont déterminées (Arnon, 1946 cit. Billot, 1964) :

$$\text{Chlorophylle a} = 12,7 Y - 2,69 X \quad \text{Chlorophylle b} = 22,9 X - 4,68 Y$$

$$\text{Chlorophylle (a+b)} = 20,2 X + 8,02 Y \quad \text{Où } X \text{ est l'abondance de la chlorophylle à } \lambda = 645 \text{ nm et } Y \text{ est l'abondance de la chlorophylle à } \lambda = 663 \text{ nm}$$

Le sodium, le calcium, le magnésium et le potassium seront déterminés sur les feuilles, les tiges et les racines. La matière sèche obtenue et réduite en poudre permet de déterminer les concentrations des ions Na^+ , K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} . Le dosage des différents éléments minéraux est réalisé par « minéralisation par voie sèche ». Cette méthode consiste à placer la poudre végétale dans des capsules en porcelaine puis, à les introduire dans un four porté vers 450°C pendant 4 h. Les cendres obtenues sont laissées refroidir puis, humectées par 10 ml de HCl à 20 %. Le mélange est chauffé au bain-marie pendant 30 mn, puis filtré dans une fiole jaugée

de 100 ml. La solution obtenue permet de doser les éléments Ca^{++} , Na^+ , K^+ et Mg^{++} par un spectrophotomètre d'absorption atomique de marque « Buck Scientific » (Hamrouni *et al.*, 2011). Les teneurs en Na, K, Mg et Ca ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de MS) sont déterminées (Taffouo, 2005).

$$\begin{aligned} - \text{ T Na} &= \text{C} \times \text{D} \times \text{V} / 103 \times \text{p} & \text{ T Mg} &= \text{C} \times \text{V} \times 5 / 2 \times \text{p} \\ - \text{ T K} &= \text{C} \times \text{D} \times \text{V} / 103 \times \text{p} & \text{ T Ca} &= \text{n} \times \text{V} \times \text{t} \times 40,08 / \text{v} \times \text{p} \end{aligned}$$

Où C : ($\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) est la valeur de la concentration trouvée à partir de la courbe d'étalonnage ; n : nombre de ml d'EDTA utile (valeur moyenne des deux titrages) ; p : la prise d'essai de la matière sèche (g) ; D : le facteur de dilution de la solution à photométrer ; V : le volume de la solution des cendres (ml) ; v : la valeur de la prise d'essai destinée au titrage (ml) et t : le titre de l'EDTA déterminé ($t \approx 0,01 \text{ M}$).

II.2.6 Analyse des paramètres biochimiques et enzymatiques

II.2.6.1 Protéines solubles

- **Extraction des protéines solubles des feuilles:** 1 g de feuilles fraîches des variétés de poivrons est mélangées avec 5ml d'un tampon acétate de sodium (0,4 mol/l ; pH 5) et 1g de sable puis broyé dans un mortier à l'aide d'un pilon. L'extrait brut est centrifugé pendant 20 minutes à 5000 tr/min à 4°C. Le surnageant est prélevé et utilisé pour le dosage des protéines solubles.
- **Dosage des protéines solubles :** Le dosage des protéines solubles s'est fait selon la méthode colorimétrique de Bradford, (1976).
- **Principe :** Le bleu de Coomassie G250 se complexe avec les chaînes latérales des acides aminés basiques (lysine, arginine, histidine), aromatique et sur les fonctions amines libres de la chaîne polypeptidique en formant un complexe chromogène de coloration bleu, présentant un maximum d'absorption à 595 nm. Il y a donc une corrélation entre l'intensité de la coloration du complexe formé dans une solution et la concentration en protéines.
- **Mode opératoire :** Pour le dosage des protéines, 100 μl de l'extrait protéique (surnageant) est prélevé et on y ajoute 2 ml du réactif de Bradford. Dans les étalons à la place de l'extrait on introduit du BSA à des concentrations croissantes et on lit les densités optiques à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Pharmaspec UV-1700 modèle).

II.2.6.2 Acides aminés totaux

- **Extraction des acides aminés des feuilles :** Les feuilles fraîches (1 g) de poivrons sont pesées à l'aide d'une balance de précision et broyées dans un mortier avec un pilon, en présence de 5 ml d'éthanol 80 % et du sable de fontainebleau (1 g) puis centrifugée à 5000 tr/min pendant 15 minutes. Le surnageant est récupéré et utilisé pour le dosage des acides aminés totaux (Singh *et al.*, 1990).
- **Dosage des acides aminés des feuilles :** La quantité totale d'acides aminés totaux est déterminée par la méthode de la ninhydrine de Yemm et Cooking, (1955).
- **Principe :** Les acides aminés sont dosés à la ninhydrine selon la méthode décrite par Yemm et Cooking en 1955. Cette méthode est basée sur la propriété qu'ont certains acides aminés à subir les réactions de décarboxylation et de désamination, en présence de certains oxydants en solution alcoolique ou acétonique. Lorsqu'un acide aminé en solution est chauffé en présence de ninhydrine en excès, il conduit à la formation d'un chromophore avec un maximum d'absorption à 570 nm. L'intensité de la coloration (bleu-violet) est proportionnelle à la concentration du milieu en acides aminés. La réaction s'effectue en trois étapes. La première correspond à l'action d'une première molécule de ninhydrine sur l'acide aminé conduisant à un iminoacide et à une molécule de ninhydrine réduite. La deuxième correspond à l'action d'une deuxième molécule de ninhydrine sur l'iminoacide pour donner un aldéhyde. Cette deuxième molécule se condense finalement avec la molécule de ninhydrine réduite pour former le chromophore.

Les quantités d'acides aminés (Q) ont été exprimées en mg selon la formule ci-dessous :

$$Q(\text{mg}) = 10^2 \times \text{DO} \left(\frac{\sum \text{DO des tubes étalons}}{\sum \text{Quantités d'acides aminés des tubes étalons}} \right)$$

Avec : D.O = densité optique

II.2.6.3 Composés phénoliques

- **Extraction des composés phénoliques ou polyphénols :** Pour extraire les composés phénoliques des feuilles de poivron, 1 g de tissu végétal a été prélevé par traitement. Le matériel végétal a ensuite été broyé au mortier, incubé durant 24 h à 4 °C et centrifugé pendant 15 min. à 15 000 rpm.
- **Préparation des solutions :** La teneur en composés phénoliques est déterminée par la méthode de Folin Ciocalteu method (Marigo, 1973). Le réactif Folin-Ciocalteu est

utilisé en excès. Une solution mère d'acide gallique est préparée à une concentration de 1 g/l dans le méthanol. La gamme qui sera réalisée à partir de celle-ci permettra de tracer la courbe d'étalonnage. Une solution de carbonate de sodium anhydre à 20 % (w/v) est ensuite réalisée dans de l'eau distillée.

- **Mode opératoire :** Le protocole utilisé au laboratoire est basé sur celui décrit par Arnous et al. (2002) en y apportant quelques modifications. Dans un tube à hémolyse en verre, on place 2370 µl d'eau distillée, 30 µl d'extrait (ou d'étalon) à 1 g/l et 450 µl de réactif Folin-Ciocalteu. Le milieu est mélangé à l'aide d'un vortex, puis est ajouté 150 µl d'une solution de carbonate de sodium (Na₂CO₃) à 20 % (w/v). Le mélange réactionnel est finalement laissé à incuber durant 2 heures à l'obscurité. Les extraits phénoliques ont été dosés au spectrophotomètre (Pharmaspec UV-1700 model), à la longueur d'onde de 720 nm contre le témoin. La teneur en composés phénoliques est exprimée en mg g⁻¹MF.

II.2.6.4 Flavonoïdes totaux

La quantification des flavonoïdes est faite selon une méthode colorimétrique de chlorure d'aluminium (AlCl₃, 10 %) (Chang *et al.*, 2002). Une prise de 50 µl (1 mg/ml éthanol) d'extrait convenablement diluée est additionnée de 1 ml de méthanol, mélangé avec 4 ml de l'eau distillée et 0,3 ml de 5 % d'une solution de NaNO₂ ; 0,3 ml de 10 % d'une solution d'AlCl₃ a été ajoutée après 5 min d'incubation, et mis au repos pendant 6 min. Ensuite, 2 ml d'une solution de 1 mol/L NaOH est y ajoutée, le volume final du mélange est porté à 10 ml d'eau distillée. Après 15 mn de repos à température ambiante, l'absorbance est mesurée sur un spectrophotomètre (Pharmaspec UV-1700 model) à une longueur d'onde de 510 nm. La teneur en flavonoïdes des extraits est déterminée grâce à la courbe d'étalonnage à base de rutin, et le résultat est exprimé en g d'équivalents rutin par g de MS (mg EC.g⁻¹ MS).

II.2.6.5 Sucres solubles

- **Extraction de sucres solubles :** L'extraction des sucres est réalisée dans les poivrons. 1 g des feuilles de poivron est broyées à froid dans un mortier, dans 3ml d'alcool 80 %. Le broyat obtenu est incubé pendant 30 mn dans le réfrigérateur à une température de 4 °C puis centrifugé à 1500 tours/mn pendant 15 mn. Le surnageant constitue la fraction soluble de sucres et conservé dans des tubes eppendorfs et stocké à - 4 °C.
- **Principe :** Les oses sont stables en milieu acide. Cependant s'ils sont chauffés en milieu acide concentré, ils donnent des fulfuraldéhydes par cyclisation et

déshydratation. Les fulfurals et ses dérivés ont la propriété de se condenser avec le phénol pour former des complexes marron.

- **Mode opératoire** : Dans une série de tubes à essai, 25 µl sont additionnés à 0,5 ml de phénol (5 %) et à 1,5 ml de solution d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄). Le mélange est chauffé au bain marie à 100°C pendant 5 mn après refroidissement dans la glace fondante, la densité optique est mesurée à 490 nm contre un blanc dans lequel 25 µl d'alcool à 80 % remplace l'extrait brute. Un étalon est construite grâce à une gamme (0 à 35 mg/ml) de concentration d'une solution mère de glucose 1 mg/ml.
- **Dosage des sucres solubles totaux**: Le dosage des sucres totaux solubles est réalisé par la méthode de Dubois et al. (1956). Les sucres solubles totaux ont été dosés au spectrophotomètre (Pharmaspec UV-1700 model), à la longueur d'onde de 490 nm contre le témoin. Les quantités sont exprimées en mg/g de poids frais et déterminées par la formule suivante :

$$\text{Sucres solubles (mg/g MF)} = (\text{DO}_x \times V_{\text{alcool}}) / a \times (V_{\text{extrait}} \times \text{PF})$$

a : Coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;

V_{alcool} : Volume d'alcool en ml ;

V_{extrait} : Volume d'extrait en µl ;

PF : Poids frais du matériel végétal ;

DO_x : Densité optique.

II.2.6.6 Dosage des Proline

- **Principe** : La ninhydrine réagit avec les acides aminés en donnant un chromophore acides aminés-ninhydrine. Cependant pour la proline la fonction imine fournit une teinte rouge rosé qui présente un maximum d'absorption à 520 nm (Bates, 1973). Le chromophore proline-ninhydrine est préalablement extrait par du toluène. La quantité de proline présente est conforme à la loi de Beer-Lambert.
- **Extraction des échantillons** : 500 mg des feuilles sèches sont pesés avec précision et homogénéisés dans 10 ml d'acide sulfosalicylique à 3 % puis l'extrait est filtré sur papier filtre Whatman numéro 1
- **Préparation du réactif ninhydrine** : 1 250 mg de ninhydrine sont dissouts dans 30 ml d'acide acétique glacial et 20 ml d'acide phosphorique 6 M en chauffant légèrement sous agitation. Le réactif est conservé à 4 °C à l'obscurité.

- **Dosage :** 1 ml de filtrat de la gamme étalon réagit avec 1ml de réactif ninhydrine et 1 ml d'acide acétique glacial. On laisse le mélange 1 heure à 100 °C puis on le refroidit dans la glace. Le mélange est ensuite extrait en ajoutant 2 ml de toluène et en mélangeant pendant 15 à 20 secondes. La phase toluénique est prélevée et son absorbance est lue à 520 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Pharmaspec UV-1700 model. Le zéro d'absorbance est fait avec le toluène.
- **Calcul :** La courbe d'étalonnage réalisée avec la proline standard permet de déterminer les quantités de proline dans les différents extraits. Soit A l'absorbance de l'échantillon, V le volume du filtrat en ml, MS la masse de matière sèche en mg et k la pente de la droite. $A = f(\mu\text{g proline})$, la concentration de l'extrait en proline des feuilles de ces six variétés de tomate est calculée à partir de la formule de Bates (1973).

$$Q \text{ proline (mg/g MS)} = (A \times V) / (MS \times k)$$

II.2.6.7 Peroxydase (POD)

L'activité de la POD a été déterminée par la méthode décrite par Jebara et al. (2005). 3 ml du mélange contenant 1,5 ml of 0,1 M phosphate (pH 7,0), 1 ml de la préparation initiale 10 mM guaiacol, 0,1 ml d'extrait enzymatique et 0,1 ml de 12,3 mM H₂O₂.

L'absorbance initial est lue à une longueur d'onde de 436 nm et l'augmentation de l'absorbance est notée à intervalle de temps de 30 s à l'aide d'un spectrophotomètre (Pharmaspec UV-1700 model). L'activité de la peroxydase est calculée en utilisant un coefficient d'extinction de 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹ pour le polymère oxidized tetraguaiacol. L'activité enzymatique de la peroxydase est exprimée en μmol de guaiacol oxydé min⁻¹ g⁻¹ de protéine.

L'activité enzymatique est déterminée par spectrophotométrie en utilisant le gaiacol et le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) comme substrats de l'enzyme.

Activité UI/g= Vi (Do/min)/ (E₍₄₇₀₎*v). Où Vi =vitesse initiale en Do/ min; v =volume échantillon ; E= 26,6 L/mM*cm.

II.2.6.8 Superoxyde dismutase (SOD)

L'activité du superoxyde dismutase (SOD) est déterminée à partir de la capacité de cette enzyme d'inhiber la réduction du nitro blue tetrazolium par les radicaux libres superoxydes, générés en milieu de réaction par la photoréduction de la riboflavine (Dhindsa *et al.*, 1981). Le dosage est colorimétrique par absorbance à 560 nm. Pour chacune des trois enzymes, l'activité a d'abord été mesurée, mesurée en unités/gramme matériel végétal/minute (ou en $\mu\text{mol} / \text{min} / \text{mg}$ de protéines). L'activité du superoxyde dismutase est déterminée par la méthode décrite par Dhindsa *et al.* (1981). 3 ml du mélange contenant 0,1 ml de 1,5 M Na_2CO_3 , 0,2 ml de 200 mM méthionine, 0,1 ml de 3 mM EDTA, 0,1 ml de 2,25 mM p-nitroblue tetrazolium chloride (NBT), 1,5 ml de 100 mM phosphate de potassium (pH 7,5), 1 ml d'eau distillée et 0,05 ml d'extrait enzymatique. Le tube ne contenant pas l'enzyme est considéré comme le témoin. La réaction est initiée par l'ajout de 0,1 ml 60 μM riboflavine et le mélange placé sous une source lumineuse de deux lampes fluorescentes de 15 W pendant 15 min. La réaction est contrôlée par un interrupteur qui permet d'éteindre la lumière et les tubes sont couverts par un tissu noir. L'absorbance est déterminée à la longueur d'onde de 560 nm. Une unité d'activité SOD correspond à une inhibition de la réduction du NBT de 50 %. L'activité de SOD est déterminée par microgramme de protéine et exprimée en U mg^{-1} de protéine. L'activité SOD des extraits est donc calculée en appliquant les formules :

$$\text{Inhibition} = [(A_{560\text{max}} - A_{560 \text{échantillon}}) / A_{560 \text{max}}] \times 100$$

$$\text{UA (unité d'activité) SOD / mg de protéines} = \text{inhibition} / (n \times 50)$$

II.2.7 Culture et analyse des paramètres agronomiques en champ

Les variétés en serre seront testés en champ (milieu ouvert) jusqu'à la récolte pour évaluation des paramètres agronomiques.

II.2.7.1 Paramètres liés au rendement

Après quelques semaines de culture, les mesures suivantes ont été prises :

- **période de floraison** : Il est noté dès l'apparition des premiers bourgeons floraux et s'arrête au début de la fructification (Fig. 17 A).
- **période de fructification** : Il est compté à partir du début de la fructification jusqu'à l'obtention du fruit mature la récolte des fruits (Fig. 17 B).

- **nombre de fruits par plante** : six plantes représentatives/ répétition au niveau de chaque parcelle élémentaire ont été choisies, le nombre de fruits par plante a été déterminé en comptant à maturité les fruits viables (comportant au moins une graine) sur chaque plante (Fig. 17 C).
- **biomasse sèche du fruit** : six plantes/ répétition sont prélevées au hasard dans chaque parcelle en début de matinée. Sur chaque plante, on prélève les fruits pour la détermination de la matière sèche après passage à l'étuve pendant 48 heures à une température de 75 °C. La biomasse exprimée en gramme par plante a été effectuée par pesée à l'aide d'une balance électronique de sensibilité 0,001 g et de type Kern Emb 600-2.
- **poids du fruit mature** : le poids moyen des fruits récoltés sur chacune des plantes et pesés à l'aide d'une balance électronique de sensibilité 0,001 g et de type Kern Emb 600-2. Le nombre de fruits pesés varie de 1 à 7.
- **rendement en fruits** : le rendement a été déterminé à partir du poids frais des fruits produits par unité de surface. Il a été calculé à partir de 6 plantes par mètre longitudinal. Le rendement est exprimé en kg/m², puis converti en t/ha.
- **nombre de graines par fruit (NGF)** : sur les six plantes choisies par parcelle au préalable pour le NFP, six fruits ont été sélectionnés par plante au stade grossissement des graines et la moyenne des graines par fruit est évaluée à maturité (Fig. 18 A et B).
- **poids de 1 000 graines (g)** : sur les 6 plantes choisies par parcelle au préalable, le poids de 1 000 graines a été mesuré à l'aide d'une balance électronique de sensibilité 0,001 g et de type Kern Emb 600-2.
- **rendement en graines** : C'est la production en grains par unité de surface. Il est généralement donné en tonnes par hectare (kg/m² ou t/ha).
- **calibre du fruit** : à l'aide d'un pied à coulisse ou d'une règle graduée, on a fait la mesure du calibre des fruits (longueur et diamètre) et on a fait la moyenne (Fig. 18 C ; 17 D).

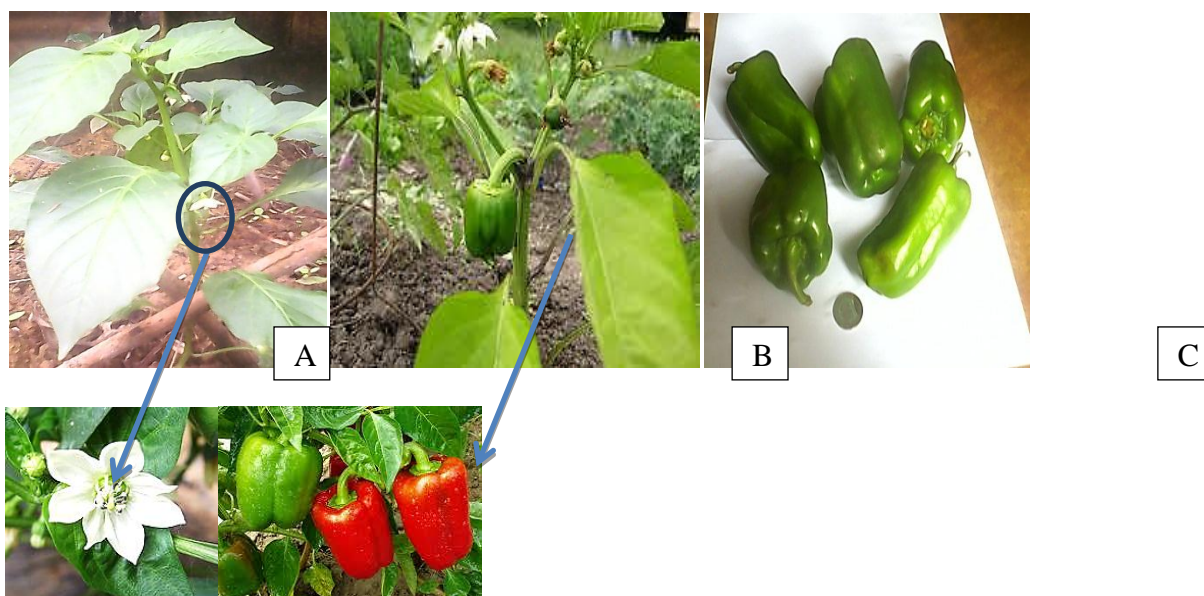


Fig. 17. (A) Floraison de plants de poivron en champ ; (B) Fructification des plants de poivron en champ ; (C) Fruits de poivrons récoltés. Echelle: 0,04.

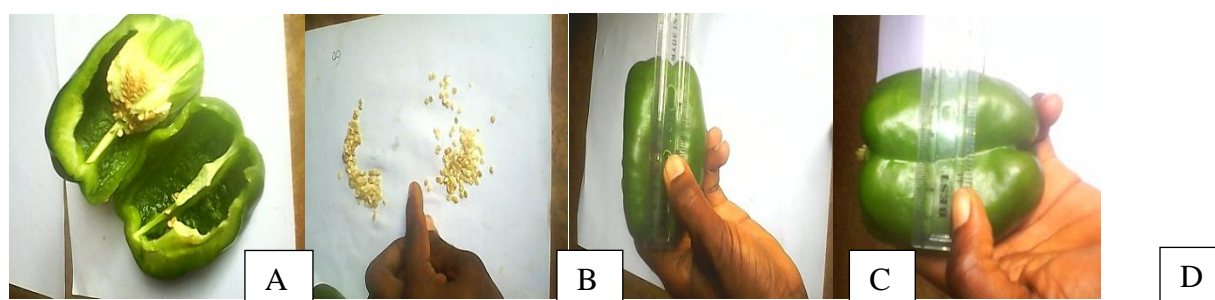


Fig. 18. (A et B) Extraction et comptage des graines de variétés de poivrons ; (C et D) Calibrage (mesure de la longueur et du diamètre du poivron). Echelle: 0,04.

II.2.8 Analyses statistiques des résultats

Pour la comparaison et l'interprétation de nos résultats nous avons retenu deux méthodes statistiques : l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH). Le logiciel XLSTAT ver. 5.03 a été utilisé pour l'analyse de variance (ANOVA) et le test de Newman and Keuls a été appliqué pour détecter les différences significatives entre traitements et variétés avec un niveau de probabilité de 5 % pour accepter ou rejeter l'hypothèse. Le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour tester les relations entre les différents paramètres et les variétés étudiées et l'Analyse en Composante Principale (ACP) pour visualiser l'évolution des paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques en fonction des doses croissantes de NaCl et de fumier de volailles.

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats

III.1.1 Action de NaCl sur les paramètres de croissance

En milieu témoin, la quantité de matière sèche produite varie dans les organes des différentes variétés étudiées. Elle est plus élevée au niveau des feuilles que des tiges et des racines chez toutes les variétés (Tableau X). L'apport de doses croissantes de NaCl baisse de façon significative ($P < 0,001$) la biomasse sèche dans tous les organes chez *Goliath* (de 101 à 76,2 mg dans les racines, 152,8 à 70,3 mg dans les tiges et 156,8 à 82,5 mg dans les feuilles) à partir de 50 mM. Chez les variétés *Granada* (de 92,8 à 77,1 mg, soit une réduction de 16,9 %) et *Nobili* (de 83 à 50,4 mg, soit une réduction de 39,3 %), l'effet du NaCl ne s'observe de façon significative ($P < 0,05$) dans les racines qu'à partir de 200 mM (Tableau X).

La hauteur des tiges varie en milieu témoin chez toutes les variétés étudiées. Elle est élevée chez la variété *Granada* et relativement faible chez la variété *Goliath* (Tableau X). La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit notamment par une réduction de la croissance en hauteur des tiges. Les résultats obtenus montrent que les concentrations 100 et 200 mM de NaCl réduisent de façon significative, la hauteur des tiges chez *Goliath* (8 cm pour le témoin ; 6,8 cm à 100 mM et 6,6 cm à 200 mM de NaCl) par rapport au témoin sans sel (Tableau IX) ($P < 0,05$) dès la cinquième semaine de traitement. Quel que soit le traitement appliqué, la hauteur des tiges est plus élevée chez *Granada* (14,1 cm pour le témoin et 10,7 cm à 200 mM de NaCl), tandis qu'elle est relativement faible chez *Goliath* (8,85 cm pour le témoin et 6,95 cm à 200 mM de NaCl).

Le nombre de feuilles des différentes variétés de poivron étudiées augmente en fonction de la durée de culture (Tableau IX). L'apport des doses croissantes de NaCl inhibe la formation des feuilles chez les variétés de poivron étudiées par rapport aux témoins (Tableau 9). Toutefois, cet effet inhibiteur du NaCl est non significative ($P < 0,05$) dès la cinquième semaine de traitement, chez la variété *Goliath* (de 7,5 feuilles pour le témoin à 6,5 feuilles à 200 mM de NaCl).

Les diamètres des tiges des trois variétés de poivron augmentent avec la durée de culture (Tableau X). Le diamètre des tiges est plus important à 50, 100 et 200 mM de NaCl par rapport au témoin chez *Granada* (0,985 cm pour le témoin à 1,38 cm 200 mM ; soit une augmentation de 40 %) et *Nobili* (0,99 cm pour le témoin à 1,35 cm à 200 mM NaCl ; soit une augmentation de 36,3 %). En revanche chez la variété *Goliath* (1,1 cm pour le témoin à 1,35 cm à 200 mM de NaCl ; soit une augmentation de 22,7 %), on note une baisse non significative du diamètre de tiges par rapport aux témoins (Tableau X).

Dans le milieu témoin, la surface foliaire varie très peu chez toutes les variétés étudiées après les deux premières semaines (Tableau X). Pour les différentes solutions nutritives enrichies de 50, 100 et 200 mM de NaCl, la surface foliaire augmente très faiblement. Cette faible augmentation est plus marquée ($P < 0,01$) dès la cinquième semaine chez *Goliath* (de 6,38 cm² pour le témoin à 7,20 cm² à 200 mM de NaCl) (Tableau X).

Tableau X. Effet du stress salin sur les paramètres de croissance chez trois variétés de poivron.

Variété	Traitement (mM NaCl)	Biomasse sèche souterraine (g)	Biomasse sèche aérienne (g)	Diamètre des tiges (cm)	Longueur de la tige (cm)	Nombre de feuilles	Surface foliaire (cm ²)
Granada	0	0,17±0,08e	3,33±0,16a	1,85±0,19e	9,90±0,53d	9,00±0,50a	44,23±2,60a
	50	0,11±0,01f	3,30±0,18a	2,00±0,04c	9,80±0,21d	8,85±0,50a	40,51±1,20a
	100	0,92±0,13a	3,18±0,15b	2,10±0,01b	860±0,10f	7,75±0,52d	40,51±1,20a
	200	0,77±0,10c	3,10±0,13c	2,10±0,14b	6,10±0,14j	6,75±0,50f	20,28±1,60d
Goliath	0	0,75±0,02f	3,10±0,13c	2,10±0,11b	11,85±0,11a	8,50±0,40b	28,76±1,42c
	50	0,51±0,07f	2,81±0,20d	1,98±0,09c	7,75±0,81g	7,25±0,51e	2374±1,40d
	100	0,45±0,11c	1,53±0,09e	1,95±0,10c	7,38±0,50h	6,50±0,57g	22,31±1,38d
	200	0,34±0,03d	0,99±0,03f	2,15±0,18a	6,25±0,63i	6,00±0,50g	21,67±1,10d
Nobili	0	0,16±0,04e	3,20±0,34b	1,85±0,05e	11,20±0,27b	9,00±0,01a	38,72±2,60ab
	50	0,90±0,15a	3,17±0,21b	1,90±0,08d	10,68±1,10c	900±0,01a	36,33±1,60b
	100	0,83±0,25b	3,10±0,18c	1,98±0,09c	9,90±0,90d	8,25±0,01c	35,14±1,01bc
	200	0,50±0,10d	3,08±0,19c	1,95±0,10c	9,00±0,50e	7,25±0,50e	20,55±1,20d
ANOVA							
Variété (V)		*	*	*	*	*	*
Traitement salin (S)		**	*	*	*	*	*
Interaction (V×S)		*	*	NS	*	NS	*

**Significatif ($P < 0,01$), * Significatif ($P < 0,05$), NS : Non significatif

III.1.1.1 Analyse en composantes principales des paramètres de croissance en fonction des variétés

Pour bien indiquer l'effet de doses croissantes de salinité sur les paramètres de croissance de trois variétés de poivron pris en considération dans cette étude, on a fait recours à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et à la classification (dendrogramme). Le plan principal est celui formé par les axes 1 et 2 sur lequel il y a le maximum d'information (99,44 % information générale). Les variables qui ont les \cos^2 les plus élevés sont celles qui contribuent le plus à la formation d'un axe donnée et sont les plus liés à ces derniers.

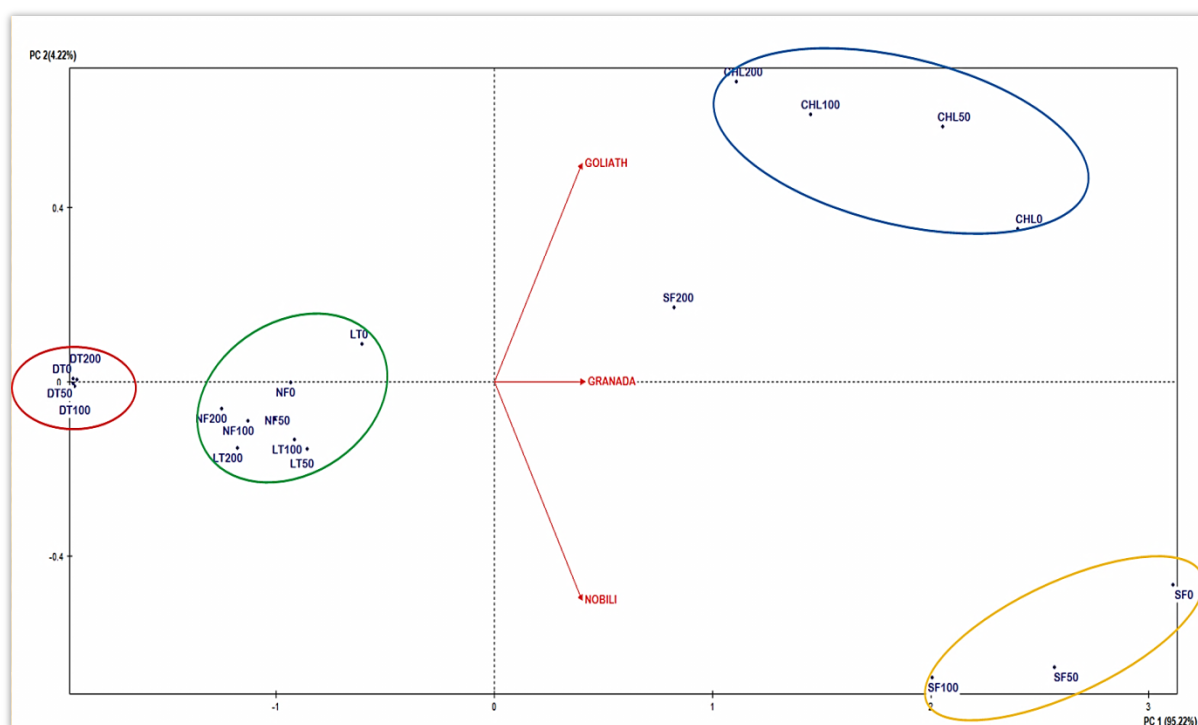


Fig. 19. Comparaison multifactorielle des paramètres de croissance analysés et les trois variétés étudiées à l'aide d'ACP.

La figure 19 montre la distribution des différentes variétés dans les deux premières composantes principales. Les variables qui ont une forte contribution à la première composante principale sont la chlorophylle et la surface foliaire.

Tableau XI. Valeurs propres pour les composantes principales

Numéro	Valeur propre	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulé (%)
PC1	2,8566	95,22	95,22
PC2	0,1266	4,22	99,44
PC3	0,0168	0,56	100,00

L'ACP montre que la variance entre les deux premières composantes principales est de 99,44 %, ainsi 95,22 % de variation entre les traitements est lié à la première composante principale et 4,22 % à la deuxième composante principale (Tableau XI).

L'ACP a révélé que les deux composantes principales de variabilité associée à la croissance (CP1) et la vigueur/tolérance à la salinité (CP2) expliquent respectivement 95,22 % et 4,22 % de la variation génétique existante entre les cultivars testés par rapport aux traits étudiés (Figure 18). La CP1 comprend CHL0, CHL50, CHL100, CHL200, SF200 des plantules. Tandis que la CP2 comprend LT0, NF0, DT0, DT50, DT100, DT200, (Figure 18). Par conséquent, cette composante correspond à la performance de croissance ou à la vigueur/tolérance.

La représentation graphique en Biplot (Figure 19) a classé les trois variétés en deux groupes principaux qui reflètent une diversité génétique non négligeable pour la tolérance à la salinité et les traits de croissance.

Selon la figure 19 et comme l'illustre le Tableau XI, on peut constater que les variétés Goliath et Granada se caractérisent à la fois par un potentiel de croissance important et une tolérance à la salinité assez importante. Au contraire, le cultivar Nobili se caractérise par une résistance à la salinité assez importante ; cependant ses capacités de croissance restent les plus faibles en situation de stress comparativement aux autres variétés.

III.1.1.2 Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

L'analyse du dendrogramme des paramètres (Fig. 20) permet de classer les trois variétés en deux groupes : Granada et Goliath (plus résistantes à la salinité) et Nobili (moins résistante à la salinité).

Tandis que les paramètres de croissance sont classés en quatre grands groupes et chacun est subdivisés en sous groupes :

Groupe 1 : Forte caractérisation (SF0, SF50, SF100)

Groupe 2 : Caractérisation moyenne (SF200, Chl0, Chl50, Chl100 et Chl200)

Groupe 3 : Faible caractérisation (LT0, LT50, LT100, LT200, NF0, NF50, NF100, NF200)

Groupe 4 : Très faible ou absence de caractérisation (DT0, DT50, DT100, DT200).

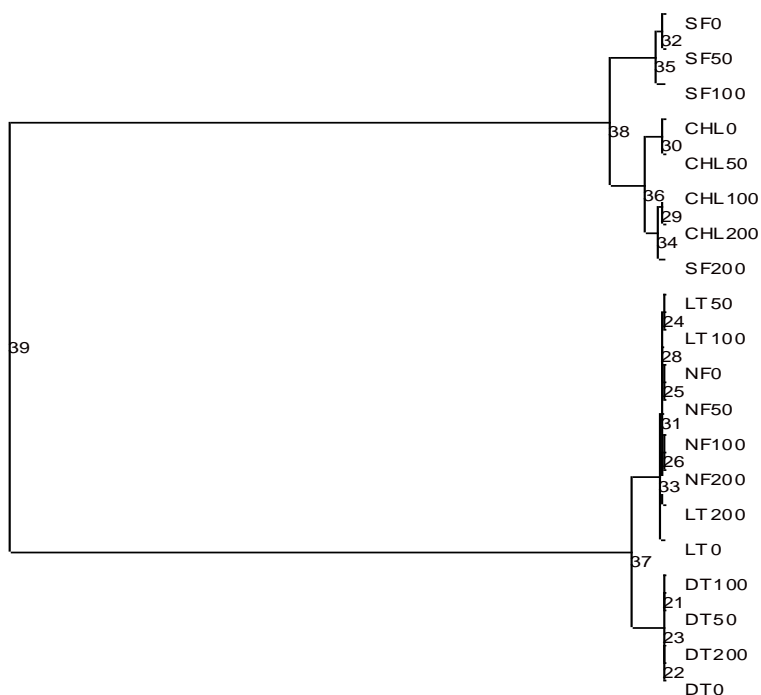


Fig. 20. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de croissance

Tableau XII. Coefficient de Corrélation de Pearson entre la biomasse sèche et paramètres de croissance

	Hauteur de la tige	Diamètre au collet	Surface foliaire	Nombre de feuilles	Biomasse sèche souterraine	Biomasse sèche aérienne
Hauteur de la tige	1					
Diamètre au collet	-0,739**	1				
Surface foliaire	0,569	0,017	1			
Nombre de feuilles	0,597*	-0,617*	0,088	1		
Biomasse sèche souterraine	0,729**	-0,851**	0,037	0,700*	1	
Biomasse sèche aérienne	0,697*	-0,525	0,321	0,276	0,510	1

** Corrélation est significative à 0,01.

* Corrélation est significative à 0,05.

La corrélation de Pearson entre la hauteur de la tige et le diamètre de la tige au collet est négative et hautement significative ($r = -0,739$, $p < 0,01$, $n = 13$) ce qui montre que la variation de la hauteur de la tige est fortement liée à celle du diamètre de la tige au collet (Tableau XII). De même une corrélation négative et significative ($r = -0,617$, $p < 0,05$, $n = 13$) est trouvée entre le diamètre de la tige au collet et le nombre de feuilles d'une part et entre le diamètre de la tige au collet et la biomasse sèche souterraine ($r = -0,851$, $p < 0,01$, $n = 13$). Ces résultats ont montré également une importante corrélation positive entre la hauteur de la tige et le nombre de feuilles ($r > 0,597$) d'une part, le nombre de feuilles et la biomasse sèche souterraine ($r > 0,700$) et la hauteur de la tige et la biomasse sèche souterraine ($r > 0,729$) d'autres parts.

III.1.2 Influence du NaCl sur la nutrition minérale

Au niveau du témoin, les teneurs en Na^+ des feuilles, tiges et racines varient nettement chez toutes les variétés étudiées. L'apport des solutions nutritives enrichies en 50, 100 et 200 mM de NaCl dans le milieu de culture, entraîne une augmentation significative ($p < 0,01$) des teneurs en Na^+ dans les organes chez toutes les variétés (Tableau XIII) avec des accumulations importantes à 200 mM dans les racines de la variété Goliath (15 g/kg) contrairement aux variétés Nobili (16,4 g/kg) et Granada (18 g/kg) où ces teneurs sont élevées au niveau des feuilles (Tableau XIII).

Les teneurs en potassium sont beaucoup plus élevées au niveau des feuilles et relativement faibles au niveau des racines chez toutes les variétés étudiées. Toutefois, les variétés Granada et Nobili accumulent plus de K^+ dans leurs organes que les autres variétés considérées (Tableau XIII). L'apport des doses croissantes de NaCl, baisse de façon significative ($P < 0,05$) les teneurs en K^+ dans les différents organes des variétés considérées (Tableau XIII). La variété Granada (19,9 g/kg dans les tiges et 23,5 g/kg dans les feuilles) renferme à 200 mM le plus fort taux de potassium dans les tiges et feuilles comparativement aux autres variétés. Quel que soit le traitement salin appliqué, les différentes variétés analysées ont des teneurs en potassium plus élevées dans les feuilles que les tiges et les racines.

Les teneurs en calcium au niveau du témoin sont beaucoup plus élevées au niveau des feuilles et relativement faibles au niveau des racines chez toutes les variétés étudiées. L'apport des doses croissantes de NaCl baisse de façon significative ($P < 0,05$) les teneurs en Ca^{++} dans les différents organes des variétés étudiées. Toutefois, cette baisse ne devient plus significative ($P < 0,001$) qu'à 100 mM (Tableau XIII). Les teneurs les plus élevées s'observent

dans les feuilles des variétés *Granada* (41 g/kg pour le témoin et 20,6 g/kg à 200 mM NaCl) et *Nobili* (43 g/kg pour le témoin et 22,4 g/kg à 200 mM NaCl).

Les résultats représentés sur le Tableau XIII, regroupent les teneurs en Mg^{++} des organes végétaux chez trois variétés de poivron en fonction des doses croissantes de NaCl et de la durée de culture dans les différents milieux expérimentaux.

Dans les milieux enrichis en NaCl, les teneurs en Mg^{++} diminuent significativement ($P < 0,05$) dans organes de toutes les variétés considérées. Les teneurs les plus faibles se trouvent dans les tiges (7 g/kg) et racines (11 g/kg) de la variété *Goliath* à 200 mM de NaCl (Tableau XIII).

III.1.2.1 Influence du NaCl sur les rapports de sélectivité

Au niveau des témoins, le rapport de sélectivité K/Na est élevé dans les racines, tiges et feuilles chez toutes les variétés. L'apport des doses croissantes de NaCl dans le milieu de culture, entraîne une baisse significative ($P < 0,01$), du rapport K/Na dans les différents organes des variétés considérées à partir de 50 mM de NaCl (Tableau XIII). Ce rapport est plus élevé dans les organes de *Granada* (0,57 g/kg dans les racines, 1,4 g/kg dans les tiges et 1,3 g/kg dans les feuilles) et plus faible dans ceux de *Goliath* (0,41 g/kg dans les racines, 0,7 g/kg dans les tiges et 0,8 g/kg dans les feuilles) à 200 mM de NaCl (Tableau XIII).

En milieu témoin, le rapport Ca/Na est plus élevé dans les feuilles chez toutes les variétés étudiées. L'apport des doses croissantes de NaCl entraîne une baisse significative ($P < 0,01$) du rapport Ca/Na dans les différents organes des variétés étudiées. Néanmoins, cette baisse est plus marquée chez la variété *Goliath* (0,6 g/kg dans les racines, 0,5 g/kg dans les tiges et 1 g/kg dans les feuilles) à 200 mM de NaCl (Fig. 21).

Le rapport de sélectivité Mg/Na au niveau des témoins est élevé dans les racines, tiges et feuilles chez toutes les variétés.

L'apport des doses croissantes de NaCl entraîne une baisse significative ($P < 0,01$) du rapport Mg/Na dans les différents organes des variétés étudiées à partir de 50 mM de NaCl (Fig. 21). Ce rapport est plus élevé dans les racines et feuilles de *Granada* (1,2 g/kg dans les racines et 1,1 g/kg dans les feuilles) et plus faible dans ceux de *Goliath* (0,7 g/kg dans les racines et 0,9 g/kg dans les feuilles) à 200 mM de NaCl (Fig. 22).

Tableau XIII. Effet du stress salin sur la distribution ionique (g kg⁻¹) chez le poivron

Variété	Organe	Traitement (mM NaCl)	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K/Na
<i>Granada</i>	Feuille	0	2,90±0,02g	38,0±0,82a	41,0±0,82a	38,50±0,18a	13,10c
		50	5,60±0,03f	28,6±0,18c	36,0±0,82b	29,0±1,82b	5,10 ^e
		100	8,60±0,07d	25,0±0,82d	28,0±0,82c	21,60±0,18c	2,90f
		200	18,00±0,82a	23,5±0,18d	20,6±0,18d	19,40±0,23cd	1,30f
	Tige	0	2,10±0,08g	34,6±0,18b	29,0±0,82c	20,0±1,82c	16,48b
		50	5,20±0,07f	31,5±0,18bc	18,0±0,58de	15,90±0,52d	6,06 ^e
		100	10,20±0,27cd	27,9±0,50d	9,60±0,18g	10,60±0,18e	2,74f
		200	14,40±0,23b	19,9±0,75de	8,0±0,02g	8,70±0,08e	1,38f
	Racine	0	1,80±0,06d	21,8±0,18d	23,9±0,52d	38,9±0,18a	12,11cd
		50	5,40±0,06f	16,9±0,52e	18,0±0,82de	29,80±0,38b	3,13f
		100	10,60±0,25cd	12,70±0,18f	13,40±0,83e	25,90±0,52c	1,20f
		200	12,80±0,18c	9,50±0,18fg	15,60±0,18e	20,50±0,18c	0,74g
<i>Goliath</i>	Feuille	0	1,60±0,08d	29,9±0,52c	34,00±0,82b	31,50±0,18b	18,70b
		50	4,40±0,08f	18,5±0,18de	29,00±0,82c	27,00±0,58bc	4,20 ^e
		100	7,70±0,03e	14,40±0,18f	26,0±0,82cd	19,50±0,18cd	1,90f
		200	14,60±0,18b	11,50±0,18f	15,6±0,18e	13,50±0,18d	0,80g
	Tige	0	2,20±0,04g	22,0±3,36d	25,3±0,18cd	2440±0,18bc	10,0d
		50	4,90±0,09f	16,80±0,18e	19,0±0,82de	13,0±0,58d	3,43f
		100	7,60±0,08e	11,30±0,18f	10,90±0,52g	9,20±0,27e	1,49f
		200	12,70±0,18c	9,20±0,27fg	6,40±0,08g	7,00±0,02e	0,72g
	Racine	0	1,50±0,01d	16,0±0,82e	18,00±0,82	28,90±0,52b	10,66d
		50	4,80±0,08f	10,60±0,18f	16,09±0,52e	23,00±2,94c	2,21f
		100	8,80±0,08d	8,6±0,08fgh	11,40±0,18g	15,40±0,23d	0,98f
		200	9,70±0,58d	6,20±0,08h	8,00±0,02g	11,00±0,82de	0,64g
<i>Nobili</i>	Feuille	0	1,50±0,08g	34,4±0,18b	8,00±0,02g	35,40±0,23a	22,93a
		50	6,50±0,08ef	25,00±0,18d	34,90±0,52b	29,00±0,82b	3,85f
		100	9,90±0,29d	22,90±0,52d	20,00±0,82d	19,60±0,18c	2,31f
		200	16,40±0,36a	21,00±0,36d	22,40±0,18d	14,60±0,18d	1,28f
	Tige	0	2,20±0,08g	30,9±0,52bc	28,9±0,52c	23,0±0,94c	14,05c
		50	4,40±0,06f	29,0±0,82c	18,4±0,18de	14,50±0,18d	6,59 ^e
		100	9,90±0,19d	22,0±0,36d	12,80±0,18f	11,0±0,82de	2,2f
		200	14,80±0,18b	14,0±0,82f	9,90±0,52g	10,40±0,18e	0,95g
	Racine	0	1,70±0,08g	19,0±0,82de	21,0±4,16d	30,70±0,18b	11,18cd
		50	4,70±0,08f	13,90±0,52f	19,4±0,18de	26,60±0,18bc	2,96f
		100	9,40±0,36d	6,60±0,08h	14,0±1,82f	18,0±0,82cd	0,70g
		200	10,40±0,36b	8,0±0,08fgh	10,6±0,18g	12,0±0,02de	0,77g
ANOVA							
Variété (V)			*	*	*	NS	*
Traitement salin (S)			**	*	*	*	*
Interaction (V×S)			*	*	*	NS	*

**Significatif (P<0,01), * Significatif (P<0,05), NS : Non significatif

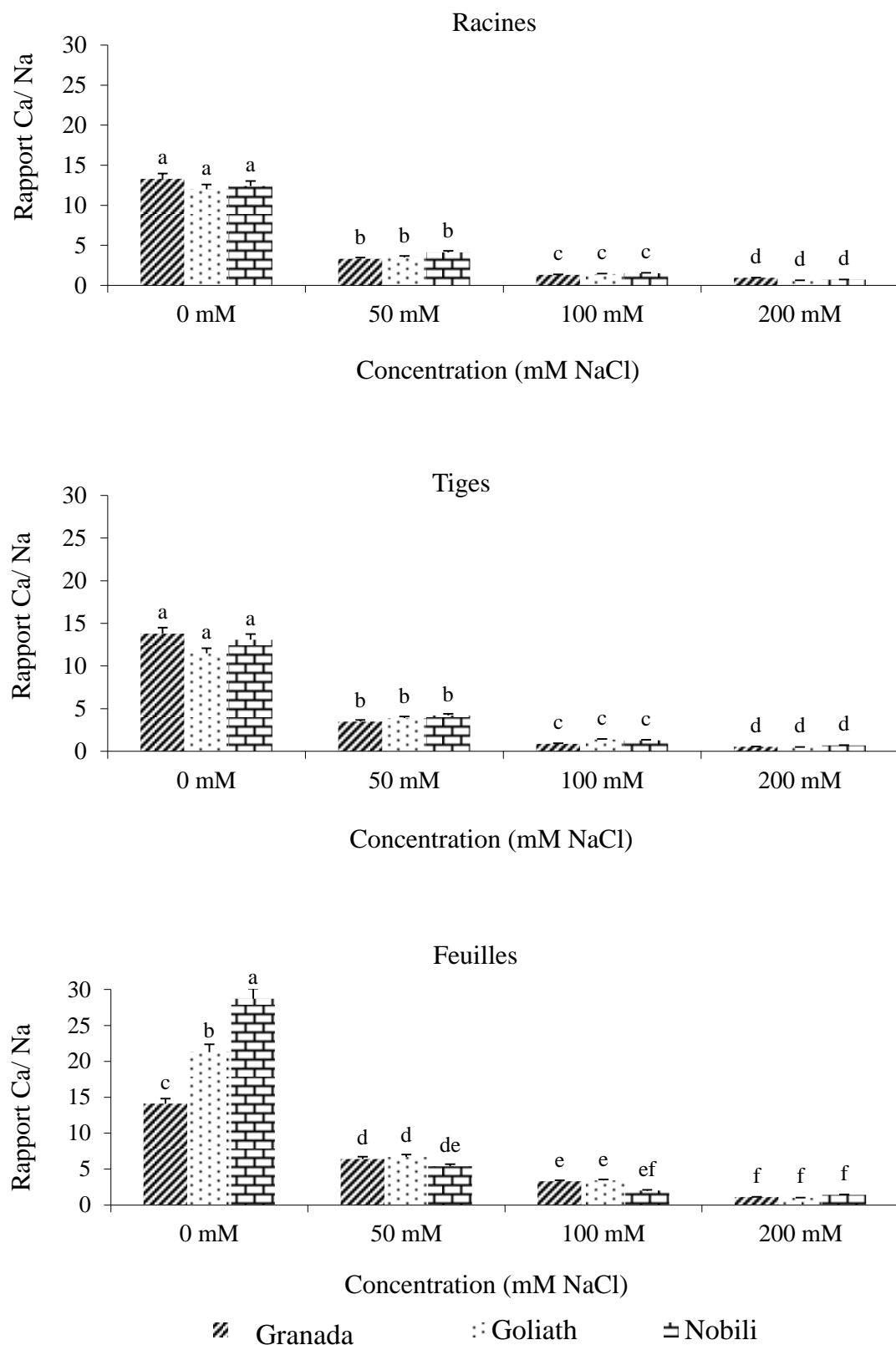


Fig. 21. Rapport de sélectivité (Ca/Na) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

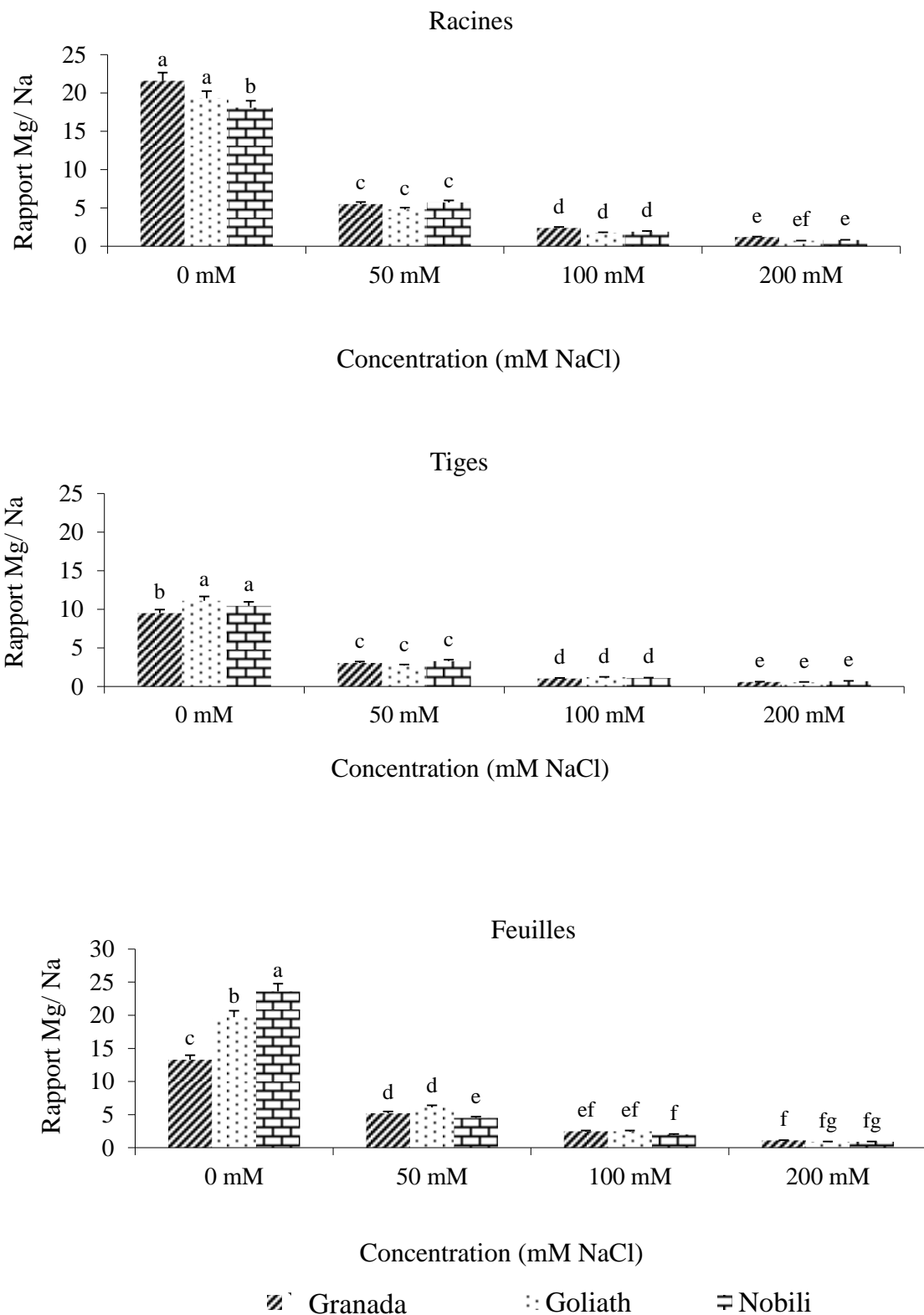


Fig. 22. Rapport de sélectivité (Mg/Na) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

III.1.2.2 Action du NaCl sur la teneur en eau

L'apport des doses croissantes de NaCl dans le milieu de culture, baisse de façon non significative ($P > 0,05$) les teneurs en eau des différents organes salin chez les variétés étudiées comparativement aux lots témoins après six semaines de traitement. Cette teneur est plus élevée dans les tiges et feuilles de Granada (87,72 % dans les tiges et 86,8 % dans les feuilles) et plus faible dans ceux de Goliath (81,9 % dans les tiges et 78,6 % dans les feuilles) à 200 mM de NaCl (Fig. 23).

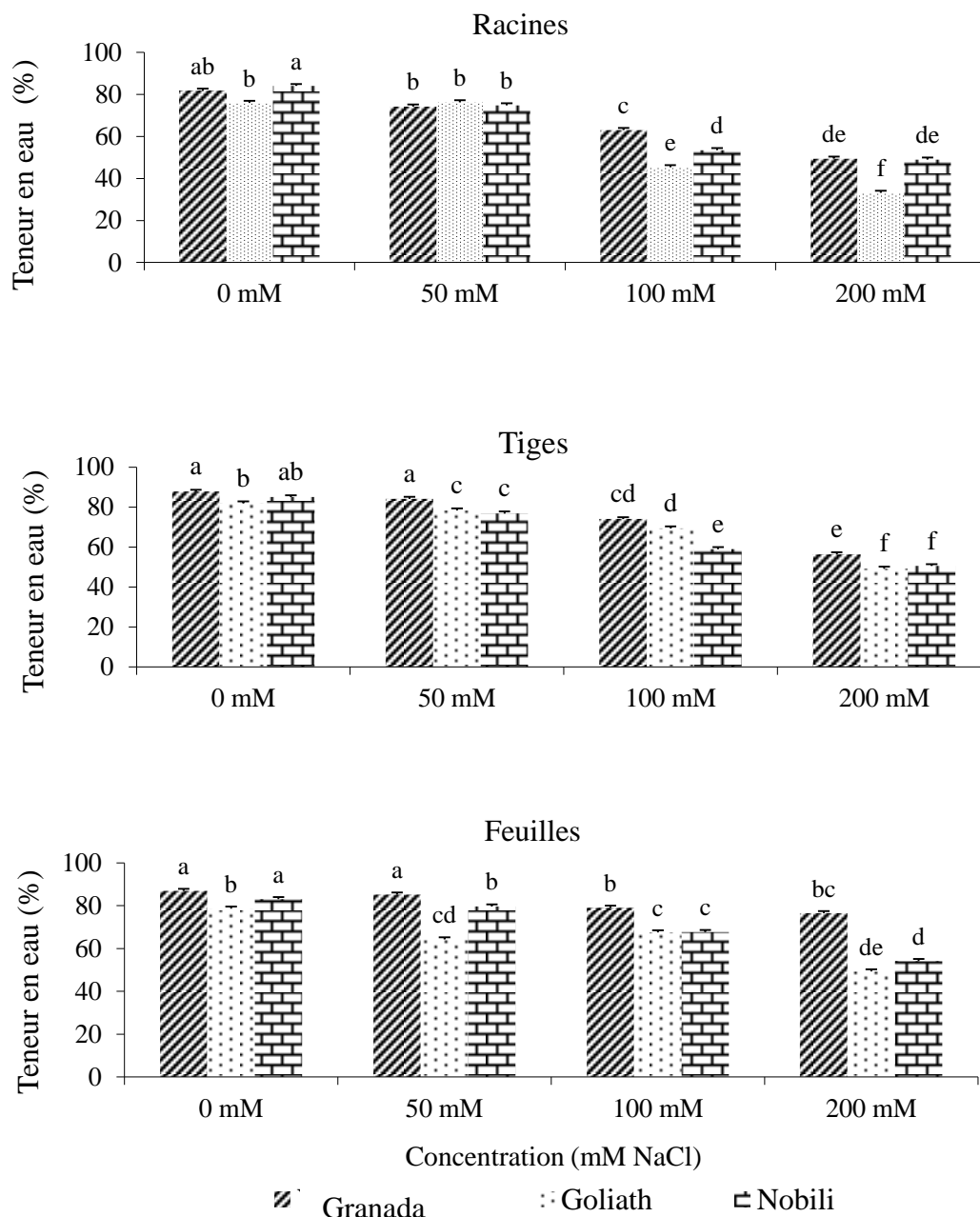


Fig. 23. Variation de la teneur en eau (%) des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

III.1.2.3 Analyse en composantes principales des paramètres physiologiques en fonction des variétés

Pour bien indiquer l'effet de salinité sur les paramètres physiologique chez trois variétés de poivron pris en considération dans cette étude, on a fait recours à l'analyse en composantes principales (ACP) et à la classification (dendrogramme).

Le plan principal est celui formé par les axes 1 et 2 sur lequel il y a le maximum d'information (99,83 % information générale) (Fig. 24).

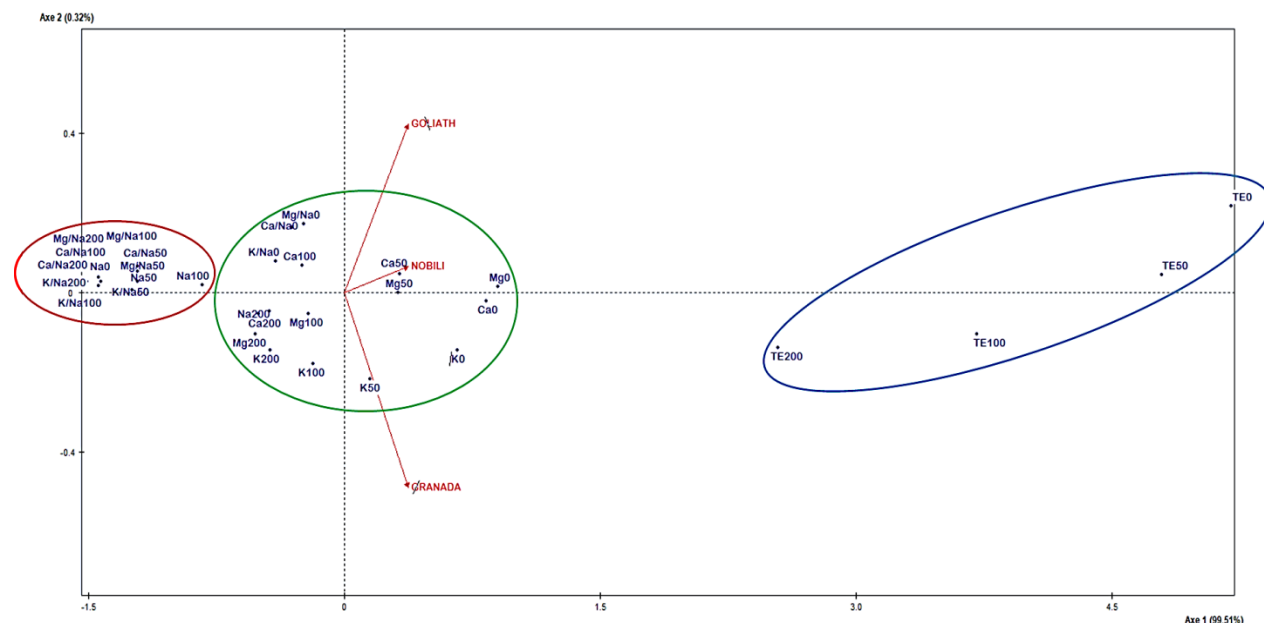


Fig. 24. Comparaison multifactorielle des paramètres physiologiques analysés et les trois variétés étudiées à l'aide d'ACP.

La figure 24 montre la distribution des différentes variétés dans les deux premières composantes principales. La variété qui a une forte contribution à la première composante principale est Granada. Donc la première composante principale est fortement dépendante de cette variété. Alors que la deuxième composante principale est strictement dépendante de Goliath et Nobili.

Tableau XIV. Valeurs propres pour les composantes principales

Numéro	Valeur propre	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulé (%)
PC1	2,9852	99,51	99,51
PC2	0,0096	0,32	99,83
PC3	0,0053	0,18	100,00

L'ACP montre que la variance entre les deux premières composantes principales est de 99,83 %, ainsi 95,51 % de variation entre les traitements est lié à la première composante principale et 0,32 % à la deuxième composante principale. De plus l'ACP montre que les variétés étudiées sont réparties en trois groupes d'individus relatifs à leur mode d'exploitation.

L'ACP a révélé que les deux composantes principales de variabilité associée aux paramètres physiologiques (CP1) et la vigueur/tolérance à la salinité (CP2) expliquent respectivement 99,51 % et 0,32 % de la variation génétique existante entre les cultivars testés par rapport aux traits étudiés (Fig. 24). La CP1 comprend TE0, TE50, TE100, Ca0, Ca50, Mg0 et Mg50 des plantules. Tandis que la CP2 comprend Ca100, K/Na0, Ca/Na0, Mg/Na0, Na100, Na50, Ca/Na50, Mg/Na50 et Mg/Na100. Par conséquent, cette composante correspond à la performance de croissance ou à la vigueur/tolérance.

La représentation graphique en Biplot (Fig. 24) a classé les trois variétés en deux groupes principaux qui reflètent une diversité génétique non négligeable pour la tolérance à la salinité et les traits de croissance.

Selon la figure 24 et comme l'illustre le Tableau XIV, on peut constater que les variétés Goliath et Nobili se caractérisent à la fois par un potentiel de croissance important et une tolérance à la salinité assez importante. Au contraire, le cultivar Granada se caractérise par une résistance à la salinité assez importante ; cependant ses capacités de croissance restent les plus faibles en situation de stress comparativement aux autres variétés.

III.1.2.4 Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

L'analyse du dendrogramme des paramètres (Fig. 25) permet de classer les trois variétés en deux groupes : Goliath et Nobili (plus résistantes à la salinité) et Granada (moins résistante à la salinité). Tandis que les paramètres de croissance sont classés en quatre grands groupes et chacun est subdivisés en sous groupes :

Groupe 1 : Forte caractérisation (TE0, TE50, TE100, TE200)

Groupe 2 : Caractérisation moyenne (Mg0, Ca0, K0, Ca50, Mg50etK50)

Groupe 3: Faible caractérisation (Ca100, Mg100, K100, K/Na0, Ca/Na0, Mg/Na0, Na100, Na200, Mg200, Ca200, K200)

Groupe 4: Très faible ou absence de caractérisation (Na50, K/Na50, Ca/Na50, Mg/Na50, K/Na100, Ca/Na100, Mg/Na100, K/Na200, Ca/Na200, Mg/Na200).

Classification hiérarchique directe

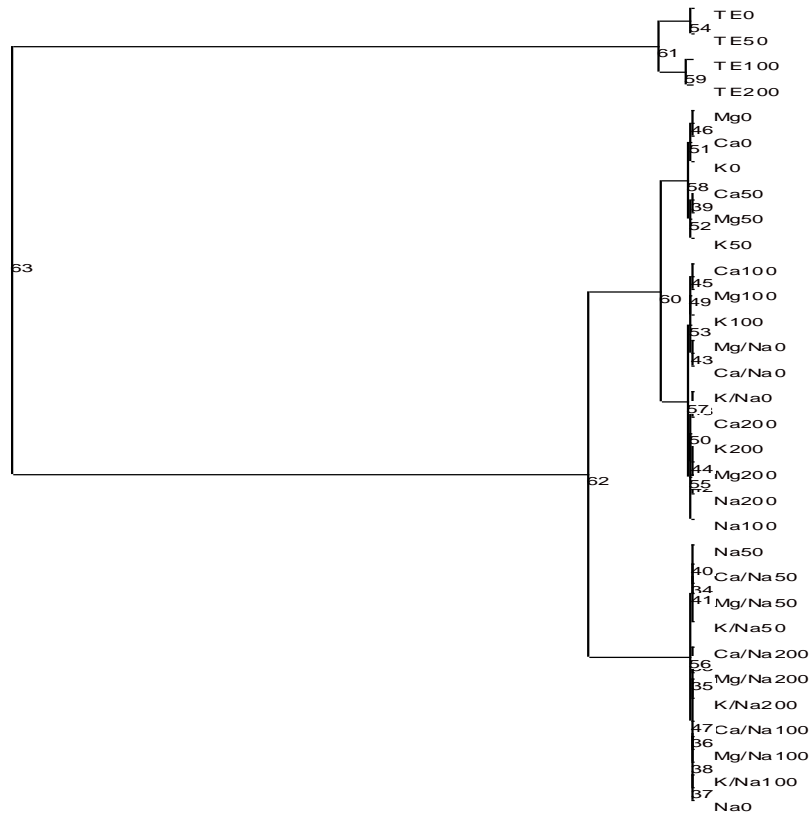


Fig. 25. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de physiologiques

III.1.3 Action du NaCl sur les teneurs en chlorophylle a, b et (a + b)

Les résultats représentés sur le tableau XV montrent l'évolution des teneurs en chlorophylle a, b et totale des feuilles de trois variétés de poivron en fonction des doses croissantes de NaCl et de la durée de culture dans les différents milieux expérimentaux.

Au niveau des lots témoins, la teneur en chlorophylle totale est plus élevée tandis que celle de la chlorophylle b est relativement faible. Les plus fortes teneurs se retrouvent chez les variétés Nobili (21,6 mg/l pour la chlorophylle a, 9,83 pour la chlorophylle b et 31,43 mg/l pour la chlorophylle totale) et Granada (18,5 mg/l pour la chlorophylle a, 17,85 pour la chlorophylle b et 36,15 mg/l pour la chlorophylle totale) et les plus faibles chez la variété Goliath (14,48 mg/l pour la chlorophylle a, 11,43 pour la chlorophylle b et 15,9 mg/l pour la chlorophylle totale) (Tableau XV).

L'apport des doses croissantes de NaCl dans le milieu de culture, baisse de façon non significative ($P > 0,05$) les teneurs en chlorophylle a, b et totale des feuilles après six semaines de traitement salin chez les variétés étudiées comparativement aux lots témoins.

Tableau XV. Effet du stress salin sur les teneurs en chlorophylle a, b et totale chez trois variétés de poivron.

Variété	Traitement (mM NaCl)	Chlorophylle (mg l ⁻¹)		
		Chlorophylle a	Chlorophylle b	Chlorophylle a + b
Granada	0	18,5±11,72 b	17,85±0,94 b	36,15±1,3 a
	50	16,98±0,45 bc	16,78±1,31 b	33,75±1,44 b
	100	16,35±0,91 bc	12,43±5,69 c	28,78±6,6 cd
	200	16,58±0,09 bc	11,45±1,47 c	28,03±1,4 cd
Goliath	0	17,85±0,45 b	20,43±0,40 a	28,28±0,85 cd
	50	17,45±1,008 b	16,45±2,55 b	23,9±0,3 e
	100	15,18±0,189 c	12,48±1,53 c	19,65±1,06 f
	200	14,48±1,55 c	11,43±3,66 c	15,9±0,8 g
Nobili	0	21,6±2,02 a	9,83±1,2 d	31,43±1,05 bc
	50	21,83±1,02 a	9,1±0,9 d	30,93±0,8 c
	100	20,45±0,3 a	7,03±2,4 e	27,48±0,9 cd
	200	20,23±1,05 a	4,98±1,13 f	25,18±0,76 d
ANOVA				
Variété (V)		*	**	**
Salinité (S)		*	**	*
Interaction V X S		*	*	*

**Significatif (P<0,01), * Significatif (P<0,05), NS : Non significatif

III.1.4 Effet du NaCl sur les osmolytes

L'analyse des résultats a révélé des différences de teneur des osmolytes en fonction des doses croissantes de NaCl :

- **teneur en sucres solubles** : l'analyse des résultats a révélé que les différents traitements salins induisent des augmentations des teneurs de sucres solubles dans les feuilles de toutes les variétés de poivron. Ces hausses ont toutes été statistiquement significatives et proportionnelles aux concentrations salines appliquées (Fig. 26). Les plus fortes teneurs ont été obtenues chez la variété *Granada* (25,72 g/g de MF pour le témoin et 43,01 g/g de MF à 200 mM NaCl), correspondant à une hausse de 67,2 % par rapport au témoin, et les plus faibles teneurs (16,80 mg/g de MF pour le témoin et 28,28 g/g de MF à 200 mM NaCl, soit une hausse de 68,3 % par rapport au témoin) ont été observés chez la variété *Goliath*.

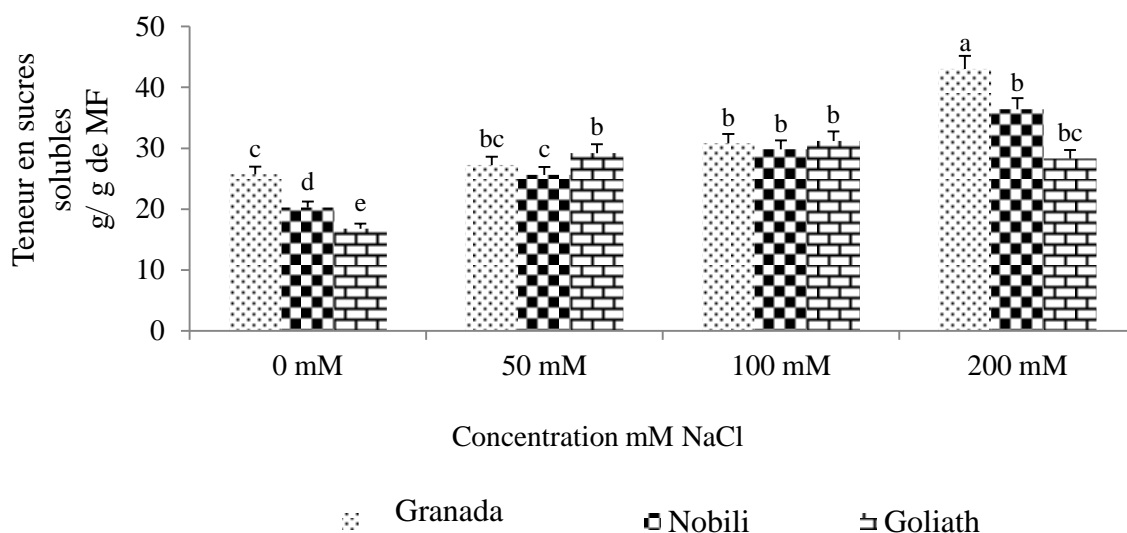


Fig. 26. Variation de la teneur en sucres solubles (mg/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

- **teneur de la proline :** la figure 27 indique que, la teneur en proline augmente dans les feuilles des différentes variétés en fonction de l'augmentation de la salinité. On note également que, les feuilles de la variété *Granada* sont plus riches en proline que les autres variétés, aussi bien dans les plantes témoins que celles traitées aux différentes concentrations en sels. Chez *Granada* le stress salin a provoqué une accumulation importante de la proline dans les feuilles. Les taux d'augmentation de la proline ont atteint 17,5 %, 113,7 % et 177,8 % par rapport au témoin, respectivement à 50 mM, 100 mM et 200 mM NaCl. Chez *Nobili*, les taux d'augmentation de la proline sont 11 %, 74,9 % et 130,5 % par rapport au témoin respectivement à 50 mM, 100 mM et 200 mM de NaCl, ces taux correspondent aux moyennes dont l'analyse de la variance a un seul critère de classification montre une différence très significative ($p < 0,001$). Enfin, chez la variété *Goliath*, les taux d'accumulation de la proline par rapport au témoin sont respectivement 30,3 %, 97,2 % et 151,3 % pour les traitements 50 mM, 100 mM et 200 mM NaCl, ces taux correspondent à des moyennes dont l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0,01$).

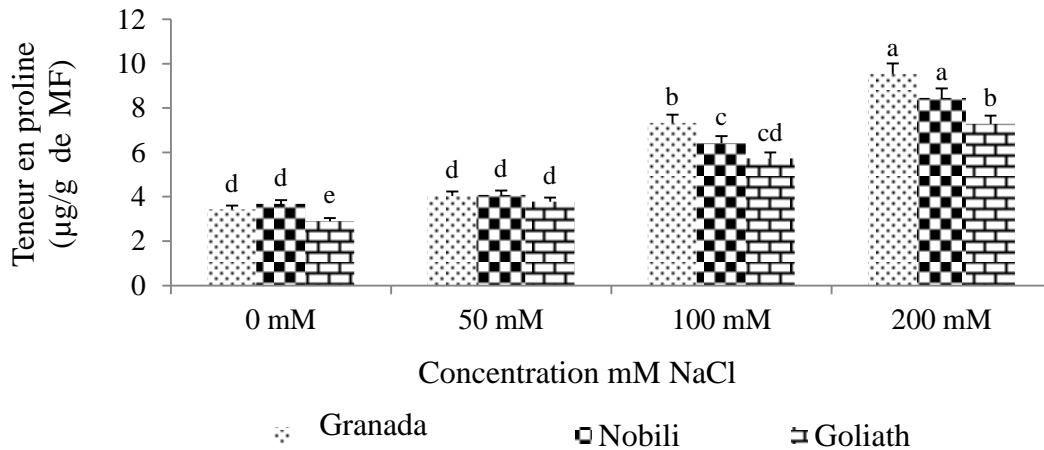


Fig. 27. Variation de la teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

- **teneur en acides aminés totaux** : la figure 28 indique que, la teneur en acides aminés totaux augmente dans les feuilles chez toutes les variétés avec l'augmentation de la concentration en sels, par rapport aux plantes témoins. On note également que, les teneurs les plus élevées en acides aminés totaux sont obtenues chez la variété *Granada* (38,28 g/g de MF chez le témoin à 51,01 g/g de MF à 200 mM de NaCl) et les plus faibles chez la variété *Goliath* (26,09 g/g de MF chez le témoin à 41,41 g/g de MF à 200 mM de NaCl). Les taux d'accumulation en acides aminés totaux chez la variété *Granada* par rapport au témoin sont respectivement -4,3 %, 19,2 % et 33,2 % pour les traitements (50 mM, 100 mM et 200 mM). Chez la variété *Nobili*, ces taux sont respectivement 12,3 %, 36,7 % et 54,7 % pour les traitements (50 mM, 100 mM et 200 mM) par rapport au témoin. Enfin, chez la variété *Goliath*, ces taux sont respectivement 21,7 %, 38,8 % et 58,7 % pour les traitements (50 mM, 100 mM et 200 mM) par rapport au témoin.

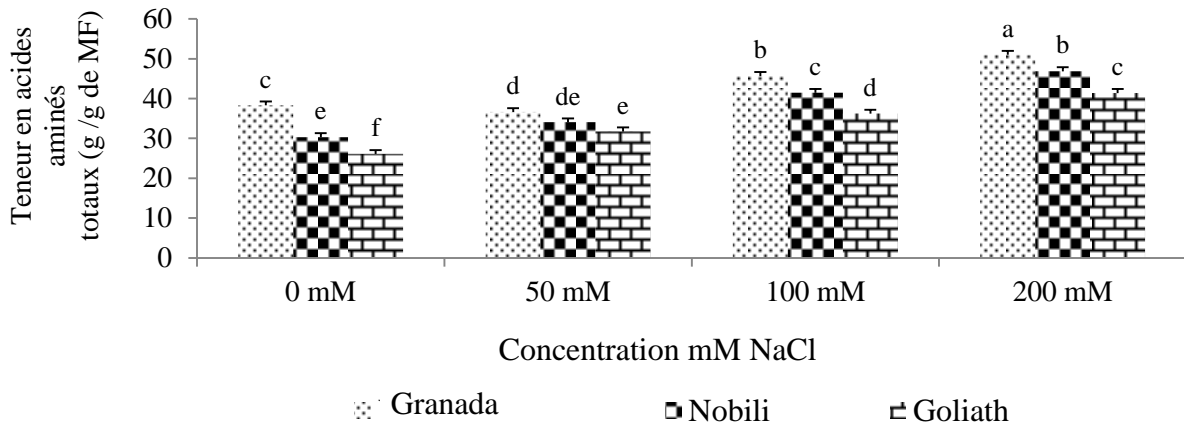


Fig. 28. Variation de la teneur en acides aminés totaux (g/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

- **teneur en protéines solubles :** au niveau du témoin, les teneurs en protéines solubles des feuilles, tiges et racines varient nettement chez toutes les variétés étudiées (Fig. 29). L'apport des solutions nutritives enrichies en 50, 100 et 200 mM NaCl dans le milieu de culture, entraîne une augmentation significative ($p < 0,01$) des teneurs en protéines solubles dans les feuilles chez toutes les variétés (Fig. 29) avec des accumulations importantes à 200 mM chez *Granada* (44,05 $\mu\text{g/g}$ MF soit un taux d'accumulation de 55,75 % par rapport au témoin), *Nobili* (47,87 $\mu\text{g/g}$ MF soit un taux d'accumulation de 31,87 % par rapport au témoin) et *Goliath* (38,14 $\mu\text{g/g}$ MF soit un taux d'accumulation de 31,11 % par rapport au témoin) où ces teneurs sont élevées au niveau des feuilles.

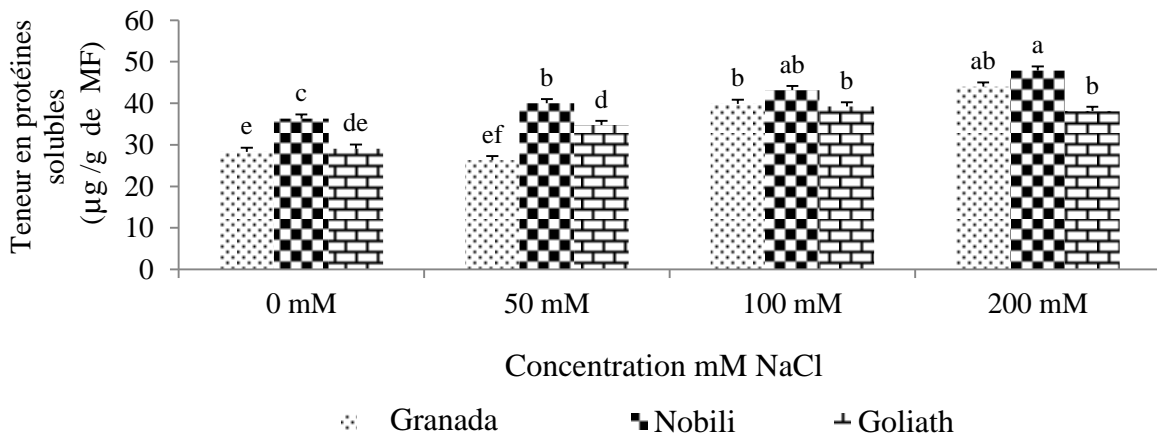


Fig. 29. Variation de la teneur en protéines solubles (mg.g^{-1} MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

III.1.5 Effet du NaCl sur les antioxydants

L'analyse des résultats a révélé des différences de teneur des antioxydants en fonction des doses croissantes de NaCl :

- **teneur en flavonoïdes :** au niveau du témoin, les teneurs en flavonoïdes sont beaucoup plus élevées au niveau des feuilles de la variété Granada (0,94 $\mu\text{g/g MS}$) que les autres variétés considérées (Fig. 30). L'apport des doses croissantes de NaCl, baisse de façon significative ($P < 0,05$) les teneurs en flavonoïdes dans les différentes feuilles des variétés considérées (Fig. 30). La variété Granada (de 1,6 à 0,94 $\mu\text{g/g MS}$ soit une réduction de 41,3 % par rapport au témoin) renferme à 200 mM NaCl le plus fort taux de flavonoïdes dans les feuilles comparativement aux autres variétés. La plus faible teneur en flavonoïdes à 200 mM NaCl est observée chez la variété Goliath (de 1,1 à 0,53 $\mu\text{g/g MS}$ soit une réduction de 51,8 % par rapport au témoin).

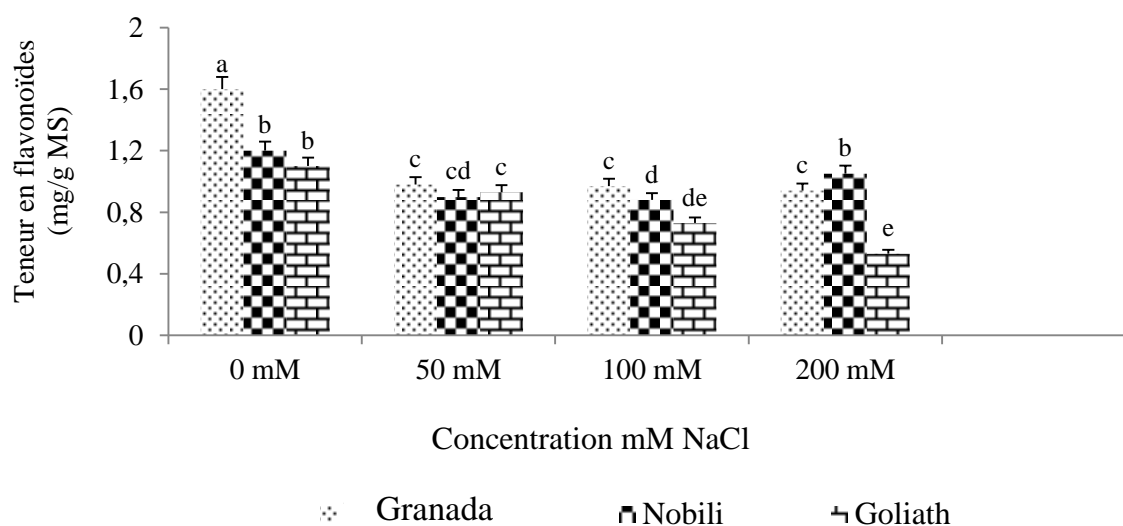


Fig. 30. Variation de la teneur en flavonoïdes (mg/g MS) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

- **teneur en composés phénoliques :** en milieu témoin, la teneur en composés phénoliques produite est importante dans les feuilles la variété *Granada* comparativement aux autres variétés étudiées. L'apport de doses croissantes de NaCl augmente de façon significative ($P < 0,01$) la teneur en composés phénoliques dans les feuilles chez *Goliath* (de 0,78 à 2,10 mg/g MF soit un taux d'accumulation de 169,2 % entre le témoin et 200 mM NaCl),

Nobili (de 0,98 à 2,36 mg/g MF soit un taux d'accumulation de 140,8 % entre le témoin et 200 mM NaCl) et *Granada* (de 1,23 à 2,76 mg/g MF soit un taux d'accumulation de 124,4 % entre le témoin et 200 mM NaCl) (Fig. 31).

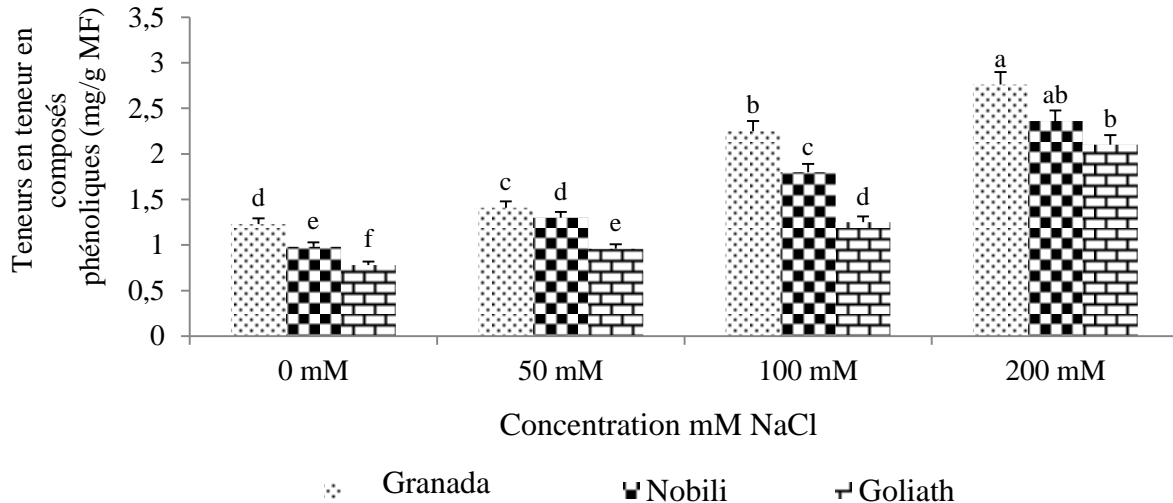


Fig. 31. Variation de la teneur en composés phénoliques (mg/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

- **teneur en superoxyde dismutase** : En milieu témoin, la teneur en superoxyde dismutase varie chez toutes les variétés étudiées. Elle est élevée chez la variété *Granada* (8,09 Unités/mg protéines) et relativement faible chez la variété *Goliath* (5,05 Unités/g protéines). La figure 32 indique que, la teneur en superoxyde dismutase augmente dans les feuilles chez toutes les variétés avec l'augmentation de la concentration en sels, par rapport aux plantes témoins.

On note également que, les teneurs les plus élevées en acides aminés totaux sont obtenues chez la variété *Granada* (8,09 Unités/g protéines chez le témoin à 14,14 Unités/mg protéine à 200 mM de NaCl soit un taux d'accumulation de 74,7 %) et les plus faibles chez la variété *Goliath* (5,05 Unités/g protéines chez le témoin à 11,13 Unités/g protéines à 200 mM de NaCl soit un taux d'accumulation de 120,4 %). Chez la variété *Nobili*, les taux d'accumulation sont respectivement 24,3 %, 58,2 % et 78,7 % pour les traitements (50 mM, 100 mM et 200 mM) par rapport au témoin.

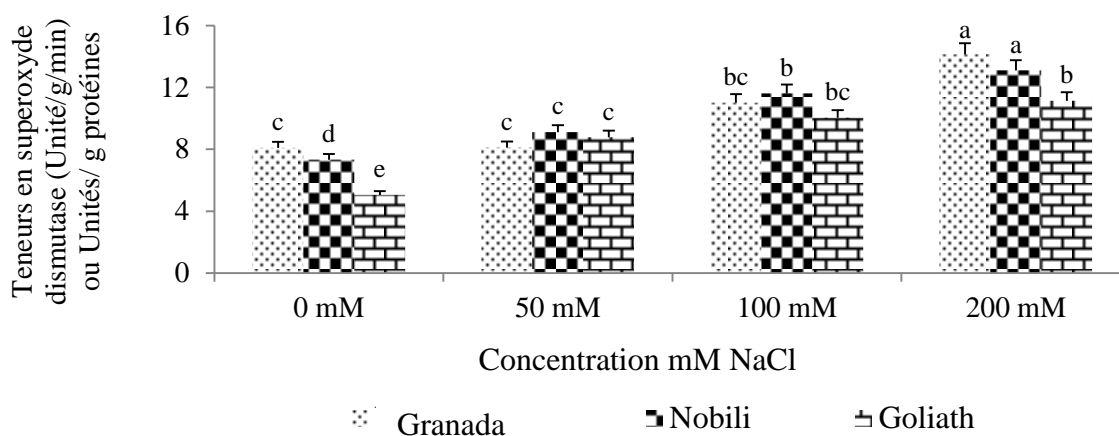


Fig. 32. Variation de la teneur en superoxyde dismutase (Unités/mg protéines) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM NaCl) après six semaines de culture.

- **teneur en peroxydase :** au niveau des lots témoins, les teneurs en peroxydase varient légèrement dans les feuilles des différentes variétés étudiées. Les plus fortes teneurs se retrouvent dans les feuilles des variétés *Granada* (1,62 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines). Ces hausses ont toutes été statistiquement significatives et proportionnelles aux concentrations salines appliquées (Fig. 33).

Les plus fortes teneurs ont été obtenues chez la variété *Granada* (1,62 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines pour le témoin et 2,67 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines à 200 mM NaCl), correspondant à une hausse de 64,8 % par rapport au témoin, et les plus faibles teneurs (0,83 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ pour le témoin et 1,05 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines à 200 mM NaCl), soit une hausse de 26,5 % par rapport au témoin) ont été observés chez la variété *Goliath*.

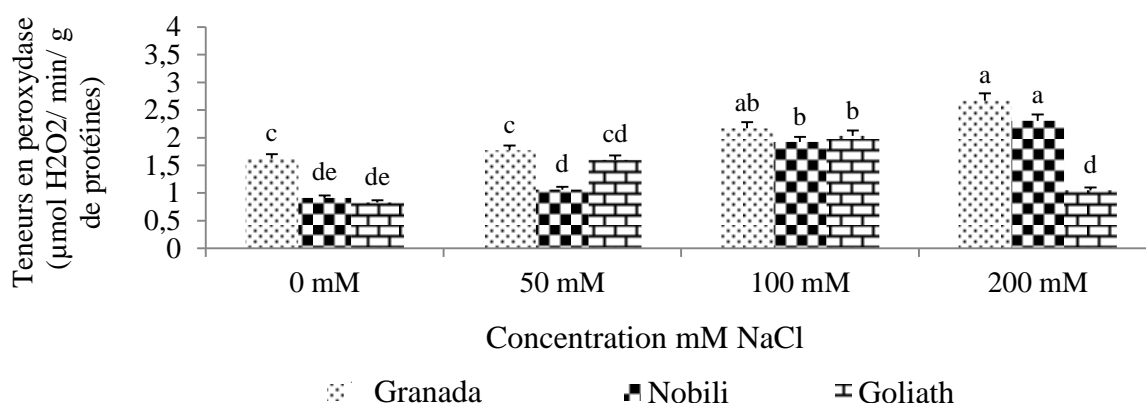


Fig. 33. Variation de la teneur en peroxydase ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min/g}$ de protéines) des feuilles de trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après huit semaines de culture.

III.1.6 Analyse en composantes principales des paramètres biochimiques en fonction des variétés

Pour bien indiquer l'effet de salinité sur les paramètres biochimiques chez trois variétés de poivron pris en considération dans cette étude, on a fait recours à l'analyse en composantes principales (ACP) et à la classification (dendrogramme).

Le plan principal est celui formé par les axes 1 et 2 sur lequel il y a le maximum d'information (99,73 % information générale) (Fig. 34).

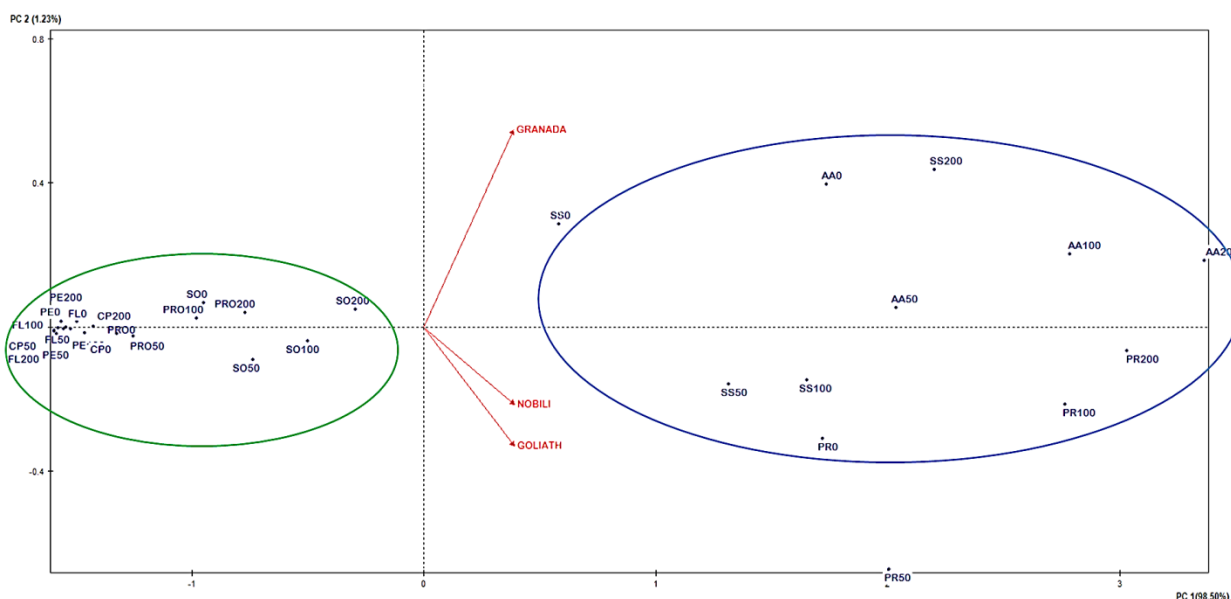


Fig. 34. Analyse en composante principale des paramètres biochimiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,73 %)

La figure 34 montre la distribution des différentes variétés dans les deux premières composantes principales. La variété qui a une forte contribution à la première composante principale est Goliath et Nobili. Donc la première composante principale est fortement dépendante de cette variété. Alors que la deuxième composante principale est strictement dépendante de Granada.

Tableau XVI. Valeurs propres pour les composantes principales.

Numéro	Valeur propre	Pourcentage (%)	Pourcentage cumulé (%)
PC1	2,9549	98,50	98,50
PC2	0,0368	1,23	99,73
PC3	0,0083	0,28	100,00

L'ACP montre que la variance entre les deux premières composantes principales est de 99,73 %, ainsi 98,50 % de variation entre les traitements est lié à la première composante principale et 1,23 % à la deuxième composante principale. De plus l'ACP montre que les variétés étudiées sont réparties en trois groupes d'individus relatifs à leur mode d'exploitation.

L'ACP a révélé que les deux composantes principales de variabilité associée aux paramètres physiologiques (CP1) et la vigueur/tolérance à la salinité (CP2) expliquent respectivement 98,50 % et 1,23 % de la variation génétique existante entre les cultivars testés par rapport aux traits étudiés (Figure 34). La CP1 comprend AA0, AA50, AA100, AA200, PR200, SS0 et SS200 des plantules. Tandis que la CP2 comprend SO0, SO100, SO200, PR200, PR100, CP200, FL0 (Fig. 34). Par conséquent, cette composante correspond à la performance de croissance ou à la vigueur/tolérance.

La représentation graphique en Biplot (Fig. 34) a classé les trois variétés en deux groupes principaux qui reflètent une diversité génétique non négligeable pour la tolérance à la salinité et les traits de croissance.

Selon la figure 33 et comme l'illustre le Tableau XVI, on peut constater que la variété Granada se caractérisent à la fois par un potentiel de croissance important et une tolérance à la salinité assez importante. Au contraire, les cultivars Goliath et Nobili se caractérisent par une résistance à la salinité assez importante ; cependant ses capacités de croissance restent les plus faibles en situation de stress comparativement aux autres variétés.

III.1.7 Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

L'analyse du dendrogramme des paramètres (Fig. 35) permet de classer les trois variétés en deux groupes : Goliath et Nobili (plus résistantes à la salinité) et Granada (moins résistante à la salinité). Tandis que les paramètres de croissance sont classés en quatre grands groupes et chacun est subdivisé en sous groupes :

Groupe 1: Forte caractérisation (FL0, FL50, FL100, FL200, CP0, CP50, CP100, CP200, PE0, PE50, PE100, PE200, PRO0, PRO50)

Groupe 2: Caractérisation moyenne (PRO100, SO0, PRO200, SO50, SO100 et SO200)

Groupe 3 : Faible caractérisation (PRO200, PR100, AA100, AA200)

Groupe 4 : Très faible ou absence de caractérisation (SS200, AA0, AA50, PR0, PR50, SS0, SS50, SS100).

Classification hiérarchique directe

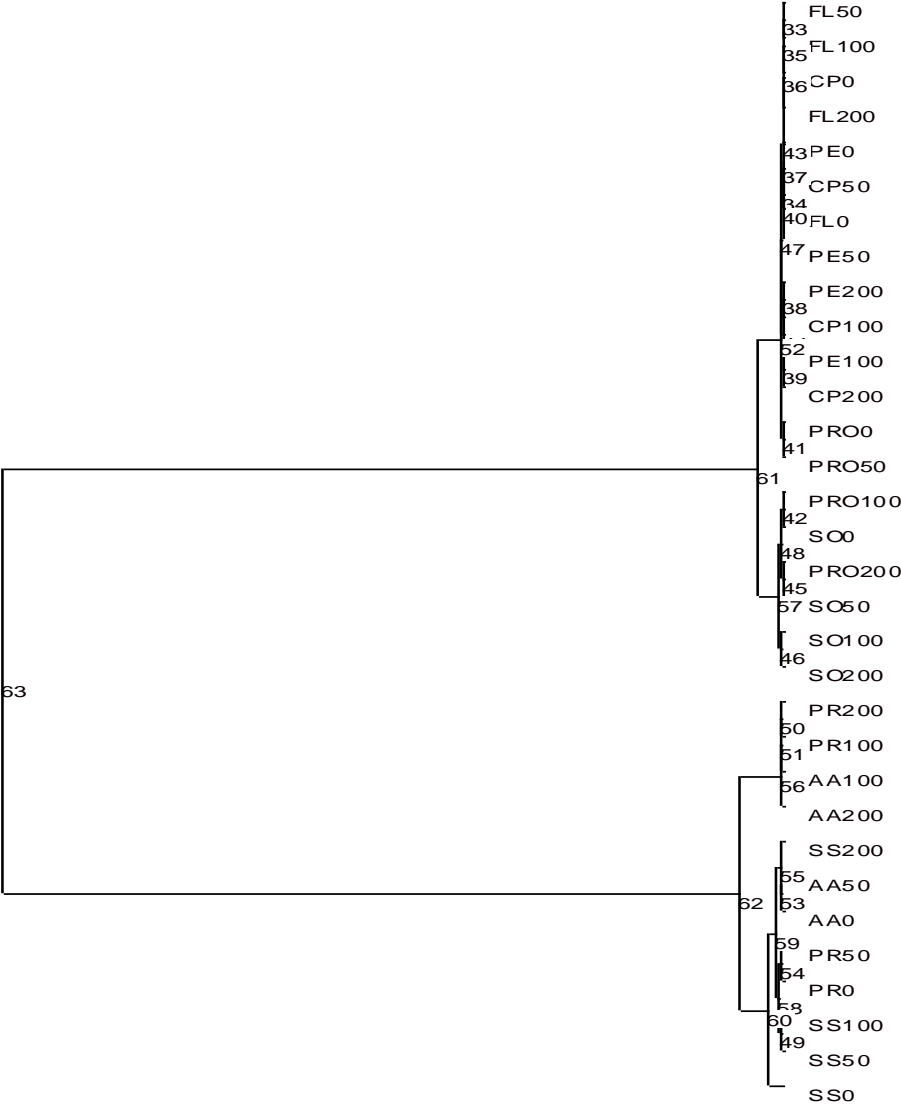


Fig. 35. Classification ascendante hiérarchique des paramètres de biochimiques

III.1.8 Action du NaCl et des fertilisants organiques et minéraux sur les paramètres agronomiques

III.1.8.1 Biomasse sèche des fruits

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la biomasse sèche des fruits (Tableau XVIIa).

- La biomasse sèche des fruits chez *Granada* varie de 24,45 g obtenue avec le témoin, 24,6 g avec l'engrais minéral à 28,55 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 16,7 % et 16 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Pour *Nobili*, la biomasse varie de 23,45 g obtenue avec le témoin, 23,3 g avec l'engrais minéral, à 27,95 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 19,2 % et 19,9 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, la biomasse varie de 22,85 g obtenue avec le témoin, 22,55 g avec l'engrais minéral, à 27,20 mg avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 19 % et 20,6 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur la biomasse sèche des fruits (Tableau XVIIa).

La teneur la plus élevée a été obtenue dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl (27,08 g pour *Granada* ; 26,42 g pour *Nobili* et 26,08 g pour *Goliath*) alors que la plus faible a été obtenue dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (25,6 g pour *Granada* ; 24,8 g pour *Nobili* et 23,78 g pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur la biomasse sèche des fruits n'a montré aucun effet significatif.

Tableau XVIIa. Effets des doses de fumier de volailles sur les paramètres agronomiques chez trois variétés de poivron en fonction du degré de salinité.

Variétés	Traitement NaCl	Traitement Fertilisants	Biomasse sèche des fruits	Période de floraison	Période de fructification	Nombre de fruits par plante	Nombre de graines par fruit	Poids de 1000 graines
Granada	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	24,8±2,4c	70±6,8b	152,2±9,6bc	7,4±0,09c	189±8,5ij	5,6±0,08bc
		T _{minéral}	24,3±2,2c	68±6,2b	150,2±9,5c	7,6±0,08c	191±8,9i	6,14±0,1b
		T ₃	27,8±3,2b	66±6,1c	147,5±7,8de	9,8±0,14b	199±9,1hi	8,9±0,2a
		T ₆	28,9±3,5a	65,3±6,3cd	143±7,1e	11,0±0,25a	222±9,8fg	9,6±0,4a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	24,1±2,1c	73±7,6a	155,3±8,6b	7,2±0,08c	186±8,5j	5,1±0,03c
		T _{minéral}	24,9±2,4c	71±7,9b	151±8,1c	7,4±0,09bc	189±9,2ij	5±0,04bc
		T ₃	25,2±3,2c	68±5,9b	149±7,2d	8,9±0,11b	191±9,4i	7,4±0,1ab
		T ₆	26,3±3,5bc	67±6,1c	147,5±6,8de	9,7±0,2b	198±9,6hi	8,0±0,17a
Nobili	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	23,8±2,1d	71±8,1b	156±9,2b	7,0±0,07bc	186±8,6j	5,2±0,09c
		T _{minéral}	23,9±2,4d	69±6,5b	155±8,7b	7,2±0,08c	184±9,1j	5,9±0,08b
		T ₃	27,4±3,6b	67±6,6c	151±8,1c	9,7±0,12b	193±9,5i	7,9±0,11
		T ₆	28,2±3,9a	65,4±6,4cd	148±7,2d	10,8±0,21a	202±9,8h	8,8±0,15a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	23,1±1,9d	73±5,8a	158,8±7,9a	6,8±0,06c	180±8,6	5,3±0,07c
		T _{minéral}	22,7±1,6de	72,2±5,6ab	158,1±8,1a	7,4±0,08bc	183±8,4jk	5,9±0,06bc
		T ₃	25,1±2,6c	70,8±7,3bc	155,3±8,2b	8,2±0,09b	186±7,9j	6,7±0,07b
		T ₆	26,0±2,7bc	68±6,7b	153,6±6,9bc	9,0±0,15b	195±9,4i	7,3±0,09b
Goliath	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	23,6±1,8d	72,4±7,1ab	157,1±7,6ab	7,1±0,09c	349±9,9c	5,6±0,07bc
		T _{minéral}	23,8±1,9d	70±6,7b	154±7,2b	7,3±0,1bc	347±9,7c	5±0,06c
		T ₃	26,8±2,3b	68±5,9b	149,1±7,4d	9,6±0,24b	356±9,6ab	9,2±0,25a
		T ₆	27,9±2,9b	67±6,8c	146±7,3de	10,6±0,3a	358±9,9ab	9,6±0,2a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	22±2,0de	74±6,9a	159±7,8a	6,6±0,08c	309,5±9,5f	5,4±0,07c
		T _{minéral}	21,3±1,9e	73,5±7,2a	159,9±7,9a	7,1±0,1c	315,3±9,7e	5,49±0,08bc
		T ₃	24,3±2,6c	71±6,8b	156,5±6,8b	7,4±0,14bc	322,9±9,8d	6,7±0,05b
		T ₆	25,2±3,1c	69±5,5b	153,6±6,3bc	8,2±0,2b	325,7±8,9d	7,1±0,09b
			ANOVA					
Variété (V)			NS	NS	*	NS	**	NS
Salinité (S)			NS	*	*	*	*	NS
Fumier (F)			*	*	*	*	*	*
Interaction S X F			*	*	*	*	**	*
Interaction S x V			NS	*	*	NS	*	NS

**Significatif (P<0,01), * Significatif (P<0,05), NS : Non significatif

III.1.8.2 Période de floraison

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la période d'apparition de la première fleur diffèrent significativement d'un traitement à l'autre (Tableau XVIIa).

- Pour *Granada*, la période de floraison varie de 71,5 jours obtenue avec le témoin, 69,5 jours avec l'engrais minéral, à 65,3 jours avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 8,6 % et - 6 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- La période de floraison chez *Nobili* varie de 72 jours obtenue avec le témoin, 70,5 jours avec l'engrais minéral, à 66,1 jours avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 6,2 % et - 4,8 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, la période de floraison varie de 73 jours obtenue avec le témoin, 72 jours avec l'engrais minéral, à 66,85 jours avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 8,4% et - 7,1% respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur la période de floraison (Tableau XVIIa). La période de floraison la plus faible a été obtenue dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl, (66,82 jours pour *Granada* ; 67,5 jours pour *Nobili* et 68,88 jours pour *Goliath*) alors que la plus élevée a été obtenue dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (69 jours pour *Granada* ; 70,1 jours pour *Nobili* et 71,26 jours pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur la période de floraison a montré effet significatif.

III.1.8.3 Période de fructification

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la période de fructification (Tableau XVIIa).

- Pour *Granada*, la période de fructification varie de 153,75 jours obtenue avec le témoin, 150,6 jours avec l'engrais minéral, à 142,1 jours avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 7,5 % et - 5,6 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- La période de fructification pour *Nobili*, varie de 157,4 jours obtenue avec le témoin, 156,55 jours avec l'engrais minéral, à 146,44 jours avec l'application 12 t/ha de fumier

de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 6,9 % et - 6,5 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

- Pour *Goliath*, la période de fructification varie de 158,5 jours obtenue avec le témoin, 158,5 jours avec l'engrais minéral, à 147,9 jours avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux de réduction de l'ordre - 6,7 % par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur la période de fructification (Tableau XVIIa). Le nombre le plus faible a été obtenu dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl, (146,58 jours pour *Granada* ; 151,08 jours pour *Nobili* et 152,84 jours pour *Goliath*) alors que le plus élevé a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (149,4 jours pour *Granada* ; 155,04 jours pour *Nobili* et 155,76 jours pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur la période de fructification n'a montré aucun effet significatif.

III.1.8.4 Nombre de fruits par plante

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le nombre des fruits par plant (Tableau XVIIa).

- Pour *Granada*, le nombre des fruits par plant varie de 7,3 obtenu avec le témoin, 7,5 avec l'engrais minéral, à 11,1 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 52 % et 48 % respectivement par rapport au T₀ (Témoin sans apport) et la dose T_m (Engrais minéral seul).
- Le nombre des fruits par plant pour *Nobili*, varie de 6,9 obtenu avec le témoin, 7,3 mg avec l'engrais minéral, à 10,45 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 51,4 % et 43 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le nombre des fruits par plant varie de 6,8 obtenu avec le témoin, 7,2 avec l'engrais minéral, à 10,35 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 52,2 % et 43,7 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur le nombre des fruits par plant (Tableau XVIIa). Le nombre le plus élevé a été obtenu dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl, (9,52 fruits par plante pour *Granada* ; 9,22 fruits pour *Nobili* et

9,08 fruits pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (8,72 fruits pour *Granada* ; 8,18 fruits pour *Nobili* et 7,82 jours pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le nombre des fruits par plant a montré effet significatif.

III.1.8.5 Nombre de graines par fruit (NGF)

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le nombre de graines par fruit (Tableau XVIIa).

- le nombre de graines par fruit pour *Granada* varie de 187,5 obtenu avec le témoin, 190 avec l'engrais minéral, à 215,5 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 14,9 % et 13,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Pour *Nobili*, le nombre de graines par fruit varie de 183 obtenu avec le témoin, 183,5 avec l'engrais minéral, à 206,5 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 12,8 % et 12,5 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le nombre de graines par fruit varie de 348,5 obtenu avec le témoin, la 348 avec l'engrais minéral, à 360 avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 3,3 % et 3,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif de la salinité sur le nombre de graines par fruit (Tableau XVIIa). Le nombre le plus élevé a été obtenu dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl, (205,6 graines par fruit pour *Granada* ; 195,2 graines pour *Nobili* et 355 graines pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (193,6 graines pour *Granada* ; 189,2 graines pour *Nobili* et 349,6 graines par fruit pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le nombre de graines par fruit a montré un effet hautement significatif.

III.1.8.6 Poids de 1 000 graines

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le poids de 1000 graines par fruit (Tableau XVIIa).

- Pour *Granada*, le poids de 1000 graines varie de 5,375 g obtenu avec le témoin, 6 g avec l'engrais minéral, à 8,97 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 66,8 % et 49,5 % respectivement par rapport au Témoin et l'Engrais minéral.
- le poids de 1000 graines pour *Nobili*, varie de 5,165 g obtenu avec le témoin, 5,91 g avec l'engrais minéral, à 8,99 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 74 % et 52,1 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le poids de 1000 graines varie de 5,32 g obtenu avec le témoin, 5,735 g avec l'engrais minéral, à 8,9 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 67,3 % et 55,2 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur le poids de 1000 graines. Le poids de 1000 graines le plus élevé a été obtenu dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl, (8,014 g pour *Granada* ; 7,556 g pour *Nobili* et 8,036 g pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (6,904 g pour *Granada* ; 6,61 g pour *Nobili* et 6,506 g pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le poids de 1000 graines n'a montré aucun effet significatif.

III.1.8.7 Rendement en graines

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le rendement en graines (Tableau XVIIb).

- le rendement en graines varie pour *Granada*, de 322,95 g/ha obtenu avec le témoin, 326,15 g/ ha avec l'engrais minéral, à 338,5 g/ ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 4,8 % et 3,8 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Pour *Nobili*, le rendement en graines varie de 319,35 g/ha obtenu avec le témoin, 315,6 g/ha avec l'engrais minéral, à 335,15 g/ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 4,9 % et 6,2 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

- Quant à *Goliath*, le rendement en graines varie de 309 g/ha obtenu avec le témoin, 309,55 g/ha avec l'engrais minéral, à 325,75 g/ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 5,4 % et 5,2 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur le rendement en graines (Tableau XVIIIb). Le nombre de graines par ha le plus élevé a été obtenu dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl (332,16 g/ha pour *Granada* ; 328,72 g/ha pour *Nobili* et 319,26 g/ha pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (326,58 g/ha pour *Granada* ; 321 g/ha pour *Nobili* et 313,74 g/ha pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le rendement en graines a montré un effet significatif.

III.1.8.8 Poids frais du fruit mature

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le poids frais (Tableau XVIIIb).

- Pour *Granada*, le poids frais du fruit mature varie de 31,6 g obtenu avec le témoin, 31,75 g avec l'engrais minéral, à 37,35 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 18,2 % et 17,6 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Le poids frais du fruit mature pour *Nobili* varie de 30,35 g obtenu avec le témoin, 30,15 g avec l'engrais minéral, à 35,3 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 16,3 % et 17 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le poids frais du fruit mature varie de 29 g obtenu avec le témoin, 29,55 g avec l'engrais minéral, à 34 g avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 17,2 % et 15 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

D'autre part, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur le poids frais du fruit mature (Tableau XVIIIb). Le poids frais du fruit mature le plus élevé a été obtenu au niveau du sol irrigué à 0 mM NaCl (35,2 g pour *Granada* ; 33,22 g pour *Nobili* et 32,24 g pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (33,12 g pour *Granada* ; 31,6 g pour *Nobili* et 30,72 g pour *Goliath*).

Concernant l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le poids frais du fruit mature, l'analyse statistique a mis en évidence des différences non significatives entre traitements.

Tableau XVIIb. Effets des doses de fumier de volailles sur les paramètres agronomiques chez trois variétés de poivron en fonction du degré de salinité.

Variétés		Traitement	Rendement en graines	Poids frais du fruit mature	Rendement en fruits	Longueur du fruit	Diamètre du fruit	Teneur en eau des fruits
Granada	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	326,5±4,9d	32,0±0,6c	7,8±0,08c	8,0±0,09b	3,9±0,02b	86,3±0,8c
		T _{minéral}	329±5,1d	32,5±0,6c	8,0±0,07b	8,4±0,09b	3,7±0,02b	87,1±0,7b
		T ₃	330,3±5,2c	35,1±0,5b	9,7±0,1b	10,7±0,1	5,3±0,03a	88±0,8b
		T ₆	335±5,6b	37,8±0,7a	10,0±0,2a	11,2±0,2a	5,9±0,03a	90±0,9a
		T ₁₂	340±4,9a	38,6±0,7a	10,7±0,2a	11,7±0,2a	6,7±0,04a	91,8±1,2a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	319,4±3,2f	31,2±0,4c	7,2±0,07c	7,2±0,08c	3,4±0,04b	85,2±1,3c
		T _{minéral}	323,3±3,8e	31±0,52c	7,7±0,08c	7,4±0,09c	3,9±0,02b	85±0,9c
		T ₃	325,2±3,2e	33,1±0,64b	8,1±0,09b	9,3±0,1b	4,8±0,05b	87,2±1,1b
		T ₆	330±3,8c	34,2±0,65b	8,6±0,08b	10,2±0,2a	5,3±0,04a	88,4±1,3b
		T ₁₂	335±3,7b	36,1±0,52a	9,2±0,09b	10,5±0,1a	5,8±0,05a	89±1,2b
Nobili	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	322,7±3,6e	30,6±0,42c	9,2±0,08b	9,5±0,09a	3,3±0,01b	86,8±0,9c
		T _{minéral}	319,5±2,9f	30,9±0,5c	9,4±0,1b	10,5±0,2a	3,6±0,01b	87±0,8b
		T ₃	328±3,5d	33,4±0,45b	11,2±0,3a	9,9±0,1a	5,1±0,03a	89,5±1,4b
		T ₆	334,8±3,6b	34,8±0,5b	11,8±0,3a	11,8±0,3a	5,4±0,04a	91,2±1,5a
		T ₁₂	338,6±3,7a	36,4±0,6a	12,1±0,4a	11,6±0,3a	5,6±0,04a	92,1±1,3a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	316±2,8g	30,1±0,2c	8,1±0,08b	9±0,08b	3,1±0,02b	85,3±0,9c
		T _{minéral}	311,7±2,5h	29,4±0,3d	8,5±0,09b	10,1±0,1a	3,5±0,03b	85,6±0,8c
		T ₃	321,5±3,4f	31,5±0,5c	8,6±0,08b	9,1±0,08b	4,5±0,03b	87,8±1,1b
		T ₆	329±3,8d	32,8±0,4c	9,3±0,09b	9,9±0,1a	4,8±0,04b	89,5±1,2b
		T ₁₂	331,7±3,4c	34,2±0,6b	10,2±0,1a	10,7±0,2a	5,1±0,05a	90,9±1,3a
Goliath	Sol irrigué à 0 mM NaCl	T ₀	310±3,2i	29,2±0,3d	9,5±0,1b	6,9±0,07c	3,9±0,03b	87±1,1c
		T _{minéral}	311,7±3,1h	30,1±0,4c	9,8±0,1b	7,3±0,08c	4,2±0,04b	87,9±0,9b
		T ₃	319,6±2,9f	32,8±0,5c	11,3±0,3a	8,5±0,09b	5,9±0,04a	89,7±1,1b
		T ₆	326±3,9d	33,8±0,6b	11,9±0,3a	9,3±0,09b	6,4±0,05a	90,3±1,4a
		T ₁₂	329±3,8d	35,3±0,4b	12,7±0,4a	9,8±0,1a	6,9±0,06a	92,8±1,3a
	Sol irrigué à 50 mM NaCl	T ₀	308±2,9i	28,8±0,3d	8,8±0,07b	6,1±0,06c	3,4±0,01b	85±1,1c
		T _{minéral}	307,4±2,1ij	29,0±0,4d	9,1±0,09b	6,4±0,07c	3,6±0,01b	86,2±0,9c
		T ₃	311±2,6h	31,1±0,6c	9,9±0,1b	7,3±0,08c	4,8±0,02b	87,4±0,8b
		T ₆	319,8±3,1f	32±0,8c	10,4±0,2a	8±0,09b	5,3±0,03a	88,8±1,2b
		T ₁₂	322,5±3,5e	32,7±0,5c	11,0±0,3a	8,6±0,08b	5,9±0,04a	89,8±1,1b
Variété (V)			**	NS	NS	*	NS	NS
Salinité (S)			*	NS	NS	NS	NS	NS
Fumier (F)			*	*	*	*	*	*
Interaction S X F			**	*	*	*	*	*
Interaction S X V			*	NS	NS	*	NS	NS

**Significatif (P<0,01), * Significatif (P<0,05), NS : Non significatif

III.1.8.9 Rendement en fruits

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le rendement en fruits (t/ha) (Tableau XVIIb).

- Pour *Granada*, le rendement fruits varie de 7,5 t/ha obtenu avec le témoin, 7,85 t/ha avec l'engrais minéral, à 9,7 t/ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 29,3 % et 23,5 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Le rendement fruits pour *Nobili*, varie de 8,65 t/ha obtenu avec le témoin, 8,95 t/ha avec l'engrais minéral, à 11,15 t/ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 28,9 % et 24,6 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le rendement fruits varie de 9,15 t/ha obtenu avec le témoin, 9,45 t/ha avec l'engrais minéral, à 11,85 t/ha avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 29,5 % et 25,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

L'analyse de la variance relative à l'effet de la salinité (Tableau XVIIb) a montré des différences significatives entre les deux sites sur le rendement fruits. Le rendement le plus élevé a été enregistré au niveau du sol irrigué à 0 mM NaCl (9,24 t/ha pour *Granada* ; 10,74 t/ha pour *Nobili* et 11,04 t/ha pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (8,16 t/ha pour *Granada* ; 8,94 t/ha pour *Nobili* et 9,84 t/ha pour *Goliath*). En revanche, l'analyse statistique de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le rendement fruits n'a montré aucune différence significative entre traitements.

III.1.8.10 Calibre des fruits

III.1.8.10.1 Longueur du fruit

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la longueur des fruits (Tableau XVIIb).

- la longueur des fruits pour *Granada*, varie de 7,6 cm obtenue avec le témoin, 7,9 cm avec l'engrais minéral, à 11,1 cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 46 % et 40,5 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

- Pour *Nobili*, la longueur des fruits varie de 9,45 cm obtenue avec le témoin, 9,5 cm avec l'engrais minéral, à 11,8 cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 24,8 % et 24,2 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, la longueur des fruits varie de 6,5 cm obtenue avec le témoin, 6,85 cm avec l'engrais minéral, à 9,2 cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 41,5 % et 34,3 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance relative au facteur salinité a montré un effet significatif sur la longueur des fruits par plant (Tableau XVIIb). Ainsi, la longueur la plus élevée a été obtenue dans le sol irrigué à 0 mM NaCl (10 cm pour *Granada* ; 11,04 cm pour *Nobili* et 8,36 cm pour *Goliath*) alors que la plus faible a été obtenue dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (8,92 cm pour *Granada* ; 9,98 cm pour *Nobili* et 7,28 cm pour *Goliath*).

En revanche, l'analyse statistique de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le rendement total n'a montré aucune différence significative entre traitements.

III.1.8.10.2 Diamètre des fruits

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le diamètre des fruits (Tableau XVIIb).

- Pour *Granada*, le diamètre des fruits varie de 3,65 cm obtenu avec le témoin, 3,8cm avec l'engrais minéral, à 6,25cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 71,2 % et 64,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Le diamètre des fruits pour *Nobili*, varie de 3,2 cm obtenu avec le témoin, 3,55 cm avec l'engrais minéral, à 5,35 cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 67 % et 50,7 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, le diamètre des fruits varie de 3,65 cm obtenu avec le témoin, 3,9 cm avec l'engrais minéral, à 6,4 cm avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 75,3 % et 64 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse statistique a montré un effet hautement significatif de la salinité sur le diamètre de fruits (Tableau XVIIIb). Le diamètre le plus élevé a été obtenu au niveau du sol irrigué à 0 mM NaCl (5,4 cm pour *Granada* ; 4,6 cm pour *Nobili* et 5,47 cm pour *Goliath*) alors que le plus faible a été obtenu dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (4,64 cm pour *Granada* ; 4,2 cm pour *Nobili* et 4,6 cm pour *Goliath*).

Quant aux résultats de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur le diamètre des fruits, l'analyse statistique n'a montré aucun effet significatif.

III.1.8.11 Teneur en eau des fruits

Les résultats obtenus montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la teneur en eau (%) du fruit (Tableau XVIIIb).

- La teneur en eau (%) des fruits pour *Granada*, varie de 76,75 % obtenue avec le témoin, 78,05 % avec l'engrais minéral, à 83,85 % avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 9,2 % et 7,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Pour *Nobili*, la teneur en eau (%) des fruits varie de 76,05 % obtenue avec le témoin, 76 % avec l'engrais minéral, à 82,45 % avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 8,4 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.
- Quant à *Goliath*, la teneur en eau (%) des fruits varie de 77,25 % obtenue avec le témoin, 77,55 % avec l'engrais minéral, à 87,4 % avec l'application 12 t/ha de fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de l'ordre 13 % et 12,7 % respectivement par rapport au témoin et à l'Engrais minéral.

Par ailleurs, l'analyse de la variance a montré un effet significatif de la salinité sur la teneur en eau du fruit (Tableau XVIIIb). La teneur en eau la plus élevée a été obtenue dans le site de sol irrigué à 0 mM NaCl (81,56 % pour *Granada* ; 79,86 % pour *Nobili* et 83,62 % pour *Goliath*) alors que la plus faible a été obtenue dans le site du sol irrigué à 50 mM NaCl (78,66 % pour *Granada* ; 76,8 % pour *Nobili* et 80,16 % pour *Goliath*).

Le résultat de l'effet de l'interaction (fumier × salinité) sur la teneur en eau du fruit n'a montré aucun effet significatif.

III.1.8.12 Analyse en composantes principales des paramètres agronomiques en fonction des variétés à 0 mM NaCl

Pour bien indiquer l'effet de salinité sur les paramètres physiologique chez trois variétés de poivron pris en considération dans cette étude, on a fait recours à l'analyse en composantes principales (ACP) et à la classification (dendrogramme).

Le plan principal est celui formé par les axes 1 et 2 sur lequel il y a le maximum d'information (99,99 % information générale) (Fig. 36).

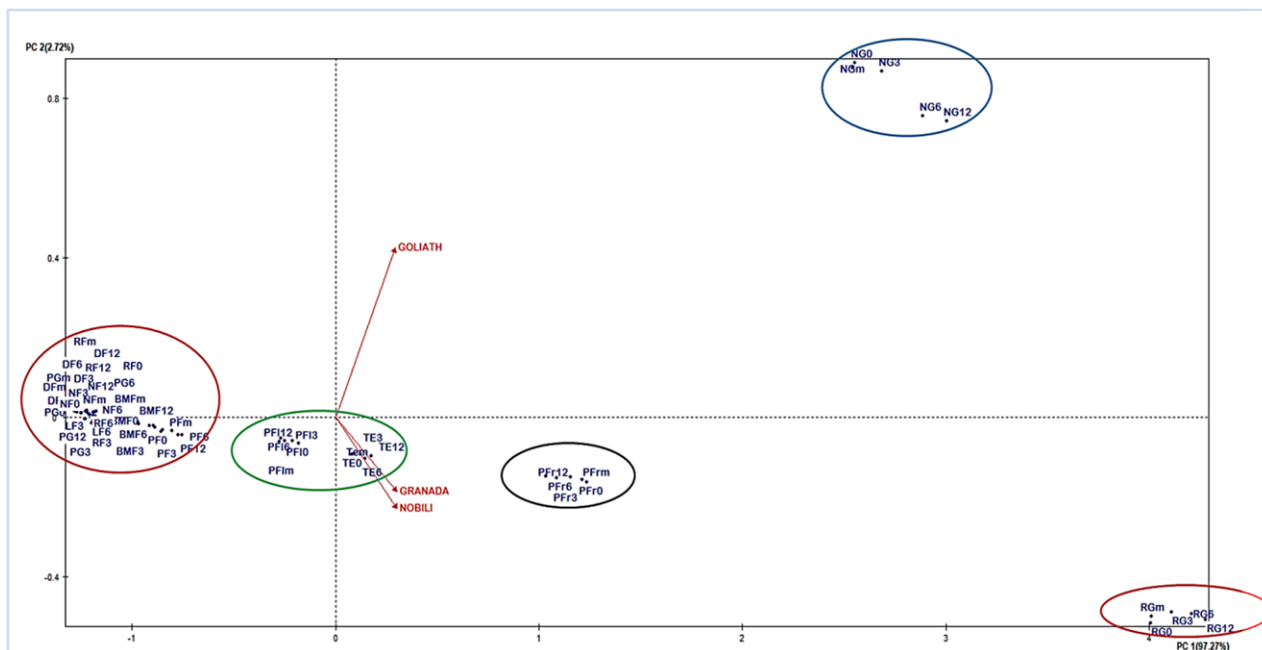


Fig. 36. Analyse en composante principale des paramètres agronomiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,99 %).

La figure 36 montre la distribution des différentes variétés dans les deux premières composantes principales. Les variétés qui ont une forte contribution à la première composante principale sont Granada et Nobili. Donc la première composante principale est fortement dépendante de cette variété. Alors que la deuxième composante principale est strictement dépendante de Goliath.

Tableau XVIII. Valeurs propres pour les composantes principales

Numéro	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
PC1	2,9180	97,27	97,27
PC2	0,0816	2,72	99,99
PC3	0,0004	0,01	100,00

L'ACP montre que la variance entre les deux premières composantes principales est de 99,99 %, ainsi 97,27 % de variation entre les traitements est lié à la première composante principale et 2,72 % à la deuxième composante principale. De plus l'ACP montre que les variétés étudiées sont réparties en trois groupes d'individus relatifs à leur mode d'exploitation.

L'ACP a révélé que les deux composantes principales de variabilité associée aux paramètres physiologiques (CP1) et la vigueur/tolérance à la salinité (CP2) expliquent respectivement 97,27 % et 2,72 % de la variation génétique existante entre les cultivars testés par rapport aux traits étudiés (Fig. 37). La CP1 comprend NG0, NG3, NGm, NG6, NG12, TE3 et TE12 des plantules. Tandis que la CP2 comprend DF3, DF6, DF12, PO6, RF0, RFm, RF12, NFm, NF6, NF12, BMFm, BMF12 (Fig. 37). Par conséquent, cette composante correspond à la performance de croissance ou à la vigueur/tolérance.

La représentation graphique en Biplot (Fig. 37) a classé les trois variétés en deux groupes principaux qui reflètent une diversité génétique non négligeable pour la tolérance à la salinité et les traits de croissance.

Selon la figure 36 et comme l'illustre le Tableau XVIII, on peut constater que la variété Goliath se caractérisent à la fois par un potentiel de croissance important et une tolérance à la salinité assez importante. Au contraire, les cultivars Granada et Nobili se caractérise par une résistance à la salinité assez importante ; cependant ses capacités de croissance restent les plus faibles en situation de stress comparativement aux autres variétés.

III.1.8.13 Analyse en composantes principales des paramètres agronomiques en fonction des variétés à 50 mM NaCl

Pour bien indiquer l'effet de salinité sur les paramètres agronomiques chez trois variétés de poivron pris en considération dans cette étude, on a fait recours à l'analyse en composantes principales (ACP) et à la classification (dendrogramme).

Le plan principal est celui formé par les axes 1 et 2 sur lequel il y a le maximum d'information (99,99 % information générale) (Fig. 37).

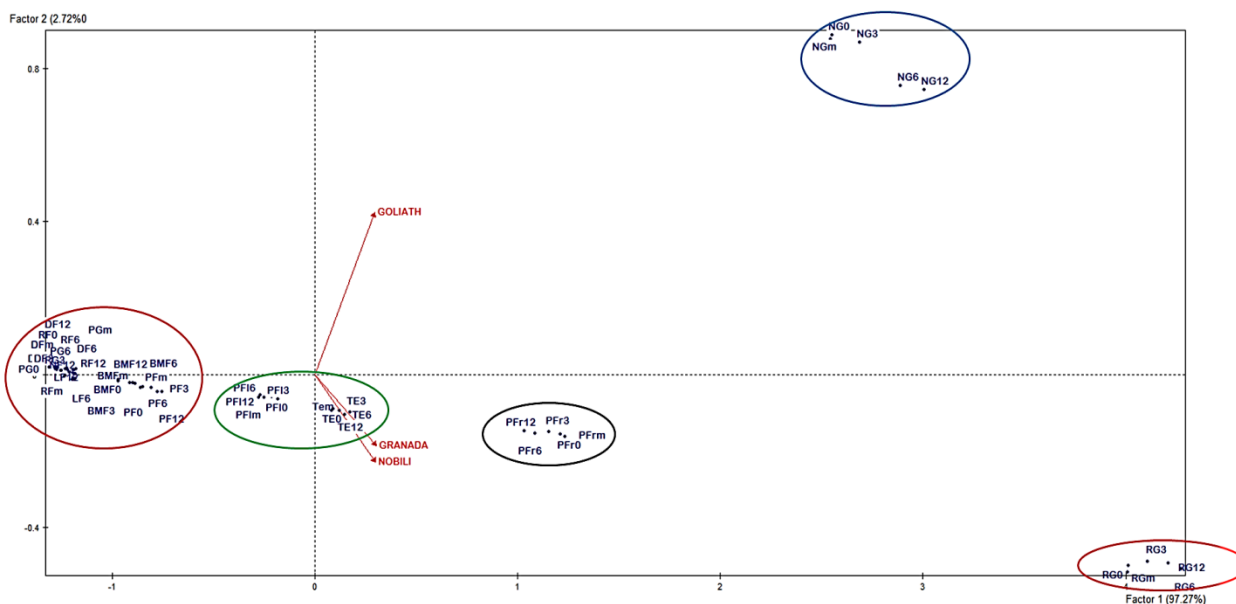


Fig. 37. Analyse en composante principale des paramètres agronomiques en fonction des variétés : projection des variétés et des paramètres sur le plan 1-2 (99,99 %).

La figure 37 montre la distribution des différentes variétés dans les deux premières composantes principales. Les variétés qui ont une forte contribution à la première composante principale sont Granada et Nobili. Donc la première composante principale est fortement dépendante de cette variété. Alors que la deuxième composante principale est strictement dépendante de Goliath.

Tableau XIX. Valeurs propres pour les composantes principales

Numéro	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
PC1	2,9180	97,27	97,27
PC2	0,0816	2,72	99,99
PC3	0,0004	0,01	100,00

L'ACP montre que la variance entre les deux premières composantes principales est de 99,99 %, ainsi 97,27 % de variation entre les traitements est lié à la première composante principale et 2,72 % à la deuxième composante principale. De plus l'ACP montre que les variétés étudiées sont réparties en trois groupes d'individus relatifs à leur mode d'exploitation.

L'ACP a révélé que les deux composantes principales de variabilité associée aux paramètres physiologiques (CP1) et la vigueur/tolérance à la salinité (CP2) expliquent respectivement 97,27 % et 2,72 % de la variation génétique existante entre les cultivars testés par rapport aux traits étudiés (Fig. 37). La CP1 comprend NG0, NG3, NGm, NG6, NG12 des

plantules. Tandis que la CP2 comprend DF6, DF12, PG6, RF6, RF12, PFm, BMFm, BMF6, BMF12 (Figure 36). Par conséquent, cette composante correspond à la performance de croissance ou à la vigueur/tolérance.

La représentation graphique en Biplot (Fig. 37) a classé les trois variétés en deux groupes principaux qui reflètent une diversité génétique non négligeable pour la tolérance à la salinité et les traits de croissance.

Selon la figure 37 et comme l'illustre le Tableau XIX, on peut constater que la variété Goliath se caractérisent à la fois par un potentiel de croissance important et une tolérance à la salinité assez importante. Au contraire, les cultivars Granada et Nobili se caractérisent par une résistance à la salinité assez importante ; cependant ses capacités de croissance restent les plus faibles en situation de stress comparativement aux autres variétés.

III.1.8.14 Classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

L'analyse du dendrogramme des paramètres (Fig. 38) permet de classer les trois variétés en deux groupes : Granada et Nobili (plus résistantes à la salinité) et Goliath (moins résistante à la salinité). Tandis que les paramètres de croissance sont classés en quatre grands groupes et chacun est subdivisés en sous groupes :

Groupe 1 : Forte caractérisation (RG0, RGm, RG3, RG6, RG12, NG0, NGm, NG3, NG6, NG12).

Groupe 2 : Caractérisation moyenne PFr0, PFr3, PFr6, PFr12, TE0, TE3, TE6, TE12, PF1m, PF10, PF13, PF16, PF12.

Groupe 3 : Faible caractérisation (PG0, PGm, PG3, PG6, PG12, LF0, LFm, LF3, LF6, LF12, DF0, DFm, DF3, DF6, DF12, PF0, PFm, PF3, PF6, PF12, RF0, RFm, RF3, RF6, RF12, NF0, NFm, NF3, NF6, NF12, BMF0, BMFm, BMF3, BMF6, BMF12).

La salinité exerce un effet néfaste les paramètres agronomiques par contre le fumier de volailles favorise la floraison, la fructification et améliore le rendement.

Classification hiérarchique directe

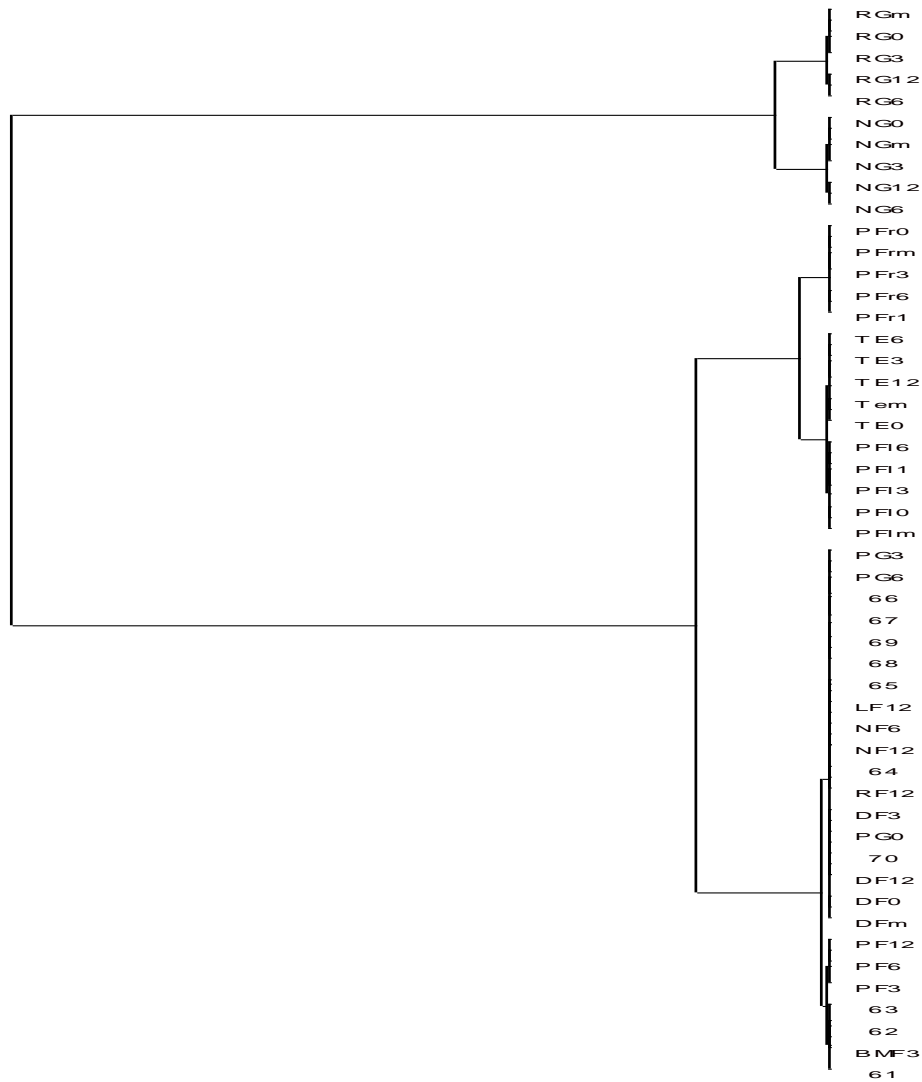


Fig. 38. Classification ascendante hiérarchique des paramètres agronomiques

III.2 Discussion

III.2.1 Action du NaCl sur les paramètres de croissance

Les différences significatives ont été obtenues sur les paramètres de croissance chez trois variétés de poivron étudiées en fonction des concentrations de NaCl appliquées. Cet effet inhibiteur n'est significatif qu'à partir de 100 mM NaCl chez Granada et Nobili pour la production de la biomasse sèche, la longueur de la tige et la surface foliaire (Sharifa et Abu-Muriefah, 2015). Les valeurs les plus élevées sont obtenues chez Granada et les plus faibles chez Goliath.

La réduction de la hauteur des tiges serait due à la présence des Na^+ dans les feuilles créant ainsi des perturbations physiologiques au niveau des divisions cellulaires (Meguekam *et al.*, 2014 ; Sharifa et Abu-Muriefah, 2015).

L'augmentation du diamètre des tiges au collet chez les variétés Granada et Nobili en fonction des concentrations croissantes de NaCl serait un signe adaptatif développé chez les variétés tolérantes au sel, par opposition à l'effet dépressif observé chez les glycophytes sensibles (Nouck *et al.*, 2016).

L'inhibition des paramètres de croissance lors des traitements au NaCl chez Goliath serait une conséquence des réponses physiologiques différentes y compris des modifications ioniques, de la nutrition minérale et la capacité photosynthétique (Li *et al.*, 2008 ; Ly *et al.*, 2014). La réduction de la capacité d'absorption de l'eau et de la croissance due au NaCl augmenterait la transpiration dans les feuilles et éventuellement la destruction des cellules (Munns, 2002).

Dans la présente étude, le NaCl a réduit significativement les paramètres de croissance chez Goliath dès 50 mM NaCl contrairement aux variétés Granada et Nobili où cette action inhibitrice n'est significative qu'à partir de 100mM NaCl. Ces résultats montrent que Goliath tout comme certaines variétés de tomates (*Jaquar* et *Nadira*) et légumineuses est très sensible aux concentrations en sel sont de l'ordre de 50 mM NaCl (Taffouo *et al.*, 2010 ; Nouck *et al.*, 2016). Sous stress salin, Granada s'est montrée relativement plus tolérante que Nobili. Ce comportement tout comme celui observé chez *Vicia faba* L. et chez certaines variétés d'arachide (Fleur 11) est une manifestation des variétés tolérantes au NaCl (Amira et Abdul, 2011 ; Meguekam *et al.*, 2014).

La réduction de la croissance végétative des variétés étudiées se traduirait par une diminution du potentiel hydrique du sol due au stress salin (Munns, 2002). Cet effet inhibiteur du NaCl est plus significatif pour la biomasse sèche aérienne que racinaire chez Granada et Nobili (Bayuelo-Jiménes *et al.*, 2002).

III.2.2 Influence du NaCl sur la nutrition minérale

Le NaCl augmente significativement la concentration des Na^+ dans les feuilles, tiges et racines chez les trois variétés de poivron étudiées par rapport au témoin. Les plus fortes concentrations se retrouvent dans les feuilles et les plus faibles dans les racines à 200mM NaCl chez Goliath. Ces résultats ont également observés chez certains glycophytes sensibles

où la concentration en Na^+ est plus élevée dans les feuilles et plus faibles dans les racines (Slama, 1986). Mais ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus sur certaines légumineuses sensibles de l'espèce *Vigna subterranea* L. et variétés de tomates sensibles (*Jaquar* et *Nadira*) (Taffouo *et al.*, 2010 ; Nouck *et al.*, 2016) où la concentration en Na^+ est plus importante dans les parties basses en conditions de stress salin. Cette accumulation du Na^+ permettrait à la plante d'éviter l'envahissement des feuilles par cet ion, limitant ou réduisant son effet toxique susceptible d'empêcher l'activité photosynthétique suite à l'ouverture des stomates et des échanges gazeux (Turan, 2007).

Chez les variétés Granada et Nobili, l'augmentation significative du Na^+ dans les feuilles constituerait une protection contre l'envahissement des parties jeunes par l'ion sodium, limitant ou réduisant ainsi certains effets défavorables de la salinité (Levitt, 1980).

Les concentrations en K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} diminuent significativement avec les doses croissantes de NaCl chez les trois variétés étudiées. Le calcium absorbé dans les racines est transféré vers les parties aériennes des plantules. Ce transfert apparaît comme une action régulatrice vis-à-vis des ions monovalents tant que la concentration en NaCl du milieu reste tolérable par la plante (Hosseini *et al.*, 2007). Les fortes teneurs de Na^+ dans le milieu empêchent l'absorption de K^+ de la solution nutritive (Taffouo *et al.*, 2010 ; Meguekam *et al.*, 2014).

Le transfert des Mg^{++} vers les feuilles serait une réponse de la plante dans le but de favoriser la réalisation de l'acte photosynthétique. La diminution de la surface, le ralentissement de la croissance pondérale et la hauteur constaté au cours de cette étude, serait en partie liés à la baisse de la concentration en Mg^{++} sous stress salin (Heller, 1995).

III.2.3 Effet du NaCl sur les rapports de sélectivité

La diminution des rapports de sélectivités K/Na, Ca/Na et Mg/Na sous l'effet du stress salin chez toutes les variétés étudiées serait due à une haute sélectivité des variétés végétales étudiées en faveur des K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} et en présence d'un excès de Na^+ (Taffouo *et al.*, 2010 ; Nouck *et al.*, 2016).

Par ailleurs, on constate que ces rapports sont plus élevés chez les variétés, Granada et Nobili par rapport à la variété Goliath. Le déséquilibre entre K/Na est moins marqué chez les variétés tolérantes (Al-karaki, 2000).

III.2.4 Action du NaCl sur les teneurs en chlorophylle a, b et (a + b)

L'effet dépressif du NaCl sur la teneur en chlorophylle est plus marqué chez Granada et Nobili comparativement à Goliath. Cet effet du NaCl serait à l'origine d'une augmentation de l'activité de la chlorophyllase face au stress salin (Sivtsev, 1973). L'inhibition de la teneur en chlorophylle n'est significative qu'à partir de 200mM NaCl chez Granada et dès 50mM NaCl chez Goliath. Les concentrations très élevées en sel entraîneraient la réduction de l'activité photosynthétique (Turan *et al.*, 2007 ; Sevengor *et al.*, 2011).

III.2.5 Action du NaCl sur la teneur en eau

L'apport de NaCl dans le milieu entraîne une diminution significative des teneurs en eau. Le stress salin réduit la teneur en eau, le contenu relatif en eau et le potentiel hydrique chez les légumineuses telles que *Phaseolus vulgaris* L. (Snoussi *et al.*, 2004), *Vicia faba* L. (Rabie et Almadini, 2005) et *Ceratonia siliqua* L. (El-Refaey *et al.*, 2011). Ces réductions sont plus importantes chez les cultivars sensibles comparativement aux tolérants. Les potentiels hydriques et osmotiques de plantes deviennent plus négatifs avec l'augmentation de la salinité, alors que la pression de turgescence se trouve augmentée (Khan, 2001). Le statut hydrique de la plante est un facteur déterminant pour l'activité métabolique et la survie des feuilles (Sinclair et Ludlow, 1985). La réduction de la teneur relative en eau entraîne une faible disponibilité de l'eau pour l'extension cellulaire (Katerji *et al.*, 1997).

III.2.6 Action du NaCl sur les osmolytes

L'analyse des résultats a révélé que les différents traitements salins induisent des augmentations significatives des teneurs de sucres solubles totaux, acides aminés totaux, proline et protéines solubles dans les feuilles de toutes les variétés de poivron étudiées. Les plus fortes teneurs ont été obtenues chez Granada et les plus faibles chez la variété Goliath. Cette accumulation des osmolytes chez les variétés tolérantes au NaCl constitue un mécanisme d'adaptation permettant aux plantules de maintenir la turgescence foliaire en diminuant le potentiel hydrique favorisant ainsi l'absorption d'eau malgré la présence du sel dans le sol (Munns, 2002 ; Gill *et al.*, 2003 ; Grigore *et al.*, 2011).

L'élévation des teneurs en sucres face aux traitements en sel, pourrait donc provenir des réactions de défense des plantes vis-à-vis de ce stress abiotique (Nouck *et al.*, 2016). Mais ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus sur *Capsicum annuum* L. (Sharifa et Abu-Muriefah, 2015) où teneurs en sucres solubles diminuent significativement avec les doses

croissantes de NaCl. Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité (Bartels et Sunkar, 2005).

En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Hong *et al.*, 2000 ; Kocsy *et al.*, 2005) et la stabilisation des protéines (Majumder *et al.*, 2010), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (Mansour, 1998) et constituerait une source de carbone et d'azote (Sairam et Tyagi, 2004). L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007 ; Sharifa et Abu-Muriefah, 2015).

Les augmentations des composés protéiques sont en accord avec ceux obtenus chez la tomate (Agamy *et al.*, 2013). Elles proviennent vraisemblablement de plusieurs phénomènes biologiques indépendants, à savoir : l'accélération de la croissance végétale (Heller *et al.*, 1994 ; Lépengué *et al.*, 2010), l'impact de stress engendré par la toxicité saline (Denden *et al.*, 2005) et des réactions de défenses des plantes face au stress (Lépengué *et al.*, 2012). L'augmentation de la teneur en acides aminés totaux dans les feuilles pendant la tension environnementale avec la salinité indique leur rôle dans l'ajustement du process. Certains acides aminés lorsqu'ils s'accumulent au niveau cellulaire améliorent la tolérance au sel (Nanjo *et al.*, 1999a ; Meguekam *et al.*, 2014).

Ces osmolytes étudiés peuvent être utilisés comme indicateurs précoces de tolérance à la salinité, utilisables en sélection variétale et comme paramètres d'amélioration du rendement dans les régions arides et semi-arides (Mudgal *et al.*, 2010 ; Sharifa et Abu-Muriefah, 2015).

III.2.7 Effet du NaCl sur les antioxydants

Dans la présente étude, les teneurs en composés phénoliques, en superoxyde dismutase et en peroxydase ont augmenté significativement chez toutes les variétés en fonction des doses croissantes de NaCl. Ce comportement tout comme celui observé chez *Capsicum annuum* L. (Sharifa et Abu-Muriefah, 2015), chez *Zea mays* et *Lycopersicum esculentum* montrent une augmentation des teneurs des antioxydants des plantes soumises au stress salin (Azooz *et al.*, 2009).

Quant aux teneurs en flavonoïdes, elles diminuent significativement lors du stress salin. Ces résultats sont opposés à ceux obtenus sur le gombo où les teneurs en flavonoïdes augmentent significativement avec la salinité (Bendkhil et Denden, 2012). Les flavonoïdes sont des glycosides localisés dans la vacuole et affichent une activité anti-oxydante (Nijveldt *et al.*, 2001).

L'augmentation des teneurs en composés phénoliques, en fonction des doses de NaCl appliquées a été également observée chez le piment rouge (Navaro *et al.*, 2006) et chez l'artichaut (Rezazadeh *et al.*, 2012). Le sel peut induire le déclenchement de stress oxydatif. En effet, les composés phénoliques participent à la défense contre les espèces réactives à l'oxygène (ROS) produites sous les conditions de stress (Zhu, 2000). L'élévation des teneurs des composés phénoliques aux traitements de 2 % à 6 %, pourrait donc provenir des réactions de défense des plantes vis-à-vis de ce stress abiotique. C'est le cas du blé (Roudani, 1996), de la patate douce (Symartis *et al.*, 1992) ou de *Tagetes patula* (Denden *et al.*, 2005).

Le stress salin a entraîné une accumulation plus importante de la teneur en superoxyde dismutase au niveau des feuilles chez toutes les variétés étudiées (Sevengor *et al.*, 2011). Chez la légumineuse *Medicago sativa* L., l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes pourrait être considérée comme un mécanisme d'adaptation au stress salin (Wang *et al.*, 2009 ; Kusvuran *et al.*, 2012). Egalement, l'augmentation de l'activité de la superoxyde dismutase détectée dans les nodules de haricot exposés à la salinité expliquerait l'amélioration de la tolérance (Tejera *et al.*, 2004). Des plantes de riz transgéniques sur-exprimant la superoxyde dismutase de levure affichent une meilleure tolérance à la salinité (Tanaka *et al.*, 1999).

Le maintien d'une activité antioxydante élevée est positivement corrélé à la diminution de la peroxydation des lipides, au maintien de la stabilité des membranes cellulaires des nodules et par la suite au maintien d'une biomasse nodulaire élevée (Arab et Ehsanpour, 2006).

La surexpression des peroxydases chez des plantes de tabac améliore leur capacité de germination sous stress osmotique (Amaya *et al.*, 1999). Les teneurs en enzymes antioxydantes produites lors des stress environnementaux sont plus élevées chez les espèces tolérantes que celles sensibles suggérant ainsi un rôle dans les réactions de défenses aux stress environnementaux, en particulier la salinité (Chookhampaeng, 2011 ; Kahrizi *et al.*, 2012).

III.2.8 Action des fertilisants organiques et minéraux sur les paramètres agronomiques

La présente étude montre une augmentation de la biomasse sèche des fruits, du nombre de fruits par plante, le poids frais du fruit mature, le poids de 1000 graines, nombre de graines par fruit, rendement en graines, rendement en fruit, le calibre du fruit et une réduction des périodes de floraison et de fructification en fonction des doses croissantes de fumier de

volailles et NPK (Marschner and McNeill, 2011). Quant au stress salin, il a entraîné une réduction de ces paramètres agronomiques (Sharifa et Abu-Muriefah, 2015).

Les résultats de cette étude montrent que l'application du fumier de volailles, a accéléré le taux d'accumulation de la matière sèche des fruits, favorisant ainsi une aptitude d'immigration très élevée des sucres réducteurs (glucose) jusqu'aux fruits (Perkins, 1964 ; Boateng *et al.*, 2006).

L'analyse statistique a enregistré un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la période de floraison (Waldrip *et al.*, 2011). La matière organique entraîne une floraison rapide et une augmentation de la production en graines. Les résultats similaires ont été obtenus chez *Vigna subterranea* (Kouakou, 2002).

Un effet significatif des doses de fumier de volailles a été enregistré sur la période de fructification. La réduction du cycle dans la présente étude pourrait s'expliquer par une conjugaison des effets liés à la décomposition rapide de la matière organique et à sa forte teneur en phosphore. Aussi, les nutriments contenus dans cet amendement sont assimilables par la plante dès leur application (Le Villio *et al.*, 2001). Cette facilité d'utiliser les minéraux a certainement accéléré le processus de reproduction. En outre, le phosphore contenu dans la matière organique est un facteur de précocité, car il raccourcit la durée du cycle végétatif et accélère la maturité des fruits (El Hassani et Persoons, 1994).

Les résultats nous montrent que le NaCl entraîne une augmentation de la durée de la période de fructification liée à une perturbation probable de la floraison chez *Nobili*. Ces résultats confortent ceux obtenus chez certaines variétés de *Lycopersicum esculentum* L. selon lesquels la salinité affecte tous les processus physiologique de la plante sensible (Nouck *et al.*, 2016)

La fertilisation organique a induit une augmentation du nombre de fruits par plante, et qui est proportionnelle à la dose de fumier de volailles appliquée. Ce comportement tout comme ceux observés chez *Citrullus lanatus* et *Oryza sativa* L. montrent un effet significatif des doses de fumier de volailles sur le nombre des fruits par plante (Dauda *et al.*, 2009 ; Lv *et al.*, 2011).

L'apport du NaCl entraîne une réduction du nombre de fruits par plante des différentes variétés comparativement au témoin. Cette baisse est une manifestation anatomique défavorable de la salinité chez les végétaux (Ben Naceur *et al.*, 2001 ; Nouck *et al.* 2016). Le degré d'affectation du nombre de fruit d'une plante dépend de la concentration en sel du milieu (Taffouo *et al.*, 2008 ; 2010).

L'effet le plus important du stress salin sur les paramètres de productivité se manifeste par la chute notable du nombre de fruits par plante. La diminution du nombre de fruits par plante entraînerait, par conséquent, une chute du rendement en grain et en fruit (Bidgoli *et al.*, 2006 ; Nabloussi *et al.*, 2008 ; Sharifa et Abu-Muriefah, 2015).

L'analyse statistique a enregistré une augmentation significative des doses de fumier de volailles sur le nombre de graines par fruit (Enoch *et al.*, 2006 ; Lv *et al.*, 2011). Dans les conditions hydriques favorables, ce paramètre est variable en fonction de la potentialité génétique de la variété. En conditions de stress salin, ce paramètre est réduit d'une façon importante que l'intensité du stress est plus importante et que la variété est plus sensible. L'effet le plus important du stress salin sur les paramètres de productivité se manifeste par la chute notable du nombre de graines par fruit. La diminution du nombre de graines par fruit entraînerait, par conséquent, une chute du rendement en grain et en fruit (Nabloussi *et al.*, 2008).

Des corrélations positives entre le poids des fruits et le nombre de graines ont également été signalées chez la pastèque (Nerson, 2002). Les fruits les plus lourds sont obtenus avec le fumier de volailles. De plus, ces fruits contiennent beaucoup plus de graines (Boateng *et al.*, 2006 ; Lv *et al.*, 2011).

Dans les conditions de stress et dans certains cas, la diminution du nombre de grains est compensée par l'expression du composant poids de mille grains. La variation du poids de mille grains dans les deux compartiments (0 et 50 mM NaCl) montre bien qu'il est significativement affecté par la salinité (Nabloussi *et al.*, 2008).

L'augmentation du poids moyen du fruit de *Lagenaria siceraria* peut s'accompagner d'une amélioration sensible du rendement en graines (Enoch *et al.*, 2006). Les traitements organiques augmentent considérablement le rendement en graines par rapport au NPK et au témoin. Cette amélioration des caractères agronomiques, notamment la production en fruits et en graines est attribuée non seulement à la valeur fertilisante des amendements organiques mais également à leur action sur l'amélioration des conditions physiques et biologiques du sol qui affectent la croissance des cultures, la minéralisation de l'azote et sa disponibilité ainsi que l'humidité du sol (Perkins, 1964 ; N'Dayegamiye et Côté, 1996).

Pour le rendement en fruits, le meilleur rendement a été enregistré par l'application du fumier de volailles à 12 t/ha soit un gain de 29,3 %, 28,9 % et 29,5 % respectivement pour les variétés *Granada*, *Nobili* et *Goliath* par rapport au T₀ et de 23,5 %, 24,6 % et 25,4 % respectivement pour les variétés *Granada*, *Nobili* et *Goliath* par rapport à l'engrais minéral

seul. Ces résultats confirment ceux ayant montré un effet positif des doses croissantes de fumier volailles sur l'augmentation du rendement de la pomme de terre et de *Oryza sativa* L. (Boateng *et al.*, 2006 ; Lv *et al.*, 2011). Cette amélioration des caractères agronomiques, notamment la production en fruits et en graines est attribuée non seulement à la valeur fertilisante des amendements organiques mais également à leur action sur l'amélioration des conditions physiques et biologiques du sol qui affectent la croissance des cultures, la minéralisation de l'azote et sa disponibilité ainsi que l'humidité du sol (N'Dayegamiye et Côté, 1996).

En milieu salin, les plantes ne répondent pas de la même manière au NaCl (Ben Naceur *et al.*, 2001 ; Taffouo *et al.*, 2010). La capacité d'une espèce à fournir un rendement de production meilleur est fonction de son degré de tolérance au sel à travers les mécanismes d'adaptation efficaces de ces dernières avec une bonne activité photosynthétique à l'appui (El-Iklil *et al.*, 2002 ; Turan *et al.*, 2007).

Les observations faites sur la culture de quelques variétés de blé en zone saline montrent que la régression du nombre de fruit est accompagnée par une réduction de la taille chez les végétaux sensibles en NaCl (Ben Naceur *et al.*, 2001). La baisse du poids du fruit mature peut aussi s'expliquer par le fait que le nombre de graine non viable a augmenté (Taffouo *et al.*, 2008).

La réduction de poids frais du fruit semble être liée à la diminution de son taux de croissance pendant la phase d'expansion cellulaire, générée par faible prélèvement de l'eau (Navarro *et al.*, 2009), suite à l'augmentation du potentiel osmotique dans le milieu racinaire (Johnson *et al.*, 1992) et à la réduction de développement du xylème du fruit (Ho *et al.*, 1987). Des corrélations positives entre le poids des fruits et le nombre de graines ont également été signalées chez la pastèque (Nerson, 2002). Les fruits les plus lourds sont obtenus avec le fumier de volailles. De plus, ces fruits contiennent beaucoup plus de graines (Enoch *et al.*, 2006). Les résultats de l'analyse statistique ont montré un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la longueur et le diamètre de fruits.

Les résultats de l'effet de salinité sur les paramètres de la qualité technologique de fruit montrent dans l'ensemble des différences significatives entre les deux sols (irrigué à 0 mM NaCl et 50 mM NaCl). Les meilleurs résultats ont été enregistrés au niveau du sol irrigué à 0 mM NaCl pour tous les paramètres étudiés. Ces résultats confirment ceux ayant montré un effet positif des doses croissantes de fumier sur l'augmentation de rendement du poivron et de *Oryza sativa* L. (Perkins, 1964 ; Boateng *et al.*, 2006 ; Lv *et al.*, 2011).

III.2.9 Action des fertilisants organiques et minéraux sur la teneur en eau des fruits

Les résultats de l'analyse statistique ont montré un effet significatif des doses de fumier de volailles sur la teneur en eau des fruits. La teneur en eau des fruits la plus élevée a été enregistrée par l'application de fumier de volailles à 12 t/ha avec un gain de 13 %, 9,2 % et 8,4 % respectivement pour les variétés *Granada*, *Nobili* et *Goliath* par rapport au T₀ et de 12,7 %, 7,4 % et 8,4 % respectivement pour les variétés *Granada*, *Nobili* et *Goliath* par rapport à l'engrais minéral seul. Les résultats similaires ont été obtenus dans les feuilles de *Salix sericea* (Lower and Orians, 2003). Cette matière organique serait impliquée dans l'amélioration de la structure du sol, l'augmentation de la capacité de rétention d'eau et la source d'énergie pour le sol et les microorganismes qui sont responsables de la décomposition et la production des substances minérales dans le sol (Hossner et Juo, 199).

Le stress salin réduit la teneur en eau et le potentiel hydrique, chez les différentes variétés étudiées. Les résultats similaires ont été obtenus chez les légumineuses telles que *Phaseolus vulgaris* L. (Snoussi *et al.*, 2004), *Vicia faba* L. (Rabie and Almadini, 2005) et *Ceratonia siliqua* L. (El-Refaey El-Dengawy *et al.*, 2011). Ces réductions sont plus importantes chez les cultivars sensibles comparativement aux tolérants. Le statut hydrique de la plante est un facteur déterminant pour l'activité métabolique et la survie des feuilles (Sinclair et Ludlow, 1985). La réduction de la teneur en eau entraîne une faible disponibilité de l'eau pour l'extension cellulaire (Katerji, 1997).

CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

IV. 1 Conclusion

Le sujet d'adaptation au stress salin est indispensable pour les cultures en général et précisément la culture du poivron destinée à être cultivée en zone côtières du Littoral Cameroun. A la lumière des résultats obtenus, il se démontre que l'ajustement osmotique est étroitement dépendant et favorisé par les différentes réponses anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et agronomiques de la partie aérienne ainsi que de la partie souterraine dans les conditions de stress salin.

La résistance au sel apparaît comme un caractère polygénique contrôlé à différents niveaux d'organisation, de la cellule à la plante entière. Les mécanismes de réponse aux stress font intervenir un certain nombre de réactions au sein de ce processus physiologique. Ces différentes étapes correspondent à la perception et la reconnaissance du stress, la transduction du signal qui en résulte à l'intérieur de la cellule, l'amplification de ce signal, la modification de l'expression de certains gènes et la production de molécules impliquées dans le rétablissement de l'homeostasie cellulaire. La chlorophylle, les phytohormones, les molécules d'osmorégulation, les antioxydants et les protéines impliqués dans cette cascade de réactions peuvent être considérées comme des marqueurs de la réponse au stress salin. La diversité des effets du sel offre une gamme étendue de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides, utilisables pour un tri à grande échelle.

Les résultats de cette étude révèlent une variabilité intraspécifique (variétés) par rapport à la tolérance au stress salin chez les différents génotypes étudiés. Cette variabilité concerne en premier temps la croissance, la nutrition minérale et le rendement estimés par la mesure et l'analyse de quelques paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques qui constituent des méthodes sensibles et très rapide de comparaison entre génotypes pour la résistance à la salinité.

La variété Granada suivit de Nobili, se sont montrées plus tolérantes sur la majorité des paramètres de croissance, l'accumulation des osmolytes, les antioxydants et les composants agronomiques mesurés contrairement à la variété Goliath, où l'inhibition de ces paramètres a été significative dès 50 mM NaCl. Les teneurs en pigments chlorophylliens, en flavonoïdes, des concentrations en potassium, calcium et en magnésium ont baissé de façon significative en fonction des doses croissantes de NaCl chez toutes les variétés.

Les plus fortes teneurs en composés phénoliques, en activités de la peroxidase et de la superoxide dismutase ont été obtenues chez la variété Granada et les plus faibles chez Goliath. La tolérance à la salinité de ces variétés de poivron est corrélée à l'activité de ces enzymes antioxydantes permettant ainsi une accumulation importante des osmolytes suite au stress salin. Toutefois, le taux de réduction ou d'augmentation diffère selon l'intensité de stress salin et le degré de sensibilité ou de tolérance de la variété.

En champ, les traitements au fumier de volailles ont favorisé la précocité des périodes de floraison et de fructification chez la variété *Granada* par rapport aux variétés *Nobili* et *Goliath*, ce qui témoigne et confirme l'amélioration du niveau de tolérance des variétés de poivron à la salinité suite à l'apport de fumier de volailles. L'effet le plus important du stress salin sur les paramètres de productivité se manifeste par la chute du nombre de graines par fruit, de fruits par plante et du poids de mille graines. Toutefois, l'effet de l'interaction (salinité x fumier) a montré que les meilleurs rendements en fruits et graines ont été enregistrés par l'application du fumier de volailles à 12 t/ha chez variété Granada.

Toutes les trois variétés de poivron considérées dans ce travail ont survécu, même à 200 mm de NaCl et présentent différents degrés de tolérance à la salinité. La variété Granada s'est avérée globalement la plus performante. Cette variabilité génétique dévoilée par ces trois variétés de poivron dans les différentes conditions de stress salin, surtout sous des seuils élevés en NaCl allant jusqu'à 200 mM, constitue un atout intéressant qui peut être utilisé aussi bien dans le choix des variétés à retenir pour améliorer la tolérance à la salinité que dans les programmes de valorisation et de réhabilitation des sols salés au Cameroun.

En fonction de leur tolérance au stress salin, les variétés étudiées peuvent ainsi être classées dans l'ordre croissant : *Goliath* < *Nobili* < *Granada*. La variété *Goliath* qui est plus sensible au sel que les variétés *Nobili* et *Granada*.

En prenant en considération tous les résultats obtenus pour les différents paramètres, l'ACP et la CAH ont permis de déceler trois groupes de populations en fonction de leurs réponses aux différents stress :

- Groupe 1 : Granada comme variété particulièrement tolérante
- Groupe 2 : Nobili comme variété moyennement tolérante
- Groupe 3 : Goliath comme variété sensible

Enfin, la détermination des paramètres et l'adaptation physiologique, biochimique et agronomique voire anatomique chez ces variétés de poivron restent difficile à cerner.

Cependant, ces résultats bien que non exhaustifs, contribuent à enrichir les travaux en matière de sélection des géotypes résistants au stress salin.

IV.2 Perspectives

De nombreux axes de recherche restent à explorer afin d'apprécier ou améliorer le potentiel d'adaptation de ces plantes visant à augmenter la tolérance au sel. Il serait nécessaire de s'orienter vers d'autres approches par les réponses moléculaires, hormonales et génétiques pouvant apporter davantage des données pour comprendre les mécanismes d'adaptation des végétaux aux contraintes environnementales notamment la salinité.

BIBLIOGRAPHIE

- Abd El Samad H.M., El Komy H.M., Shaddad M.A.K., Hetta A.M., 2005. Effect of molybdenum on nitrogenase and nitrate reductase activities of wheat Inoculated with *Azospirillum brasilense* grown under drought stress. *Gen. Appl. Plant Physiology*, 31 (1-2), 43-54.
- Agamy R.A., Hafez E.E., and Taha T.H., 2013. Acquired resistant motivated by salicylic acid applications on salt stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *American – Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.*, 13 (1): 50 - 57.
- Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M., 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38, 287–290.
- Agong S.G., Kingetsu M., Yoshida, Yazawa S., and Masuda M., 2003. Response of tomato genotypes to induced salt stress. *African Crop Science Journal*, 11 (2) 133-142.
- Ahmad A., Fariduddin Q., and Hayat S., 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*, 41 (2): 281 – 284.
- Alem C., et Amri A., 2005. Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Biology and Biotechnology*, 4.1: 20-31.
- Al-Karaki G.N., 2000. Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *J. Plant Nutr.*, 23: 1-8.
- Alvarez-Parrilla., L.A. La Rosa., R. Amarowicz., F. Shahidi, 2011. Antioxidant activity of fresh and processed jalapeño and Serrano peppers. *J. Agric. Food Chem.*, 2011, 59, 163–173.
- Amaya I., Botella M.A., De La Calle M., Medina M.I., Heredia A., Bressan R.A., Hasegawa P. M., Quesada M.A., and Valpuesta V., 1999. Improved germination under osmotic stress of tobacco plants overexpressing a cell wall peroxidase. *FEBS Lett.*, 457(1): 80–84.
- Amira M.S., and Abdul Q., 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant (*Vicia faba* L.). *J. S. Soci. Agri. Sci.*, 10 : 7–15.
- Anonyme, 2008. Deuxième rapport sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture au Cameroun. IRAD, Yaoundé, Cameroun. 312 p.
- Anonyme, 2005. FAO Stat Database. Rome, Italy. 566 p.
- Anonyme, 2004. Agricultural production, crop primary data base. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome. 133 p.

- Anonyme, 2009. Agriculture et Environnement: Les défis du 21^{ème} siècle. 21^{ème} Session, Rome (Italie) du 22 au 25 Avril, 2009.
- Anonyme, 2010. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization, Roma, Italy. Available online at URL: www.fao.org.
- Anonyme, 2003. Fiche technique de quelques cultures tropicales. *La voix du paysan* (ed.), Douala. 200 p.
- Anonyme, 2004. La Voix Du Paysan N° 155.
- Anonyme, 2007. Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants. Narendra Tuteja. Methods in Enzymology, Volume 428.
- Anonyme, 2004. Rapport annuel d'activités, 2003. IITA, Ibadan, Nigeria. 59 p.
- Anu A., and Peter K.V., 2000. The chemistry of paprika. *Capsicum* and Eggplant Newsletter n° 19, juin 2000. P Belletti, Ed. University of Turin (DIVAPRA-Agricultural Genetics), Italy, pp 19-22
- Arab L., Ehsanpour A., 2006. The effects of ascorbic acid on salt induced alfalfa (*Medicago sativa* L.) in vitro culture. *Biochem.*, 18: 63-69.
- Ashraf M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27:84-93.
- Ashraf M., 2002. Salt tolerance of cotton: some new advances, *Crit. Rev. Plant Sci.*, 21:1-30.
- Ashraf M., et Foolad M. R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environ. Exp. Bot.*, 59: 206-216.
- Ashraf M.Y., Harris P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-16.
- Asloun H., 1990. Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate : *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.
- Aubert G., 1978. Méthode d'analyse des sols. Edit. C. R. D. p Marseille. 191p.
- Ayme V., Petit-Pierre J., Souche S., Palloix A. and Moury B., 2007. Molecular dissection of the Potato virus Y VPg virulence gene reveals complex adaptations to the pvr2 resistance allelic series in pepper. *Journal of General Virology*, 88: 1594-1601.
- Azooz M.M., Ismail A.M., Abou-Elhamd M.F., 2009. Growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities as a selection criterion for the salt tolerance of three maize

- cultivars grown under salinity stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11:21-26.
- Ayme V., Souche S., Caranta C., Jacquemond M., Chadoeuf J., Palloix A. and Moury B., 2006. Different mutations in the Genome linked protein VPg of Potato Virus Y confer virulence on the pvr23 resistance in pepper *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19:557-563.
- Baatour O., M'rah S., Ben Brahim N., Boulesnem F., Lachaal M., 2004. Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, No. Spécial : 346-358.
- Babu M.A., Singh D., Gothandam K.M., 2012. The effect of salinity on growth, hormones and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. *J. Anim. Plant Sci.*, 22:159-164.
- Balesdent J., 1996. Un poit sur l'évolution des réserves organiques des sols en France, INRA, Paris, pp 245-260.
- Bakayoko S., Nindjin C., Dao D., Tschannen A., Girardin O., Assa A., 2007. Fumure organique et productivité du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19 (3): 271-279.
- Baral J.B and Bosland P.W., 2002. An updated synthesis of the *Capsicum* genus *Capsicum* Eggplant Newsl., 21:11-21.
- Bartels D., and Sunkar R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24(1): 23–58.
- Bates L., Waldren R.P., and Teare I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bayuelo-Jiménes J.S., Debouck D.G., Lynch J.P., 2012. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science*, 42:2184-2192.
- Beniest J., 1987. Guide pratique du maraîchage au Sénégal, CDH. Dakar, 144 p.
- Bendkhal B., and Denden M., 2012. Effect of salt stress on growth, anthocyanins, membrane permeability and chlorophyll fluorescence of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedlings. *American Journal of Plant Physiology*, 7 (4): 174-183.

- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Maddah M., Selmi M., 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12 (3) : 167-174.
- Berthomieu P., Conéjéro G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P. A., Tester M., Very A-A., Sentenac H., Casse F., 2003. Functional analysis of AtHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo. Journal*, 22, 2004 – 2014. *Biotechnology*, 16: 123-132.
- Bhattacharya A.A., Chattopadhyay D., Mazumdar A., Chakravarty S., Pal. 2010. Antioxidant Constituents and Enzyme Activities in Chilli Peppers. *International Journal of Vegetable Science*, 16, 201 – 211.
- Bidai Y., 2001. Le métabolisme de la praline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de magister en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran. 69-71
- Bigdoli A.M., Akbari G.H., Mirhadi M.J., Zand E. et Soufizadeh S., 2006. Path analysis of the relationships between seed yield and some morphological and phenological traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Euphytica*, 148: 261-268.
- Boateng S.A., J. Zickermann and M. Kornahrens, 2006. Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West Afr. J. Ecol.*, 9: 1-11
- Bonin S., 2006. Connaissance des sols - *Introduction à la pédologie*, 21P.
- Bordelean M., 1992. Gestion de la matière organique à la ferme, CPVQ, Québec, 34P.
- Boss I.P.L., 2002. Etudes des activités biologiques *fagara xanthoxyloides* LAM (Rutaceae). Thèse de Pharmacie, Bamako. 133.
- Boughalleb N., et El Mahjoub M., 2005. Effet de la solarisation sur *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *parasitica* (Dastur) G.M. Waterhouse responsable d'un syndrome associant nécroses racinaires et flétrissement sur piment (*Capsicum annum* L.) en Tunisie. *Tropicultura*, 23, 3, 169-176.
- Bradford M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Ann. Biochem.*, 72: 248 – 254.
- Brun A., 1980. Effets comparés de différentes concentrations de NaCl sur la germination, la croissance et la composition minérale de quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie. *Thèse de spécialité*, U.S.T.L. Montpellier. 113 p.

- Brun A., 1981. Mise au point bibliographique concernant l'étude des effets de la salinité sur les végétaux. *Ann. Fac. Sci.*, 28: 59-84.
- Brun A., 1988. Effet du NaCl sur une halophyte tropicale (*Canavalia oblusifolia* DC) : croissance, distribution de Na⁺ et K⁺, état hydrique. *Oecologia Plant*, 9 (2): 173-186.
- Calvet R., 2003. Constituants et structure, phénomènes aux interfaces. Edit. Franc. Agricole, Dunod, pp: 159-218.
- CARAT et FAO, 1992. Fertilisation, CERDI, Sénégal, 92p.
- Cavina M., 1999. Investigation phytochimique de trois plantes indonésiennes aux propriétés antioxydantes et anti radicalaires : *Tinospora crispa* (Menispermaceae), *Merremia emerginata*(Convolvulaceae) et *Orpheaen neandra* (Annonnaceae).Thèse de Doctorat. Université de l'indonésie. 10-19.
- Chaine-Dogimont C., 1993. Etude génétique de trois systèmes de résistance par hypersensibilité ou séquestration aux trois virus principaux infectant le piment (*Capsicum annuum* L.). Thèse de docteur, INA-PG. Paris, 194 p.
- Chartzoulakis K., and Klapaki G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86, 247-260.
- Chaux C., et Foury C., 1994. Productions Légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères Légumes fruits. Coll. « Agriculture d'aujourd'hui : Sciences, Techniques, Applications ».Tec et Doc. Lavoisier, Paris, France. 563 p.
- Chérifi K., Anagri A., Boufous E. and El Mousadik A., 2017. Effet du Chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'Acacia. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 4(4): 105-113.
- Chookhampaeng S., 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling. *European Journal of Scientific Research*, 49:103-109.
- Çiçek N. and Çakırlar H., 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulg. Journal Plant Physiology*, 28 (1-2): 66-74.
- Claussen M., Luthen H., Blatt M., Bottger M., 1997. Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta*, 201: 227-234.
- Cornillon P. et Palloix A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 20, 1085-1094.

- Dansi A., H. Adoukonou-Sagbadja., R. Vodouhe., 2010. Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria* spp.) in the northwest of Benin. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 57: 827-839.
- D'Arcy W.G., 1991. The solanaceae since 1976, with a review of its biography. *Royal Botanic Gardens Kew and Linnean Society of London*.
- DAT, 2001. Guide de fertilisation des cultures, Agriculture Pêches et Aquaculture, Canada, 34p.
- Dauda S. N., Ajayi F. A., Ndor E., 2009. Growth and yield of watermelon (*Citrullus lanatus*) as affected by poultry manure application. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and food Chemistry*, 8 (4): 305-311.
- Debez A., Chaibi W. et Bouzid S., 2001. Effet du NaCl et de régulateur de croissance sur la germination D'*Atriplex halimus* L. *Cahiers Agricultures*, 10 : 135-138.
- Deepika M. and Anil G., 1999. Transcript levels of genes encoding various glycolytic and fermentation enzymes change in response to abiotic stress. *Plant Sci.*, 146: 41-51.
- Delauney A.J. et Verma D.P.S., 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 4: 215-223.
- Denden M., Bettaieb T., Salhi A., Mathlouthi M., 2005. Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura*, Vol. 23, No. 4 : 220-225.
- Desai B.B., Kotecha P.M., Salunkhe D.K., 1997. Seeds handbook: biology, production, processing and storage. *Marcel Dekker, Inc.*, New York, USA. 627 p.
- Devani M.B., Schishoo C.J., Shab S.A. et Suhagi B.N., 1989. Microchemical methods: spectrophotometric methods for microdetermination of nitrogen in Kjeldahl digest. *Journal of Official Analytical Chemis*, 72: 953-956.
- Dewanto V.W.X., Adom K.K., Liu R.H., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 310-3014.
- Dhindsa R.A., Dhindsa P.P., Thorpe T.A., 1981. Leaf senescence correlated with increased permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *J. Exp. Bot.*, 126: 93-101.

- Diallo B., Samba S.A.N., Sane D. et DiopT., 2013. Effet du chlorure de sodium sur la germination de graines de (*Ricinus communis* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(4): 1534-1544.
- Din N., Priso J.R., Dibong S. D., Amougou A., 2008. Logging activities in mangrove forest: A case study of Douala Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2 (2): 22-30.
- Djerah A. and Oudjehih B., 2016. Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir*, 20: p. 47-56.
- Driouich A., et Rachidaï A., 1995. Etude de l'effet du stress salin sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf). *Actes Inst. Agron. Vet. Hassan II, Maroc*. 16 (1): 33-40.
- Driouich A., Ouhssine M., Ouassou A., Bengu eddour R., 2001. Effet du NaCl sur l'activité du phosphénol pyruvate carbosylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Science Letters*, Vol. 3, No. 3: 1-7.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith E., 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances, *Allal.Chem.*, 28. pp: 350–356.
- Duplessis J., 2002. Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique, *NOVA Envirocom, Québec* 110 P.
- Dupriez H., Leener Ph. De, 1987. Jardins et vergers d'Afrique. Terres et Vie / CTA. Editions L'harmattan. Nivelles, Belgique, 354 p.
- Durand J.H., 1983. Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.
- Durant J.H., 1981. Les sols irrigables, étude pédologique. Ed. Agence de Coop. Cul. Et Tech. Presse Universitaire de France, Paris, 339 p.
- Ekoumou C., 2003. Etude phytochimique et pharmacologique de cinq recettes traditionnelle utilisés dans le traitement des infections Urinaire et la Cystite. Thèse Pharmacie, Bamako, 145.
- El Hassani T.A., Persoons E., 1994. Agronomie moderne: bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Torino (Itatie): *Hatier-Aupelf-Uref*, 275 p.
- El-Iklil Y., Karrou M., and Benichou M., 2000. Salt stress effect epinasty in relation to ethylene production and water relations in tomato. *Agronomie*, 20: 399-406.

- El-Iklil Y., Karrou M., Mrabet R., Benichou M., 2002. Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*. *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 82, no 1, pp. 177-183.
- El-Refaey El-Dengawy F.A., Ahmed Hussein A., Saad Alamri A., 2011. Improving Growth and Salinity Tolerance of Carob Seedlings *Ceratonia siliqua* L.) by Azospirillum Inoculation. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 11: 371-384.
- Enoch A.D.G., Fanou N., Kouke A., Avohou H., Vodouhe S.R., Ahanchede A., 2006. Evaluation agronomique de trois espèces de Egusi (Cucurbitaceae) utilisées dans l'alimentation au Bénin et élaboration d'un modèle de prédiction du rendement. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10 (2): 121-129.
- Erard P., Bellamy A., Berry D., Buffière A., Capy A., Dumoulin J., Guillou A., Hutin C. et Izard D., 2002. *Le poivron*. Ctifl. Ed. Paris. 156 p.
- Fahad S., Hussain S., Matloob A., 2015. Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regulation*, 75(2): p.
- Farissi M., Bouizgaren A., Faghire M., Bargaz A., Ghoulam C., 2011. Agro-physiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages. *Seed Sci Technol.*, 39: 389- 401.
- Fatemeh A.M., Sedghi M., Pessarakli M., 2012. Effects of phytohormones on proline content and antioxidant enzymes of various wheat cultivars under salinity stress. *J. plant Nutri.*, 35: 1098-1111.
- Forges., 1972. Irrigation et salinité, Options Méditerranéennes, Versailles, Pp 40-45.
- Fukuda A., Chiba K., Maeda M., Nakamura A., Maeshima M., Tanaka Y., 2004. Effect of salt and on the expression of genes for the vacuolar H⁺- pyrophosphatase, H⁺- ATPase subunit A, and Na⁺/H⁺ osmotic stresses antiporter from barley. *J. Exp Bot.*, 55:585–94.
- Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005. Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins. *Phys. Rev. Lett.*, 94: 60-64.
- Gockowski J., Mbazo'o J., Mbah G., and Fouda Moulende T., 2003. African traditional leafy vegetables and the urban and peri-urban poor. *Food Policy*, 28 : 221-235.
- Grasselly D., Navez B., Letard M., 2000. Tomate, pour un produit de qualité. Lavoisier. 25-35.

- Gratao P.L., Polle A., Lea P.J., Azevedo R.A., 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Funct Plant Biol.*, 32: 481- 494.
- Greenleaf W.C., 1986. Pepper. Breeding. In: Mark J-Basset, Ed., 1986. Breeding Vegetables Crops, Part I. AVI Publishing. Pp 67-134.
- Grewal H.S., 2010. Water uptake water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barely, *canola* and *chickpea* plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agriculture Water Management*, 97:148-156.
- Grigore M.N., Boscaiu M., Vicente O., 2011. Assessment of the relevance of osmolyte biosynthesis for salt tolerance of halophytes under natural conditions. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 5:12-19.
- Gry L., 1991. Poivron ou piment, la sélection est très forte. *Semences Programm*, 69: 16-29.
- Guichard S., 1999. Flux hydriques, croissance et qualité du fruit de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en conditions estivales sous serre, Université Aix Marseille III: 118.
- Guignard J-L., 1996. Botanique. 10^e édition révisée. Collection « ABREGES ». Masson, Paris, 278 p.
- Hachicha M., et Braudeau E., 1998. Irrigation et salinisation en Tunisie, sols de Tunisie, 18, 3-11.
- Hadjadj S., 2009. Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d'*Triplexhéliums*L. et de *Triplexcanes cens* (Purs) Nut. Mémoire de Magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Univers Kasdi Merbah Ouargla, 100 P.
- Hajihashemi S., Kiarostami K., Enteshari S., et Saboora A., 2006. The Effects of Salt Stress and Paclobutrazol on Some Physiological of two salt- tolerant and salt sensitive cultivars of wheat. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 9: 1370-1374.
- Halliwell B., Gutteridge J.M.C., 1989. Free radicals in biology and medicine. Clarendon Press; Oxford.
- Hamrouni L., Mohsen H., Abdelly C., and Ghorbel A., 2011. Exclusion du chlorure et inclusion du sodium: deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* var. *Séjnène*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15 (3): 387-400.
- Hand M.J., Taffouo V.D., Nouck A.E., Nyemene K.P.J., Tonfack L.B., Meguekam T.L., Youmbi E., 2017. Effects of Salt Stress on Plant Growth, Nutrient Partitioning,

- Chlorophyll Content, Leaf Relative Water Content, Accumulation of Osmolytes and Antioxidant Compounds in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivars. *Not. Bot. Horti Agrobot.*, 45(2):481-490.
- Haouala F., Ferjani H., Ben El Hadj S., 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechn. Agron. Soc. Environ.*, 11 (3): 235-244.
- Heller R., Esnault R. and Lance C., 1994. Physiologie végétale. Nutrition. 5e édition de l'abrégé, Editions Masson, Paris, 294 p.
- Heller R., 1995. *Abrégé de physiologie Végétale*. Tome I. Nutrition. Masson, Paris. 294 p.
- Heller R., Esnault, R. et Lance C., 1998. Physiologie Végétale. Tome I. Nutrition. Masson, Paris. 323 p.
- Hiraoka H., Misra R.V., Roy R.N., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, FAO, Rome, 51P.
- Ho L.C., Grange R.I., and Picken A.J., 1987. An analysis of the accumulation of water and dry-matter in tomato fruit. *Plant Cell Environment*, 10, 157-162.
- Holland J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.*, (103) : 1–25.
- Hong Z., Lakkineni K., Zhang Z., and Verma D.P.S., 2000. Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol.*, 122 (4): 1129–1136.
- Hopkins W.G., 2003. Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles: 61- 476.
- Hosseini G., and Thengane R.J., 2007. Salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes. *Intern. J. Bot.*, 3 (1): 48-55.
- Hossner L.R and A.S.R. Juo., 1999. Soil nutrient management for sustained food crop production in upland farming systems in the tropic. Food and fertilizer technology centre, Taiwan.
- Iqbal Q., Amjad M., Asi MR., Arino A., 2013. Characterization of capsaicinoids and antioxidant in hot pepper as influenced by hybrid and harvesting stage. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(4):358-63.
- Javid M.G., Sorooshzadeh A., Moradi F., Sanavy S.A., Allahdadi I., 2011. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Aust. J. Crop Sci.*, 5: 726-734.

- Jebara C., Jebara M., Limam F., Aouani ME., 2005. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. *J. P. Physiol.*, 162:929-936.
- Jeffrey B., Jones George Lacy H., Hacene Bouzar., Robert Stall E. and Norman W., Schaad, 2004. Reclassification of the Xanthomonads Associated with Bacterial Spot Disease of Tomato and Pepper, System. *Appl. Microbiol.*, 27: 755–762.
- Johnson R.D., Dixon M.A. and Lee D.R., 1992. Water relations of the tomato during fruit-growth. *Plant Cell Environment*, 15: 947-953.
- Joseph B., Jini D., 2011. Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes. *Asian Journal of Agricultural Research*, 5:17-27.
- Kahrizi S., Sedghi M., Sofalian O., 2012. Effect of salt stress on proline and activity of antioxidant enzymes in ten durum wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, 3:3870-3874.
- Kaloo, 1988. Vegetable breeding, Vol. I. CRC Press, Inc. Boca Raton / Florida, USA, 239 p.
- Kanokwan S., Tanatorn S., and Aphichart K., 2015. Effect of salinity stress on antioxidative enzyme activities in tomato cultured in vitro. *J. Bot.*, 47(1): 1-10.
- Katerji N., Van Hoorn J.W., Hamdy A., Mastrorilli M., Mou Karzel E., 1997. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agric. Water Manage*, 34: 57-69.
- Kay B.D., Vanden Bygaart A.J., 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, (66):107-118
- Kaya C., Akbekir E., Higgs D. and Murillo-amador B., 2002. Influence of foliar – applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. *Aust. J. Exp .agric.*, (42) 5: 631-636.
- Khan M.A., 2001. Experimental assessment of salinity tolerance of *Ceriops tagal* seedlings and saplings from the Indus delta, *Pakistan Aquat. Bot.*, 70: 259-268.
- Kocsy G., Laurie R., Szalai G., Szilagyí V., Simon-Sarkadi L., Galiba G., and De Ronde J.A., 2005. Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.*, 124(2) : 227–235.
- Kouakou K.T., 2002. Effet de la litière de volaille et du fumier de bovin sur quelques paramètres de croissance de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.]. Mémoire de Maîtrise. Abidjan (Côte d'Ivoire) : Université d'Abobo-Adjamé, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Nature; 21 p.

- Kroll R., 1994. Les cultures maraîchères. Coll. « *Le technicien d'agriculture tropicale* ». Maisonneuve et Larose. ACCT / CTA, Paris, France, 219 p.
- Kusvuran S., Ellialtioglu S., Yasar F. and Abak K., 2012. Antioxidative enzyme activities in the leaves and callus tissues of salt-tolerant and salt-susceptible melon varieties under salinity, *African Journal of Biotechnology*, 11(3), 635–641
- Labanowski J., 2004. Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation, THESE de Doctorat en Chimie & Microbiologie de l'eau, Université de LIMOGES, LIMOGES, 209 P.
- Lacharme M., 2001. Le contrôle de la salinité dans les rizières, Coopération Française, France, 20p.
- Lahlou M., Badraoui M., Soudi B., Goumari A., Tessier D., 2002. Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols, France, 19p.
- Laumonier R., 1979. Les cultures légumières et maraîchères, tome III. 3e édition. Collection « Encyclopédie Agricole » Editions J-B. Baillièrre, Paris, France, 276 p.
- Lépengué A.N., 2008. Contribution à la protection de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*), contre la pourriture engendrée par *Phoma sabdariffae* Sacc. et *Trichosphaeria* sp., au Gabon : Etude des mécanismes d'action fongiques phytotoxiques. Doctorat d'Université, UFR Biosciences, Univ. Cocody-Abidjan, 294 p.
- Lépengué A. N., Mouaragadja I., Ibrahim B., Aké S., and M'batchi B., 2012. Réponse du maïs (*Zea mays* L., Poaceae) au stress salin : étude de la synthèse de quelques composés biochimiques. *Journal of animal and Plant Sciences*, Vol. 14, Issue 1: 18866 – 1872.
- Lépengué A. N., Mouaragadja I., M'batchi B., and Aké S., 2010. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays* L., Poaceae) au Gabon. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(5): 1602-1609.
- Le Marchand L., and Al., 1994. A pilot study on the use of plasma Cartenoid and Ascorbic Acid as Markers of compliance to high fruit and vegetable dietary intervention. *Cancer epidemiol biomarkers*. 3 : 51-245.
- Le Villio M., Arrouays D., Deslais W., Daroussin J., Le Bissonais Y., Clergeot D., 2001. Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné. *Etude et Gestion des Sols*, 8 (1): 47-63.

- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. and Casse D.F., 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahier Agriculture*, 4 : 263-273.
- Levitt J., 1980. Salt and ion stress. In Levitt J. (eds). Response of plant to environmental stresses; Vol. II, water radiation salt and others stresses. *New York Academic Press*, 365-406.
- Li N., Chen S., Zhou X. Li C., Shao J., Wang R., Fritz E., Hüttemann., Polle A., 2008. Effect of NaCl on photosynthesis, salt accumulation, and compartmentation in two mangrove species, *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*. *Aquatic Botany*, 88:303-310.
- Lower S.S., and C.M. Orians, 2003. Soil organic, nutrients and water availability interact to influence willow growth and chemistry but not leaf beetle performance. *Entomol. Exp. Apl.*, 107: 69-79.
- Lv M., Z. Li., Y. Che and M. Liu, 2011. Soil organic, nutrients, microbial biomass and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) after 18 years of fertilizer application to an infertile paddy soil. *Biol. Fertil. Soils.*, 47: 777-783.
- Ly M., Kumar D., Diouf M., Nautiyal S., and Diop T., 2014. Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1): p. 46-56.
- Maaouia-Houimli S.I., Denden M., Dridi-Mouhanded B., and Mansour-gueddes S.B., 2011. Caractéristiques de la croissance et de la production en fruits chez trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.) sous stress salin. *Tropicultura*, 29(2): p. 75-81.
- Maas E.V., and Hoffman G.J., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, ASCE 103 (IR2), 115-134. Messedi D., Abdelly C., 2004. Physiologie de la tolérance au sel d'une halophyte de recouvrement: *Batis maritima*. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, N° spécial : 192-199.
- Mâalem S., Rahmoune C., 2009. Toxicity of the Salt and Pericarp Inhibition on the Germination of Some Atriplex Species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences*, 1 (2): 43-49.
- Mahbou Somo Toukam G., 2010. Diversité de *Ralstonia solanacearum* au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (*Capsicum annum* L.) et les solanacées. Thèse. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (*Agro Paris Tech*).

- Majumder A.L., Sengupta S., et Goswami L., 2010. Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S. K. Sopory, H. J. Bohnert et Govindjee. p. 349-370.
- Mallouhi N., 1982. Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse Doct. INPL. Nancy. 127p.
- Mani et Hannachi, 2015. Effet du stress salin sur le comportement physiologique du piment de Cayenne (*Capsicum frutescens*). *J. of New Scien. Agri. and Biotechn.*, 18(1): 639-647.
- Mansour M.M.F., 1998. Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 36(10) : 767–772.
- Marigo G., 1973. On a fractionation method and estimation of the phenolic compounds in plants. *Analysis*, 2:106-110.
- Mass E.V., 1986. Salt tolerance of plants, *Appl. Agric. Res.*, 1 : 12–26.
- Materska M., and Perucka I., 2005. Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L). *J. Agricul. Food Chem.*, 2005 March 9. 53 (5):1750.
- Mathieu C., Audoye P., Chossat J. C., 2007. Bases techniques de l'irrigation par aspersion. Edit, TEC & DOC, Paris, 474 p.
- Meguekam T.L., Taffouo V.D., Marius-Nicuser G., Maria Z.M., Youmbi E., Akoa A., 2014. Differential responses of growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and accumulation of compatible solutes to salt stress in peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 13:4577-4585.
- Menacer A., 2009. Effet de différents types d'engrais potassiques sur la production et la qualité technologique de la pomme de terre (var. Spunta) dans la région de Ouargla.
- Messiaen C.M., 1975. Le potager tropical, tome 2 : cultures spéciales. Collection « Techniques vivantes ». Presses Universitaires de France, 197 p.
- Mezni M., Albouchi A., Bizid E., Hamza M. 2010. Minerals uptake, organic osmotic contents and water balance in *alfalfa* under salt stress. *J. Phytol.*, 01–12.

- Mittler R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Tren in Plant Sci.*, 7: 405–410.
- Moughli L., 2000. Transfert de technologie en agriculture. Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations, N° 72, Rabat, 4p.
- Mudgal V., Madaan N., Mudgal A., 2010. Biochemical mechanisms of salt in plants: a review. *International Journal of Botany*, 6:136-143.
- Munns R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell and Environment*, 25: 239- 250.
- Naâman F., Denoel A., Soudi B., Chiang C.N., 2000. Terres irriguées et microorganismes telluriques, séminaire Intensification agricole et qualité des sols et des eaux, 2-3 Novembre 2000, Rabat, Pp 49:73.
- Nabloussi A., El Fechtali M., et Lyagoubi S., 2008. Agronomic and technological evaluation of a world safflower collection in Morocco conditions. Proceed. 7ème Conf. Internat. Carthame, Waga Waga, Australie, 3-6 Novembre 2008.
- Nagesh Babu R., et Devaraj V.R., 2008. High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Aus. J. Crop Sci.*, 2: 40-48.
- Nanjo T., Fujita M., Seki M., Kato T., Tabata S., and Shinozaki K., 2003. Toxicity of free proline revealed in an Arabidopsis TDNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. *Plant Cell Physiol.*, 44(5): 541–548.
- Nanjo T., Kobayashi M., Yoshiba Y., Sanada Y., Wada K., Tsukaya H., Kakubari Y., Yamaguchi-Shinozaki K., and Shinozaki K., 1999. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.*, 18, 185–193.
- Navarro J.M., Flores P., Garrido C. and Martinez V., 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at ripening stages, as affected by salinity, *Food Chem.*, 96: 66 – 73.
- Navarro J.M., Garrido C., Flores P., and Martinez V., 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 142-150.
- N'Dayegamiye A., Côté D., 1996. Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agrosol.*, 9 (1): 31-35

- Nerson H., 2002. Effects of seed maturity, extraction practices, and storage duration on germinability in watermelon. *Scientia Horticulturae*, 93: 245-256.
- Nijveldt R.J., Van Nood E., Van Hoorn D.E., Boelens P.G., Van Norren K., and Van Leeuwen P.A., 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am. J. Clin. Nutr.*, 74(4) : 418–425.
- Nouck A.E., Taffouo V.D., Tsoata E., Dibong D.S., Nguemezi S.T., Gouado I., Youmbi E., 2016. Growth, biochemical constituents, micronutrient uptake and yield response of six tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars grown under salinity stress. *Journal of Agronomy*, 15:58-67.
- Nyamangara J. and I. Nyagumbo., 2010. Interactive effects of selected nutrient resources and tied ridging on plant growth performance in semi-arid smallholder farming environment in central Zimbabwe. *Nutr. Cycl. Agroecocyst.*, 88:103-109.
- Okalebo J.R., Gathua W.K. et Woomer P.L., 1993. Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual In *Soil Biology and Fertility*, Soil Science Society of East Africa, Kari, UNESCO-ROSTA Nairobi, Kenya. 88 p.
- Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Brosche M., Kangasjarvi J., Jiang X., Polle A., 2005. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiol.*, 139: 1762- 1772
- Oustani M., 2006. Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (cas de Ouargla). Thèse Magister. Université Ouargla. 187p.
- Palloix A., Daubèze A.M., et Pochard E., 2003. Piments. Dans : Histoires des légumes : des origines à l'orée du XXI^e siècle. M. Pitrat et C. Foury, coord. INRA Editions, Paris, pp. 278-290.
- Palloix A., Daubeze AM., Pochard E., Pitrat M. and Foury C., 2004. Piments. In Histoire de Légumes. De l'origine à l'orée du XXI^e siècle pp. 278-290.
- Palloix A., 2006. Le piment. In *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement* pp. 187-245, (sous presse).
- Parida A., Das A. B., Das P., 2002. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviiflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.*, 45, 28–36.

- Parida A.K., Das A.B., Mitra B., 2004. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Tr Str Fun.*, 18:167-174.
- Pelmont J., 2005. Biodegradation et métabolisme. Les bactéries pour les technologies de l'environnement. Ed. EPD.
- Peng Z., Lu Q., and Verma D.P., 1996. Reciprocal regulation of D1-pyrroline- 5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol. Gen. Genet.*, 253(3): 334–341.
- Perkins H.F., 1964. Chicken manure: Its Production, Composition and Use as a Fertilizer. *Georgia Agricultural Experiment Stations*. University of Georgia College of Agriculture, Dahunega, USA., Pages: 123.
- Petit J., et Jobin P., 2005. La fertilisation organique des cultures. FABQ, Québec, 49p.
- Pickersgill B., 1969. The domestication of chili peppers. *In the domestication and exploitation of plants and animals*, pp. 443-450.
- Pilot G., Gaymard F., Mouline K., Cherel I., Sentenac H., 2003. Regulated expression of *Arabidopsis* shaker K⁺ channel genes involved in K⁺ uptake and distribution in the plant. *Plant Mol. Biol.*, 51: 773-787.
- Pinnars E., Dekker E., Amati M., 1989. La culture de la tomate, du piment et du poivron. Wageningen: *Agromisa*.
- Pirasteh-anosheh H., et Emam Y., 2012. Manipulation of morphophysiological traits in bread and durum wheat by using PGRs at different water regimes. *J. Crop. Prod Process.*, 5: 29-45.
- Pochard E., Palloix A., Daubeze A.M., 1992. Le piment. Dans : Gallais A. et Bannerot H., éditeurs. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. Ed. INRA, Paris, pp 420 – 434.
- Popova L.P., Stoinova Z.G., Maslenkova L.T., 1995. Involvement of abscisic acid in photosynthetic process in *Hordeum vulgare* L. during salinity stress. *J. Plant Growth Regul.*, 14: 211-218.
- Quiroga M., Guerrero C., Botella M.A., Valpuesta V., 2000. A Tomato Peroxidase Involved in the Synthesis of Lignin and Suberin. *P. Physiol.*, 122, 4: 1119-1128.

- Rabie G.H., and Almadini A.M., 2005. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* L. plants under salinity stress, *Afr. J. Biotech.*, 4: 210-222.
- Rajput J.C., Parulekar Y.R., 1998. *Capsicum*. In: Salunkhe D. K., Kaddam S. S., 1998. Handbook of vegetable science and technology; production, composition, storage and processing. Marcel Dekker, Inc. New York , USA, pp 203 – 224.
- Regragui A., 2005. Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le couple tomate-Verticillium : Conséquences physiologiques et impact sur la bio protection des tomates contre la verticilliose. These de Doctorat d'état.Rabat.207p.
- Rejili M., Vadel M.A., Neffat P.M., 2006. Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.
- Reynolds M.P., Ortiz-Monasterio J.I., Mc Nab A., 2001. *Application of Physiology in Wheat Breeding*. D.F.: CIMMYT: 101-111. Mexico
- Rezazadeh A., Ghasemnezhad A., Barani M., et Telmadarrehei T., 2012. Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity on Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves Res. *J. Med. Plant.*, 6: 245 – 252.
- Roudani M., 1996. Physiologie comparée de deux espèces de blé en relation avec les conditions de nutrition. Métabolisme racinaire en milieu salé. Thèse d'Univ. *Sci. Biol.*, Univ. Tunis II, 180 p.
- Rudolfs W., 1925. Influence of water and salt solution upon absorption and germination of seeds *Soil. Sci.*, 20: 15-37.
- Saeidi-Sar S., Abbaspour H., Afshari H., Yaghoobi S.R., 2012. Effects of ascorbic acid and gibberellin AG3 on alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiol. Plant.*, DOI 10.1007/s11738-012-1107-7.
- Sairam R.K., and Tyagi A., 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Review article. *Current science*, 86 (3): 407.
- Saghir A., Khan N.O., Iqbal M.Z., Hussain A. and Hassan M., 2002. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.).*Asian Journal Plant of Sciences*, 1: 715-719.
- Savouré J.C., 1980. Manipulations pratiques en physiologie végétale. Masson, Paris, 1980.
- Schomberg H.H., D.M. Endale, M.B. Jenkins and Fisher, 2011. Nutrient source and tillage influences on nitrogen availability in Southern Piedmonts corn cropping system. *Biol. Fertil. Soils*, 47:823-831.

- Sevengor S., Yasar F., Kusvuran S., Ellialtioglu S., 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. *African Journal of Agricultural Research*, 6(21):4920-4924.
- Sharifa S., et Abu-Muriefah, 2015. Effect of Sitosterol on growth, metabolism and protein pattern of pepper (*Capsicum annuum* L) plants grown under salt stress conditions. *Int. J. Agri. Crop. Sci.*, Vol., 8 (2), 94-106.
- Sinclair T.R., Ludlow M.M., 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Aust. J. Plant Physiol.*, 12: 213-217.
- Sinclair T.R., Tanner C.B., Bennett J.M., 1984. Water use efficiency in crop production. *Bioscience*, (34): 36-40.
- Singh R.A., Aggarwal A., Bhullar S.S. et Goyal J., 1990. Import of sucrose and its partitioning in the synthesis of galactomannan and raffinose oligosaccharides in the developing guar (*Cyanopsis tetragonolobus*) seeds. *J. Exp. Bot.*, 41: 101-110.
- Skiredj A., 2000. Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Publication des fiches techniques des cultures maraîchères, aromatiques et condimentaires.
- Slama F., 1986. Effect of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of six crops species. *Tropical Agronomy*, 41(1):21-25.
- Slama I., Ghnaya T., Savouré A., Abdelly C. 2008. Combined effects of long-term salinity and soil drying on growth, water relations, nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum*. *C. R. Biol.*, 331: 442-451.
- Snoussi S., Halitim A., Valles V., 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Cahiers Agricultures*, Vol.13, N° 3, 283-287
- Soco., 2009. Salinisation et sodification, l'agriculture durable et la conservation des sols: Processus de dégradation des sols, N°: 4, 4p.
- Soltner., 2003. Les bases de la production végétale, Tome, Le sol et son amélioration. Edit. *Collection science technique agricole*.
- Soltner., 2005. Les bases de la production végétale: tome 1 le sol et son amélioration. SOLTNER, 472 p.
- Soltner D., 2005. Les Grandes productions végétales 20^{ème} Ed : *coll.sci et Tec Agri*, 21-140p.
- Snoussi S.A., Halitim A., Valles V., 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Cah. Agric.*, 13: 283-7
- Steptoe A., and Al., 2003. Behavioural counseling to increase consumption of fruit and vegetables in low income adults: randomized trial. *B. M. J.*, 61,326,855.

- Suarez N., Sobrado M. A., and Medina E., 1998. Salinity effects on the leaf water relations components and ions accumulation patterns in *Avicennia germinans* L. seedlings. *Oecologia*, 114: 299-309.
- Symaraytis S., Neigrotiu I., Jacobs M., 1992. Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani). *Med. Fac. Landouw Univ. Gent.*, 57/4a, 1507-1516.
- Taffou V.D., 2005. Variation de la réponse au stress salin chez cinq espèces de légumineuses: Etude des marqueurs physiologiques et biochimiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé I. 150 p.
- Taffou V.D., Fonkou T., Kenne M., Fotso W.O. et Amougou Akoa., 2005a. Effect of salinity on growth, water content and distribution of Na⁺ and K⁺ in the organs of *Avicennia germinans* L. Seedling. *Cameroon. J. of experi. Biolo.*, 1 (1): 21-25.
- Taffou V.D., Kenne M., Fotso W.O., Sameza M.L., Ndomou M. et Amougou Akoa., 2006. Effet de la salinité sur la croissance, la distribution ionique et l'état hydrique d'une glycophyte tolérante: *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae). *J. of the Cameroun Acad. of Sci.*, 6 (3): 137-206.
- Taffou V.D., Djiotie N.L., Kenne M., Din N., J.R. Priso., Dibong S. and A. Akoa., 2008. Effect of salt stress on physiological and agronomic characteristics of three tropical cucurbit species. *J. Appl. Biosc.*, 10: 434-441.
- Taffou V. D., J. K. Kouamou., L. M. T. Ngalangue., B. A. N. Ndjeudji and Amougou Akoa., 2009. Effect of salinity stress on growth, ions partitioning and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp.) cultivars. *Intern. J. of Bot.*, 5 (2): 135-145.
- Taffou V.D., Wamba F.O., Youmbi E., Nono G.N. and Amougou Akoa., 2010. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. verdc.) landraces grown under saline conditions. *Intern. J. of Bot.*, 6(1): 53-58.
- Taillez B., et Ballo Koffi, 1992. Une méthode de mesure de la surface foliaire du palmier à huile. *Oléagineux*, 47 (8-9) : 537-553.
- Taji T., Ohsumi C., Iuchi S., Seki M., Kasuga M., Kobayashi M., Yamaguchi-Shinozaki K., and Shinozaki, K., 2002. Important roles of drought- and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.*, 29 (4): 417-426.

- Tammam A., M. F. Abou Alhamd., et M. Hemedda, 2008. Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Banysoif. *Aus. J. Crop Sc.*, 1: 47-52.
- Tanaka Y., Hibin T., Hayashi Y., 1999. Salt tolerance of transgenic rice overexpressing yeast mitochondrial Mn-SOD in chloroplasts. *Plant Sci.*, 148(2): 131–138.
- Tejera N.A., Campos R., Sanjuan J., Lluch C., 2004. Nitrogenase and antioxidant enzyme activities in *Phaseolus vulgaris* nodules formed by *Rhizobium tropici* isogenic strains with varying tolerance to salt stress. *J. Plant Physiol.*, 161: 329-338.
- Tropicasem, 2004. Mieux réussir la fertigation du piment. Tropiculture n° 92, mai 2004. Edition Tropicasem, Dakar / Sénégal, pp 1-2.
- Turan, M.A., Turkmen, N., and Taban, N., 2007. Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, Chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants. *J. Agron.*, 6 (2): 378-381
- Turk L., 1978. Sècheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficits d'humidité dans le sol. Bulletin du BRGM: 197-202.
- Tucker J.M., and Townsend D.M., 2005. Alpha-tocopherol: roles in prevention and therapy of human disease. *Biomed Pharmacother*, 59 (7): 380-387.
- Ungar I.A., 1978. Halophytes seed germination. *Bot. rev.*, 44-233.
- Unger P., Ordie W., Jones R., 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Elsevier Sci. B.V. Soil & Tillage Research*, 45.1998. 39–57.
- Verdoy D., De la Pena T.C., Redondo F.J., Lucas M.M., Pueyo J.J., 2006. Transgenic *Medicago truncatula* L. plants that accumulate proline display nitrogen fixing activity with enhanced tolerance to osmotic stress. *Plant Cell Environ.*, 29: 1913-1923.
- Wacquart J.P., 1974. Recherche sur les propriétés d'absorption cationique des racines. Rôle physiologique et importance écologique. Thèse doct., Montpellier. 155p.
- Waldrip H., Z. He and S. Erich., 2011. Effects of poultry manure amendment on phosphorus uptake by ryegrass, soil phosphorus fractions and phosphatase activity. *Biol. Fertil. Soils.*, 47:407-418.
- Walkley A. and I.A. Black., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38.
- Wang F., Xu Y.G., Wang S., Shi W., Liu R., Feng G., and Song J., 2015. Salinity affects production and salt tolerance of dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Plant Physio. and Bioch.*, 95, 41-48.

- Wang W., Vinocur B., and Altman A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta*, 218: 1-14.
- Wang X., Zhao G., Gu H., 2009. Physiological and antioxidant responses of three leguminous species to saline environment during seed germination stage. *Afr. J. Biotech.*, 8: 5773-5779.
- Wang Y., Nil N., 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75: 623–627.
- Wiebe H.B., Eilers R.G. W.D., Eilerst W.D., Brierley J.A., 2001. Salinité du sol, L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, Canada, Rapport N° 2, Pp 121-126.
- Willcox J.K., Ash S.L., and Catignani G.L., 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Crit Rev. Food Sci. Nutr.*, 44 (4): 275-295.
- Williams C.N., UZO J.O., Peregrine W.T.H., 1991. Vegetable Production in the Tropics. «Intermediate Tropical Agriculture series». Ed. Longman Scientifical and Technical. Malaysia, 179 p.
- Wu Q.S., Xia R.X and Zou Y.N., 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress, *Eur. J. Soil. Biol.*, 44: 122–128.
- Yemm E.W., and Cocking E.C., 1955. The determination of amino acids with ninhydrin. *The Analyst*, 80: 209-213.
- Youmbi E., Zemboudem N.M., and Tonfack L.B., 2010. Changements morphologiques et biochimiques au cours du développement et de la maturation des fruits de *Spondias cytherea* Sonn. (Anacardiaceae) *Fruits*, vol., 65 (5).
- Zhang H., Q. Wang., P. Wang., C.Cai., L.Liu., 2012. Current situation of hot pepper production and its development mentality in Guizhou. *Guangdong Agricul. Scie.*, 03 : 5-12.
- Zhu J.K., 2000. Genetic analysis of plant tolerance using *Arabidopsis*, *Plant Physiol.*, 124: 941 -948.
- Zhu J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Cur Opin in plant boil*, 6:441-445.

- Zhuang Y., L. Chen., L. Sun, J. Cao., 2012. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *J. Funct. Foods*, 4, 331–338.
- Zid E., Grignon C., 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas de stress salin et hydrique. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. pp.91-108.
- Zino S., and Al., 1997. Randomised Controlled trial of effect of fruit and vegetable consumption on plasma concentration of lipids and antioxidant. *B. M. J.*, 91: 314-1787.

ANNEXES

Annexe 1. Echelle d'interprétation de quelques analyses physiques et chimiques du sol

Tableau 1. Calcaire

Quand les sols sont calcaires, la texture peut être qualifiée en conséquence

Taux de calcaire en % de masse	< 5	5 à 20	20 à 50	> 50
Dénomination	Normal	Suffixe « calcaire »	Préfixe « calcaro »	Calcaire
Exemples	Sablo-argileux	Argilo-calcaire	Calcaro argileux	Calcaire argilo-limoneux

(Menacer, 2009)

Tableau 2. pH

Le pH, potentiel d'hydrogène représente l'acidité du sol. Il est mesuré dans un rapport sol/solution de 2,5.

pH	< 3,5	3,5 - 4,2	4,2 - 5	5 - 6,5	6,5 - 7,5	7,5 - 8,7	8,7
Classes	Hyper Acide	Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Basique	Très basique

(Menacer, 2009)

Tableau 3. Matière organique (MO)

Matière organique (%)	Sol
$MO \leq 1$	Pauvre en MO
$1 < MO \leq 2$	Moyennement riche en MO
$2 < MO \leq 4$	Riche en MO
$MO > 4$	Très riche MO

(Menacer, 2009)

Tableau 4. Azote total

Azote total (%)	Sol
$N_T \leq 0,5$	Très pauvre
$0,5 < N_T < 1$	Pauvre
$1 < N_T < 1,5$	Moyen
$N_T > 1,5$	Bien

(Menacer, 2009)

Tableau 5. Rapport C/N

C/N	Niveau de minéralisation	Disponibilité de l'azote
< 10	Forte minéralisation	Elevée à très élevée
10 - 20	Bonne minéralisation	Bonne à élevée
20 - 60	Faible minéralisation	Faible à négative
60 - 100	Faible minéralisation	Très faible à négative
> 100	Forte minéralisation	Négative

(Menacer, 2009)

Tableau 6. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique (CE) de l'extrait 1/5

CE (dS/m à 25°C)	Degré de la salinité
< 0,6	Sol non salé
0,6 < CE < 2	Sol peu salé
2 < CE < 2,4	Sol salé
2,4 < CE < 6	Sol très salé
> 6	Sol extrêmement salé

(Menacer, 2009)

Tableau 7. Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (Durand, 1983)

Classe de salinité	Conductivité électrique (mmhos/cm)	Degré de salinité
C1	0 à 0,25	Faible
C2	0,25 à 0,75	Moyen
C3	0,75 à 2,25	Fort
C4	2,25 à 5	Très fort
C5	> 5	Excessif

1 S/m = 1 mhos/m et 1 mhos = 1/ohm unité de résistance électrique

Salinité (mg.l⁻¹) = 0,68 x Conductivité (μS.cm⁻¹)

Eaux douces ≤ 3 g.L⁻¹ NaCl (Williams, 1987).

Annexe 2. Effet du NaCl sur les paramètres biochimiques dans les feuilles chez trois variétés de poivron

Tableau 1. Evolution de la teneur en sucres solubles (g /g de MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation (%)	Variété Nobili	Taux d'augmentation (%)	Variété Goliath	Taux d'augmentation (%)
0	25,72±0,8 c	/	20,24±0,6 d	/	16,80±0,7 cd	/
50	27,24±0,9bc	+ 5,9	25,64±0,8 c	+ 26,7	29,20±1,1b	+ 73,8
100	30,48±1,2 b	+ 18,5	29,80±1,1 b	+ 47,2	31,2±1,4 a	+ 85,7
200	43,01±1,5 a	+ 67,2	36,40±1,5 a	+ 79,8	28,28±0,9 ab	+ 68,3
ANOVA						
Variété	*		*		*	
Salinité	**		**		*	
Interaction V X S	*		**		**	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif

Tableau 2. Evolution de la teneur en proline (µg/g de MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation (%)	Variété Goliath	Taux d'augmentation (%)	Variété Nobili	Taux d'augmentation (%)
0	3,43±0,2 c	/	2,90±0,09 bc	/	3,67±0,2 c	/
50	4,03±0,3 c	+ 17,5	3,78±0,2 bc	+ 30,3	4,08±0,3 c	+ 11
100	7,33±0,5 b	+ 113,7	5,72±0,36 b	+ 97,2	6,42±0,48 b	+ 74,9
200	9,53±0,6 a	+ 177,8	7,29±0,55 a	+ 151,3	8,46±0,66a	+ 130,5
ANOVA						
Variété	NS		NS		NS	
Salinité	**		**		**	
Interaction V X S	**		*		**	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 3. Evolution de la teneur en acides aminés totaux (g /g de MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation n (%)	Variété Nobili	Taux d'augmentation n (%)	Variété Goliath	Taux d'augmentation n (%)
0	38,28±1,4 c	/	30,3±1,1 d	/	26,09±0,85 d	/
50	36,63±1,3 cd	-4,3	34,04±1,28 c	12,3	31,76±1,22 c	21,7
100	45,65±1,5 b	+ 19,2	41,44±1,45 b	36,7 %	36,22±1,3 b	38,8
200	51,01±1,67 a	+ 33,2	46,87±1,6 a	54,7	41,41±1,45 a	58,7
ANOVA						
Variété	*		*		*	
Salinité	**		*		**	
Interaction V X S	*		**		**	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 4. Evolution de la teneur en protéines solubles (µg /g de MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation n (%)	Nobili	Taux d'augmentation n (%)	Goliath	Taux d'augmentation n (%)
0	28,28±1,27 c	/	36,30±1,4 d	/	29,09±1,2 c	/
50	26,2±1,18 cd	-7,15	40,02±1,5 c	+ 10,25	34,76±1,4 b	+ 19,49
100	39,86±1,5 b	+ 40,93	43,14±1,6 b	+ 18,84	39,22±1,5 a	+ 34,82
200	44,05±1,6 a	+ 55,75	47,87±1,73 a	+ 31,87	38,14±1,5 a	+ 31,11
ANOVA						
Variété	*		*		*	
Salinité	*		*		*	
Interaction V X S	*		**		*	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 5. Variation de la teneur en flavonoïdes (mg/g MS) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux de réduction par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Granada	Taux de réduction (%)	Nobili	Taux de réduction (%)	Goliath	Taux de réduction (%)
0	1,6±0,41 a	/	1,2±0,4 a	/	1,1±0,4 a	/
50	0,98±0,38 b	-38,75	0,90±0,32 b	-25	0,93±0,33 ab	-15,5
100	0,97±0,36 b	-39,4	0,88±0,28 b	-26,7	0,73±0,22 b	-33,7
200	0,94±0,38 b	-41,3	1,05±0,39 a	-12,5	0,53±0,17 c	-51,8
ANOVA						
Variété	NS		NS		NS	
Salinité	*		*		*	
Interaction V X S	NS		*		*	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 6. Variation de la teneur en composés phénoliques (mg/g MF) dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation (%)	Nobili	Taux d'augmentation (%)	Goliath	Taux d'augmentation (%)
0	1,23±0,044c	/	0,98±0,032cd	/	0,78±0,028d	/
50	1,41±0,048c	+ 14,6	1,30±0,046c	+ 32,6	0,96±0,033c	+ 23
100	2,25±0,061b	+ 82,9	1,80±0,05b	+ 83,6	1,25±0,045b	+ 60,2
200	2,76±0,068 a	+ 124,4	2,36±0,06a	+ 140,8	2,10±0,055a	+ 169,2
Variété	*		*		*	
Salinité	*		*		**	
Interaction V X S	*		**		**	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 10. Evolution de l'activité du superoxyde dismutase (Unité/g/min) ou Unités/ g protéines dans les feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Variété Granada	Taux d'augmentation n (%)	Nobili	Taux d'augmentation n (%)	Goliath	Taux d'augmentation n (%)
0	8,09±0,5 c	/	7,33±0,5 c	/	5,05±0,48 cd	/
50	8,11±0,51 c	+ 0,2	9,11±0,65 b	+ 24,3	8,77±0,55 b	+ 73,6
100	11,01±0,76 b	+ 36,1	11,6±0,88 ab	+ 58,2	10,04±0,67 a	+ 98,8
200	14,14±0,97 a	+ 74,7	13,1±0,91 a	+ 78,7	11,13± 0,8 a	+ 120,4
ANOVA						
Variété	*		*		*	
Salinité	*		*		*	
Interaction V X S	**		*		*	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Tableau 8. Evolution de l'activité des peroxydases ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2/\text{min}/\text{g}$ de protéines) dans les feuilles de trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et du taux d'augmentation par rapport au témoin

Salinité (mM NaCl)	Granada	Taux d'augmentation n (%)	Nobili	Taux d'augmentation n (%)	Goliath	Taux d'augmentation n (%)
0	1,62±0,037 c	/	0,91±0,02 c	/	0,83± 0,02 d	/
50	1,77± 0,04 c	+ 9,3	1,06±0,02 c	+ 16,5	1,6±0,033 b	+ 92,8
100	2,17±0,05 b	+ 33,9	1,92±0,046 b	+ 110,9	2,03±0,06 a	+ 144,6
200	2,67±0,08 a	+ 64,8	2,304± 0,06 a	+ 152,7	1,05±0,029 c	+ 26,5
ANOVA						
Variété	*		NS		NS	
Salinité	*		*		*	
Interaction V X S	*		*		**	

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001) ; NS : Non significatif.

Annexe 3. Influence du NaCl sur les paramètres de croissance, la distribution ionique et les rapports de sélectivité chez trois variétés de poivron

Tableau 1. Nombre de feuilles chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et de la durée de culture (semaine).

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001).

Variétés	Durée	1 ^{ere} semaine	2 ^e semaine	3 ^e semaine	4 ^e semaine	5 ^e semaine	6 ^e Semaine
	NaCl						
Granada	0	5,25±0,5	6±0,81	8±0,57	10,5±0,57	11±0,55	12±0,5
	50	5±0,81	6±05	8±0,5	9,25±0,5	10,5±0,5	11±0,5
	100	5,25±0,5	6,25±0,5	7±0,57	8,75±0,5	9,75±0,5*	10±0,5*
	200	5±0,81	6±0,5	6,75±0,5	7,25±0,5	8,75±0,5*	9,75±0,5*
Goliath	0	4,25±0,5	5,5±0,5	6, 5±0,57	7±0,5	7,5±0,5	8,5±0,5
	50	4±0,81	5,5±0,5	6±0,5	6,5±0,5	7,25±0,5	8±0,5
	100	4±0,5	5±0,57	6±0,5	6,5±0,57	7±0,57	7,5±0,57*
	200	4±0,81	5±0,57	5,5±0,5	6±0,57	6,5±0,5	7±0,5
Nobili	0	4±0,01	5,5±0,57	7±0,01	8±0,01	9±0,01	10,5±0,01
	50	4,25±0,81	5±0,57	6,5±0,57	7±0,01	8,25±0,01*	9,75±0,01
	100	4±0,01	5±0,57	6,5±0,577	7±0,1	7,75±0,01	8,5±0,01
	200	4±0,5	5±0,57*	5,75±0,57	6,5±0,57	7±0,6***	7, 5±0,5

Tableau 2. Diamètre au collet des tiges (cm) chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et de la durée de culture (semaine).

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001).

Variétés	Durée	1 ^{ere} Semaine	2 ^e Semaine	3 ^e semaine	4 ^e semaine	5 ^e semaine	6 ^e Semaine
	NaCl						
Granada	0	0,95±0,2	0,962±0,11	0,97±0,2	0,972±0,15	0,975±0,1	0,985±0,19
	50	0,95±0,06	0,963±0,19	0,968±0,15	0,973±0,15	0,985±0,06	1±0,44
	100	0,953±0,2	0,963±0,12	0,968±0,15	0,98±0,12	0,99±0,05	1,2±0,11
	200	0,958±0,2	0,965±0,17	0,98±0,15	1,1±0,05	1,2±0,05	1,38±0,14
Goliath	0	0,953±0,2	0,97±0,14	0,98±0,15	1±0,2	1±0,1	1,1±0,21
	50	0,945±0,17	0,95±0,15	0,968±0,15	0,978±0,12	1,08±0,12	1,38±0,09
	100	0,95±0,24	0,955±0,15	0,968±0,15	0,978±0,12	1,12±0,15	1,29±0,1
	200	0,955±0,2	0,96±0,24	0,97±0,14	0,985±0,1	0,99±0,05	1,35±0,28
Nobili	0	0,958±0,2	0,968±0,25	0,97±0,183	0,98±0,1	0,99±0,1	0,995±0,05
	50	0,955±0,2	0,968±0,32	0,97±0,11	0,978±0,12	0,98±0,12	1,09±0,08
	100	0,955±0,2	0,965±0,23	0,973±0,15	0,983±0,05	1,05±0,05	1,21±0,09
	200	0,95±0,14	0,96±0,21	0,975±0,1	0,985±0,05	0,99±0,11	1,35±0,3

Tableau 3. Surface foliaire (cm²) chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) et de la durée de culture (semaine).

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001).

Variétés	Durée NaCl	1 ^{ère}	2 ^e	3 ^e	4 ^e	5 ^e	6 ^e
		semaine	semaine	semaine	semaine	semaine	Semaine
Granada	0	3,78±0,79	4,86±0,64	5,28±0,05	7,05±2,77	8,13±1,8	9,73±2,6
	50	3,9±0,09*	5,2±0,48	5,7±0,24*	6,43±0,38*	8,55±2,1	9,65±1,2
	100	4,11±0,39	5,51±0,51	6,1±0,26*	7,35±0,31	8,83±0,6	10,76±0,09
	200	4,49±0,52	5,57±0,61	6,43±0,86	7,78±0,69	8,38±0,6	11,13±1,16
Goliath	0	2,84±0,3	3,04±0,29	3,95±0,54	5,75±0,58	6,38±1,2	6,43±0,42
	50	2,9±0,08	3,775±0,23	3,35±0,37	6,05±0,71	6,75±0,1**	6,85±0,4
	100	3,05±0,1	4,19±0,22	4,48±0,29	6,55±1,08	6,93±1,5	7,78±0,38
	200	3,16±0,24	4,63±0,31	4,98±0,4	6,2±1,01	7,2±1,4	8,28±1,1
Nobili	0	2,86±0,39	3,2±0,21	4,93±0,43	6,26±1,03	7,15±1,8	8,34±1,6
	50	3,45±0,16	4,86±0,05	5,57±0,49	6,24±0,38**	6,93±0,8	8,6±0,6
	100	4,56±0,34	4,96±0,39	5,3±0,54	7,23±0,69	7,41±1,2	9,18±1,01*
	200	4,51±0,06	5,06±0,05	6,09±0,22	7,04±0,1	7,85±0,3	9,8±0,2

Tableau 4. Teneur en eau (%) produite des organes chez trois variétés de poivron en fonction de la concentration en NaCl du milieu (mM) après six semaines de culture.

Racines

Variétés	Salinité			
	0	50	100	200
Granada	81,72±8,19	74,2±1,7*	63±1,96**	49,4±2,03**
Goliath	75,9±2,6	76,2±2,05	45,4±3,2***	33,2±3,27**
Nobili	84±5,19	74,8±2,51**	53,4±2,38**	49±1,21**

Tiges

Variétés	Salinité			
	0	3	6	12
Granada	87,72±4,19	84,2±1,9*	74±0,96**	56,4±1,03*
Goliath	81,9±2,86	78,4±1,6	69,4±4,25***	49,2±1,75**
Nobili	85±3,83	76,8±8,51**	59±2,58***	50,5±1,11*

Feuilles

Variétés	Salinité			
	0	3	6	12
Granada	86,8±6,19	85,2±1,67*	79±0,88*	76,4±1,55*
Goliath	78,6±3,12	64,2±1,55**	67,5±0,05	49,3±1,35**
Nobili	83±5,91	79,6±1,52*	67,7±1,78**	54,1±0,31*

* : Significatif (P<0,05); ** : Significatif (P<0,01); *** : Significatif (P<0,001)

Annexe 4. Corrélation

Corrélation entre biomasse sèche et paramètres de croissance

	Hauteur de la tige	Diamètre au collet	Surface foliaire	Nombre de feuilles	Biomasse sèche souterraine	Biomasse sèche aérienne
Hauteur de la tige	1					
Diamètre au collet	-0,739**	1				
Surface foliaire	0,569	0,017	1			
Nombre de feuilles	0,597*	-0,617*	0,088	1		
Biomasse sèche souterraine	0,729**	-0,851**	0,037	0,700*	1	
Biomasse sèche aérienne	0,697*	-0,525	0,321	0,276	0,510	1

** Corrélation est significative à 0,01.
* Corrélation est significative à 0,05.

Corrélation entre ions des parties aériennes et paramètres de croissance

	Hauteur de la tige	Diamètre au collet	Surface foliaire	Nombre de feuilles	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Hauteur de la tige	1							
Diamètre au collet	-0,739**	1						
Surface foliaire	0,569	0,017	1					
Nombre de feuilles	0,597*	-0,617*	0,088	1				
Na ⁺	-0,310	0,737**	0,549	-0,551	1			
K ⁺	0,773**	-0,713**	0,235	0,453	-0,439	1		
Ca ⁺⁺	0,651*	-0,861**	-0,174	0,551	-0,845**	0,677*	1	
Mg ⁺⁺	0,624*	-0,827**	-0,230	0,667*	-0,865**	0,735**	0,949**	1

** Corrélation est significative à 0.01.
* Corrélation est significative à 0.05.

Corrélation entre osmolytes et antioxydants

	Sucre solubles	Proline	Acides amines	Flavonoïde	Superoxyde dismutase	Peroxydase	Composé phénolique	Protéine Soluble
Sucre solubles	1							
Proline	0,862**	1						
Acides amines	0,882** 0,000	0,92** 0,000	1					
Flavonoïde	-0,285 0,370	-0,432 0,161	-0,180 0,576	1				
Superoxyde dismutase	0,93** 0,000	0,94** 0,000	0,93** 0,000	-0,392 0,208	1			
Peroxydase	0,893** 0,000	0,72** 0,007	0,81** 0,001	-0,049 0,880	0,77** 0,003	1		
Composé phénolique	0,831** 0,001	0,96** 0,000	0,96** 0,000	-0,311 0,326	0,91** 0,000	0,7** 0,01	1	
Protéine soluble	0,668* 0,017	0,79** 0,002	0,642* 0,025	-0,416 0,179	0,82** 0,001	0,502 0,097	0,685* 0,014	1

** Corrélation est significative 0,01.

* Corrélation est significative 0,05.

Corrélation entre antioxydants enzymatiques et antioxydants non enzymatiques

	Flavonoïdes	Superoxyde dismutase	Peroxydase	Composés phénoliques
Flavonoïdes	1			
Superoxyde dismutase	-0,392 0,208	1		
Peroxydases	-0,049 0,880	0,776** 0,003	1	
Composés phénoliques	-0,311 0,326	0,917** 0,000	0,709** 0,010	1

** Corrélation est significative 0,01

Tableau 1. Codification des variables pour les paramètres physiologiques

Traitements de Nacy (mm)	Nombre de feuilles	Surface foliaire	Biomasse sèche	Diamètre au collet	Hauteur de la tige	Chlorophylle	Teneur en eau
0	NF0	SF0	BM0	DT0	LT0	CHI0	TE0
50	NF50	SF50	BM50	DT50	LT50	CHI50	TE50
100	NF100	SF100	BM100	DT100	LT100	CHI100	TE100
200	NF200	SF200	BM200	DT200	LT200	CHI200	TE200

Tableau 2. Codification des variables pour les paramètres biochimiques

Traitements de Nacy (mm)	Acide aminés	Proline	Protéine	Flavonoïde	Sucre soluble	Superoxide dismutase	Peroxydase
0	AA0	PRO0	PR0	FL0	SS0	SO0	PE0
50	AA50	PRO50	PR50	FL50	SS50	SO50	PE50
100	AA100	PRO100	PR100	FL100	SS100	SO100	PE100
200	AA200	PRO200	PR200	FL200	SS200	SO200	PE200

Tableau 3. Codification des variables pour les paramètres agronomiques

Traitements Fertilisant (t/ha)	Période de floraison	Rendement en graine	Rendement en fruits	Diamètre du fruit	Longueur du fruit	Nombre de graines	Poids de 1000 graines	Poids du fruit	Période de floraison
0	PFr0	RG0	RF0	DF0	LF0	NG	PG	PF	PF10
Engrais minéral	PFrm	RGm	RFm	DFm	LFm	NG	PG	PF	PF1m
3	PFr3	RG3	RF3	DF3	LF3	NG	PG	PF	PF13
6	PFr6	RG6	RF6	DF6	LF6	NG	PG	PF	PF16
12	PFr12	RG12	RF12	DF12	LF12	NG	PG	PF	PF112